

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**В. Г. Тельнов**

# **ГЕОДЕЗІЯ**

**Навчальний посібник**

**Дніпро  
НТУ  
2019**



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>ТЕРМІНИ</b> .....	9
<b>1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПО ГЕОДЕЗІЇ</b> .....	15
1.1. Предмет "Геодезія" та її значення в народному господарстві та захисті держави ....	15
1.2. Короткий історичний нарис розвитку геодезії .....	16
1.3. Геодезичні роботи, міри та вимірювання.....	17
1.4. Процеси виробництва геодезичних робіт.....	18
<b>1.5. Загальні відомості з теорії помилок вимірів</b> .....	18
1.5.1. Арифметична середина та її властивості. ....	22
1.5.2. Середньовагове та його властивості.....	23
1.5.3. Середня квадратична похибка функції. ....	23
<b>Питання для самоконтролю</b> .....	24
<b>2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ВІДНОСНО ФІГУРИ ЗЕМЛІ</b> .....	25
2.1. Загальні відомості про форму і розміри Землі.....	25
2.2. Метод проекції в геодезії .....	27
2.3. Вплив кривизни землі на горизонтальні відстані .....	28
2.4. Вплив кривизни землі на висоти точок при переході з сфери на площину .....	29
2.5. Системи координат що використовують у геодезії.....	30
<b>Питання для самоконтролю</b> .....	36
<b>3. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ</b> .....	37
3.1. Орієнтувальні кути .....	37
3.2. Зв'язок дирекційних кутів двох ліній з горизонтальним кутом між ними. ....	42
3.3. Пряма геодезична задача.....	43
3.4. Зворотна геодезична задача .....	44
<b>Питання для самоконтролю</b> .....	45
<b>4. КАРТИ, ПЛАНИ ТА МАСШТАБИ</b> .....	46
4.1. Поняття про план, карту і профіль.....	46
4.2. Масштаби планів і карт. ....	47
4.3. Точність масштабу. Точність вимірювання ліній на карті або плані .....	51
4.4. Номенклатура та розграфлення карт і планів .....	52
<b>Питання для самоконтролю</b> .....	60
<b>5. РЕЛЬЄФ МІСЦЕВОСТІ ТА ЙОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ ТА ПЛАНАХ</b> .....	61
5.1. Абсолютні та умовні висоти. Перевищення. Геодезичні висоти.....	61
5.2. Основні форми рельєфу .....	62
5.3. Зображення рельєфу на планах та картах горизонталями. Властивості горизонталей.....	63
5.4. Визначення стрімкості схилів. Масштаби закладень .....	65
5.5. Способи побудови горизонталей на планах та картах .....	68
<b>Питання для самоконтролю</b> .....	71
<b>6. ЗАДАЧІ, ЯКІ РОЗВ'ЯЗУЮТЬ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ ТА ПЛАНАХ</b> .....	71
6.1. Визначення геодезичних координат точок.....	71
6.2. Визначення прямокутних координат точок .....	71
6.3. Вимірювання довжин ліній.....	72
6.4. Вимірювання дирекційного кута або азимута .....	72
6.5. Орієнтування карти або плану на місцевості.....	74
6.6. Визначення висоти точки за допомогою горизонталей.....	74

6.7. Побудова профілю місцевості за горизонталями.....	75
6.8. Проектування траси із заданим ухилом.....	76
6.9. Визначення межі та площі водозбірного басейну.....	77
6.10. Визначення об'ємів земляних тел.....	77
<b>Питання для самоконтролю.....</b>	<b>78</b>
<b>7. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩ.....</b>	<b>79</b>
7.1. Безпосереднє та посереднє визначення площ.....	79
Класифікація посередніх методів визначення площ.....	79
7.2. Суть графічного способу визначення площ.....	79
7.3. Суть механічного способу визначення площ.....	80
7.4. Цифрові планіметри.....	82
7.5. Функціональні можливості й технічні характеристики цифрових планіметрів.....	84
7.6. Аналітичний метод визначення площ.....	85
<b>Питання для самоконтролю.....</b>	<b>86</b>
<b>8. ВІДОМОСТІ ПРО РОЗВИТОК ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....</b>	<b>87</b>
8.1. Основні принципи організації геодезичних робіт.....	87
8.2. Поняття про опорні мережі.....	87
8.3. Класифікація геодезичних опорних мереж.....	88
8.4. Методи побудови державних геодезичних мереж.....	88
8.5. Геодезичні мережі згущення і знімальні мережі.....	93
8.6. Закріплення і позначення на місцевості пунктів геодезичної мережі.....	94
8.7. Сучасна Державна геодезична мережа України.....	98
8.8. Загальні відомості про зйомки місцевості.....	103
<b>Питання для самоконтролю.....</b>	<b>106</b>
<b>9. ГЕОДЕЗИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ.....</b>	<b>107</b>
<b>9.1. Теодоліт. Будова та перевірки.....</b>	<b>107</b>
9.1.1. Принцип вимірювання горизонтального кута.....	107
9.1.2. Принципова схема теодоліта.....	108
9.1.3. Головні характеристики та класифікація кутомірних приладів.....	110
9.1.4. Рівні, їх будова та призначення.....	112
9.1.5. Зорова труба.....	114
9.1.6. Перевірки та юстування теодолітів.....	115
<b>9.2. Вимірювання горизонтальних кутів.....</b>	<b>119</b>
9.2.1. Встановлення теодоліта над вершиною кута.....	119
9.2.2. Вимірювання горизонтальних кутів методом прийомів.....	121
9.2.3. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів.....	123
<b>9.3. Вимірювання вертикального кута.....</b>	<b>124</b>
<b>9.4. Лінійні виміри.....</b>	<b>126</b>
9.4.1. Способи виміру довжин ліній.....	126
9.4.2. Припади для лінійних вимірювань (мірні стрічки, рулетки).....	127
9.4.3. Компарування мірних стрічок та рулеток.....	129
9.4.4. Вимірювання ліній мірною стрічкою.....	131
9.4.5. Грубі похибки, які виникають під час вимірювання лінії стрічкою.....	133
9.4.6. Приведення нахилених ліній до горизонту.....	133
9.4.7. Похибки лінійних вимірювань стрічкою.....	134
9.4.8. Точність вимірювання ліній стрічкою.....	136
9.4.9. Вимірювання довжин ліній нитяним далекоміром.....	137
9.4.10. Визначення недоступної відстані на земній поверхні.....	140
9.4.11. Загальні відомості про лазерні рулетки.....	141
9.4.12. Процес вимірювання лазерними рулетками.....	144
9.4.13. Функціональні можливості й технічні характеристики.....	145

лазерних рулеток .....	145
<b>9.5. Геометричне нівелювання</b> .....	147
9.5.1. Суть та способи геометричного нівелювання .....	147
9.5.2. Спільний вплив кривини Землі та вертикальної рефракції на результати геометричного нівелювання .....	150
9.5.3. Державна нівелірна мережа .....	151
9.5.4. Нівелірні знаки .....	153
<b>9.6. Прилади для геометричного нівелювання</b> .....	156
9.6.1. Класифікація нівелірів. Основні осі нівелірів .....	156
9.6.2. Оптичні нівеліри .....	157
9.6.3. Перевірки оптичних нівелірів .....	161
9.6.4. Будова електронного нівеліра Sprinter 200M .....	164
9.6.5. Нівелірні рейки .....	166
9.6.6. Лазерні нівеліри .....	166
9.6.7. Функціональні можливості та технічні характеристики лазерних нівелірів .....	167
<b>Питання для самоконтролю</b> .....	172
<b>10. ГЕОДЕЗИЧНІ ЗЙОМКИ</b> .....	174
<b>10.1. Горизонтальна теодолітна зйомка</b> .....	174
10.1.1. Суть теодолітної зйомки .....	174
10.1.2. Організація робіт .....	175
10.1.3. Знімальна (робоча) геодезична основа .....	176
10.1.4. Підготовчі роботи .....	177
10.5.1. Прокладання теодолітних ходів на місцевості .....	178
10.1.6. Знімання ситуації місцевості .....	181
<b>10.2. Камеральні роботи при теодолітній зйомці</b> .....	1866
10.2.1. Загальні відомості .....	1866
10.2.2. Обчислення результатів вимірювань у замкнутому теодолітному ході .....	1877
10.2.3. Обчислення результатів вимірювань у розімкненому теодолітному ході .....	1933
10.2.4. Приклад обчислення координат точок зімкнутого теодолітного ходу (полігона). Відомість координат .....	195
10.2.5. Приклад обчислення координат точок розімкненого теодолітного ходу .....	1966
10.2.6. Побудова координатної сітки. Нанесення на план пунктів теодолітного ходу за їхніми координатами .....	2000
10.2.7. Побудова плану горизонтального знімання .....	2055
<b>10.3. Вертикальна зйомка</b> .....	2069
10.3.1. Замкнутий нівелірний хід .....	2077
10.3.2. Розімкнутий нівелірний хід .....	2088
<b>10.4. Тахеометричне знімання</b> .....	20909
10.4.1. Суть тахеометричної зйомки .....	20909
10.4.2. Прилади які застосовуються при тахеометричній зйомці .....	2111
10.4.3. Будова номограмного тахеометра .....	2122
10.4.4. Будова електронного тахеометра Leica TC 403L .....	2144
10.4.5. Керування тахеометром Leica TC 403L .....	2166
10.4.6. Тахеометричні рейки .....	2177
<b>10.5. Виконання тахеометричного знімання поверхні</b> .....	2188
10.5.1. Геодезична мережа тахеометричної зйомки .....	2188
10.5.2. Основні вимоги до виконання тахеометричного знімання .....	21919
10.5.3. Прокладання тахеометричного ходу .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b> 2
10.5.4. Приведення значення місця нуля (МО) до нуля .....	226
10.5.5. Зйомка ситуації і рельєфу .....	227
10.5.6. Послідовність роботи на станції під час тахеометричного знімання .....	229

10.5.7. Камеральна обробка результатів тахеометричної зйомки .....	232
10.5.8. Складання топографічного плану .....	235
<b>Питання для самоконтролю .....</b>	<b>238</b>
<b>11. ІНЖЕНЕРНО ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ .....</b>	<b>240</b>
11.1. Загальні відомості про види та завдання інженерно-геодезичних вишукувань .....	240
11.2. Камеральні і польові роботи при трасуванні лінійних споруд .....	241
11.2.1. Камеральне трасування осі лінійної споруди .....	241
11.2.2. Польове трасування об'єктів лінійних споруд .....	242
11.2.3. Закріплення основних точок кругової кривої за її віссю .....	245
11.2.4. Розмічування пікетажу по осі лінійної споруди .....	247
11.2.5. Послідовність робіт и на станції технічного нівелювання оптичними нівелірами. Зв'язувальні, проміжні та іксові точки <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
11.2.6. Послідовність роботи на станції технічного нівелювання електронними нівелірами Sprinter 200M .....	254
11.2.7. Опрацювання журналу поздовжнього технічного нівелювання. Обчислення висот зв'язувальних та проміжних точок .....	255
11.2.8. Детальне розмічування на місцевості кругової кривої .....	258
11.2.9. Перенесення пікету на криву .....	261
11.2.10. Розмічування поперечників на місцевості .....	262
11.2.11. Побудова профілю траси. Основи вимоги до проведення проектної лінії .....	263
11.2.12. Червоні та чорні висоти, точки нульових робіт, робочі висоти. Визначення горизонтальних віддалей до точок нульових робіт .....	266
<b>11.3. Нівелювання поверхні .....</b>	<b>268</b>
11.3.1. Розмічування сітки квадратів .....	268
11.3.2. Виконання нівелювання поверхні .....	269
11.3.3. Складання плану нівелювання поверхні .....	271
11.4. Складання проекту вертикального планування будівельного майданчика .....	271
<b>11.5. Елементи геодезичних разбівочних робіт .....</b>	<b>275</b>
11.5.1. Побудова проектного кута. ....	275
11.5.2. Побудова лінії проектної довжини. ....	276
11.5.3. Винесення на місцевість точки з проектною відміткою. ....	277
11.5.4. Побудова лінії з проектним ухилом. ....	278
11.5.5. Перенесення центра шахтного стовбура з проекту в натуру .....	279
11.5.6. Перенесення абсолютної відмітки точки на дно будівельного котловану .....	280
<b>Питання для самоконтролю .....</b>	<b>282</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>283</b>
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....</b>	<b>284</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>286</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

Aa – 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	Eξ – ксі
Γγ – гамма	Oo – омікрон
Δδ – дельта	Ππ – пі
Eε – епсілон	Pp – ро
Zζ – дзета	Σσ – сігма
Ηη – ета	Tτ – тау
Θθ – тета	Φφ – фі
Iι – йота	Xχ – хі
Kκ – каппа	Υυ – іпсілон
Λλ – лямбда	Ψψ – пси
Mμ – мю	Ωω – омега

## ВСТУП

Геодезія є базовою дисципліною для студентів за напрямом підготовки «Гірництво».

Метою її вивчення є здобуття студентами знань і навиків, що дозволяють їм самостійно виконувати весь комплекс топографічних, знімальних і інженерно-геодезичних робіт на гірських підприємствах та будівництві.

Вивчення цієї дисципліни на першому курсі дозволяє прищепити студентам інтерес до майбутньої професії і закласти основи знань для подальшого вивчення таких спеціальних дисциплін, як «Маркшейдерську справу» і ін.

Учбовий матеріал представлений з врахуванням сучасних досягнень геодезичної науки і виробництва за принципом послідовного викладу основних теоретичних і практичних вопросов – від загальних до приватних.

У навчальному посібнику наведені загальні відомості з геодезії, розглянуті системи координат, що використовуються в геодезії. Описані будови геодезичних приладів їх перевірки та технологія вимірювання ними відповідних елементів на місцевості, а також відомості про лазерні нівеліри та рулетки, будова номограмного та електронного тахеометрів. Розглянуті теорія і способи куткових і лінійних вимірів, питання створення геодезичних і знімальних мереж у виробництві топографічних зйомок. Викладені деякі елементи теорії математичного опрацювання геодезичних вимірів.

Розглядаються питання сучасної Державної геодезичної мережи України, побудови планових знімальних геодезичних мереж.

Наведена методика побудови висотного обґрунтування технічним і тригонометричним нівелюванням.

Висвітлені методи тахеометричного знімання місцевості, способи знімання контурів та ситуації, виносу в натуру проектних точок, рішення інженерних задач на місцевості.

Послідовне розкриття різних способів побудови геодезичного обґрунтування і виконання знімань 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. Для цього в навчальному посібнику наведено характеристики електронних нівелірів, будова електронного тахеометра Leica TC 4031 і керування ним, а також цифрові планіметри та лазерні рулетки які дадуть студентіві поняття про сучасні геодезичні прилади вживаних в геодезії.

Посібник може бути корисний для студентів інших спеціальностей будь-якої форми навчання, які вивчають курс геодезії та інженерів-геодезистів.

У даному посібнику були використані формули і деякі положення відомих учених: В.І. Ващенко, Я.М. Костецька, А.Л. Островський, Г.Г. Поклад, С.В. Романчук та інших.



## ТЕРМІНИ

**Абрис** (нім. Abriß – креслення) – схематичний план об’єктів ділянки місцевості, які підлягають зніманню з даними вимірів (відстаней від точок знімальних ходів чи контурних точок) і необхідними поясненнями.

**Абсолютна висота** – відстань по вертикалі від середньої рівневої поверхні океану до даної точки (на суші, на дні океану і т.п.); визначається нівелюванням. В Україні відраховується від середнього рівня Балтійського моря (застосовується Балтійська система висот), визначеного за багаторічними спостереженнями (від нульової позначки Кронштадтського футштока).

**Абсолютна похибка** – модуль різниці між точним і наближеним значенням певної величини.

**Абсциса** (від лат. abscissus – відрізаний) – одна з Декартових координат точки. Позначається літерою  $X$ . В топографії (при топографо-геодезичних роботах) вісь абсцис співпадає із осьовим меридіаном зони Гауса.

**Азимут** (араб. ас-сумут, множина від ас-самт – шлях, напрям) земного предмета чи небесного світила – кут між площиною меридіана даної точки спостереження і вертикальною площиною, яка проходить через цю точку і земний предмет (чи світило).

**Азимут геодезичний** – двогранний кут, утворений площиною геодезичного меридіана точки спостереження і площиною, яка проходить через нормаль до поверхні референц-еліпсоїда; відраховується від північного напрямку меридіана за ходом годинникової стрілки від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

**Азимут істинний (географічний)** – кут, що його відраховують від північного напрямку географічного (істинного) меридіана за ходом годинникової стрілки до напрямку на даний предмет від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

**Астрономо-геодезична мережа** – система пов’язаних між собою астрономо-геодезичних пунктів, розташованих на відстані 70...100 км один від одного; утворюється із рядів та мереж триангуляції та полігонометрії. Дані мереж служать для визначення фігури (форми) й розмірів Землі.

**Базис** (грец. βασις – основа, базис) **геодезичний** – відстань між двома закріпленими на місцевості точками, зміряна з високою точністю; служить для визначення довжин сторін триангуляції.

**Барометр** (від грец. βαρος – тягар, тиск і μετροω – вимірюю) – прилад для вимірювання атмосферного тиску.

**Барометричне нівелювання** – визначення різниць висот шляхом вимірювання атмосферного тиску в цих точках за допомогою барометрів.

**Бусоль** (франц. boussole) – геодезичний прилад для вимірювання на місцевості магнітних азимутів та румбів.

**Величина лінійного масштабу** – відстань на місцевості, яка відповідає основі лінійного масштабу.

**Верньєр** (ноніус) – шкала відліку для вимірювання долей поділок на рівномірній шкалі, наприклад, частинок поділок на лімбі теодоліта чи на

далекомірній рейці. Для виготовлення верньєра дуга в  $n$  поділок лімба ділиться на  $n+1$  поділок.

**Висота точки земної поверхні** – відстань до цієї точки по прямовисній лінії від рівневої поверхні, прийнятої в державній геодезичній мережі за вихідну (нульову).

**Висота геодезична** – висота точки земної поверхні над поверхнею референц-еліпсоїда, відрахована по нормалі до еліпсоїда.

**Висота перерізу рельєфу** – різниця значень висот двох послідовних основних горизонталей на топографічній карті.

**Відносна висота** – відстань по вертикалі від точки на поверхні Землі до певного довільного рівня, який приймається за нуль. Її можна визначити за прямовисною лінією як перевищення однієї точки над іншою.

**Відхилення магнітної стрілки** – кут, утворений вертикальною лінією (лінією абсцис) координатної сітки карти і напрямом магнітного меридіана.

**Візир** (нім. Visier – забрало, приціл) – прилад для суміщення (візування) візирної (оптичної) лінії астрономічних або геодезичних інструментів з напрямом на обрану точку віддаленого предмета.

**Геодезична задача обернена** – задача, в якій за даними координатами двох точок необхідно знайти відстань між ними і взаємні напрями. Часто зустрічається в геодезичних обчисленнях та в навігаційних розрахунках.

**Геодезична задача пряма** – задача, в якій за даними координатами однієї точки, азимутом чи дирекційним кутом з неї на другу точку і відстанню між ними необхідно знайти координати другої точки і напрям з неї на першу.

**Геодезична основа карти** – сукупність геодезичних даних, необхідних для складання карти.

**Геодезична мережа** – система пунктів на земній поверхні, закріплених на місцевості спеціальними знаками і центрами, положення яких визначене в деякій єдиній системі координат і висот над рівнем моря на основі геодезичних вимірювань. Мережа служить плановою і висотною основою для топографічного знімання і складання топографічних карт, а також для пошукових і будівельних робіт, пов'язаних із точними розрахунками на місцевості.

**Геодезичний пункт** – точка на земній поверхні, положення якої визначено в прийнятій системі координат і висот на основі геодезичних вимірювань методами тріангуляції, полігонометрії і т.д. Пункти позначаються і закріплюються на місцевості. Система взаємопов'язаних геодезичних пунктів утворює **геодезичну мережу**.

**Геодезичні знаки** – наземні (стовпці, марки, піраміди) і підземні споруди, якими позначаються і закріплюються на місцевості геодезичні пункти.

**Геодезичні прилади та інструменти** – прилади, які використовуються для вимірювання в натурі довжин ліній, кутів, перевищень, азимутів при побудові астрономо-геодезичної мережі, нівелюванні, топографічному зніманні, маркшейдерських, будівельних і пошукових роботах, монтажі та

експлуатації різних інженерних споруд. За принципом роботи і будовою розрізняють механічні, оптико-механічні, електронно-оптичні та радіоелектронні геодезичні прилади.

**Геоїд** (від грец. γη – Земля та εἶδος – вигляд) – фігура Землі, яку утворила б поверхня Світового океану при деякому середньому рівні води, відсутності течій, припливів і відпливів, хвиль та ін. Поверхня геоїда – одна з рівневих поверхонь потенціалу сили тяжіння.

**Горизонталі (ізогіпси)** – лінії на карті, які з'єднують точки земної поверхні з однаковою абсолютною висотою.

**Графічна точність** – точність вимірювання відстаней між двома точками на папері за допомогою циркуля-вимірювача і масштабної лінійки. Встановлено, що такі виміри не можуть бути виконані точніше ніж 0,1 мм, через що при графічних вимірюваннях і побудовах величина 0,1 мм вважається допустимою точністю масштабу.

**Далекомір (віддалемір)** – прилад, що ним визначають віддаль до об'єктів, не вимірюючи її безпосередньо на місцевості чи у просторі.

**Дирекційний кут** (від франц. direction – напрям) – кут між північним напрямом прямої, паралельної до осі абсцис в системі плоских прямокутних координат на площині і напрямом на місцевий предмет.

**Довгота географічна** – одна із географічних координат; двогранний кут між площиною початкового меридіана і площиною меридіана, який проходить через прямовисну лінію в даній точці – астрономічна довгота ( $\lambda$ ), або через нормаль до поверхні земного еліпсоїда – геодезична довгота ( $L$ ).

**Екватор** (від лат. aequator – рівнобіжник) – 1) **географічний** чи **земний** – лінія перетину земної кулі площиною, яка проходить через центр Землі перпендикулярно до осі її обертання.

**Екер** (від франц. equerre – кутомір) – геодезичний прилад для побудови на місцевості прямих кутів; застосовується при зніманні ситуації та розбивці кривих.

**Елеваційний** (від лат. elevator – той, що підіймає) **гвинт** – гвинт із пристроями, що дає можливість змінювати в невеликих межах нахил зорової труби нівеліра ( НЗ, НВ-1, НБ, НА, НБ-1 тощо).

**Закладина схилу** – відстань на топографічній карті між двома суміжними горизонталями; залежить від крутизни схилу в даному місці та висоти перерізу рельєфу на даній карті. Є проекцією лінії схилу на горизонтальну площину.

**Знаки нівелірні** – знаки, які закладаються з метою закріплення на місцевості пунктів нівелювання.

**Зорова труба** – складова частина геодезичних інструментів, яка служить для наведення на місцеві предмети.

**Карта** – зменшене, узагальнене, умовне і знакове зображення земної поверхні на площині, побудоване за певними математичними законами.

**Кілометрова сітка** – координатна сітка на топографічних картах, утворена лініями, паралельними до осей координат.

**Координати** [від лат. со.(cum) – разом і ordinatus – упорядкований, визначений] – числа, якими визначають положення точки на прямій або кривій лінії, на площині або на поверхні, в просторі тощо

**Координатограф** (від слова координати і грец. γράφω - пишу) – прилад, призначений для перенесення на карту чи план точок за їхніми прямокутними координатами та будувати сітку квадратів.

**Крокі** (франц. croquis – начерк) – кресленик ділянки місцевості, що відтворює її найважливіші елементи, виконаний прийомами окомірного знімання.

**Крутизна (крутість) схилу** – кут, утворений напрямом схилу з горизонтальною площиною в даній точці. На топографічних картах визначається за графіком (шкалою) закладин.

**Курвіметр** (від лат. curvus – кривий і грец. μετρέω – вимірюю) – прилад для вимірювання довжин кривих ліній на картах і планах (річок, берегової лінії озер, морів тощо).

**Кут вертикальний** – кут, який лежить у вертикальній площині.

**Кут горизонтальний.** Горизонтальним кутом, який відповідає напрямку із точки А на точки В і С, називається плоский кут  $B_0A_0C_0$ , який лежить в горизонтальній площині і виражає величину двогранного кута, утвореного вертикальними площинами, що проходять через прямовисну лінію  $AA_0$  в точці А і через точки В і С.

**Лімб** (від лат. limbus – облямівка) – основна частина теодоліта, виготовлена із металу чи скла (в оптичних теодолітах); має рівномірну кутову шкалу у вигляді радіальних одинарних чи подвійних штрихів.

**Масштаб** (нім. Maßstab, від Maß – міра і Stab – палиця) – відношення лінійних розмірів об'єкта, зображеного на кресленнику, плані, чи карті, до його розмірів у натурі. Виражається числом або графічним способом.

**Мережа знімальна** – сукупність точок, які визначаються додатково до пунктів державної геодезичної мережі для безпосереднього забезпечення топографічного знімання.

**Мікроскоп шкаловий** – оптичний пристрій для відліку за рівномірними шкалами, наприклад, за шкалами на лімбах кутомірних кругів теодолітів.

**Мірні лінійні прилади** призначені для вимірювання ліній на місцевості шляхом послідовного відкладання мірних стрічок, рулеток чи дроту.

**Місцеві предмети** – всі розташовані на земній поверхні об'єкти як природного (ліси, річки, болота і т.д., крім елементів рельєфу), так і штучного (населені пункти, окремі будівлі, дороги, канали, сади тощо) походження. Зображаються на топографічних картах відповідними умовними знаками.

**Місцевість** – частина (ділянка, район) земної поверхні зі всіма її елементами. До основних елементів місцевості, які відображаються на топографічній карті, відносяться рельєф, гідрографія, рослинний ґрунтовий покрив, населені пункти, дорожня мережа.

**Нев'язка** – числове значення невиконання математичного співвідношення (умови) між зміряними величинами, яке виникає внаслідок помилок результатів вимірювання цих величин.

**Нівелювання** – визначення висот різних точок, ліній та площин відносно деяких вихідних точок, ліній і поверхонь чи над рівнем моря.

**Нівелювання тригонометричне** – метод визначення різниць висот точок земної поверхні за зміряним кутом нахилу візирної лінії з однієї точки на іншу і зміряною.

**Нормаль** (від лат. *normalis* – прямовисний) – лінія, яка перетинає поверхню земного еліпсоїда під прямим кутом.

**Опорна геодезична мережа** – система закріплених на місцевості точок, які служать опорними пунктами при зніманні й геодезичних вимірюваннях місцевості.

**Палетка** (від франц. *palette* – пластинка, планка) – нанесена на прозорому папері, склі чи целулоїдній пластинці сітка ліній, яка утворює квадрати певних розмірів, за допомогою яких визначаються площі ділянок на карті чи плані. Служить для вимірювання площ криволінійних контурів.

**Планіметр** (від лат. *planum* – площина і грец. *μετρεω* – вимірюю) – картографічний механічний прилад для вимірювання площ плоских географічних об'єктів.

**Профіль місцевості (гіпсометричний профіль)** – вертикальний розріз рельєфу місцевості.

**Пункт геодезичний** – пункт геодезичної мережі, відмічений на місцевості закладеним в землю центром і спорудженим над ним знаком.

**Рамка карти** – лінія або система ліній, що облямовують картографічне зображення. Внутрішня рамка обмежує картографічне зображення; градусна (на топокартах – мінутна) служить для визначення географічних координат точок чи нанесення на карту за їх географічними координатами; зовнішня облямовує саму карту і відділяє її від елементів оснащення і елементів додаткової характеристики.

**Розграфлення карт** – система поділу багатоаркушевої карти на аркуші, в результаті якого визначається положення рамок аркушів, розміри і число аркушів.

**Румб** – кут між ближчим напрямом (північним чи південним) меридіана і напрямом на даний предмет (не перевищує  $90^\circ$ ).

**Сторони горизонту** – чотири головні точки горизонту: Північ, Південь, Схід і Захід; іноді сторонами горизонту називають також відповідні чверті горизонту; позначаються літерами Пн, Пд, С і З чи відповідно N, S, O (чи E) і W.

**Схилення магнітної стрілки** – горизонтальний кут між істинним (астрономічним) меридіаном і напрямом магнітної стрілки (магнітним меридіаном) в даній точці поверхні Землі.

**Тальвег, водозбірна лінія** (нім. Talweg, від Tal – долина і Weg – дорога) – лінія на карті, яка сполучає найнижчі точки дна річкової долини, яру, балки тощо.

**Тахеометр** [від грец. ταχος (ταχεος) – швидкий і μετροω – міряю] – топографічний прилад, призначений для вимірювання на місцевості горизонтальних кутів, відстаней і перевищень при проведенні тахеометричного знімання.

**Тахеометр електронний** – топографічний електронно-оптичний прилад, в конструкції якого об'єднані кодовий теодоліт і малий світлодалекомір; вимірювальний процес автоматизований.

**Тахеометричне знімання** – метод геодезичних вимірювань на місцевості, що здійснюється за допомогою тахеометра.

**Теодоліт** (від грец. θεωραοι – розглядаю і δολιχος – довгий) – геодезичний прилад для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

**Теодолітне знімання** – один із методів горизонтального знімання, який виконується за допомогою теодоліта і мір довжин чи далекомірів з метою визначення взаємного положення в плані контурів і предметів місцевості.

**Топографічні карти** – детальні загальногеографічні карти, за якими можна визначити і планове і висотне положення точок.

**Топографічні плани** – найбільші крупномасштабні карти, які характеризуються практично повною геометричною відповідністю (подібністю) зображення місцевості і постійністю масштабу (відсутністю спотворень) за будь-яким напрямом.

**Точність лінійного масштабу** – відстань на місцевості, яка відповідає найменшій поділці лівої основи лінійного масштабу.

**Транспортир** (від лат. transporto – переносу) – креслярський інструмент для побудови і вимірювання кутів на креслениках, картах і планах; має вигляд півкруга (чи круга), поділеного на 180° (360°) центр якого міститься на лінійці з поперечним масштабом.

**Умовні знаки (топографічні й картографічні)** – позначення, застосовані на картах для зображення різних об'єктів та їхніх якісних та кількісних характеристик; утворюють штучну мову – “мову карти”.

**Широта** – одна із географічних координат; може бути астрономічною і геодезичною. *Астрономічна широта* – кут, утворений напрямом прямовисної лінії в даній точці земної поверхні з площиною небесного екватора; цей кут дорівнює куту, утвореному віссю обертання Землі з площиною горизонту даної точки; визначається із спостережень за небесними світилами. *Геодезична широта* – кут, утворений нормаллю до поверхні референц-еліпсоїда з площиною екватора; визначається із геодезичних вимірювань. Відраховують широту від екватора на північ і південь від 0° до 90°.

**Шкала (графік) закладин** – графік, який дає можливість за зміряною на топографічній карті закладиною визначити крутизну схилу чи кут нахилу лінії на схилі за вибраним напрямом.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПО ГЕОДЕЗІЇ

## 1.1. Предмет "Геодезія" та її значення в народному господарстві та захисті держави

Слово *геодезія* складається з двох грецьких слів *geo* – Земля, *désir* - розподіляти. Геодезія – це наука, яка вивчає методи визначення форми та розмірів Землі, способів вимірювань на земній поверхні з метою одержання і графічних відображень, а також способів спеціальних вимірювань, необхідних при вишукуваннях, будівництві та експлуатації інженерних споруд [1].

Із розвитком людства, підвищенням рівня науки і техніки, значно розширилося коло завдань, які повинна вирішувати геодезія. Тому геодезія поділяється на декілька наукових дисциплін:

1. Вища геодезія – вивчає методи визначення форми та розмірів Землі, а також способи спостережень за сучасними рухами земної кори;

2. Геодезія (інколи її називають нижча геодезія) – вивчає способи вимірювань на земній поверхні з метою одержання топографічних карт, планів та інших графічних відображень або одержання аналітичних величин, що характеризують положення точок земної поверхні;

3. Картографія – вивчає методи побудови карт у тій чи іншій проекції за визначеними математичними законами;

4. Інженерна (прикладна геодезія) – вивчає способи спеціальних вимірювань необхідних при вишукуваннях, будівництві та експлуатації інженерних споруд, а також методи визначення деформацій таких споруд;

5. Фотограмметрія – вивчає методи визначення форм, розмірів твзаємного розміщення предметів у просторі за спеціальними аеро та наземними фототеодолітними знімками з метою одержання топографічних карт, планів, кількісних та якісних характеристик, що характеризують положення точок земної поверхні чи інженерних споруд;

6. Морська геодезія – вивчає способи вимірювань під водою з метою одержання карт дна шельфів морів та океанів;

7. Космічна геодезія – вивчає методи створювання просторових космічних геодезичних мереж за знімками одержаними з космічних літальних апаратів;

8. Геодезична гравіметрія – вивчає методи вимірювання сили тяжіння на земній поверхні, під землею, на воді, під водою, та приземних шарах атмосфери.

Таким чином геодезія займається розв'язуванням значного кола завдань при вишукуваннях, проектуванні, будівництві міст, сільських населених пунктів, аеродромів, каналів, ліній електропередач, наземних комплексів шахт, у дорожній справі гідротехніці, освоєнні шельфу та при вирішуванні багатьох інших питань, які виникають кожної миті у народному господарстві.

Широко використовується геодезія і в захисті країни, крилатий вислів О.В.Суворова – "Карта – це очі арми" діє і зараз. Геодезичні прилади і методи вимірювання застосовують військові. У кожному артилерійському полку маєтся топографічний взвод, ракетні частини мають в своєму складі геодезичні підрозділи, є й окремі військово – топографічні частини.

## **1.2. Короткий історичний нарис розвитку геодезії**

Виникла геодезія за глибокої давнини. За кілька тисячоліть до нашої ери вимірювали ділянки зрошувальних земель у державах Близького Сходу. Будівництво зрошувальних каналів у Єгипті вимагало геодезичних вимірювань на просторах.

Уже в давнину геодезія вирішувала не тільки практичні, але і чисто наукові завдання. Уявлення про форму Землі ґрунтувалося на наукових спостереженнях за явищами природи. Піфагор і Арістотель вважали Землю кулястою. Ератосфен (276 – 194 рр. до н. е.) обчислив окружність Землі (близько 40 тис. км), що майже збігається з її сучасним значенням.

Розвитку геодезії сприяли відкриття у XV і XVI століттях нових земель, які необхідно було зобразити на папері, скласти карти, а для цього необхідні були геодезичні вимірювання. Великі території держав вимагали організації високоточних вимірювань. У 1615 – 1617 рр. голанський вчений Снеліус запропонував метод триангуляції. Який покращив точність геодезичних робіт.

Перші геодезичні вимірювання в Росії зафіксовані в X столітті.

А перша карта Сибіру була складена в 1667 р.

Великий поштовх розвитку геодезії дали реформи Петра I на початку XVIII століття на Русі. Перші зйомки були виконані на Дону, в Сибіру, на Камчатці, на основі яких в 1745 р. був виданий атлас Європейської і Азійської Росії на 19 аркушах.

Значні геодезичні і топографічні роботи почали виконуватись після Вітчизняної війни 1812 р., коли був утворений Корпус військових топографів. Економічний і політичний розвиток Росії, коли зросла кількість заводів, гідротехнічних споруд, збільшилось добування корисних копалин, дав могутній поштовх розвитку геодезії на науковій основі для перспективного розвитку гірничорудної й видобувної промисловості та всієї економіки.

5 березня 1919 р. Урядовим декретом було створено Вище геодезичне управління. Від цього часу створюється вітчизняна технічна база геодезичного приладобудування.

З 1924 р. при геодезичних і топографічних роботах почали застосовувати аерофотозйомку. У вивчення форми і розмірів Землі, у розвиток загальної та інженерної геодезії внесли значний вклад вчені: Ф.М. Красовський, А.А. Ізотов, М.С. Молоденський, М.В. Стівас, А.С. Чоботарьов, М.Г. Кель, Г.П. Левчук та багато інших.



### 1.3. Геодезичні роботи, міри та вимірювання

Одним із завдань, яке ставиться при виконанні геодезичних робіт, є визначення взаємного положення пунктів на місцевості як в плані, так і за висотою. У відповідності з цим геодезичні вимірювання розділяють на планові та висотні, які дуже часто виконують одночасно. При вирішуванні таких завдань необхідно виконувати вимірювання довжин та кутів на місцевості. Ті й другі можуть вимірюватись в горизонтальній чи вертикальній площині, або в комбінації один з другим. Кінцевим результатом геодезичних робіт є одержання числових величин у вигляді координат та висот, що характеризують положення точок земної поверхні чи об'єктів, або графічних зображень у вигляді планів, карт та профілів. Для цього і виконуються геодезичні зйомки, при яких одиницями вимірювань одержують міри площ та об'ємів. Одиницею лінійних мір є міжнародний метр. Ця одиниця приблизно рівна одній десятимільйонній частині земного квадранту. Довжина її раніше підтримувалась збереженням у Парижі еталонним метром, від якого більшість держав одержували прототип для власних мірних оцінок. Сучасне визначення метра введено у 1960р. Згідно цьому визначенню 1 650 763,73 довжини хвилі оранжевого випромінювання світильного газу криптон 86 відповідає 1 м [1].

У десятковій системі маємо:

1км (кілометр) = 1 000.000 м,

1м (метр) = 1.000 м,

1дм (дециметр) = 0.100 м,

1 см(сантиметр) = 0.010 м,

1мм (міліметр) = 0.001м.

За ними одержали міри площ:

1км<sup>2</sup> (квадратний кілометр) = 1 000 000.000000 м<sup>2</sup>,

1га (гектар) = 10 000.000000 м<sup>2</sup>,

1м<sup>2</sup> (квадратний метр) = 1.000000 м<sup>2</sup>,

1дм<sup>2</sup> (квадратний дециметр) = 0.010000 м<sup>2</sup>,

1 см<sup>2</sup> (квадратний сантиметр) = 0.000100 м<sup>2</sup>,

1мм<sup>2</sup> (квадратний міліметр) = 0.000001 м<sup>2</sup>.

При визначенні земляних або інших мас використовують одиницю - 1м<sup>3</sup> (1 кубічний метр).

Кутові міри підрозділяють на градуси і гради.

Градус – дев'яноста частина прямого кута і ділиться шестидесятьковим чином на:

1° = 1 градус = 1° 00' 00" = 60' (хвилин),

1' = 1 хвилина = 0° 01' 00" = 60" (секунд),

1" = 1 секунда = 0° 00' 01".

Град – сота частина прямого кута і ділиться десятковим чином на:

$1^d = 1 \text{ град} = 1,0000^d = 1\,000^c$  (градових хвилин),

$1^c = 1 \text{ десяткова хвилина} = 0.0100^d = 100^{cc}$  (градових секунд),

$1^{cc} = 1 \text{ десяткова секунда} = 0.0001^d$

таким чином повне коло має  $360^\circ$  або  $400^d$ .

#### 1.4. Процеси виробництва геодезичних робіт

Геодезичні роботи розділяються на польові і камеральні. Головний зміст польових робіт складає процес вимірів, а камеральних – обчислювальний і графічний процеси.

**Вимірювальний процес** складається з вимірів на місцевості, виконуваних при виробництві знімальних робіт і рішенні спеціальних інженерно-технічних завдань, наприклад, при розбитті споруд, прокладенню трас і т. п.

Об'єктами геодезичних вимірів, являються горизонтальні і вертикальні кути, похилі, горизонтальні і вертикальні відстані. Для виміру кутів і відстаней застосовують різні геодезичні прилади і інструменти: теодоліти, нівеліри, кипрегели, далекоміри, мірні стрічки, рулетки і дроти, рейки і т. п. Результати геодезичних вимірів заносять в журнали встановленої форми. При цьому частенько одночасно з вимірами в полі складають схематичні креслення, що називаються абрисами.

Геодезичні виміри робляться безпосередньо на місцевості в різноманітних фізико – географічних умовах, що роблять вплив на точність виконуваних робіт. Тому шкідливі дії довкілля необхідно виключати або послабляти шляхом правильного вибору приладів, методики вимірів і порядку виробництва робіт.

**Обчислювальний процес** полягає в математичній обробці результатів вимірів. Обчислення виконують за певними схемами, що дозволяють швидко знаходити необхідні результати і своєчасно контролювати правильність їх розрахунків. Для полегшення обчислень застосовують різні допоміжні засоби: таблиці, графіки, номограми, мікрокалькулятори; нині для обробки геодезичних вимірів широко використовують комп'ютери.

**Графічний процес** полягає в складанні на основі результатів вимірів і обчислень креслень з дотриманням встановлених умовних позначень. У геодезії і маркшейдерській справі креслення служить не ілюстрацією, що додається до якого-небудь документу, а є кінцевою продукцією виробництва геодезичних або маркшейдерських робіт. На підставі його надалі робляться розрахунки, проектування і перенесення проектів в натуру. Таке креслення повинне складатися за перевіреними і точними даними і мати високу якість графічного виконання [9].

#### 1.5. Загальні відомості з теорії помилок вимірів

Загальновідомо, що будь-які вимірювання завжди неминуче супроводжуються помилками. Це обумовлюється недоліками наших органів відчут-

тя, недосконалістю вимірювальних приладів та умовами вимірювань. Вимірювання можна розглядати з двох точок зору: кількісної (числове значення вимірювальної величини) та якісної – (точність вимірювання). Точність пов'язана з величиною помилок. Відомо, що навіть при відсутності грубих помилок результати повторних вимірювань завжди відрізняються між собою. Це пояснюється тим, що будь-які вимірювання супроводжуються малими помилками, тобто завжди мають місце відхилення результатів вимірювання від вірогідних ("істинних") значень величин. Точність вимірювань оцінюють в тому випадку, коли одна і та ж величина вимірювалась багаторазово і незалежно. Досягнену точність вимірювань можна визначити використовуючи теорію помилок вимірів. Вибір приладів для вимірів повинен бути таким, щоб раціональна точність дала можливість вирішити питання без необґрунтованих витрат часу, ресурсів, грошей (точні виміри – дорожчі) [9, 10, 14].

Отже, в результаті вимірювань спостерігач отримує не істинну величину, а лише наближене значення фізичної величини.

За джерелом походження розрізняють такі види похибок:

- особисті похибки спостерігача;
- інструментальні похибки;
- похибки методу вимірювань;
- похибки за вплив зовнішнього середовища.

Розрізняють три групи помилок вимірів:

- грубі;
- систематичні;
- випадкові.

До *грубих похибок* належать ті, які виникають в результаті недбалого виконання вимірювального процесу – прорахунки у вимірах, спричинені неухважністю спостерігача, несправністю приладу тощо. Грубі похибки вилучають із результатів вимірювань, переважно повторними вимірюваннями або іншою методикою.

*Систематичні похибки* виникають з визначеного джерела та мають визначений знак та величину. Ці похибки підпорядковуються відомим математичним законам, їх можна врахувати чи мінімізувати їх вплив. Їх можна вилучити за допомогою методики.

*Випадкові похибки* завжди супроводжують вимірювання. Закономірності випадкових похибок проявляються в масиві вимірів та зумовлені точністю приладу, кваліфікацією спостерігача та іншими факторами. Їх вплив можна послабити, підвищуючи якість та збільшуючи кількість вимірювань, а також виконуючи належне математичне опрацювання результатів вимірювань.

Під випадковою похибкою  $\Delta_i$  розуміють різницю між вимірюваним значенням випадкової величини  $x_i$  та точним значенням  $X$  тобто

$$\Delta_i = x_i - X, \quad (1.1)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$ .

**Властивості випадкових похибок** вимірювань проявляються в масивах вимірів. Їх характеристики такі:

а) *властивість обмеженості*: випадкові похибки за абсолютним значенням для заданих умов вимірювань не перевищують визначеної межі

$$|\Delta| \leq \Delta_{ep};$$

б) *властивість симетричності*. додатні та від'ємні значення похибки рівноможливі та за більшої кількості вимірювань однаково часто виникають;

в) *властивість унімодалності*. малі за абсолютним значенням випадкові похибки виникають у разі вимірювань частіше, ніж великі;

г) *властивість компенсації*: середнє арифметичне із значень випадкових похибок за нескінченного зростання кількості вимірювань прямує до нуля,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} \rightarrow 0. \quad (1.2)$$

тобто володіє властивістю компенсації

Якщо не виконується остання властивість, то похибки відносять до систематичних.

Виконуючи вимірювання, завжди прагнуть визначити точність отриманого результату. Тому в теорії похибок встановлюються різні критерії для оцінювання точності результатів вимірювань, а саме:

- середня квадратична похибка  $m$ ;
- гранична похибка  $\Delta_{ep}$ ;
- середня похибка  $v$ ;
- ймовірна похибка  $r$ .

**Середня квадратична похибка  $m$**  - це міра розсіювання результату

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (1.3)$$

вимірювань навколо істинного значення вимірювальної величини. Вона є основним критерієм оцінки точності геодезичних вимірів. Якщо вимірювання рівноточні і відоме істинне значення вимірюваної величини, то середньо-квадратична похибка обчислюється за формулою Гаусса

де  $[\Delta^2] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2$  - сума квадратів істинних похибок вимірювань;  $n$  - загальна кількість вимірювань.

Середня квадратична похибка має такі позитивні властивості:

- є стійким критерієм для оцінювання точності вимірювань навіть для невеликої кількості вимірів;
- найповніше характеризує якість вимірів;

- на її величину істотно впливають великі за абсолютною величиною випадкові похибки, які й визначають якість вимірювань;
- за її величиною можна визначити середню, ймовірну та граничну похибки;
- теорія ймовірностей дає можливість встановити з яким ступенем довіри обчислена сама середня квадратична похибка

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2n}}. \quad (1.4)$$

Для достатньо надійного визначення прийнято вважати, що кількість вимірів має бути більшою за 8, тобто  $n \geq 8$ .

**Граничну похибку**  $\Delta_{гр}$  визначають для теоретичних розрахунків допусків за формулою

$$\Delta_{гр} = 3m. \quad (1.5)$$

На практиці, враховуючи обмежену кількість вимірювань, приймають

$$\Delta_{гр} = 2m. \quad (1.6)$$

**Середня похибка**  $\nu$  – середнє арифметичне з абсолютних значень випадкових похибок знаходять за формулою

$$\nu = \frac{[|\Delta|]}{n}, \quad (1.7)$$

де  $[|\Delta|] = |\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|$  – сума абсолютних значень випадкових похибок.

Середня похибка використовується для контролю середньої квадратичної похибки. За малої кількості вимірів вона є недостатньо надійною, оскільки на значення середньої похибки вплив великих за абсолютною величиною похибок є незначним.

**Ймовірною похибкою**  $r$  називається таке значення випадкової похибки, коли більші чи менші за абсолютною величиною значення похибки рівноможливі. Вона лежить посередині ряду похибок, якщо їх розташувати за зростанням абсолютних значень. Ймовірна похибка використовується для контролю середньої квадратичної похибки. Недолік її в тому, що у разі великої кількості вимірів процес обчислення ймовірної похибки дуже громіздкий.

Між середньою квадратичною і ймовірною похибками існує зв'язок, який можна подати у формі наближених співвідношень:

$$\nu = 4/5 m, \quad (1.8)$$

$$r = 2/3 m. \quad (1.9)$$

Середню квадратичну, середню, ймовірну, граничну похибки називають *абсолютними*.

Відношення похибки  $m_s$  до середнього значення вимірної величини  $S$ , виражене дробом, у чисельнику якого одиниця, називається **відносною похибкою**

$$\frac{m_s}{S} = \frac{1}{N}, \quad (1.10)$$

де  $N$  – знаменник.

### 1.5.1. Арифметична середина та її властивості.

Відомо, що найнадійнішим (ймовірним) значенням багаторазово вимірної величини  $S$  є середнє арифметичне із результатів вимірювань або проста арифметична середина

$$S_0 = \frac{[S_i]}{n}. \quad (1.11)$$

Це пояснюється такими її властивостями:

Якщо кількість вимірів велика, середнє арифметичне прямує до істинного значення

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[S_i]}{n} \rightarrow S_{icm}. \quad (1.12)$$

Сума відхилень вимірних значень  $S_i$  від середнього арифметичного  $S_0$  дорівнює нулю

$$[v] = 0, \quad (1.13)$$

де  $V_i = S_0 - S_i$ .

Коли вимірювання рівноточні і за найімовірніше значення вимірної величини приймають середнє арифметичне, **середню квадратичну похибку одного вимірювання  $m_s$**  визначають за формулою Бесселя

$$m_s = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}}, \quad (1.14)$$

де  $v_i$  – відхилення окремих вимірів від середнього арифметичного;  $n$  – кількість вимірів.

Середню квадратичну похибку  $M_s$  арифметичної середини обчислюють за формулою

$$M_s = \frac{m_s}{\sqrt{n}}. \quad (1.15)$$

### 1.5.2. Середньовагове та його властивості

Якщо вимірювання нерівноточні тобто мають різні середні квадратичні похибки, то кожен вимір характеризує спеціальна величина - вага. **Вага** – це ступінь довіри доданого результату вимірювання. Тоді ймовірним (найнадійнішим) значенням вимірюваної величини буде середньовагове або загальна арифметична середина, яка визначається за формулою

$$S_0 = \frac{[S_i \cdot P_i]}{[P_i]} = \frac{S_1 \cdot P_1 + S_2 \cdot P_2 + \dots + S_n \cdot P_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}, \quad (1.16)$$

де  $S_i$  – результати вимірів деякої величини;  $P_i$  – відповідні їм ваги. Середньовагове має такі властивості:

За великої кількості вимірів середнє вагове прямує до істинного значення

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_0 \rightarrow S_{icm}. \quad (1.17)$$

Сума добутків ваг на відхилення вимірюваних значень від середнього вагового дорівнює нулю

$$[P_i v_i] = 0. \quad (1.18)$$

Середні квадратичні похибки  $M$  результатів вимірювання загальної арифметичної середини визначають за формулою

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{[P_i]}}, \quad (1.19)$$

де  $\mu$  – похибка одиниці ваги за відхилення від загальної арифметичної середини.

Отже, коли вимірювання нерівноточні, найімовірніше значення вимірюваної величини обчислюють як середнє вагове, а середню квадратичну похибку  $\mu_s$  одного виміру визначають за формулою

$$\mu_s = \sqrt{\frac{[P_i v_i^2]}{n-1}}, \quad (1.20)$$

де  $v_i$  – відхилення окремих вимірів від середнього вагового;  $P_i$  – ваги вимірів;  $n$  – кількість вимірів.

### 1.5.3. Середня квадратична похибка функції.

На практиці і під час теоретичних досліджень потрібно оцінити точність функції, якщо відома точність її аргумента. Середня квадратична похибка  $m_z$  функції вигляду  $z = f(x, y, t)$  обчислюється з виразу

$$m_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 m_t^2}, \quad (1.21)$$

де  $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right), \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right), \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)$  – часткові похідні функції за значеннями аргументов;

$m_x, m_y, m_t$  – відповідно середні квадратичні похибки аргумента.

Якщо вимірювання рівноточні, тобто аргументи мають однакові середньоквадратичні похибки, то середня квадратична похибка функції визначається із виразу

$$m_z = m\sqrt{n}. \quad (1.22)$$

Отже, систематична похибка зростає пропорційно до кількості аргументів, а середньоквадратична зростає повільніше, пропорційно до

$$\sqrt{n}.$$

### Питання для самоконтролю

1. Чим займається геодезія?
2. На які наукові дисципліни розділилася геодезія і чим вони займаються?
3. Яке завдання ставиться при виконанні геодезичних роботах?
4. Як діляться геодезичні виміри?
5. Що є кінцевим результатом геодезичних робіт?
6. Що таке істинна похибка вимірювання?
7. Які види похибок ви знаєте?
8. Що таке груба похибка вимірювання?
9. Що таке систематична похибка вимірювання?
10. Що таке випадкова похибка вимірювання?
11. Що таке середня похибка?
12. Що таке ймовірна похибка?
13. Що таке середня квадратична похибка?
14. Що таке гранична похибка?
15. Що розуміють під абсолютною похибкою?
16. Що називається відносною похибкою?



## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ВІДНОСНО ФІГУРИ ЗЕМЛІ

### 2.1. Загальні відомості про форму і розміри Землі

Відомостями про форму і розміри Землі користуються в авіації, в радіозв'язку, в мореплавстві, при запусках космічних ракет, при пошуках корисних копалин, а також і в самій геодезії для зображення земної поверхні на папері. Щоб розробити правила переносу поверхні Землі, треба знати форму поверхні, яка визначається загальною фігурою Землі.

Давно відомо, що вся поверхня Землі (площа  $S \approx 510$  млн.кв.км.) складається з 71% водневої поверхні і 29% – суші. У зв'язку з цим за загальну фігуру Землі була прийнята середня рівнева поверхня світового океану у спокійному стані, уявно продовжена під сушою. Тіло, обмежене такою поверхнею, німецький фізик і математик І.Б.Лістінг у 1873 р. назвав *геоїдом* (землеподібним), який і прийняли за загальну фігуру Землі [1, 9].

Рівнева поверхня геоїда характерна тим, що в кожній своїй точці вона утворює прямий кут при перетинанні її прямовісною лінією (рис. 2.1).

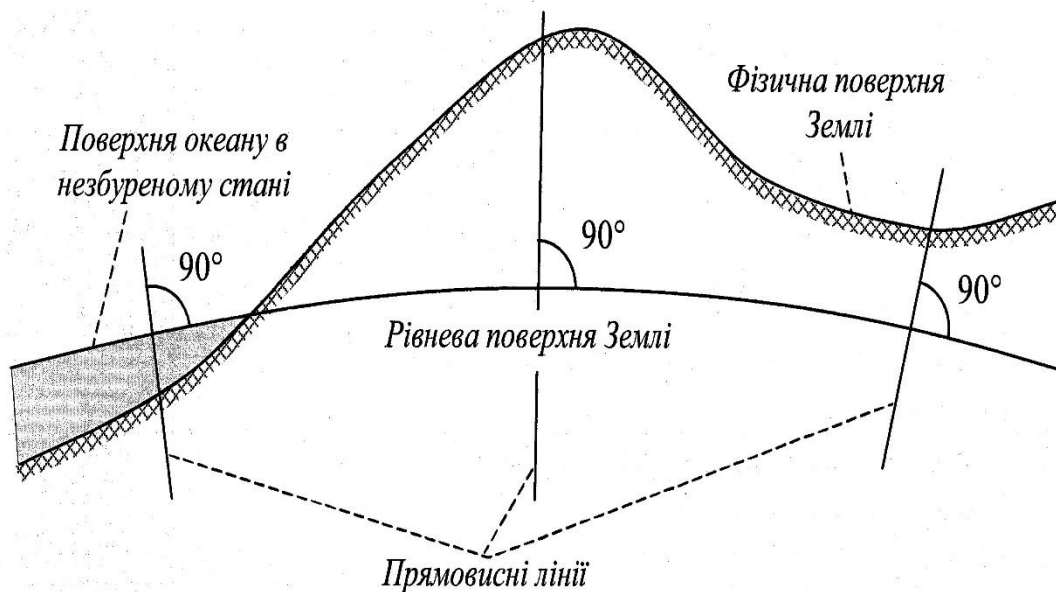


Рис. 2.1. Фізична та рівнева поверхні Землі

Напрямки прямовісних ліній залежать від сил тяжіння, які створюють породи надр Землі, а породи мають різні щільності і з різною силою діють на висок, змінюють напрямки сил тяжіння, які відхиляються від теоретичних. У відхиленнях виска не має певної закономірності, тому фігура геоїда до цього часу не виражена ні однією з відомих математиці поверхонь. Тому фігуру геоїда замінюють близькою до неї фігурою *сфероїда*, так званого *еліпсоїда обертання*,

який утворюється обертанням еліпса  $PQ_1P_1Q$  ( рис. 2.2) біля його малої осі  $PP_1$ .

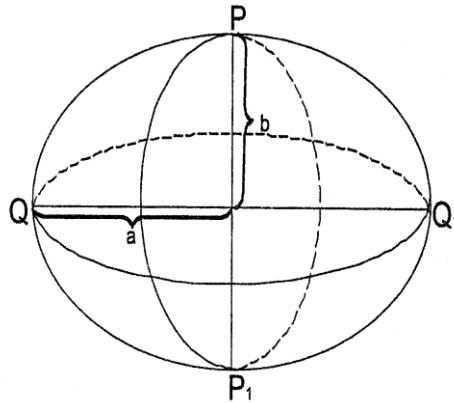


Рис. 2.2. Еліпсоїд обертання

Еліпсоїд обертання цілком визначається трьома параметрами:

- $a$  – велика піввісь;
- $b$  – мала піввісь;
- $\alpha$  – полярне стискування,

$$\alpha = \frac{a - b}{a}. \quad (2.1)$$

Лінії перерізу поверхні сфероїда площинами, що проходять через вісь обертання  $PP_1$ , називаються **меридіанами** і є еліпсами. Лінії перерізу поверхні сфероїда площинами, перпендикулярними до осі обертання, називаються **паралелями** і є колами. Паралель, площина якої проходить через центр сфероїда, називається **екватором**. Вивчення фігури Землі зводиться в першу чергу до визначення розмірів півосей і стискування еліпсоїда, якнайкраще відповідного до геоїда і правильно орієнтованого в тілі Землі. Такий еліпсоїд називається **референц – еліпсоїдом**. Величини  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  можуть бути визначені за допомогою градусних вимірів, які дозволяють вчислити довжину дуги меридіана в  $1^\circ$ . Знаючи величини таких дуг в різних місцях меридіана, можна встановити форму і розміри Землі.

Обчисленням розмірів еліпсоїда займалися вчені в багатьох країнах світу, наприклад Бессель (Німеччина), Хейфорд (США), Красовський (СРСР) та багато інших.

З 1946 р. для нашої території використовують параметри обчислені у 1940р. під керівництвом проф. Ф.Н.Красовського і проф. А.А.Ізотова. Ці величини такі:

- $a$  – 6 378 245 м,
- $b$  – 6 356 863 м,
- $\alpha$  – 1:298,3

Після запуску перших штучних супутників Землі Жонголович (СРСР) та Козаї (США) за результатами досліджень одержали такі значення величини стиску:

Жонголович (1959р.) – 1:298,2

Козаї (1960р.) – 1:298,3

При розв'язуванні багатьох інженерно-геодезичних задач загальну фігуру землі приймають за кулю, з радіусом  $R = 6\,371$  км.

## 2.2. Метод проєкції в геодезії

Для вирішення багатьох практичних завдань можна припустити, що рівневі поверхні геоїда та сфероїда співпадають. Усі предмети, що знаходяться на поверхні Землі – будівлі населених пунктів, дороги, лінії зв'язку, канали тощо – в сукупності називають *ситуацією*. Поверхня Землі ускладнена нерівностями, – горбами, ярами, тощо, які в сукупності називають рельєфом [1, 9].

Якщо площа ділянки значна, и проєктують на рівневу поверхню,

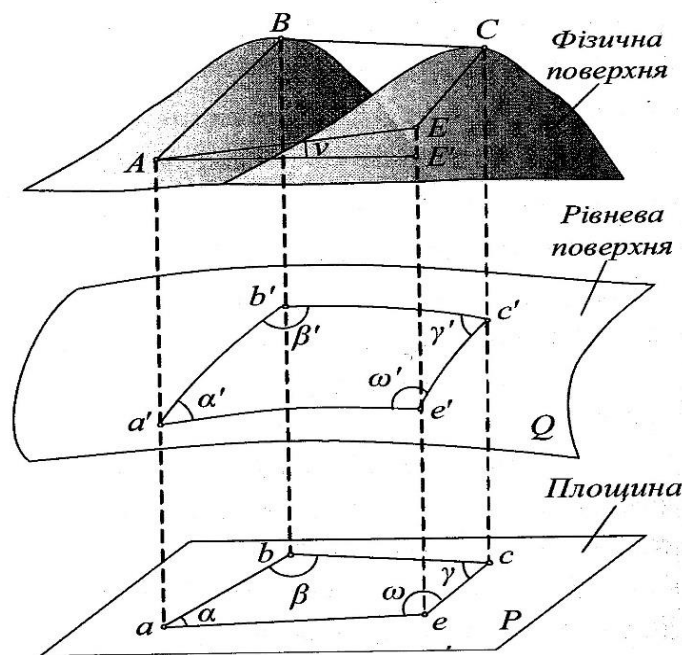


Рис. 2.3. Проектування в геодезії

яка в кожній своїй точці горизонтальна, тобто перпендикулярна напрямкам прямовісних ліній в цих точках (рис. 2.3). Точки  $A, B, C, E$  земної поверхні проєктуються прямовісними лініями на горизонтальну рівневу поверхню  $Q$ , а саму проєкцію називають горизонтальною.

Точки  $a, b, c, e$  перетинання прямовісних ліній з рівневою поверхнею називають горизонтальними проєкціями точок  $A, B, C, E$  земної поверхні.

Відстані  $Aa, Bb, Cc, Ee$  за прямовісними лініями називають висотами точок  $A, B, C, E$  над рівневою поверхнею. Таким чином положення точок відносно рівневої поверхні повністю визначається положеннями їх горизонтальних проєкцій та висотами точок земної поверхні над рівневою поверхнею.

При визначенні положення точок земної поверхні на незначних ділянках (площею до  $200 \text{ км}^2$ ), рівневу поверхню замінюють горизонтальною площиною, тобто застосовують відому ортогональну проєкцію, в якій проєктуючими лініями є перпендикуляри  $Aa', Bb', Cc', Ee'$  з точок  $A, B, C, E$  земної поверхні на горизонтальну площину  $P$ . Горизонтальні проєкції  $ab, bc, ce, ea$  ліній  $AB, BC, CE, EA$  місцевості зображають на папері зменшеними, тобто в масштабі.

Проєкція на площині не буде подібною до сферичної поверхні. Дуги  $a'b', b'c'$ , не дорівнюють прямим відрізкам  $ab, bc$ ,. Сферичні кути  $\alpha', \beta'$ , не дорівнюють плоским кутам  $\alpha, \beta$ .

Отже, щоб отримати горизонтальну проєкцію ділянки місцевості, необхідно виміряти горизонтальні кути  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  нахилені лінії  $D_i$  та їхні кути нахилу  $\nu_i$ . Цих даних достатньо, щоб побудувати на папері горизонтальну проєкцію ділянки місцевості.

### 2.3. Вплив кривизни землі на горизонтальні відстані

Як вже відзначалося раніше, в першому наближенні рівнева поверхня Землі може бути замінена сферою певного радіусу. Порівняно невелика ділянка рівневої поверхні Землі з достатньою для практичних цілей точністю можна вважати площиною. Розглянемо, при яких розмірах ділянок земної поверхні можна не зважати на кривизну Землі [9, 10].

Нехай  $AB$  (рис. 2.4) – частина рівневої поверхні Землі, що приймається за сферу з центром  $O$  і радіусом  $R$ . Дугі  $AB = S$  відповідає центральний кут  $\varepsilon$ .

Замінімо ділянку сферичної поверхні Землі площиною, що стосується сфери в точці  $A$ . Для обліку спотворення відстані між двома точками при заміні сферичної поверхні площиною визначимо різницю між довжиною дотичної  $AB' = d$  і дуги  $AB = S$ , т. е.  $\Delta S = d - S$ . Як випливає з рис. 2.4,  $S = R\varepsilon$ , де  $\varepsilon$  виражений в мірі радіану,  $d = R \operatorname{tg} \varepsilon$ . Тоді  $\Delta S = R \operatorname{tg} \varepsilon - R\varepsilon = R (\operatorname{tg} \varepsilon - \varepsilon)$ . Розклавши  $\operatorname{tg} \varepsilon$  в ряд і обмежуючись при цьому двома членами розкладання, отримаємо

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \varepsilon + \frac{\varepsilon^3}{3} + \dots$$

Тоді

$$\Delta S = R \left( \varepsilon + \frac{\varepsilon^3}{3} - \varepsilon \right) = \frac{R\varepsilon^3}{3}.$$

Вважаючи  $\varepsilon = \frac{S}{R}$ , маємо

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2}. \quad (2.2)$$

По формулі (2.2) можна розрахувати величини лінійних спотворень при заміні сферичної поверхні площиною для різних значень  $S$ , прийнявши  $R = 6\,371$  км. Результати розрахунків приведені нижче.

$S$ , км	10	15	20	25	50
$\Delta S$ , м	0,008	0,028	0,066	0,13	1,02
$\Delta S/S$	1 : 1 200 000	1 : 540 000	1 : 304 000	1 : 195 000	1 : 49 000

Заміна ділянки земної поверхні радіусом в 10 км площиною спричиняє за собою незначні (менше 1:1 000 000) спотворення відстаней, які допустимі при найточніших лінійних вимірах. Тому ділянка земної поверхні радіусом в 10 км можна приймати за площину в усіх випадках геодезичної і маркшейдерської практики.

При рішенні інженерних завдань за площину можна приймати ділянку рівневої поверхні радіусом до 25 км, оскільки при цьому спотворення довжин ліній будуть досить малі (близько 1 : 200 000).

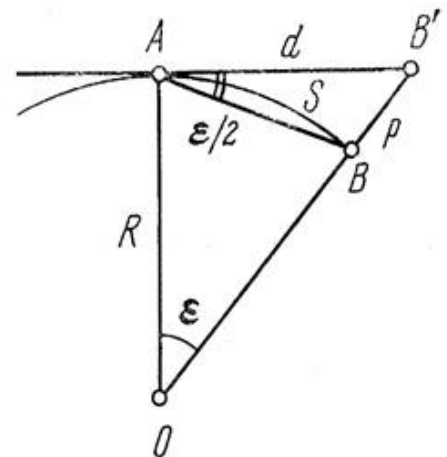


Рис. 2.4. Залежність від кривизни Землі відстаней і висот точок

#### 2.4. Вплив кривизни землі на висоти точок при переході з сфери на площину

При заміні ділянки  $AB$  (див. рис. 2.4) рівневою поверхнею Землі дотичної  $AB'$  точка  $B$  переміщається в положення  $B'$  у зв'язку з чим її висота змінюється на величину  $\rho$ . Величина  $\rho$  виражає вплив кривизни Землі на висоти точок і називається поправкою за кривизну землі [8].

Як впливає з рис.2.4, кут  $\angle BAV' = \frac{\varepsilon}{2}$ , як кут, складений дотичною і

хор дою. По криві цього кута відрізок  $\rho$  можна розглядати як дугу радіусу  $S$ , т.е.

$$\rho = S \frac{\varepsilon}{2}.$$

Оскільки  $\varepsilon = S/R$ , то

$$p = \frac{S^2}{2R} . \quad (2.3)$$

Надаючи  $S$  у формулі (2.3) різні чисельні значення, при  $R = 6\,371\text{ км}$  визначимо відповідні величини поправок  $p$  :

$S$ , км	0,1	0,3	0,5	1,0	2,0
$p$ , м	0,001	0,01	0,02	0,08	0,31

Звідси витікає, що вплив кривизни Землі на висоти точок помітно позначається вже при відстані між ними 0,3 км. Отже, при вимірі висот не можна нехтувати кривизною землі навіть при невеликій горизонтальній відстань між точками.

## 2.5. Системи координат що використовують у геодезії

**Координатами** називають величини, які визначають положення точки на площині або у просторі в тій чи іншій системі координат. У геодезії використовують такі системи координат [1]:

1) **географічна** – положення точки в цій системі координат визначається географічною широтою  $\varphi$  і географічною довжиною  $\lambda$ , а Земля при цьому має вигляд кулі (рис. 2.5).

Географічною широтою  $\varphi_m$  точки  $M$  земної поверхні називають кут утворений напрямом прямої лінії, проведеної з цієї точки і

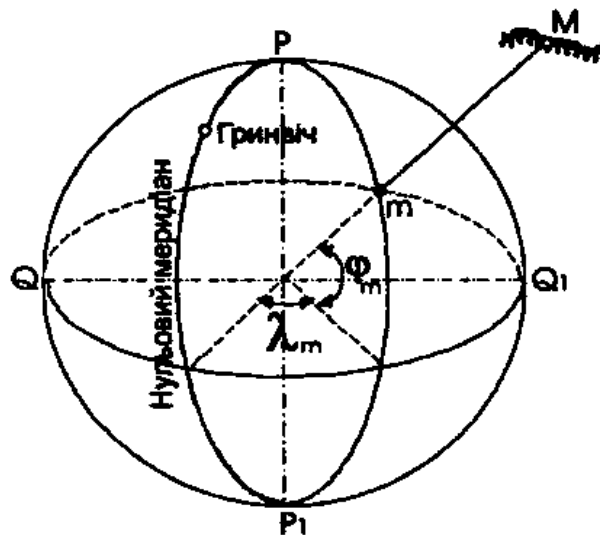


Рис. 2.5. Географічна система координат

площиною екватора. Широта від екватора до північного полюса називають північними, а екватора до південного полюса південними. Вони можуть бути в межах від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Географічною довготою  $\lambda_m$  цієї ж точки називають двограний кут утворений площиною початкового меридіана (або так званого нульового меридіана, який проходить через Грінвічську обсерваторію поблизу

Лондона) і площиною прямої лінії, проведеної з тієї ж точки  $M$  земної поверхні.

На схід від початкового меридіана до  $180^\circ$  – західними.

Географічні координати одержують із астрономічних вимірів і тому географічну систему координат називають інколи астрономічною.

2) *геодезична* – положення точки в цій системі координат визначається геодезичною широтою  $B$  і геодезичною довготою  $L$ , а Земля при цьому приймається у вигляді еліпсоїда обертання (рис 2.6).

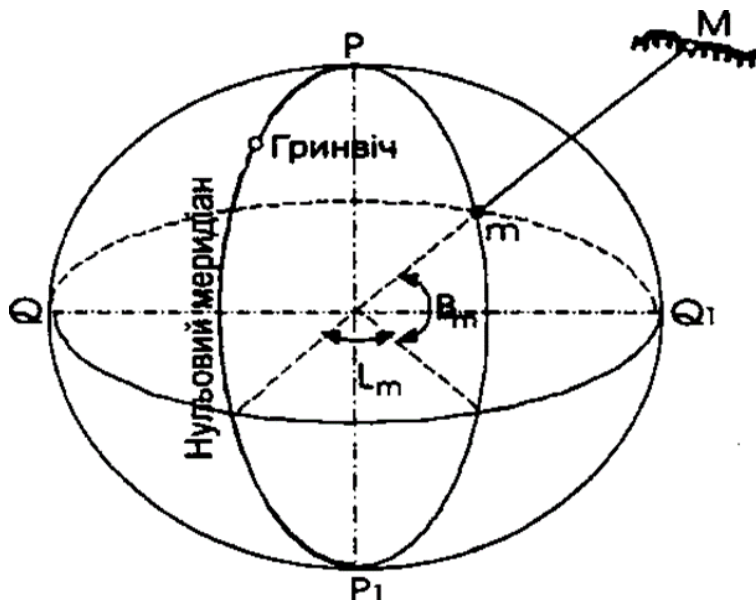


Рис. 2.6. Геодезична система координат

Геодезичною широтою  $B_m$  точки  $M$  земної поверхні називають кут утворений площиною екватора і нормаллю\* проведеної з цієї точки. Як і географічна, геодезична широта може бути північною або південною.

Геодезичною довготою  $L_m$  тієї ж точки  $M$  називають двограний кут утворений площиною того ж початкового меридіана і площиною нормалі проведеної з точки  $M$  земної поверхні. Геодезична довгота також може бути східною або західною. Геодезичні координати одержують з геодезичних вимірів.

\*Нормаль - лінія, яка утворює прямий кут при перетинанні еліпсоїда обертання

3) **плоских полярних координат** – в цій системі (рис. 2.7) положення точок  $C, E, M$  – на площині визначається відносно полюса і напрямку полярної лінії, яка сполучає дві точки з визначеними координатами.

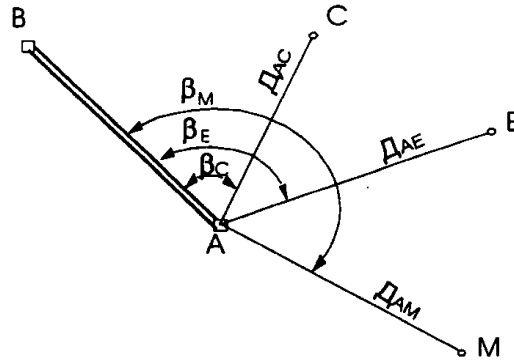


Рис. 2.7. Система плоских полярних координат

Положення точок  $A$  і  $B$  – визначені і одна з них, наприклад, точка  $A$ , приймається за полюс, а лінію  $AB$  – називають полярною. Положення точок  $C, E, M$  визначається кутами  $\beta_C, \beta_E, \beta_M$  між полярною  $AB$  і напрямками на точки  $C, E, M$ , і відстані  $D_{AC}, D_{AE}, D_{AM}$  від полюса  $A$  до цих точок.

4) **просторових полярних координат** – положення точки  $C$ , яка не знаходиться в одній площині з полярною (рис. 2.8) визначається трьома просторовими полярними координатами: горизонтальним кутом  $\beta_C$ , похилою довжиною  $D_{AC}$  і кутом похилу  $\nu_C$ .

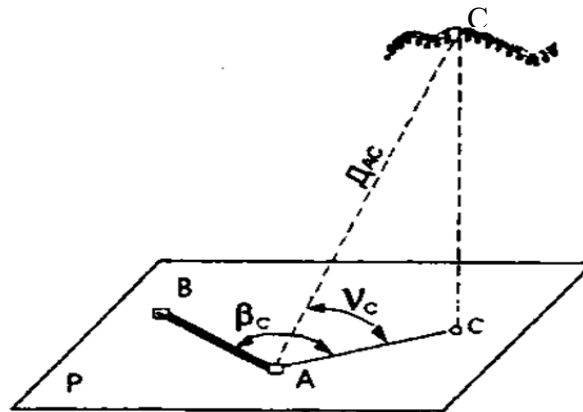


Рис. 2.8. Система просторових полярних координат

$AB$  – полярна в горизонтальній площині  $P$ ,

$D_{AC}$  – похила довжина від полюса  $A$  до точки  $C$ ,

$Ac$  – горизонтальна проекція похилої лінії  $AC$ ,

$\nu_C$  – похилий кут напрямку лінії  $AC$ ,

$\beta_C$  – горизонтальний кут утворений полярною  $AB$  і напрямком  $Ac$  горизонтальної проекції.



5) *плоских прямокутних координат* – положення точки  $A$  в цій системі (рис. 2.9) визначається трьома величинами: абсцисою  $X_a$ , ординатою  $Y_a$  проєкції  $a$  точки  $A$  земної поверхні і висотою  $H_a$  точки над горизонтальною площиною  $P$ .

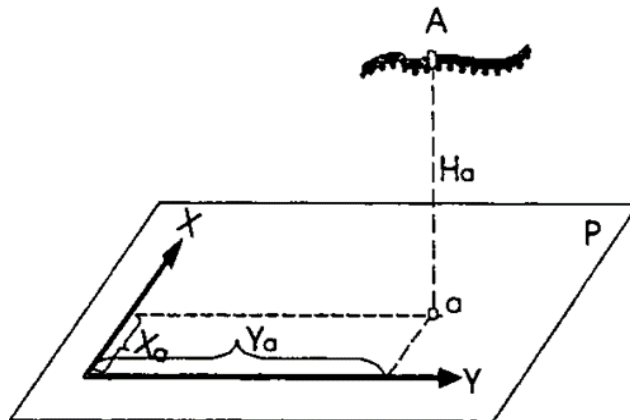


Рис. 2.9. Система плоских прямокутних координат

б) *загальнодержавна, зональна система плоских прямокутних координат.*

Поверхню земного еліпсоїда поділено меридіанами на 60 зон по  $6^\circ$  за довжиною (рис. 2.10).

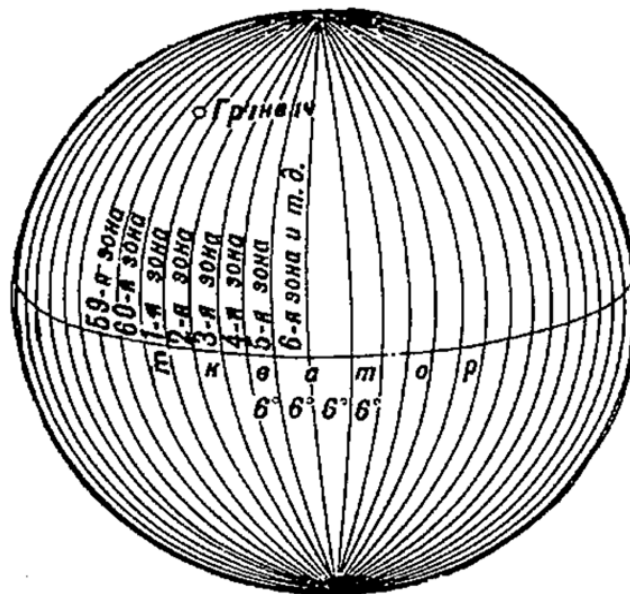


Рис. 2.10. Ділення земної кулі на зони

В Україні прийнята рівнокутна проєкція еліпсоїда на площині й відповідна їй система координат Гауса-Крюгера [9, 12].

Суть цієї системи полягає в наступному:

1. Земний еліпсоїд розбивається меридіанами на зони (протяжністю  $6^\circ$  за довготою). Нумерація зон ведеться із заходу на схід від Гринвіцького меридіана, який є західною межею першої зони (рис. 2.10, 2.11, а).

2. Земний еліпсоїд умовно розміщують в поперечному циліндрі рис. 2.11, б).

3. Кожна зона окремо проектується на площину таким чином, щоб середній (осьовий) меридіан кожної зони і екватор зображуються на площині взаємно перпендикулярними лініями без спотворень (рис. 2.11, в).

В результаті такого проектування отримують зображення поверхні земної кулі (еліпсоїда) у вигляді 60 зон, прилеглих друг до друга на екваторі. Кожна з цих зон має прямокутну систему координат зі своїм початком координат – точкою перетину екватора з осьовим меридіаном зони.

Осьовий меридіан зони зображується на площині прямою лінією і приймається за вісь абсцис ( $X$ ); віссю ординат ( $Y$ ) є зображення екватора (рис. 2.11, в). Решта меридіани і паралелі в межах зони зображуються кривими лініями (дугами).

Абсциси відраховуються від екватора на північ і південь, на північ від екватора абсциси додатні, на південь – від'ємні. Ординати відраховуються від осьового меридіана на схід (додатні) і на захід (від'ємні).

Для зручності виміру прямокутних координат при вирішенні практичних завдань на планах і картах наносять координатну сітку (рис. 2.11, в) яка представляє

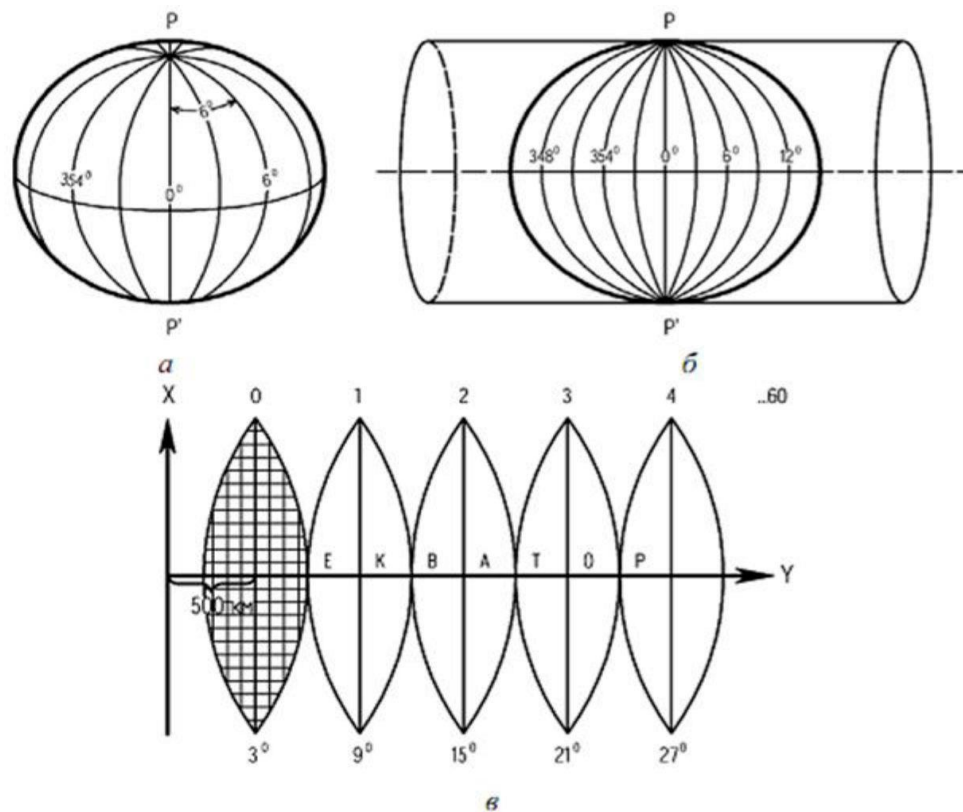


Рис. 2.11. Суть зональної системи плоских прямокутних координат

собою систему ліній, проведених через певну відстань паралельно осьовому меридіану зони (осі  $X$ ) і екватора (осі  $Y$ ).

Щоб уникнути від'ємних знаків ординат, початок координат  $U$  кожній зоні перенесений на 500 км на захід. Оскільки однаково розміщені в

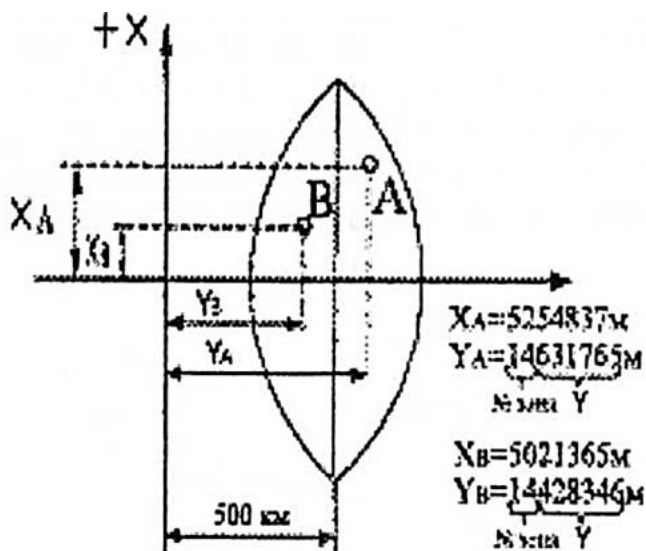


Рис. 2.12. Приклад обчислення прямокутних координат точок  $A$  і  $B$  в зональній системі плоских прямокутних координат

зонах точки для різних зон мають однакові координати, перед ординатою ставлять номер зони. Наприклад, у зоні 14 (рис. 2.12) одинати точок  $A$  і  $B$  будуть:

$$\bar{Y}_A = 500 \text{ км} + Y_A; \bar{Y}_B = 500 \text{ км} + Y_B .$$

якщо

$$Y_A = + 131,765 \text{ км}; Y_B = - 71,654 \text{ км}$$

то

$$\begin{aligned} \bar{Y}_A &= 500 \text{ км} + 131,765 \text{ км} = 14 \ 631,765 \text{ км}, \\ \bar{Y}_B &= 500 \text{ км} - 71,654 \text{ км} = 14 \ 428,654 \text{ км}. \end{aligned}$$

Такі координати називаються **перетвореними**.

7) **система висот**. З 1942 р. відлік висот починають від рівневої поверхні, яка проходить через нуль Кронштадтського Футштока (поблизу

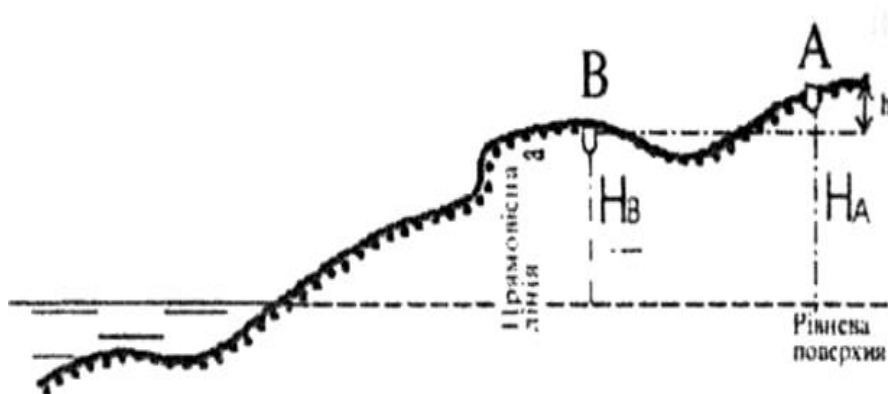


Рис. 2.13. Система висот

Санкт–Петербурга), який фіксує середнє положення рівня Балтійського моря за результатами багатолітніх вимірів (рис. 2.13), а систему називають Балтійською системою абсолютних висот.

Відстань  $HA$  по прямовісній лінії  $Aa$  від точки  $A$  земної поверхні до рівневої поверхні прийнятої за початок відліку називають **абсолютною висотою точки  $A$** . Числове значення абсолютної висоти називають **абсолютною відміткою точки**. Різницю  $h$  висот точок  $A$  і  $B$  називають **перевищенням**.

Відстань за прямовісною лінією від точки земної поверхні до будь-якої іншої поверхні називають **умовною або відносною висотою** [1].

### Питання для самоконтролю

1. Що називається рівневою поверхнею і яку фігуру вона утворює?
2. Що називають геоїдом і чому його замінено еліпсоїдом?
3. Що називається земним еліпсоїдом або сфероїдом і якими величинами він характеризується?
4. Що називається меридіанами, паралелями і екватором?
5. Що таке референц еліпсоїд?
6. Як проектуються точки при зображенні значної території земної поверхні?
7. Як проектуються точки при зображенні невеликих ділянок земної поверхні?
8. Як впливає кривизна землі на горизонтальні відстані?
9. Як впливає кривизна землі на висоти точок?
10. Що називається координатою точки?
11. Які системи координат застосовуються в геодезії і якими величинами визначаються положення точок в цих системах?
12. Суть зональної системи плоских прямокутних координат?
13. Від чого ведеться відлік висот?
14. Що називається абсолютною і відносною висотою точки?
15. Що називається відміткою точки і перевищенням між точками?

### 3. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ

#### 3.1. Орієнтувальні кути

**Орієнтувати лінію** місцевості означає визначити напрям цієї лінії відносно відомих, які приймають за вихідні [9].

**Oriens** у перекладі з латинської – схід, тобто раніше при орієнтуванні приймали відомим (вихідним) східний напрям. Але з появою магнітної стрілки людство приймає за вихідний північний напрям меридіана. Розрізняють меридіани **справжні** або **географічні**, що визначаються формою Землі і проходять через її географічні полюси, магнітні, що визначаються фізичними властивостями Землі і проходять через магнітні полюси Землі, і **осьові** – середні меридіани зон або лінії їм паралельні. Тому за вихідний напрям приймають:

- істинний (географічний) меридіан (на карті західна і східна рамки градусної сітки);
- осьовий меридіан зони (на карті – вертикальні лінії координатної сітки);
- магнітний меридіан (напрямок магнітної стрілки).

Так, лінія  $OB$  (рис. 3.1) буде зорієнтована, якщо відомий хоча б один з показаних на рисунку кутів ( $A$ ,  $a$ ,  $A_M$ ) між лінією  $AB$  та відомими напрямками.

Напрямок істинного меридіана в заданій точці визначається з астрономічних спостережень.

Магнітний меридіан зазвичай не збігається з істинним, оскільки не збігаються магнітний та географічний полюси Землі. Кінець магнітної стрілки, спрямований на північний магнітний полюс Землі, називають – північним, а другий кінець – південним. Отже, **магнітним меридіаном** у заданій точці називається лінія, що з'єднує магнітні полюси вільно встановленої на вертикальній осі магнітної стрілки.

Осьовий меридіан зони збігається з істинним меридіаном, який проходить через середину зони. Кожна зона має свій осьовий меридіан.

Лінії місцевості орієнтують відносно істинного меридіана за допомогою кута, що називається азимутом. **Азимутом** лінії місцевості в певній її точці називається горизонтальний кут між північним напрямом істинного меридіана в цій точці та напрямом лінії. Цей кут відлічують за ходом годинникової стрілки від північного напрямку істинного меридіана до лінії, яку орієнтують. Азимут змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Оскільки горизонтальною проекцією меридіана в цій точці є полуденна лінія, то можна сказати, що

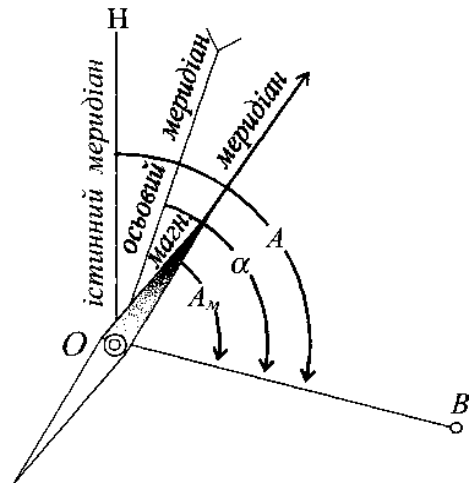


Рис. 3.1. Орієнтування лінії  $AB$  відносно вихідних

азимутом називають кут між північним напрямом полуденної лінії і напрямом горизонтальної проєкції лінії місцевості.

У геодезії прийнято розрізняти прямий та зворотний напрями лінії. Так, якщо  $B$  – початок, а  $C$  – кінець лінії, тоді напрям  $BC$  лінії є прямим, а напрям  $CB$  цієї ж лінії є зворотним. Відповідно до цього кут  $A$  є **прямим азимутом** лінії  $BC$  в точці  $M$ , а кут  $A'$  – **зворотним азимутом** цієї лінії в цій самій точці. З (рис. 3.2) видно, що

$$A' = A \pm 180^\circ, \quad (3.1)$$

тобто прямий та зворотний азимути лінії в цій точці відрізняються на  $180^\circ$ . У формулі (3.1) знаком "мінус" зручно користуватись, коли  $A > 180^\circ$ . У різних точках Землі меридіани (та й полуденні лінії) не паралельні між собою, тому в різних точках тієї самої лінії азимут має різну величину. Так, в точці  $M_1$  і  $M_2$  лінії  $BC$  (рис. 3.2) істинні меридіани  $Пн_1Пд_1$  і  $Пн_2Пд_2$  не паралельні до меридіана  $ПнПд$  точки  $M$ . Тому азимути лінії  $BC$  в точках  $M_1$  та  $M_2$  дорівнюють відповідно  $A_1$  та  $A_2$ . Якщо в цих точках прокреслити напрями  $Пн'Пд'$  паралельні до напрямку  $ПнПд$  полуденної лінії в точці  $M$ , то  $\angle Пн'M_1C = \angle Пн'M_2C = A$ . Тому

$$A_1 = A + \gamma, \quad (3.2)$$

$$A_2 = A - \gamma. \quad (3.3)$$

Кут  $\gamma$  називається **зближенням меридіанів**, це кут між полуденними лініями, проведеними в різних точках лінії  $BC$ . Для точок, розташованих на схід від точки  $M$  (наприклад, в точці  $M_1$ ), у вважають додатним, а для точок, розташованих на захід від точки  $M$  (наприклад, у точці  $M_2$ ), – від'ємним. За

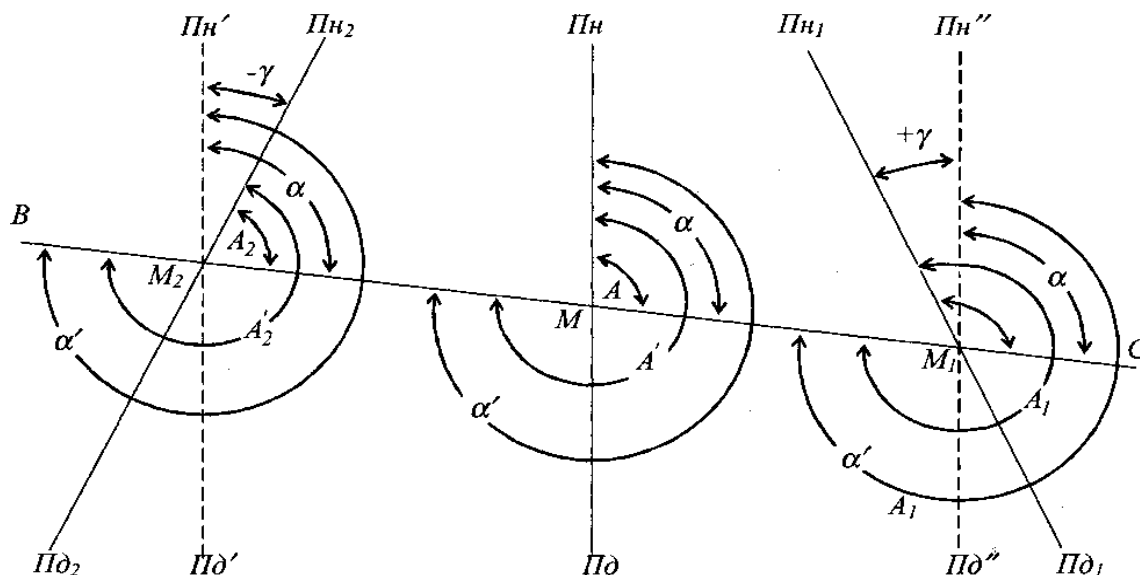


Рис. 3.2. Прямий та зворотний азимут

такої умови формула (3.2) є загальною для будь-яких точок заданої лінії.

Азимут лінії  $CB$  (рис. 3.2) в точці  $M_1$ , згідно з (3.1), становить  $A'_1 = A_1 \pm 180^\circ$ . Враховуючи значення  $A_1$  відповідно до формули (3.2), отримаємо

$$A'_1 = A_1 \pm 180^\circ + \gamma. \quad (3.4)$$

Тобто прямих та зворотних азимутів лінії в різних її точках відрізняються на  $180^\circ + \gamma$ .

Часто для орієнтування ліній місцевості замість азимутів використовують істинні румби. **Істинним румбом** лінії називається гострий кут між найближчим кінцем полуденної лінії в заданій точці і напрямом горизонтальної лінії місцевості. Числове значення істинного румба супроводжують назвою чверті, в якій міститься лінія. На (рис. 3.3) показано істинні румби ліній в усіх чотирьох чвертях. Так, лінія  $PA$  має румб  $r_1$ . Його назва – Північний Схід, скорочено  $ПнС$ ; лінія  $PB$  має румб  $r_2$ , назва якого Південний Схід ( $ПдС$ ); лінія  $PC$  має румб  $r_3$ , назва якого Південний Захід ( $ПдЗ$ ); лінія  $PD$  має румб  $r_4$ , назва румба – Північний Захід ( $ПнЗ$ ).

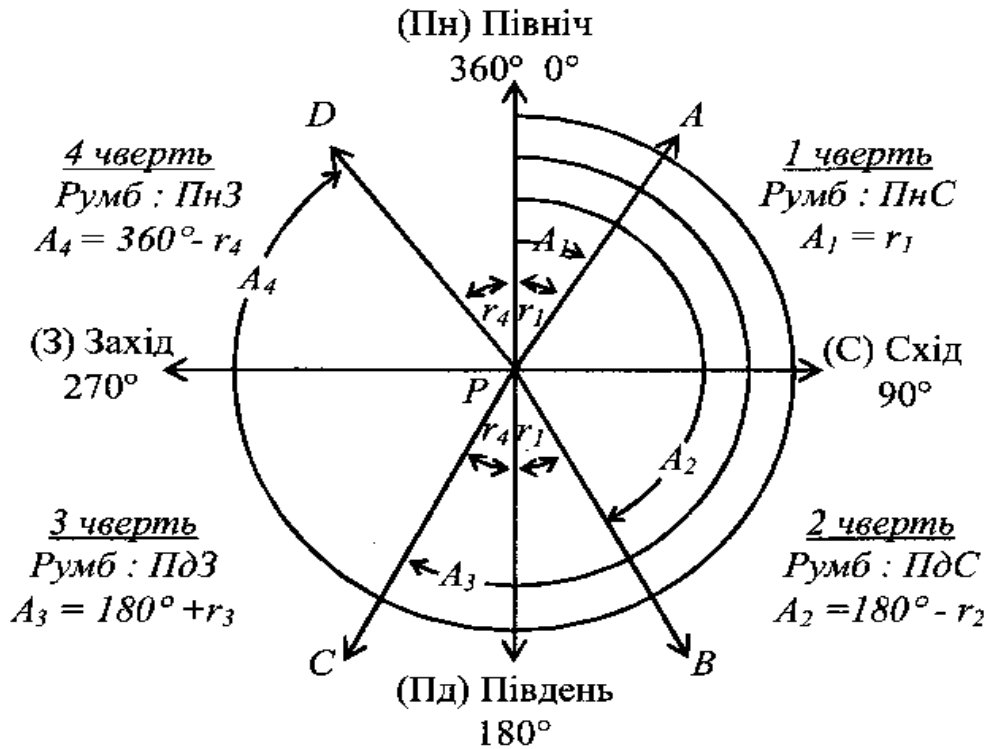


Рис. 3.3. Співвідношення між румбами і азимутами

З (рис. 3.3) не важко знайти залежність між істинними румбами та азимутами в різних чвертях:

$$\left. \begin{array}{ll} r_1 = A_1 & \text{ПнС} \\ r_2 = 180^\circ - A_2 & \text{ПдС} \\ r_3 = A_3 - 180^\circ & \text{ПдЗ} \\ r_4 = 360^\circ - A_4 & \text{ПнЗ} \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

За цими формулами можна обчислити азимут за допомогою румбів і навпаки.

Як зазначалось раніше, орієнтувати лінії місцевості можна також відносно осьового меридіана зони.

Горизонтальний кут між північним напрямом осьового меридіана зони або напрямом, паралельним до нього, і напрямом певної лінії місцевості називається **дирекційним кутом**. Цей кут відлічують від північного напрямку осьового меридіана за годинниковою стрілкою і він також, як і азимут, змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Нехай  $ПнПд$  (рис. 3.3) - осьовий меридіан зони, а  $Пн'Пд'$  - напрям, паралельний до нього; дирекційний кут лінії  $BC$  у будь-якій точці ( $M, M_1, M_2$ ) дорівнює  $\alpha$ . Отже, на відміну від азимута, дирекційний кут в будь-якій точці заданої лінії є однаковим. З (рис. 3.3) видно, що прямий та зворотний дирекційні кути лінії відрізняються на  $180^\circ$ , тобто

$$\alpha' = \alpha \pm 180^\circ. \quad (3.6)$$

З (рис. 3.2) легко встановити зв'язок між дирекційним кутом та азимутом. Нехай  $Пн_1Пд_1$  і  $Пн_2Пд_2$  – напрями істинних меридіанів у точках  $M_1$  та  $M_2$ . З розрахунку видно:

$$A_1 = \alpha + \gamma. \quad (3.7)$$

$$A_2 = \alpha - \gamma. \quad (3.8)$$

Враховуючи знаки  $\gamma$  на сході та заході від осьового меридіана, можна замість формул (3.7) та (3.8) записати загальну формулу

$$A = \alpha + \gamma. \quad (3.9)$$

Отже, азимути та дирекційні кути відрізняються між собою на зближення меридіанів.

Щоб краще зрозуміти суть азимутів та дирекційних кутів, покажемо ці кути орієнтування для ліній на межах  $6^\circ$  зони. Меридіани в точках  $M_1$  та  $M_2$  (рис. 3.4) на краях зони зобразяться на площині, що сходиться біля полюсів Землі  $P$  та  $P_1$ . Осьовий меридіан матиме вигляд прямої лінії. Пунктирні лінії в точках  $M_1$  і  $M_2$  паралельні до осьового меридіана. У точках  $M_1$  та  $M_2$  азимути будуть відповідно  $A_1 = \alpha + \gamma$  і  $A_2 = \alpha - \gamma$ , тобто визначаються за формулою (3.9) з урахуванням знаків зближення меридіанів. Точка  $M$  розташована на осьовому меридіані зони, де  $\gamma = 0$ . Тому в цій точці азимут і дирекційний кут лінії  $MB$  однакові.

Горизонтальний кут між напрямом ближчого кінця осьового меридіана зони і напрямом лінії місцевості називається **румбом**. Румб – це гострий кут, що змінюється від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Числове значення румба, як і істинного румба, завжди супроводжується назвою чверті, в якій розташована лінія ( $ПнС, ПдС, ПдЗ, ПнЗ$ ) (рис. 3.3). Залежності між дирекційними кутами та румбами ліній такі самі, як і між істинними азимутами та істинними румбами. У будь-якій точці лінії дирекційний кут незмінний, а прямий та



зворотний дирекційні кути відрізняються на  $180^\circ$ . Ці особливості є перевагою орієнтування ліній за дирекційними кутами.

Як відомо, під впливом земного магнетизму вільно встановлена в заданш точці на вертикальній осі магнітна стрілка показуватиме напрям магнітного меридіана в цій точці. Ця властивість магнітної стрілки дає змогу орієнтувати лінії місцевості відносно магнітного меридіана.

Горизонтальний кут між напрямом північного кінця магнітного меридіана і напрямом лінії місцевості називається **магнітним азимутом**. Цей кут відлічується від північного напрямку магнітної стрілки за годинниковою стрілкою і змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

На рис. 3.5 лінія  $Пн_м Пд_м$  – магнітний меридіан,  $A_м$  – магнітний азимут лінії  $BC$  в точці  $M$ ,  $Пн Пд$  – істинний меридіан точки  $M$ ,  $A$  – істинний азимут лінії  $BC$  в точці  $M$ .

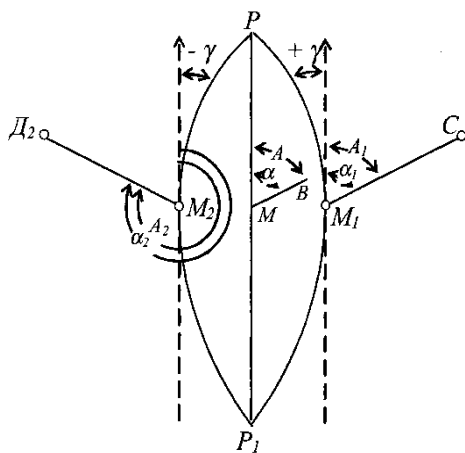


Рис. 3.4. Азимути і дирекційні кути

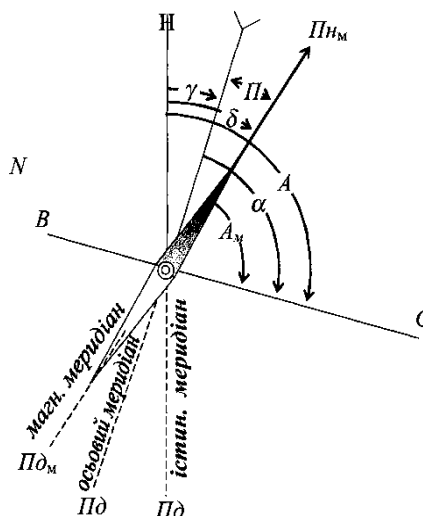


Рис. 3.5. Зв'язок між лініями орієнтування

У будь-якій точці між магнітним та істинним меридіаном виникає кут  $\delta$  (рис. 3.5), що називається **схиленням магнітної стрілки**. Північний кінець магнітної стрілки (магнітний меридіан) може відхилитися від істинного меридіана на схід або захід. Залежно від цього розрізняють східне та західне схилення. Східне прийнято вважати додатним, західне – від'ємним. Знаючи схилення магнітної стрілки у певній точці, можна знайти зв'язок між магнітним азимутом лінії та її істинним азимутом або дирекційним кутом. З (рис. 3.5) видно, що

$$A = A_m + \delta. \quad (3.10)$$

Прирівнюючи праві частини формул (3.9) та (3.10), отримаємо

$$A_m + \delta = \alpha + \gamma. \quad (3.11)$$

Звідси

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma. \quad (3.12)$$

Позначимо

$$\delta - \gamma = П. \quad (3.13)$$

Величину  $\Pi$  називають *загальною поправкою за схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів*. Враховуючи позначення, перепишемо (3.12) так

$$\alpha = A_M + \Pi. \quad (3.14)$$

Зазначимо, що схилення магнітної стрілки постійно змінюється. Розрізняють *річні* та *вікові* зміни схилень. Амплітуда вікового колювання схилення магнітної стрілки становить близько  $22,5^\circ$  протягом 500 років. Крім того, є добові колювання схилення магнітної стрілки з амплітудою близько  $15'$ , а інколи і більше. Тому орієнтувати лінії місцевості за допомогою магнітних азимутів та румбів можна лише наближено. В районах магнітних аномалій орієнтування ліній за допомогою магнітних азимутів та румбів взагалі неможливе. Слід остерігатися впливів на магнітну стрілку ліній електропередач, особливо у міських умовах, та впливу металевих предметів.

### 3.2. Зв'язок дирекційних кутів двох ліній з горизонтальним кутом між ними.

Нехай дві лінії 1-2 і 2-3 утворюють між собою кут  $\beta_{\Pi}$  (рис. 3.6), що лежить справа по ходу. Якщо відомі дирекційний кут сторони 1-2 і горизонтальний кут  $\beta_{\Pi}$ , то можна розрахувати дирекційний кут подальшої сторони  $\alpha_{2-3}$  [10].

Згідно з позначеннями рис. 3.6,

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + x,$$

де

$$x = 180^\circ - \beta_{\Pi}.$$

Тоді

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{\Pi}. \quad (3.15)$$

Якщо відомий горизонтальний кут  $\beta_{\Pi}$ , що лежить ліворуч по ходу то дирекційний кут  $\alpha_{2-3}$  визначиться:

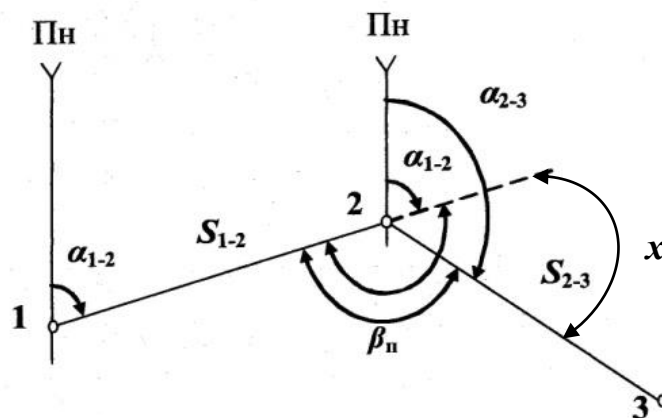


Рис. 3.6. Зв'язок дирекційних кутів двох ліній з горизонтальним кутом між ними.

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + x,$$

де

$$x = \beta_{\text{Л}} - 180^\circ.$$

звідси

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - 180^\circ + \beta_{\text{Л}}. \quad (3.16)$$

Отримані для конкретного випадку формули (3.15) і (3.16) справедливі для визначення дирекційного кута будь-якої подальшої сторони. Тоді для загального випадку можна записати:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_{\text{П}}, \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} - 180^\circ + \beta_{\text{Л}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

т. е. кут дирекції подальшої сторони дорівнює дирекційному куту попередньої сторони плюс (чи мінус)  $180^\circ$  мінус правий (чи плюс лівий) по ходу виміряний горизонтальний кут.

На основі формул (3.15) – (3.17) може бути легко вирішене зворотнє завдання - визначення горизонтального кута (правого або лівого по ходу) між двома сторонами з відомими дирекційними кутами [12, 13]

### 3.3. Пряма геодезична задача

Відомі (рис. 3.7) координати  $X_1, Y_1$  точки 1 дирекційний кут  $\alpha_{1-2}$  напрямку лінії 1-2, горизонтальна проекція (проложення)  $d_{1-2}$  лінії 1-2. Необхідно визначити координата  $X_2, Y_2$  точки 2 [1].

Ця задача розв'язується на горизонтальній площині.

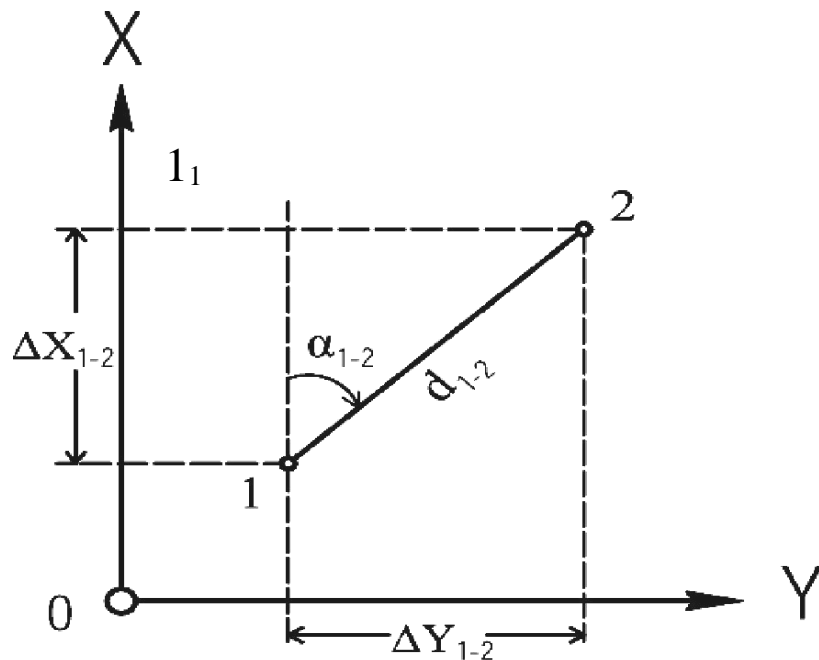


Рис. 3.7. Пряма та зворотня геодезична задачі

Величини  $\Delta X_{1-2}$ ,  $\Delta Y_{1-2}$  – називають приростами координат. Із прямокутного трикутника 11<sub>2</sub>:

$$\Delta X_{1-2} = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2}; \quad (3.18)$$

$$\Delta Y_{1-2} = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2}; \quad (3.19)$$

тоді

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2}; \quad (3.20)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2}. \quad (3.21)$$

### 3.4. Зворотна геодезична задача

Для розв'язання задачі рисунок той же, що і для прямої задачі, але умова задачі така:

- відомі координата точок 1 і 2, тобто  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_2$ ;
- визначити дирекційний кут  $\alpha_{1-2}$  напрямку лінії 1-2 і горизонтальне проложення  $d_{1.2}$  лінії 1-2.

Із того ж прямокутного трикутника 11<sub>2</sub>:

$$\operatorname{tg} \alpha'_{1-2} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{\Delta Y_{1-2}}{\Delta X_{1-2}}, \quad (3.22)$$

де  $\alpha'$  - гострий кут ( величина румба).

У залежності від знаків приростів координат обчислюють величину дирекційного кута.

Якщо:

- 1)  $\Delta Y$  має знак + і  $\Delta X$  теж має знак +, то  $\alpha = \alpha'$ ;
- 2)  $\Delta Y$  має знак + а  $\Delta X$  має знак -, то  $\alpha = 180^\circ - \alpha'$ ;
- 3)  $\Delta Y$  має знак - і  $\Delta X$  теж має знак -, то  $\alpha = 180^\circ + \alpha'$ ;
- 4)  $\Delta Y$  має знак - а  $\Delta X$  має знак +, то  $\alpha = 360^\circ - \alpha'$ ;

Горизонтальне проложення:

$$d_{1-2} = \frac{\Delta Y_{1-2}}{\sin \alpha_{1-2}} = \frac{\Delta X_{1-2}}{\cos \alpha_{1-2}}; \quad (3.23)$$

або

$$d_{1-2} = \sqrt{\Delta X_{1-2}^2 + \Delta Y_{1-2}^2}. \quad (3.24)$$

## Питання для самоконтролю

1. Що значить орієнтувати лінію місцевості і які орієнтують кути ви знаєте?
2. Які напрямки приймаються за вихідні при орієнтуванні ліній?
3. Що називається істинний (географічний) азимутом і в яких межах він змінюється?
4. Що називається магнітним азимутом і в яких межах він змінюється?
5. Що називається дирекційним кутом і в яких межах він змінюється?
6. Що таке зближення меридіанів?
7. Що таке схилення магнітної стрілки?
8. Який зв'язок дирекційного кута з істинним і магнітним азимутами?
9. Що таке румб лінії? Зобразіть румби ліній на рисунку в різних четвертях.
10. Чим відрізняється прямий дирекційний кут лінії від зворотного?
11. Зобразіть на рисунку зв'язок дирекційних кутів з румбами?
12. Який зв'язок дирекційних кутів двох ліній з горизонтальним кутом між ними?
13. Визначити дирекційний кут лінії 3-4, якщо дирекційний кут лінії 1-2  $\alpha_{1-2} = 126^{\circ}35'$ ; лівий по ходу вимірний горизонтальний кут в точці 2  $\beta_{2\text{лів}} = 68^{\circ}48'$ , а  $\beta_{3\text{пр}} = 223^{\circ}15'$  в точці 3. Зобразіть на рисунку.
14. Учому суть прямої геодезичної задачі?
15. Напишіть хід рішення зворотної геодезичної задачі?
16. Осьовий румб лінії ЮЗ:  $55^{\circ}$ . Визначити дирекційний кут?
17. Визначите магнітний азимут лінії, якщо її істинний азимут рівний  $50^{\circ}$ , відхилення магнітної стрілки західне  $5^{\circ}30''$ ?
18. Істинний азимут лінії рівний  $98^{\circ}30''$ , магнітний азимут  $95^{\circ}30''$ . Визначити схилення магнітної стрілки?
19. Визначити дирекційний кут лінії якщо відомі: істинний азимут рівний  $67^{\circ}$ , зближення меридіан  $2^{\circ}30'$  і схилення магнітної стрілки  $0^{\circ}30'$ ?
20. Чим контролюється правильність обчислення дирекційного кута при рішенні зворотної геодезичної задачі?
21. По відомим координатам точки 1 ( $X_1=6\ 750.25$  м,  $U_1=4\ 356.18$ м) лінії 1-2, дирекційному куту цієї лінії  $1250\ 30'$  і її горизонтальному проложенню  $125.87$ м, визначити координати точки 2 ? Зобразіть на рисунку.
22. По відомим координатам точок 3 ( $X_3 = 3\ 567.32$  м,  $U_3 = 2\ 691.94$  м.) та 4 ( $X_4 = 3\ 915.67$  м,  $U_4 = 2\ 009.45$  м.) визначити дирекційний кут лінії 3-4 та горизонтальне проложення між точками ? Зобразіть на рисунку.

## 4. КАРТИ, ПЛАНИ ТА МАСШТАБИ

### 4.1. Поняття про план, карту і профіль

Основним підсумком топографо-геодезических робіт є креслення земної поверхні, що складене за певними правилами і відповідає встановленим вимогам. Такими кресленнями є план, карта і профіль [9].

З приведенного раніше видно, що при зображенні невеликої ділянки земної поверхні (в межах площі круга радіусом до 10 км) частину урівненої поверхні, що відповідає йому, можна прийняти за горизонтальну площину. Отже, при ортогональному проектуванні точок земної поверхні на горизонтальну площину горизонтальні проекції ліній і кутів місцевості будуть отримані без спотворень. Креслення, дає в зменшеному і подібному вигляді зображення горизонтальної проекції невеликої ділянки місцевості, в межах якої кривизна урівненої поверхні не враховується називається *планом*.

На плані можуть зображатися ситуація і рельєф. Ситуацію місцевості складає сукупність контурів і нерухомих місцевих предметів. До рельєфу відносяться нерівності земної поверхні природного походження.

Якщо на плані зображається тільки ситуація, то такий план, називається *ситуаційним або контурним*. Якщо окрім ситуації на плані зображається рельєф, то такий план називається *топографічним*. За планом можна вирішувати різні завдання: вимірювати відстані між точками місцевості, кути, – між заданими напрямками, площі ділянок земної поверхні, визначати відмітки точок, крутизну скатів і т. п. Точність рішення вказаних завдань залежить від масштабу плану.

Маючи топографічний план, можна скласти зображення вертикального розрізу місцевості по заданому напрямку що називається *профілем*. Профіль характеризує рельєф по лінії місцевості. План і профіль служать основними початковими документами при проектуванні і будівництві інженерних споруд.

При зображенні значних територій земної поверхні виникає необхідність обліку кривизни Землі. Зменшене і спотворене із-за кривизни Землі зображення значних територій земної поверхні на площині, побудоване в певній картографічній проекції, називається *картой*. При побудові карти на площини паперу наноситься сітка меридіанів і паралелей, що називається *картографічною сіткою*, яка служить основою для нанесення ситуації місцевості. План і карта є зменшеним зображенням на площині паперу проекцій ділянок місцевості, проте між ними є істотні відмінності:

1. Масштаб в межах плану є величина постійна; на карті масштаб змінюється від точки до точки і по напрямках. Встановлений для цієї карти масштаб дотримується тільки по одному з напрямів (по одному меридіану або паралелі); цей масштаб називається головним. У інших частинах карти масштаби відрізняються від головного і називаються приватними.

2. Карты виконуються в масштабах 1:10 000, 1:50 000, 1:100 000 і дрібніше; плани будуються у більших масштабах: 1:100, 1:500, 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000 і рідше 1:10 000. Залежно від масштабу карти умовно діляться на великомасштабні – от 1:10 000 до 1:100 000, середньомасштабні – від 1:200 000 до 1:1 000 000 і дрібномасштабні – дрібніше 1:1 000 000.

Карты масштабів дрібніше 1:1 000 000 називаються *оглядовими*, а масштабів 1:2 000 000 – 1:1 000 000 – *оглядово-топографічні*; вони складаються по картах більших масштабів. Карты можуть мати різне призначення: політичні, економічні, сільськогосподарські і т.п.–це так звані спеціальні карти.

Великомасштабні карти називаються *топографічними* і складаються за результатами топографічних зйомок територій. Топографічні карти мають багатоцільове призначення і характеризуються детальністю зображення усіх елементів місцевості. Цим вони відрізняються від карт спеціального призначення, на яких особливо виділяється один або декілька елементів (адміністративні, ґрунтові, геологічні і т. п.), тоді як інші елементи представлені схемний або взагалі відсутні.

Для позначення предметів на карті розроблено умовні знаки, які обов'язкові для всіх відомств [17]. А рельєф зображується у вигляді горизонталей [9, 10,].

#### 4.2. Масштаби планів і карт.

Розміри земельних ділянок та їхніх горизонтальних проєкцій на площину занадто великі та їх зображають на папері не в дійсному, а в зменшеному вигляді [9].

Ступінь зменшення горизонтальних проєкцій ліній місцевості при зображенні їх на плані або карті називається *масштабом*. Інакше кажучи, під масштабом розуміють відношення довжини відрізка на плані чи карті до відповідної горизонтальної проєкції цього відрізка на місцевості. Часто масштаб виражають у вигляді простого дроби  $1/M$ . Такий масштаб називається *числовим*. Отже, *числовий масштаб* – це дріб, чисельник якого одиниця, а знаменник – число, що показує, у скільки разів горизонтальні проєкції ліній місцевості зменшені на плані чи карті. Наприклад, масштаб карти 1:5 000 означає, що довжина лінії на плані менша за горизонтальну проєкцію цієї лінії на місцевості у 5 000 разів. Чим більший знаменник  $M$  числового масштабу, тим масштаб дрібніший, і, навпаки, чим менший знаменник  $M$ , тим масштаб більший.

Якщо довжину лінії на карті або плані позначити буквою  $d$ , то їй відповідатиме горизонтальне прокладення лінії на місцевості, довжина якого

$$S = d \cdot M. \quad (4.1)$$

Навпаки, знаючи горизонтальну проєкцію лінії місцевості  $S$ , можна знайти довжину цієї лінії на карті  $d$ , тобто  $d = S/M$ . Як бачимо, переходячи

від карти до місцевості або навпаки, потрібно виконувати обчислення. Якщо обсяги робіт значні, щоб уникнути громіздких обчислень, користуються масштабами, які називаються лінійними та поперечними.

**Лінійний масштаб** – це графічне зображення числового масштабу. Для побудови лінійного масштабу на прямій відкладають послідовно декілька разів відрізок довжиною  $a$ , який називається **основою масштабу**.

Лінійний масштаб з основою  $a = 2$  см називають нормальним. Його підписують відповідно до масштабу карти, для якої він побудований.

Наприклад, для карти масштабу  $1:10\ 000$  (рис. 4.1) основі лінійного масштабу  $a = 2$  см відповідає на місцевості горизонтальна лінія завдовжки 200 м. На кінці першої основи з правого боку ставлять нуль; ліворуч і праворуч від нуля відповідно до масштабу – 100, 200, 400, 600 і т.д. Щоб підвищити точність вимірювання, ліву основу ділять на декілька частин. На (рис. 4.1) таких частин 20; ціна найменшої поділки дорівнює 10 м. Згідно з (рис. 4.1) довжина лінії  $AB = 400$  м + 85 м = 485 м.

Лінійний масштаб у багатьох випадках не дає змоги виміряти віддалі з необхідною точністю. В наведеному прикладі найменша поділка лінійного масштабу відповідає 10 м і частку такої поділки оцінюють на око.

Точніше можна виміряти лінію за допомогою поперечного масштабу. Щоб побудувати його, на відрізку прямої  $CD$  (рис. 4.2) відкладають послідовно декілька разів основу масштабу  $a$ . В отриманих точках будують перпендикуляри до лінії  $CD$ .

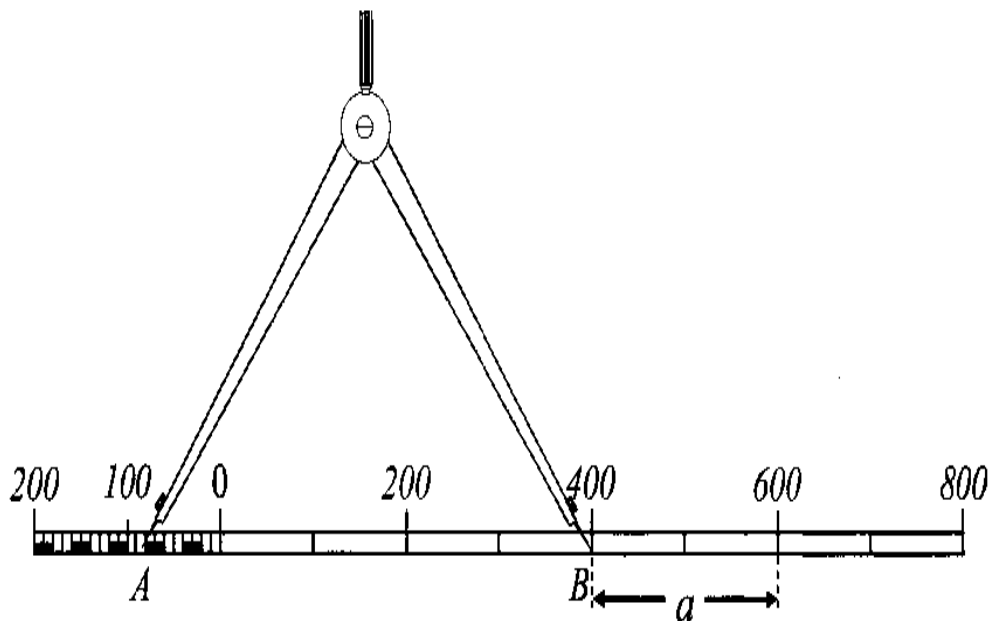


Рис. 4.1. Лінійний масштаб для карти масштабу  $1:10\ 000$

На двох крайніх перпендикулярах відкладають  $m$  рівних відрізків і рівновіддалені від  $CD$  точки на цих перпендикулярах з'єднують лініями,



паралельними до  $CD$ . Основу  $AC$  і  $BE$  ділять на  $n$  рівних відрізків. Нульову точку (позначену  $A$ ) з'єднують з точкою  $F$ . Аналогічно через решту точок проводять похилі лінії, паралельні до  $AF$ , які називають **трансверсальми**.

Визначимо величину найменшої поділки  $F_1E_1$  поперечного масштабу. З подібності трикутників  $AFE$  і  $AF_1E_1$  знайдемо

$$\frac{F_1E_1}{FE} = \frac{AE_1}{AE}. \quad (4.2)$$

$$F_1E_1 = \frac{AE_1 \cdot FE}{AE}. \quad (4.3)$$

За побудовою  $FE = \frac{a}{n}$ ; своєю чергою,  $AE_1 = \frac{AE}{m}$ .

Піставивши значення  $FE$  та  $AE_1$  у формулу (4.3), отримаємо:

$$F_1E_1 = \frac{\frac{a}{n} \cdot \frac{AE}{m}}{AE}. \quad (4.4)$$

Після нескладних перетворень можемо записати

$$F_1E_1 = \frac{a}{m \cdot n}. \quad (4.5)$$

Отже, найменша поділка  $F_1E_1$  при  $m = n = 10$  дорівнюватиме 0,01 основи  $a$ .

$$F_1E_1 = \frac{a}{100}. \quad (4.6)$$

Такий поперечний масштаб називають **сотенним масштабом**.

Аналогічно  $F_2E_2 = 0,02 a$ ,  $F_3E_3 = 0,03a$ , ...,  $F_nE_n = 0,10 a$ , тобто кожний наступний відрізок відрізняється від попереднього на 0,01 основи масштабу.

В масштабі 1:10 000 основі поперечного масштабу відповідає 200 м, а найменшій поділці – 2 м. На лінійному масштабі було, відповідно, 10м. Якщо на карті за допомогою поперечного масштабу необхідно знайти довжину горизонтальної проекції лінії на місцевості, то одну голку циркуля-вимірника встановлюють на початку, а другу - на кінці лінії на карті. Далі циркуль-вимірник ставлять на поперечний масштаб так, щоб його одна голка потрапила на один з перпендикулярів праворуч від нуля, а друга – на трансверсаль. Обидві голки повинні розміщуватися на одній горизонтальній лінії (лінія  $P_1Q_1$  на рис. 4.2) або посередині між горизонтальними лініями (лінія  $PQ$ ). Аналогічно можна розв'язати обернену задачу, тобто за допомогою поперечного масштабу та циркуля-вимірника відому горизонтальну лінію місцевості переносити (відкладати) на карту або план.

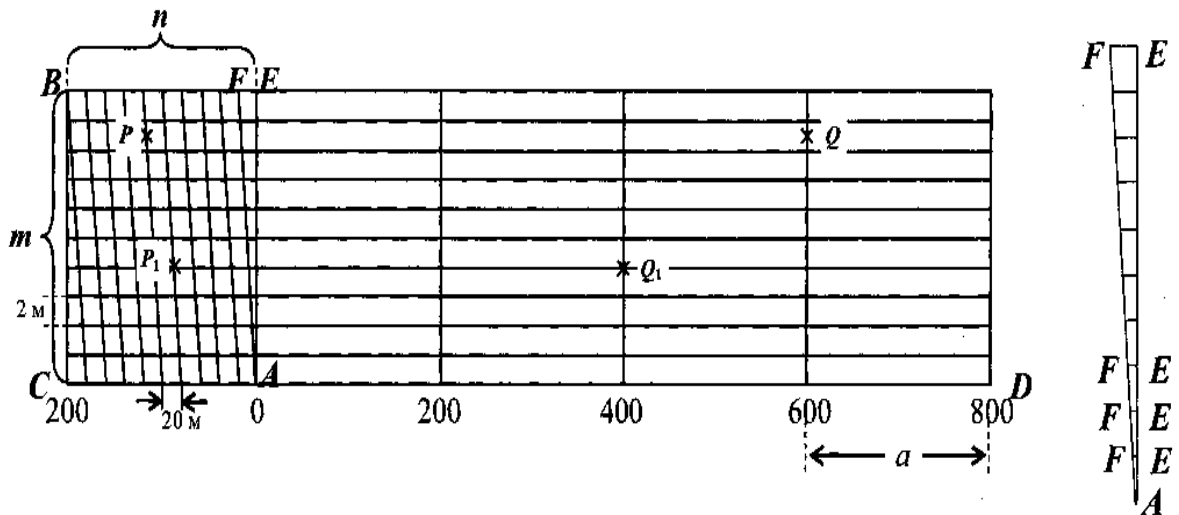


Рис. 4.2. Поперечний масштаб для карти масштабу 1:10 000

Визначимо довжини горизонтальних проєкцій лінії місцевості, яким на карті відповідають відрізки  $P_1Q_1$  і  $PQ$  (рис. 4.2). Приклад взято з [9].

$$P_1Q_1 = 400 \text{ м} + 20 \text{ м} \times 4 + 2 \text{ м} \times 4 = 488 \text{ м},$$

$$PQ = 600 \text{ м} + 20 \text{ м} \times 5 + 2 \text{ м} \times 8,5 = 717 \text{ м}.$$

Навпаки, маючи горизонтальні проєкції довжин на місцевості, наприклад, ці самі 488 м або 717 м, можна відкласти відповідні їм відрізки на карті. Важливо, що під час розв'язання прямих та обернених задач практично ніяких обчислень виконувати не треба.

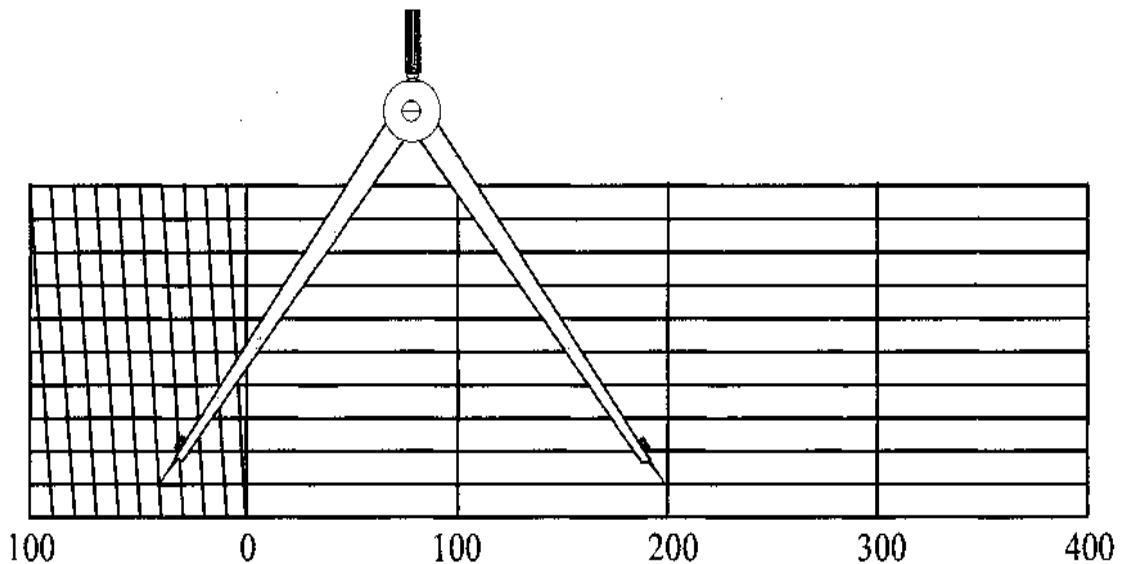


Рис. 4.3. Відкладання відрізка завдовжки 241 м

Для наочності на (рис. 4.3) показано, як за допомогою нормального поперечного сотенного масштабу для карти масштабу 1:5 000 та циркуля-

вимірника знаходять відрізок на карті, якому на місцевості відповідає горизонтальна лінія завдовжки 241 м .

### 4.3. Точність масштабу. Точність вимірювання ліній на карті або плані

На плані чи карті неозброєним оком можна побачити точку, діаметр якої не менший, ніж 0,1 мм. Такий найменший отвір в папері робить голка циркуля – вимірника. Отже, *точністю масштабу* називають горизонтальний відрізок на місцевості, якому відповідає 0,1 мм на плані чи карті цього масштабу. Наприклад, точність масштабу 1:10 000 становить 1м, тому що віддали 0,1 мм на карті відповідає віддаль 1м на місцевості [9, 10].

Поняття точності масштабу є одним з найважливіших в топографії. Адже, тільки знаючи точність масштабу карти, можна визначити, які предмети місцевості можна буде зобразити на ній у вигляді подібної фігури, які – у вигляді точки, а які зовсім неможливо зобразити.

Плани та карти викреслюють в умовних знаках для вибраного масштабу. Умовні знаки прийнято поділяти на масштабні (контурні), напівмасштабні (лінійні), позамасштабні та пояснювальні (допоміжні).

*Масштабними* називаються умовні знаки, якими відображають предмети місцевості з дотриманням їхніх розмірів. Наприклад: ліси, луки, озера, сади, чагарники, рідколісся тощо.

Лінійні об'єкти (дороги, ЛЕП, лінії зв'язку) зображають на планах і картах *напівмасштабними* умовними знаками, тобто лише їхня довжина виражається в масштабі плану чи карти.

Предмети місцевості, які не можна виразити в масштабі плану чи карта через невеликі розміри, зображають *позамасштабними* умовними знаками. Наприклад: колодязі, окремі дерева, пам'ятники, пункти Державної геодезичної мережі.

Написи на картах, пояснення, характеристики об'єктів (мостів, доріг, річок тощо) належать до категорії *пояснювальних* умовних знаків.

Не менш важлива і обернена задача: в якому масштабі слід складати план, щоб певні предмети обов'язково були відображені зі збереженням їхньої подібності?

Нехай потрібно побудувати карту, на якій були б відображені елементи ситуації, розміри яких не менші за 2 м. Щоб визначити масштаб такої карти, приймемо, що точність масштабу – 2 м. Тоді 0,1мм відповідатиме 2 м; 1 мм – 20 м; 1 см – 200 м. Отже, масштаб карта повинен бути 1:20 000.

Точністю масштабу пов'язана і точність вимірювання ліній на планах і картах. Найменший відрізок, який видно неозброєним оком, дорівнює 0,2 мм. Такий самий розмір має найменша поділка нормального поперечного масштабу. Тому цей масштаб найдоцільніший.

Хоча голки циркуля-вимірника можна встановлювати і всередині між паралельними лініями поперечного масштабу, це ще не означає, що можна вимірювати лінії нормальним поперечним масштабом з точністю 0,1 мм. Пояснимо чому.

По-перше, поперечні масштаби будують звичайно на металі (часто на бронзі) і всі лінії прорізають на металі у вигляді канавок, ширина яких не менша за 0,1мм. Коли голки циркуля-вимірника потрапляють у такі канавки, то їхні вістря можна рухати вздовж канавок, як мінімум на половину віддалі між паралельними лініями поперечного масштабу, не змінюючи віддалі між вістрями голок. Зрозуміло, що під час такого переміщення голок віддалі між перпендикулярами та трансверсальями зміняться приблизно на 0,1 мм.

Подруге, зауважимо, що під час вимірювань на карті спочатку встановлюють голку циркуля-вимірника на кінцях відрізка на папері, а потім переносять цей відрізок на поперечний масштаб. Це збільшує похибки графічних вимірів.

Отже, 0,2 мм є реальною графічною точністю як вимірювання, так і відкладання ліній на папері. Гранична похибка (більшою за яку є груба похибка) прийнята вдвічі більшою. Відносна графічна похибка відкладання або вимірювання на плані чи карті відрізків завдовжки 5–10см становить відповідно 1/250 – 1/500. Гранична – 1/125 – 1/250. Точнішими є цифрові електронні карти [9].

#### 4.4. Номенклатура та розграфлення карт і планів

**Номенклатура** – це умовне буквено-цифрове позначення аркушів карт та планів певних масштабів, яке дає змогу визначати положення на земній кулі тієї частини території, що зображена на цих аркушах [9, 10].

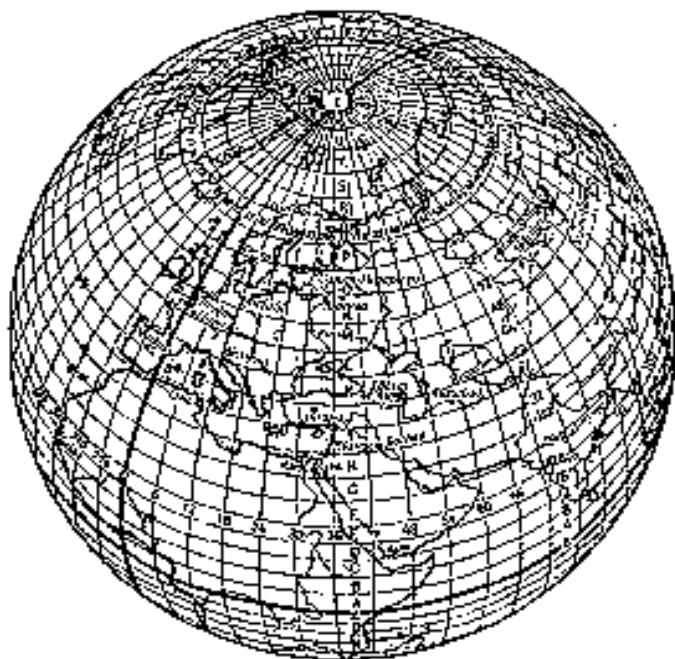


Рис. 4.4. Ділення земної кулі на листи карт масштабу 1:1 000 000

**Розграфлення** – система поділу карт на окремі аркуші (трапеції).

Основою розграфлення та номенклатури топографічних карт є аркуш карти масштабу 1:1 000 000. Правила складання цієї карти та розроблено на Лондонській міжнародній географічній конференції в 1909 р. та доповнено на Паризькій міжнародній географічній конференції в 1919 р. Щоб отримати аркуш карти 1:1 000 000, земну кулю ділять паралелями і меридіанами на частини. Поділивши поверхню Землі паралелями через 4°, отримують ряди або пояси (рис. 4.4), які позначають великими літерами латинського алфавіту від А до V, починаючи від екватора на північ та південь. Порядковий номер

літери в латинському алфавіті є номером ряду. Ряд, позначений буквою *V*, є останнім і його номер за порядком – 22. Широта паралелі, що відділяє цей ряд від екватора, –  $88^\circ$ . Сегмент біля полюса, обмежений паралеллю  $88^\circ$ , позначається буквою *Z*.

Поділивши поверхню земної кулі меридіанами через  $6^\circ$ , одержують колони, які нумерують арабськими цифрами від 1 до 60, починаючи від меридіана з довготою  $180^\circ$  в напрямку на схід, тобто проти ходу годинникової стрілки. Отже, уся поверхня Землі поділена на сферичні трапеції з розмірами сторін по широті  $\Delta\varphi = 4^\circ$  і по довготі  $\Delta\lambda = 6^\circ$ , які і є аркушами карт масштабу 1:1 000 000. Щоб знайти положення деякої трапеції масштабу 1:1 000 000, вказують букву ряду і номер колони, які її утворюють, наприклад, *M* – 36 (рис. 4.5). Саме таке позначення трапеції називається номенклатурою.

Оскільки карта 1:1 000 000 є міжнародною, то і така географічна мережа меридіанів та паралелей називається міжнародним розграфленням. Коли відома номенклатура карти масштабу 1:1 000 000, то можна знайти географічні координати вершин цієї трапеції. Навпаки, знаючи координати вершин трапеції, можна знайти її номенклатуру. При цьому в північній півкулі перед буквою, що позначає ряд, ставлять букву *N*, в південній – букву *S*. Тоді трапеція *M* – 36 матиме для північної півкулі номенклатуру *NM* – 36, для південної – *SM* – 36. Оскільки вся територія України розміщена в північній півкулі, то букви *N* або *S* не пишуть і кінцева номенклатура в якому му знаходиться Київ буде *M* – 36.

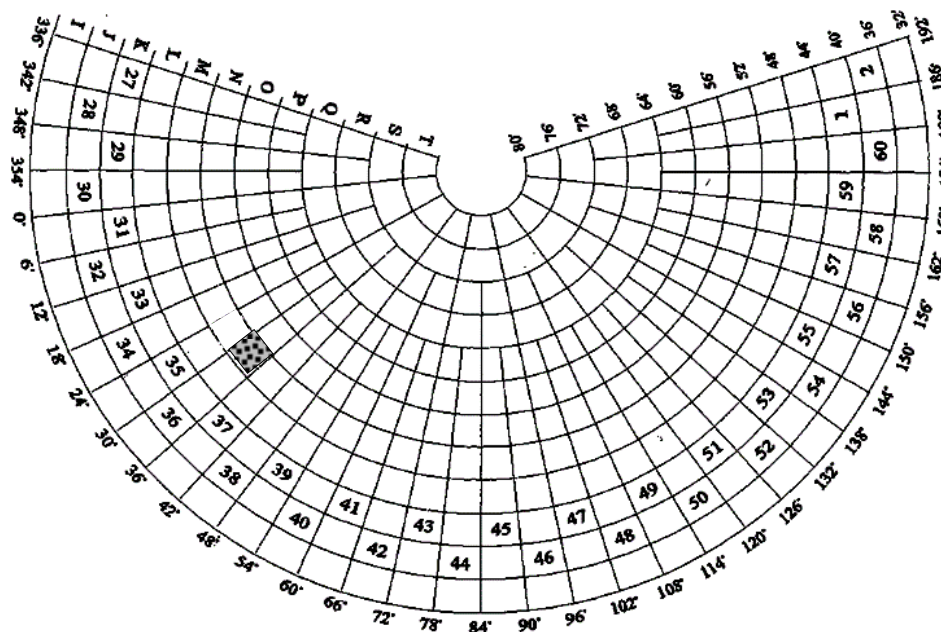


Рис. 4.5. Розграфлення аркушів карт масштабу 1:1 000 000

Щоб отримати аркуші карт більших масштабів, аркуш карта масштабу 1:1 000 000 ділять на частини. Один аркуш карти масштабу 1:1 000 000

(рис. 4.6) ділять на 4 аркуші карти масштабу 1:500 000 і позначають великими буквами А, Б, В, Г, які приєднуються до номенклатури аркуша карти 1:1 000 000.

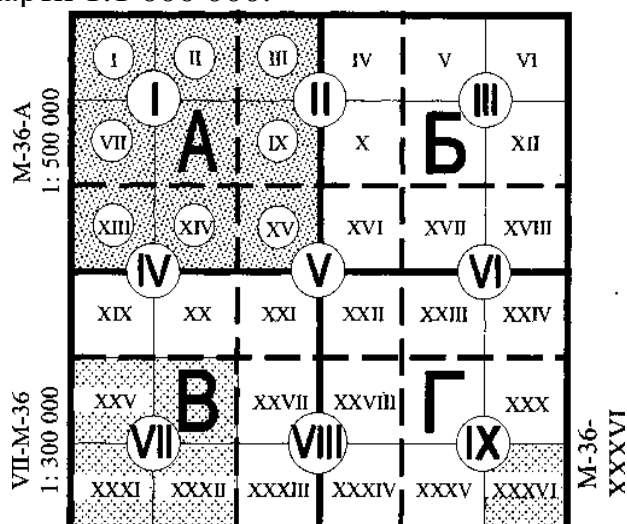


Рис. 4.6.. Схема поділу аркуша карти масштабу 1:1 000 000 на аркуші карт масштабів 1:500 000 1: 300 000, 1:200 000 їхня нумерація та написання номенклатури

Розграфлення аркушів карт масштабів 1:300 000, 1:200 000 отримують, поділивши карти масштабу 1:1 000 000 паралелями та мерідианами на 9 та 36 частин відповідно. Аркуші карти масштабу 1:300000 позначають римськими цифрами I,II,...,IX, які пишуть перед номенклатурою аркуша карти масштабу 1:1 000 000, наприклад, VI – М – 36; аркуші карти масштабу 1:200 000 позначають римськими цифрами I,II,...,XXXVI, які вказують після номенклатури аркуша 1:1 000 000, наприклад, М – 36 – XXII.

Таблиця 4.1

**Номенклатура та розміри рамок трапецій аркушів карт масштабів 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000, 1:100 000**

Масштаб карти	Кількість аркушів карт наведених масштабів в одному аркуші карти масштабу 1:1 000 000	Номенклатура останнього аркуша карти	Розмір рамки	
			за широтою	за довготою
1:1 000 000	-	М - 36	4°00'	6°00'
1:500 000	4 (А, Б, В, Г)	М – 36 - Г	2°00'	3°00'
1:300 000	9 (I,II,...,IX)	IX – М - 36	1°20'	2°00'
1:200 000	36 (I,II,...,XXXIV)	М – 36 - XXXIV	0°40'	1°00'
1:100 000	144 (1,2,..., 144)	М – 36 - 144	0°20'	0°30'

Аркуш карти масштабу 1:1 000 000 поділяють на 144 (12x12) аркуші карт масштабу 1:100 000 і позначають арабськими цифрами 1,2,...,144, які записують також після номенклатури аркуша карти 1:1 000 000.

Розграфлення аркуша карти масштабу 1:1 000 000 на аркуші карт більших масштабів, а саме 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000, 1:100 000 подано в табл. 4.1 [16].

Послідовність розграфлення аркуша карти масштабу 1:100 000 на аркуші карт більших масштабів наведено в табл. 4.2 [16].

Таблиця 4.2

**Номенклатура та розміри рамок трапецій аркушів карт масштабів 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000**

Масштаб карти	Кількість аркушів карт в одному аркуші карти попереднього масштабу	Номенклатура останнього аркуша карти	Розмір рамки	
			за широтою	за довготою
1:100 000		<i>M - 36 - 144</i>	0°20'00"	0°30'00"
1:50 000	4 ( <i>A, B, B, Г</i> )	<i>M-36-144-Г</i>	0°10'00"	0°15'00"
1:25 000	4 ( <i>a, б, в, г</i> )	<i>M-36-144-Г-г</i>	0°05'00"	0°07'30"
1:10 000	4 (1, 2, 3, 4)	<i>M - 36-144 - Г-г-4</i>	0°02'30"	0°03'45"

Аркуш карти масштабу 1:100 000 є основою для розграфлення і номенклатури аркушів карт більших масштабів. Одному аркушу карти масштабу 1:100 000 відповідає 4 аркуші карти масштабу 1:50 000, які позначають великими буквами *A, B, B, Г* і дописують їх до номенклатури аркуша карти 1:100 000.

Одному аркушу карти масштабу 1:50 000 відповідають чотири аркуші карт масштабу 1:25 000, які позначаються малими буквами *a, б, в, г*, що дописують до номенклатури аркуша карти масштабу 1:50 000. Нарешті аркуш карти масштабу 1:25 000 поділяють на чотири аркуші карти масштабу 1:10 000. Їх нумерують арабськими цифрами 1, 2, 3, 4, які дописують до номенклатури аркуша карти масштабу 1:25 000.

Основою для розграфлення аркушів карт масштабів 1:5 000 і 1:2 000 також є аркуш карти масштабу 1:100 000. Одному аркушу карти масштабу 1:100 000 відповідає 256 (16×16) аркушів карт масштабу 1:5 000, які позначають цифрами 1,2,3, ..., 256 і дописують в дужках до номенклатури аркуша карти масштабу 1:100 000. Одному аркушу карти масштабу 1:5 000 відповідає дев'ять аркушів карти масштабу 1:2 000, які позначають малими буквами *a, б, в, г, д, в, ж, з, и*.

Зауважимо, що карти масштабу 1:5 000 можна також отримати, розділивши карту масштабу 1:10 000 на чотири частини. Послідовність розграфлення та номенклатуру аркушів карт масштабів 1:5 000 та 1:2 000 наведено в табл. 4.3 [16].

З вищесказаного зрозуміло, що, знаючи номенклатуру будь-якого аркуша карти, можна знайти широта і довготи кутів рамок трапецій.

Для планів міст, населених пунктів та ділянок, площа яких менша за 20 км<sup>2</sup>, як правило, а для масштабів 1:1 000 і 1:500 завжди застосовують прямо-

Таблиця.4.3

### Номенклатура та розміри рамок трапецій аркушів карт масштабів 1:5000, 1:2000

Масштаб карти	Кількість аркушів карт в одному аркуші карти попереднього масштабу	Номенклатура останнього аркуша карти	Розмір рамки	
			за широтою	за довготою
1:100 000		<i>M</i> – 36 – 144	0°20'00"	0°30'00'
1:5 000	256 (1,2,...,256)	<i>M</i> – 36 – 144 – (256)	0°01'15"	0° 01'52,5"
1:2 000	9 ( <i>а, б, в, г, д, е, ж, з, и</i> )	<i>M</i> – 36 – 144 – (25 <i>б</i> – <i>и</i> )	0°00'25"	0°00'37,5"

кутне розграфлення з розміром рамок для масштабу 1:5 000 – 40×40 см, для масштабів 1:2 000, 1:1 000 і 1:500 – 50×50 см. У такому разі за основу розграфлення приймають аркуш карти масштабу 1:5 000, номенклатура якого позначається арабською цифрою. Такому аркушу відповідають чотири аркуші масштабу 1:2 000. Кожний з них позначають, додавши до номера масштабу 1:5 000 одну з перших великих букв кирилиці (*А, Б, В, Г*), наприклад, 5-*Б*.

Аркушу карти масштабу 1:2 000 відповідають чотири аркуші карти масштабу 1:1 000, які позначають римськими цифрами (*I, II, III, IV*) і 16 аркушів карт масштабу 1:500, які позначають арабськими цифрами (1, 2, 3, ..., 16).

На (рис. 4.4) наведено розграфлення та номенклатури прямокутних аркушів планів масштабів 1:2 000, 1:1 000, 1:500. Арабська цифра «5» на рис. 4.4 означає порядковий номер трапеції масштабу 1:5 000. Номерів може

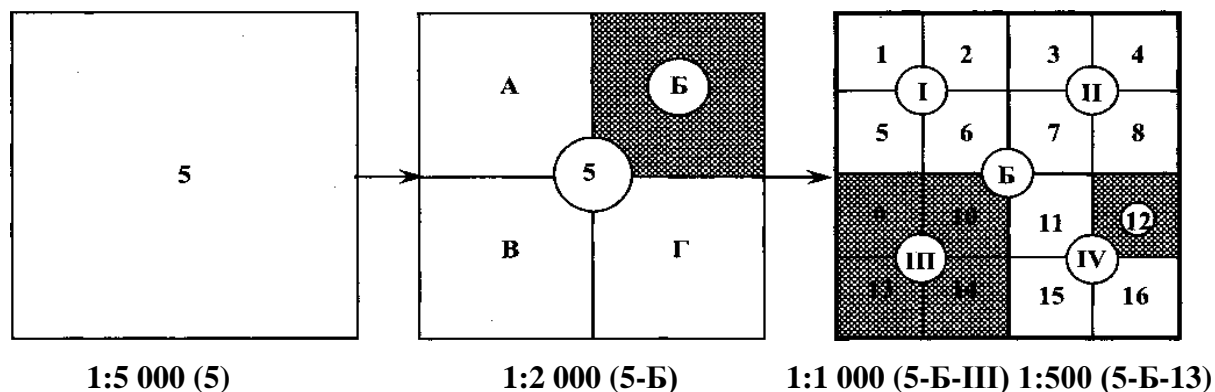


Рис. 4.4. Поділ аркуша карти масштабу 1:5 000 з номенклатурою (5) на аркуші карт більших масштабів та визначення їхньої номенклатури



бути стільки, скільки таких трапецій на ділянці робіт. На рис. 4.4 вказано масштаби і в дужках номенклатури заштрихованих аркушів карт.

У системі топографо-геодезичної служби України прийнято такі масштаби топографічних карт: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. Які були розглянули вище.

Для топографічних карт масштабів 1:10 000 і дрібніших різниця довгот суміжних меридіанів зони прийнята саме  $6^\circ$ . Отже, поверхню Землі поділяють на 60 зон. Межі зон збігаються з межами колон в міжнародному розграфленні аркушів карт масштабу 1:1 000 000. Це означає, що кожна зона вміщує відповідну колону трапецій карт масштабу 1:1 000 000. Нумерують зони від Гринвіцького меридіана у напрямку на схід. Тобто номер зони та номер колони завжди відрізняються на 30. Середній меридіан у кожній зоні приймають за вісь абсцис плоскої прямокутної системи координат і тому цей меридіан називається осьовим. Довготу осьового меридіана  $L_0$  шестиградусної зони обчислюють за формулою

$$L_0 = 6^\circ n - 3^\circ, \quad (4.7)$$

де  $n$  – номер зони.

Тоді довготи осьових меридіанів дорівнюватимуть:  $3^\circ, 9^\circ, 15^\circ$  і т.д. Кожна зона від осьового меридіана має по довготі  $3^\circ$  на схід і  $3^\circ$  на захід.

Нехай потрібно знайти геодезичні координати кутів рамки трапеції з номенклатурою, наприклад,  $M-36$  (рис. 4.5). Порядковий номер букви  $M$  у

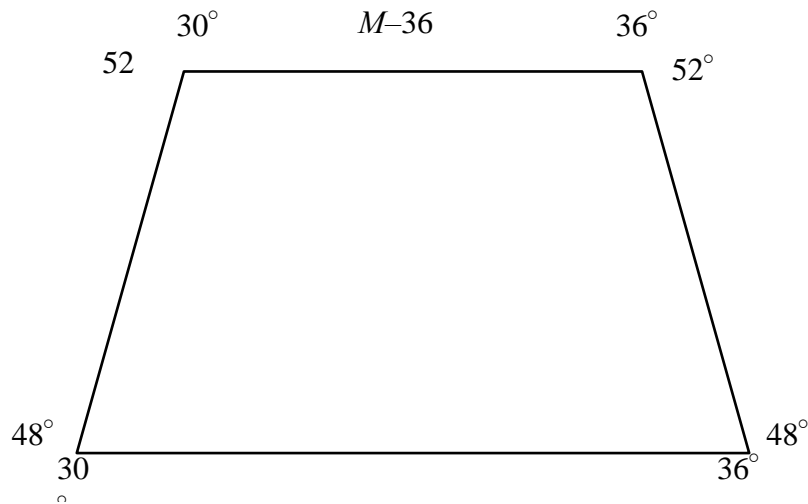


Рис. 4.5. Геодезичні координати кутів аркуша карти масштабу 1:1 000 000 з номенклатурою  $M-36$

латинському алфавіті 13, тому широта паралелі, що обмежує трапецію з півночі, буде  $B_{Пн} = 13 \cdot 4^\circ = 52^\circ$ . Широта південної паралелі  $B_{Пд} = 52^\circ - 4^\circ = 48^\circ$ .

Номер колони цієї трапеції  $M_k = 36$ . Номер зони цієї трапеції знайдемо за формулою

$$N_{\dot{z}_3} = N_{\dot{z}_K} \pm 30. \quad (4.8)$$

Отже,  $N_{\dot{z}_3} = 36 - 30 = 6$ . Довгота східного меридіана трапеції з номенклатурою Тоді довгота західного меридіана трапеції:

$$L_3 = L_c - 6^\circ = 36^\circ - 6^\circ = 30^\circ.$$

Знаючи геодезичні координати кутів рамки трапеції, за формулами  $X = f_1(B, L), Y = f_2(B, L)$  обчислюють прямокутні координати її кутів. Є спеціальні таблиці, якими користуються, визначаючи прямокутні координати.

Для планів масштабу 1:5 000 і більших масштабів такі спотворення перевищують похибки графічних побудов. Тому для великомасштабних планів за

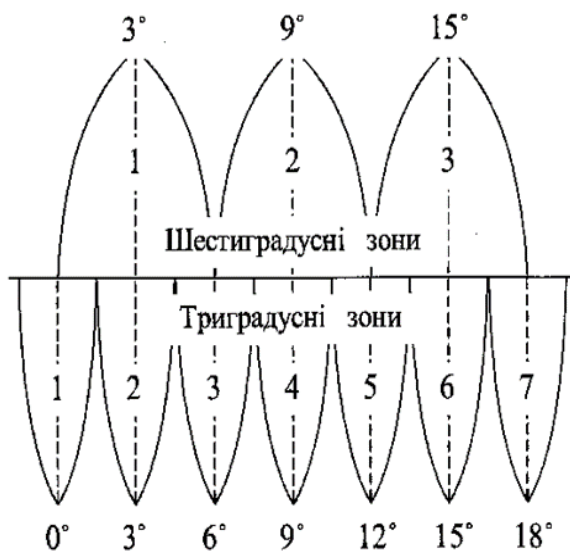


Рис. 4.6. Номери зон та довготи їхніх осьових меридіанів

стосовують аналогічну зональну проекцію Гаусса-Крюгера, але з триградусними зонами.

Довготу  $L_0$  осьового меридіана триградусної зони знаходять за формулою

$$L_0 = 3^\circ (n' - 1), \quad (4.9)$$

де  $n'$  – номер триградусної зони.

У табл. 4.4 наведено номери шести - і триградусних зон, які покривають територію України.

Знаючи номер шестиградусної зони, можна знайти номер триградусної. Для цього звернемо увагу на те, що осьові меридіани парних

номерів триградусних зон збігаються з осьовими меридіанами шестиградусних зон (див. рис. 4.6). Для цих парних номерів можна знайти номер триградусної зони на підставі формули (4.9). Розв'язавши її відносно  $n'$ , матимемо

$$n' = \frac{L_0}{3^\circ} + 1. \quad (4.10)$$

Так, нехай номер шестиградусної зони  $n = 6$ ; осьовий меридіан цієї зони відповідно формули (4.9) дорівнює  $L_0 = 6 \times 6^\circ - 3^\circ = 33$ . Тоді номер триградусної зони буде

$$n' = \frac{33^\circ}{3^\circ} + 1 = 12. \quad (4.11)$$

Зауважимо також, що з рис.4.6 номер непарних триградусних зон  $n'$  можна знайти за формулою

$$n' = 2n \pm 1, \quad (4.12)$$

Зрозуміло, що в проекції Гаусса-Крюгера можна з'єднати усі аркуші карт того самого масштабу, що відображають одну зону, а це значні території. Однак між суміжними зонами, які дотикаються тільки в одній точці – на екваторі будуть розриви [9].

Таблиця 4.4

**Довготи осьових меридіанів, колон та зон межах яких розташована територія України**

Шестиградусні зони			Триградусні зони	
№ колони карти масштабу 1:1 000 000	№ зони (n <sup>6°</sup> )	Довгота осьового меридіан, L <sub>0</sub>	№ зони (n <sup>3°</sup> )	Довгота осьового меридіана, L <sub>0</sub>
			7	18°
34	4	21°	8	21°
			9	24°
35	5	27°	10	27°
			11	30°
36	6	33°	12	33°
			13	36°
37	7	39°	14	39°
			15	42°

Тому, географічно зображаючи усю земну кулю або півкулю, цю проекцію не застосовують. Це, однак, не зменшує цінності проекції Гаусса-Крюгера тому, що вона: по-перше, наближує карту до плану; по-друге, дає змогу вибрати систему прямокутних координат для усієї поверхні Землі з одним початком координат для кожної зони; по-третє, забезпечує простий перехід від сферичних координат до плоских або навпаки – від плоских до сферичних.

### Питання для самоконтролю

1. Що називається топографічним планом?
2. Які плани ви знаєте?
3. Що називається топографічною картою?
4. Що називається профілем?
5. У чому відмінності карти від плану?
6. Залежно від масштабу карти умовно діляться на?
7. Що називається масштабом?
8. Які масштаби ви знаєте?
9. Що називається точністю масштабу?
10. Побудувати лінійний масштаб для чисельного масштабу 1: 1 000.
11. Умовні знаки прийнято поділяти на?
12. Що називається номенклатурою карт та планів?
13. Що таке розграфлення карт?
14. Що є основою розграфлення та номенклатури топографічних карт?
15. Суть міжнародної розграфки карт масштабу 1: 1 000 000?
16. Як ділиться земна куля для здобуття одного аркуша карти масштабу 1:1 000 000?
17. С чого складається номенклатура аркуша карти масштабу 1:1 000 000?

## 5. РЕЛЬЄФ МІСЦЕВОСТІ ТА ЙОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ ТА ПЛАНАХ

### 5.1. Абсолютні та умовні висоти. Перевищення. Геодезичні висоти

*Рельєфом* називається сукупність нерівностей місцевості. Найважливішими параметрами рельєфу є висоти точок і перевищення. Зображаючи рельєф на планах та картах, спочатку треба знайти висоти точок місцевості та перевищення [9].

На рис. 5.1 показана частина фізичної поверхні Землі та поверхня рівня моря у спокійному стані, уявно продовжена під фізичною поверхнею Землі. Цю поверхню називають рівневою поверхнею (*геоїдом*). На рисунку також наведено частину еліпсоїда. Рівневу поверхню океанів і морів приймають за нуль абсолютних висот (точка  $O$ ).

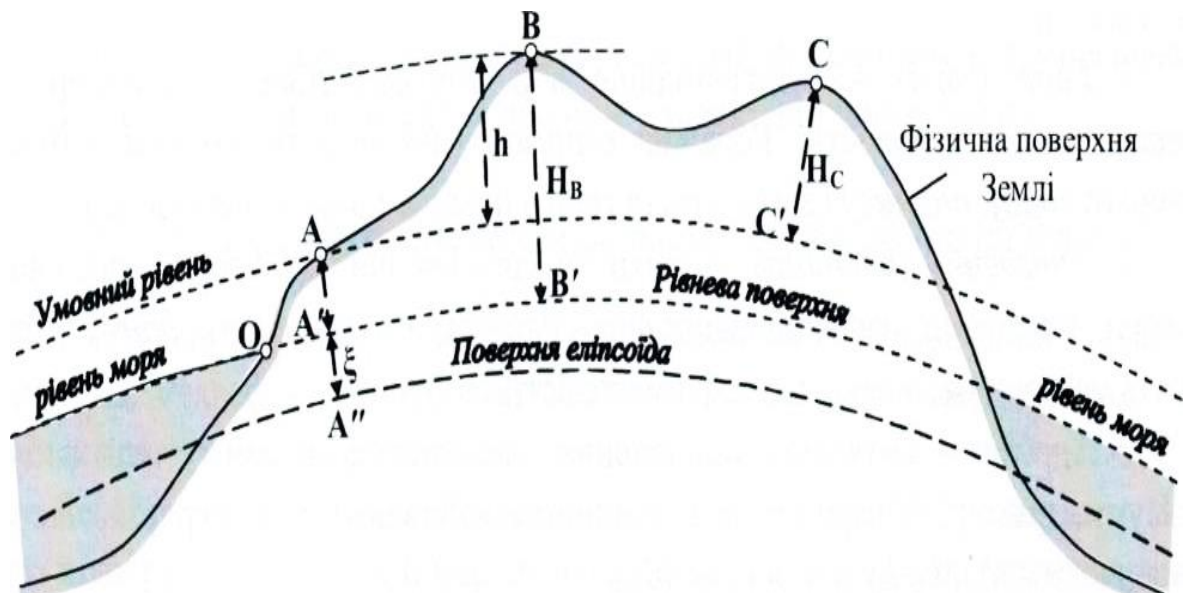


Рис. 5.1. Абсолютні та умовні висоти, геодезичні висоти, перевищення

**Абсолютна висота** точки  $A$  місцевості – це прямовисний відрізок  $AA'$  від цієї точки на поверхні Землі до точки  $A'$  на рівневій поверхні.

Аналогічно абсолютною висотою точки  $B$  є прямовисний відрізок  $BB'$ .

Точка  $B$  розташована вище від точки  $A$  на величину прямовисного відрізка, позначеного на рис. 5.1 буквою  $h$ . Це і є перевищення між точками  $A$  і  $B$ . Отже, **перевищення** між двома точками – це відстань по прямовисній лінії між рівневими поверхнями, що проведені через ці точки, тобто перевищення – це різниця висот цих точок. Зауважимо, що рівневих поверхонь можна провести безліч. На рис. 5.1 показано рівневі поверхні точок  $A$  і  $B$ .

Інколи цю чи будь-яку іншу рівневу поверхню умовно приймають за нуль висот. Тоді висоти точок відносно цієї поверхні називаються **умовними висотами**. На (рис. 5.1) прямовисний відрізок  $CC'$  який дорівнює  $H_C$ , є умовною висотою точки  $C$ .

У геодезії часто використовують **геодезичні висоти**. Це висоти не над середнім рівнем океану, а над поверхнею еліпсоїда. Отже, геодезичною висотою точки  $A$  буде відрізок  $AA''$ , який дорівнює

$$H_{\Gamma} = H_A + \zeta, \quad (5.1)$$

де  $\zeta$  - висота геоїда над еліпсоїдом.

## 5.2. Основні форми рельєфу

При всій великій, на перший погляд, дуже різноманітні нерівності поверхні Землі, можна виділити тільки п'ять основних форм рельєфу (рис. 5.2) [9]:

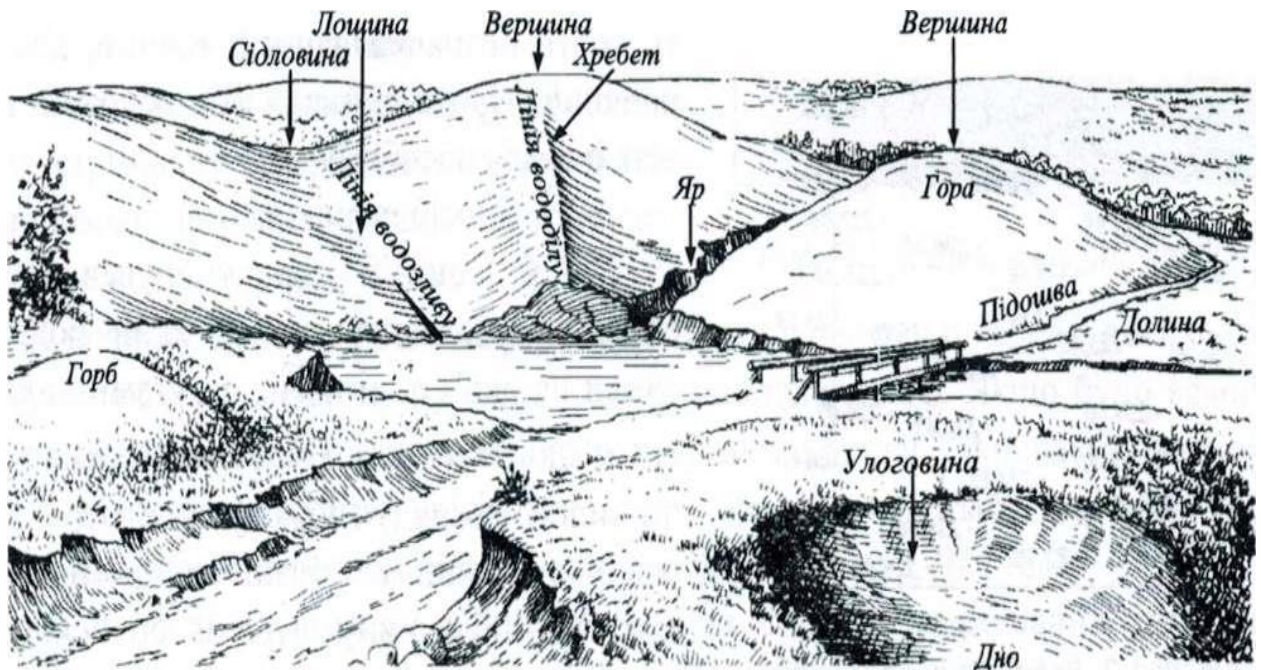


Рис. 5.2. Основні форми рельєфу

1. **Гора (горб)** – куполоподібне або конусоподібне підвищення над навколишньою місцевістю. Гора має **вершину** (найвища точка), **схили** (бокові поверхні гори), **підощву** (лінію злиття гори з навколишньою місцевістю).

2. **Улоговина (впадина)** – зімкнуте заглиблення. Це форма, протилежна до гори. Улоговина має відповідно: **дно** – найнижча точка, **схили**, **брівку** – лінію злиття улоговини з навколишньою місцевістю.

3. **Хребет** – витягнуте підвищення, яке поступово знижується в будь-якому напрямку. У хребта два схили, що зливаються у верхній частині, створюючи **вододільну лінію (вододіл)**.

4. **Лощина** – жолобоподібне заглиблення з пониженням в один бік. Це – форма, протилежна до хребта. Два схили лощини зливаються в її найнижчій

частині, створюючи *водозливну лінію (тальвег)*. По тальвегу зазвичай стікає вода, що потрапляє на схили.

Різновиди лощини – *долина* та *яр*. *Долина* – широка лощина з пологими, задернованими схилами. Посередині долини, як правило, тече річка або струмок. *Яр* – вузька лощина з крутими, оголеними, без трави, схилами.

Схили долини часто мають горизонтальні або з невеликим ухилом ділянки, які називаються *терасами*.

Початковий етап розвитку яру – *промоїна*. Яри, зарослі чагарником, травою, називають *балками*.

1 *Сідловина* – це місце, що утворюється у результаті злиття схилів двох сусідніх гір або вододілів двох сусідніх хребтів. У гірській місцевості через сідловини звичайно пролягають дороги або пішохідні стежки. Тому сідловини в горах називають *перевалами*. Від сідловини беруть початок дві лощини, які розходяться в протилежні напрямки. Дном називають найнижчу точку сідловини.

Вододіл хребта та водозлив лощини – характерні лінії рельєфу.

### 5.3. Зображення рельєфу на планах та картах горизонталями.

#### Властивості горизонталей

Зображення рельєфу на планах та картах є надзвичайно складним завданням. Рельєф – просторовий об'єкт, і його, як правило, розглядають в перспективі, тоді як зображають на площині [11].

Рельєф місцевості – найважливіший елемент топографічних карт. Точності відображення земної поверхні на топографічній карті для проектування і будівництва усіх видів споруд надають особливого значення. Тому не випадково розроблено цілу низку способів зображення рельєфу на планах та картах.

Розглянемо спосіб зображення рельєфу горизонталями.

*Горизонталь* – зімкнута крива лінія (ізолінія), що з'єднує точки земної поверхні з однаковими висотами.

Для унаочнення геометричної сугі горизонталей уявимо озеро, всередині якого є невеликий конусоподібний острів (рис. 5.3). Спроекуємо кожну точку лінії урізу води на горизонтальну площину  $P$ , й отримаємо на площині ізолінію горизонталь. Далі знижуватимемо рівень води на задану величину  $h$  і точки лінії урізу води щоразу проєкуватимемо на цю саму горизонтальну площину.

Віддаль по прямовисній лінії між сусідніми горизонтальними площинами, якими перерізають поверхню Землі, називають *висотою перерізу рельєфу* і позначають буквою  $h$ . Висоту перерізу рельєфу вказують на топографічних картах під лінійним масштабом, наприклад, "Суцільні горизонталі проведені через 2 метри". Віддалі між горизонталями на плані (карті) вздовж вибраного напрямку називають *закладенням горизонталей*.

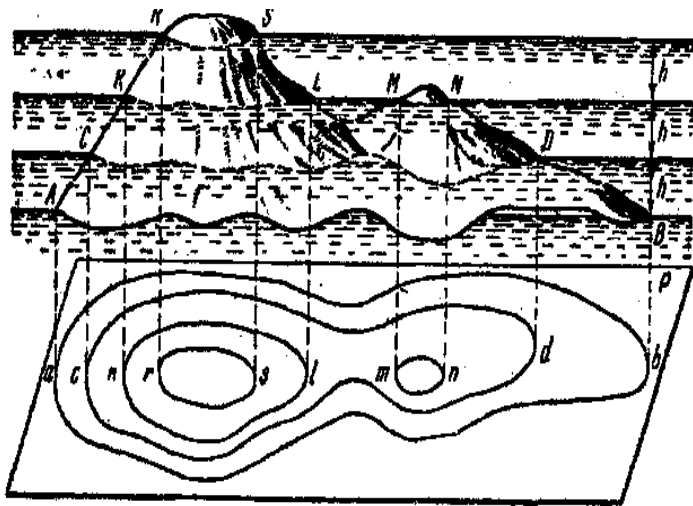


Рис. 5.3. Зображення рельєфу гори-  
зонталями

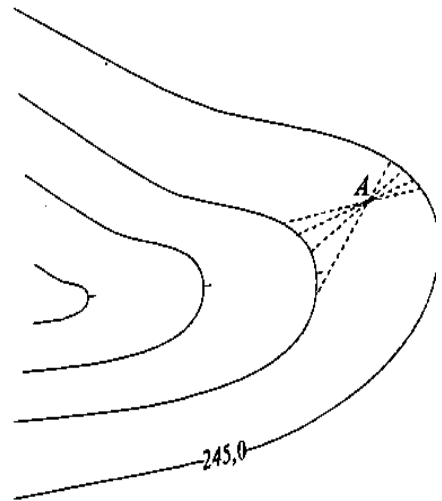


Рис. 5.4. До визначення стрім-  
кості схилу

Віддаль по прямовисній лінії між сусідніми горизонтальними площинами, якими перерізають поверхню Землі, називають висотою перерізу рельєфу і позначають буквою  $h$ . Висоту перерізу рельєфу вказують на топографічних картах під лінійним масштабом, наприклад, "Суцільні горизонталі проведені через 2 метри". Віддалі між горизонталями на плані (карті) вздовж вибраного напрямку називають закладенням горизонталей.

Через точку, розміщену між горизонталями, наприклад, через точку А (рис. 5.4) можна провести безліч ліній. Найкоротша з них називається лінією найбільшої стрімкості схилу. Вона перпендикулярна до обох горизонталей, між якими міститься точка А. Кут нахилу цієї лінії відносно горизонтальної площини (в градусах) називається стрімкістю схилу поверхні Землі вздовж цієї лінії.

Основні форми рельєфу, зображені за допомогою горизонталей на топографічних картах, показано на рис. 5.5 [9, 10].

Властивості горизонталей:

1. Горизонталі – неперервні лінії, що обриваються тільки біля внутрішньої рамки плану або карти.
2. Горизонталі на карті або плані не перетинаються.
3. Горизонталі якими зображають гори та улоговини (западини), відрізняються тільки **бергштрихами** (**схилштрихами**) або підписами висот (верх цифр спрямований у бік підвищення рельєфу).
4. Відстані між горизонталями на стрімких схилах є меншими, ніж на пологих.
5. Перпендикулярні до горизонталей лінії відповідають напрямкам найбільшої стрімкості схилів.
6. Водороздільні та водозбірні лінії горизонталі перетинаються під прямим кутом.



7. Горизонталі які мають вигляд паралельних ліній, зображають похилу площину.

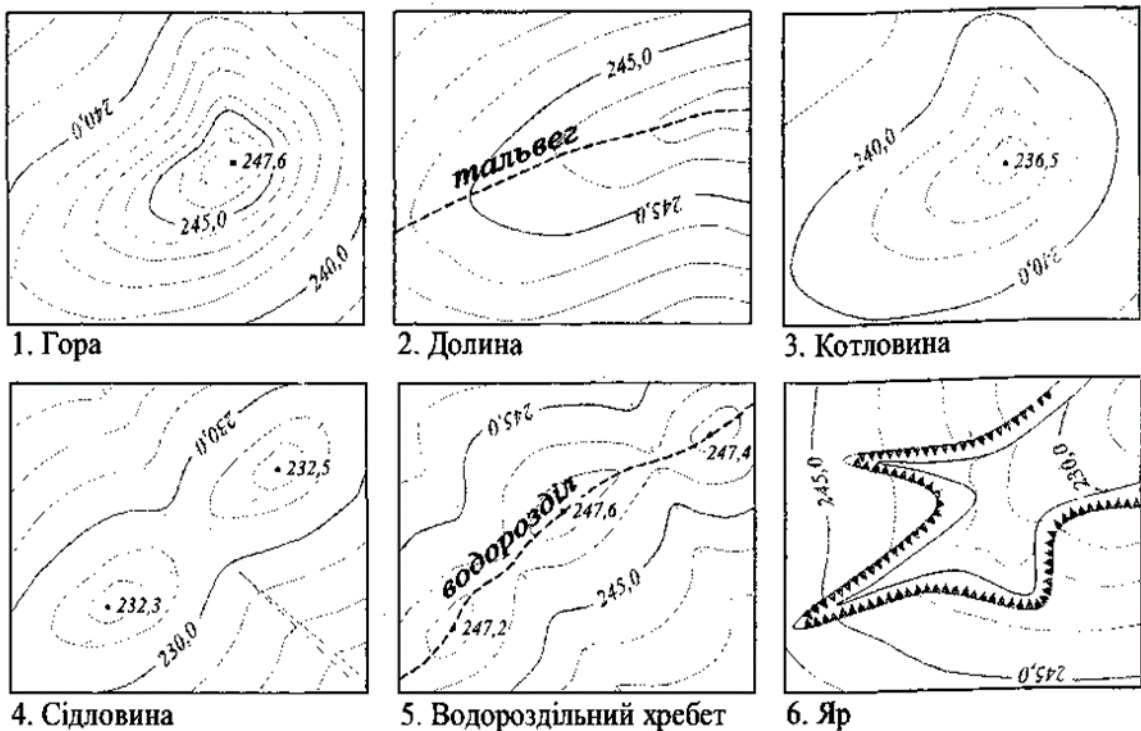


Рис. 5.5. Зображення основних форм рельєфу горизонталями

Існує термін "нормальний переріз рельєфу", який дорівнює 0,2 мм від знаменника числового масштабу карти або плану. Наприклад, якщо масштаб плану (карти) 1:5 000, тобто одному сантиметрові плану (карти) відповідає віддаль 50 м на місцевості, 1 мм – 5 м, тоді 0,2 мм – 1 м. Отже, нормальний переріз рельєфу на плані (карті) масштабу 1:5 000 дорівнює 1 м.

Для детальнішого зображення горизонталями на карті рівнинної місцевості величину нормального перерізу рельєфу зменшують, а горбистої – збільшують.

Детально величини перерізу рельєфу регламентує Інструкція з топографічного знімання [5].

#### 5.4. Визначення стрімкості схилів. Масштаби закладень

Мірою стрімкості схилу вздовж вибраної лінії є величина ухилу цієї лінії яка визначається тангенсом кута нахилу схилу. З (рис. 5.6) видно, що

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}, \quad (5.2)$$

де  $h$  – висота перерізу рельєфу;  $\nu$  – кут нахилу поверхні відносно горизонту у вибраному напрямку;  $d$  – закладення (відстань між сусідніми горизонталями вздовж цього напрямку) [9, 10, 11].

Для визначення стрімкості схилу між горизонталями на карті користуються спеціальним графіком, який називається *масштабом закладень*. Такі графіки зображають на топографічних картах праворуч від числового та лінійного масштабів.

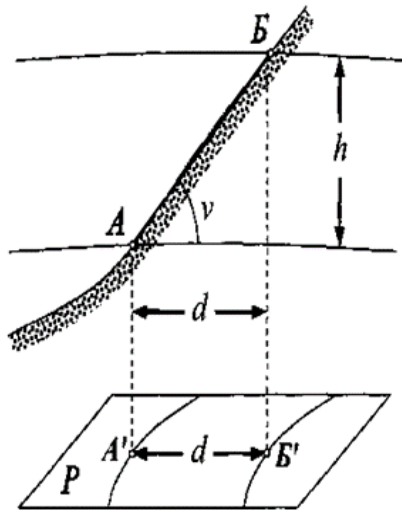


Рис. 5.6. Залежність між елементами схилу, висотою перерізу рельєфу і закладенням

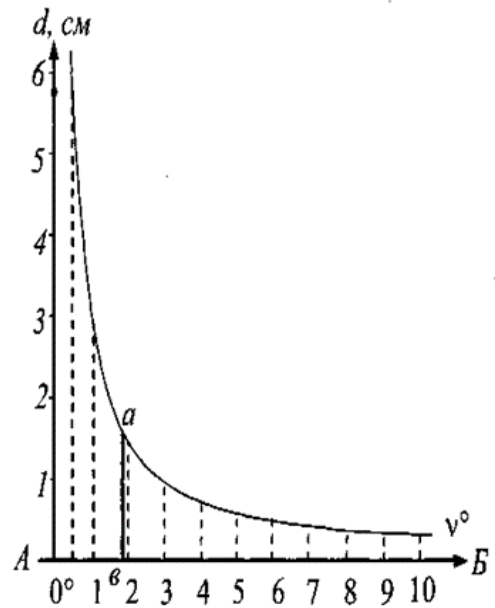


Рис. 5.7. Графік закладень для карти масштабу 1:10 000 з висотою перерізу рельєфу 5,0 м

Для побудови графіка закладень використовують формулу (5.2). Для цього перепишемо її у вигляді

$$d = \frac{h}{i} = h \cdot \operatorname{ctg} v. \quad (5.3)$$

Нехай маємо топографічну карту масштабу 1:10 000 з перерізом рельєфу  $h = 5,0$  м. Обчислимо значення закладень  $d_i$  для фіксованих кутів нахилу ( $0^\circ 30'$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ , ...,  $10^\circ$ ) на місцевості в масштабі карти. Результата наведено в табл. 5.1.

Викреслимо на папері (рис. 5.7) пряму горизонтально лінію  $AB$  і відкладемо на ній у певному масштабі вщрізки ( $0^\circ$ ,  $0^\circ 30'$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ , ...,  $10^\circ$  і т. д), підписуючи їх за збільшенням. З цих точок викреслимо вверх перпендикулярно до лінії  $AB$  лінії і відкладемо на них у масштабі карти величини закладень  $d_i$ , подані у табл.5.1. Кінці цих перпендикулярів з'єднаємо плавною кривою лінією. В результаті отримаємо графік закладень для карти масштабу 1:10 000 з висотою перерізу рельєфу 5,0 м.

Побудованим графіком користуються так:

- 1) викреслюють на топографічній карті напрямок між сусідніми горизонталями, де потрібно визначити значення кута нахилу;
- 2) циркулем-вимірником вимірюють величину цього закладення;
- 3) пересуваючи циркуль-вимірник, на графіку знаходять місце, де віддаль (перпендикулярно) між лінією  $AB$  і кривою графіка дорівнює цьому закладенню (наприклад, віддаль на рис. 5.7 дорівнює відрізку  $av$ ) і на око визначають значення кута нахилу (у наведеному прикладі воно дорівнює  $v = 1,8^\circ$ ) [9].

Таблиця 5.1

**Розрахунок елементів закладень для карти масштабу 1:10 000  
з висотою перерізу рельєфу 5,0 м**

$v^\circ$	$tg v$	Закладення $d$	
		на поверхні Землі, м	на топографічній карті, см
0,5	0,008727	572,943	5,73
1	0,017455	286,450	2,86
2	0,034921	143,181	1,43
3	0,052408	95,406	0,95
4	0,069927	71,503	0,72
5	0,087489	57,150	0,57
6	0,105104	47,572	0,48
7	0,122785	40,722	0,41
8	0,140541	35,577	0,36
9	0,158384	31,569	0,32
10	0,176327	28,356	0,28

Отже, користуючись картою, можна визначити кути нахалу ліній місцевості.

На практиці часто доводиться користуватися ухилами ліній  $i$ , які можна обчислити за формулою (5.2), якщо відомі закладення  $d$  між горизонталями і величина перерізу рельєфу  $h$ . Значення ухилу  $i$  записують у проміле %.

## 5.5. Способи побудови горизонталей на планах та картах

Горизонталі на картах проводять по позначках характерних точок рельєфу місцевості та точок перегинів схилів. Для цього потрібно знати напрямок схилу. Нехай на карті нанесено за координатами точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , висоти яких відомі ( $H_a = 223,5$  м,  $H_b = 216,8$  м,  $H_c = 217,4$  м). Розташовані вони на тому самому схилі (рис. 5.8). Відстань між точками  $a$  і  $b$  дорівнює 4,85 см у масштабі карти, а висота перерізу рельєфу  $h = 2$  м. Очевидно, що відрізок  $ab$  перетнуть горизонталі з висотами 218 м, 220 м, 222 м у точках 1, 2, 3 відповідно. Знаходження положення цих точок на лінії  $ab$  називають *інтерполюванням горизонталей* [9].

Інтерполювати горизонталі можна аналітичним, графічним способами, за допомогою палетки та на око.

Розглянемо детально кожний з цих способів.

**1. Інтерполювання горизонталей аналітичним способом** (рис. 5.9).

Розглянемо відрізок  $ab$  з (рис. 5.8). За значеннями висот тонок  $a$  і  $b$  можна обчислити перевищення між ними за формулою

$$h_{b,a} = H_a - H_b. \quad (5.4)$$

Знаючи значення висот горизонталей, що перетнуть лінію  $ab$  у точках 1, 2, ...,  $n$  за формулою (5.4) також можна знайти перевищення між точкою  $b$  та іншими точками на відрізку  $ab$ . Із (рис. 5.9) видно, що відстань від точки  $b$  до будь-якої точки на відрізку  $ab$  пропорційна до величини перевищення між цими точками. Отже, можемо записати

$$\frac{h_{a,b}}{S_{a,b}} = \frac{h_{b,i}}{S_{b,i}}, \quad (5.5)$$

де  $i$  – номер точки на відрізку  $ab$ . Звідси

$$S_{b,i} = \frac{h_{b,i}}{h_{a,b}} S_{a,b}. \quad (5.6)$$

Отже, за формулою (5.6.) можна обчислити відстані, наприклад, від точки  $b$  до будь-якої горизонталі на відрізку  $ba$  і відкласти їх на плані за допомогою циркуля – вимірника

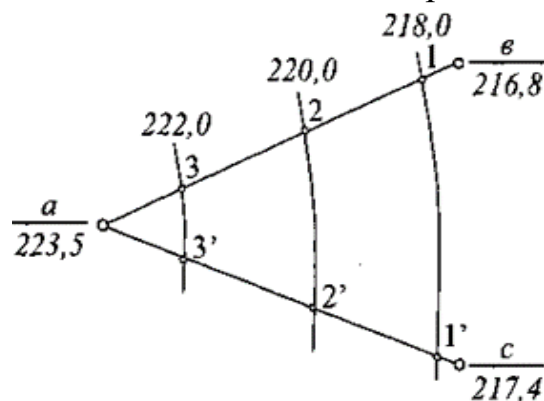


Рис. 5.8. Інтерполювання горизонталей

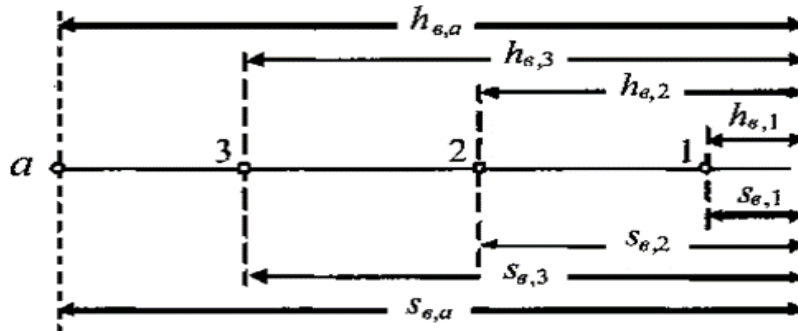


Рис. 5.9. До інтерполювання аналітичним способом

Зауважимо, що достатньо знайти віддалі від точки  $v$  до крайніх горизонталей на відрізку  $av$ , а інші точки відкласти за допомогою лінійки, поділивши відрізок між крайніми горизонталями на  $n + 1$  рівних частин, де  $n$  – кількість горизонталей, що міститься між крайніми точками.

## 2. Інтерполювання горизонталей графічно (рис. 5.10).

Знову розглянемо відрізок  $av$  з (рис. 5.8). Будуємо в точках  $a$  і  $v$  перпендикуляри. Від точки  $v$  по перпендикуляру у вибраному масштабі (для наведеного на рис. 5.10 прикладу масштаб 1:100) відкладаємо перевищення  $h_{s,1}, h_{1,2}, h_{2,3}, h_{3,a}$ . Викреслюємо через ці точки лінії, паралельні до відрізка  $av$ , до перетину з перпендикуляром  $aA$ . Отримаємо на лінії  $aA$  точку  $a'$ . Якщо з'єднати точку  $a'$  з точкою  $v$ , то одержимо лінію схилу між точками  $av$ . Лінії паралельні до відрізка  $av$ , перетинаються з лінією схилу у точках  $1', 2', 3'$ . Якщо з цих точок опустити перпендикуляри до відрізка  $av$ , то отримаємо точки  $1, 2, 3$ . Це і буде положення горизонталей на відрізку  $av$ .

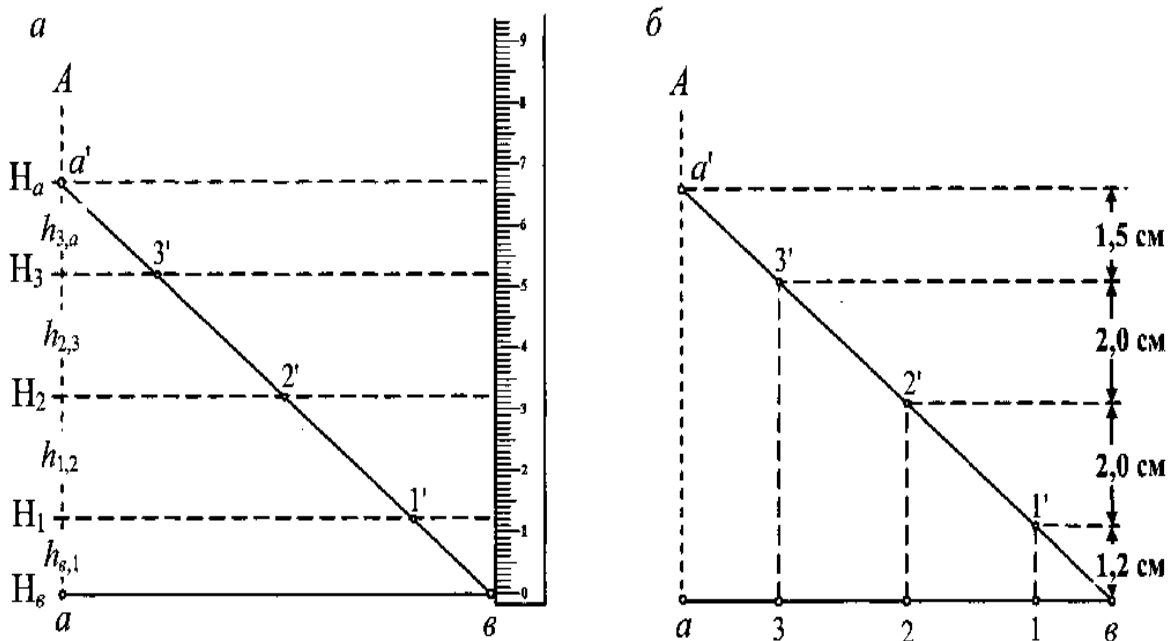


Рис. 5.10. До інтерполювання горизонталей графічним способом

### 3. Інтерполювання за допомогою палетки.

Палетка – це прокреслені на прозорому папері (кальці) паралельні рівновідалені лінії. Щоб визначити кількість ліній, необхідно серед позначок, нанесених на карту, знайти їх найменше  $H_{\min}$  та найбільше  $H_{\max}$  значення. Знаючи величину перерізу рельєфу  $h$ , кожній лінії приписують за зростанням висоту, кратну  $h$  (рис. 5.11, а). Значення висоти першої лінії повинно бути меншим за значення  $H_{\min}$  а значення верхньої – більшим за значення  $H_{\max}$ .

Розглянемо, як користуватися такою палеткою. Нехай потрібно знайти слід горизонталей між точками  $a$  і  $b$  (рис. 5.11, а), висоти яких відомі. Викреслюють через ці точки лінію. Накладають заготовлену палетку на карту так, щоб точка  $a$  була розташована між лініями палетки, підписаними висотами 222,0 і 224,0, приблизно на відстані від лінії з висотою (рис. 5.11, а). Розташування точки між лініями палетки оцінюють на око.

Вістрям голки фіксують положення ліній палетки відносно точки  $a$  (проколюють голкою палетку і план у точці  $a$ ). Повертають палетку навколо точки  $a$ , поки точка  $b$  з позначкою 216,8 не опиниться між лініями палетки, підписаними значеннями висот 216,0 та 218,0 (рис. 5.11, б). Отримують точки 1, 2, і 3 перетину лінії палетки з висотами 218,0 м, 220,0 м і 222,0 м і відрізка  $ab$ . За допомогою голки наколюють ці точки на карту і підписують значення їхніх висот. Так інтерполюють горизонталі за іншими напрямками, зазначеними на зарисах. Після інтерполювання точки з однаковими висотами послідовно з'єднують плавною лінією (ізолінією).

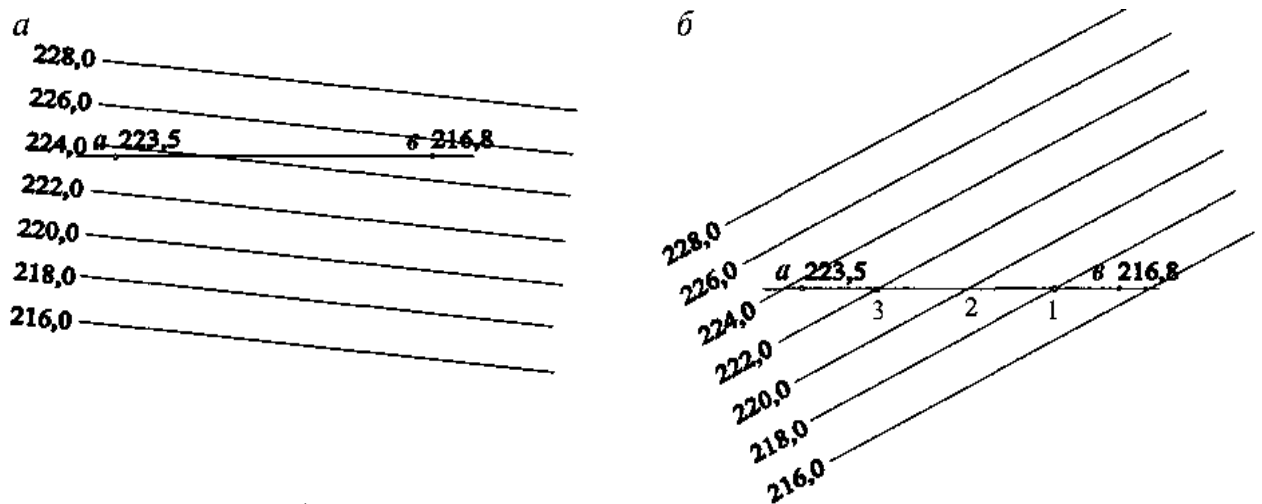


Рис. 5.11. Інтерполювання горизонталей за допомогою палетки

### 4. Інтерполювання горизонталей на око.

Частіше інтерполювання горизонталей виконують на око безпосередньо під час знімання або побудови карта в камеральних умовах. Для інтерполювання горизонталей таким способом виконавцю потрібен великий досвід.

## Питання для самоконтролю

1. Що називається рельєфом?
2. Що називається абсолютної висотою точки місцевості?
3. Що називаються умовними висотами.?
4. Що таке перевищення між двома точками?
5. Назвіть основні форми рельєфу.
6. Що називається висотою перерізу рельєфу?
7. Що називають закладенням горизонталей?
8. Що називають інтерполюванням горизонталей?
9. Які способи інтерполювання горизонталей ви знаєте?

## 6. ЗАДАЧІ, ЯКІ РОЗВ'ЯЗУЮТЬ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ ТА ПЛАНАХ

Наведемо приклади деяких задач, які найчастіше розв'язують на топографічних картах [9, 10, 11].

### 6.1. Визначення геодезичних координат точок

Щоб визначити широту точки на карті (наприклад, точки  $A$ ), треба через цю точку провести лінію, паралельну до лінії північної або південної рамок карта, до перетину її із східною або західною мінутною рамкою широти (рис. 6.1.).

На мінутній рамці кожна парна мінута затушована. Крім того, у проміжку між мінутною та зовнішньою рамками карта кожна мінута поділена крапками на шість частин. Отже, один проміжок між крапками становить  $10''$ .

Наприклад, для точки  $A$  широта  $B_A$  дорівнюватиме широті південної внутрішньої рамки карта ( $54^\circ 40'$ ), до якої слід додати кількість мінут ( $1'$ ) і секунд (відлічена на око частка від  $10''$  становить  $2''$ ) від цієї рамки до перетину лінії, проведеної через точку  $A$ , з мінутною рамкою широта. Отже, широта точки  $A$  у наведеному прикладі дорівнює

$$B_A = 54^\circ 40' + 1' + 02'' = 54^\circ 41' 02''.$$

Аналогічно знаходять довготу точки  $A$   $L_A$ , провівши через точку  $A$  лінію, паралельну до внутрішньої західної (східної) рамки карти, так, щоб вона перетнула північну (південну) мінутну рамку довготи

$$L_A = 18^\circ 03' 45'' + 15'' + 40'' + 5'' = 18^\circ 04' 45''.$$

### 6.2. Визначення прямокутних координат точок

На сучасних топографічних картах нанесено сітку ліній абсцис і ординат в проекції Гауса-Крюгера, яка називається *кілометровою сіткою*.

Координати точок визначають відносно ліній координатної (кілометрової) сітки простим інтерполюванням. Щоб знайти прямокутні координати точки, наприклад точки  $C$ , треба через цю точку провести лінії, паралельні до ліній координатної (кілометрової) сітки, відлічити кількість

кілометрів (число, яке вказане біля молодшої лінії координатної сітки) та додати до нього кількість метрів ( $\Delta x_c$ , чи  $\Delta y_c$ ). Числові значення  $\Delta x_c$  та  $\Delta y_c$  знаходять за допомогою циркуля-вимірника та поперечного масштабу.

Наприклад:  $X_c = 6\,065\,000\text{ м} + \Delta x_c = 6\,065\,000\text{ м} + 602\text{ м} = 6\,065\,602\text{ м}$ ;

$Y_c = 43\,11\,000\text{ м} + \Delta y_c = 43\,11\,000\text{ м} + 878\text{ м} = 43\,118\,78\text{ м}$ .

У значенні абсцис перша цифра (4) – номер зони, в якій міститься карта.

### 6.3. Вимірювання довжин ліній

Довжини горизонтальних проєкцій відрізків лінії між заданими точками вимірюють за допомогою лінійного або поперечного масштабів. Для вимірювання довжин криволінійних контурів (дороги, ріки, берегової лінії тощо) застосовують різні способи. Найчастіше контур ділять на прямолінійні відрізки, тобто вимірюють частинами. Зручніше довжини таких контурів вимірювати спеціальним приладом – *курвіметром* (див. 7.2).

### 6.4. Вимірювання дирекційного кута або азимута

Для вимірювання дирекційного кута лінії через її початкову точку проводять пряму, паралельну до осі абсцис, або продовжують лінію до перетину з віссю абсцис. Вимірюють дирекційний кут геодезичним транспортиром за годинниковою стрілкою від північного напрямку осі абсцис до напрямку заданої лінії. При цьому центральну позначку транспортира суміщають з початковою точкою лінії (рис. 6.1).

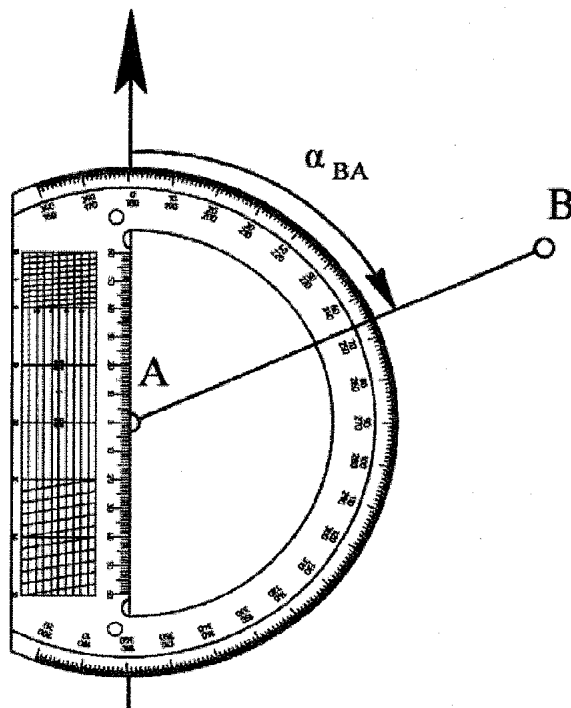


Рис. 6.1. Вимірювання дирекційного кута



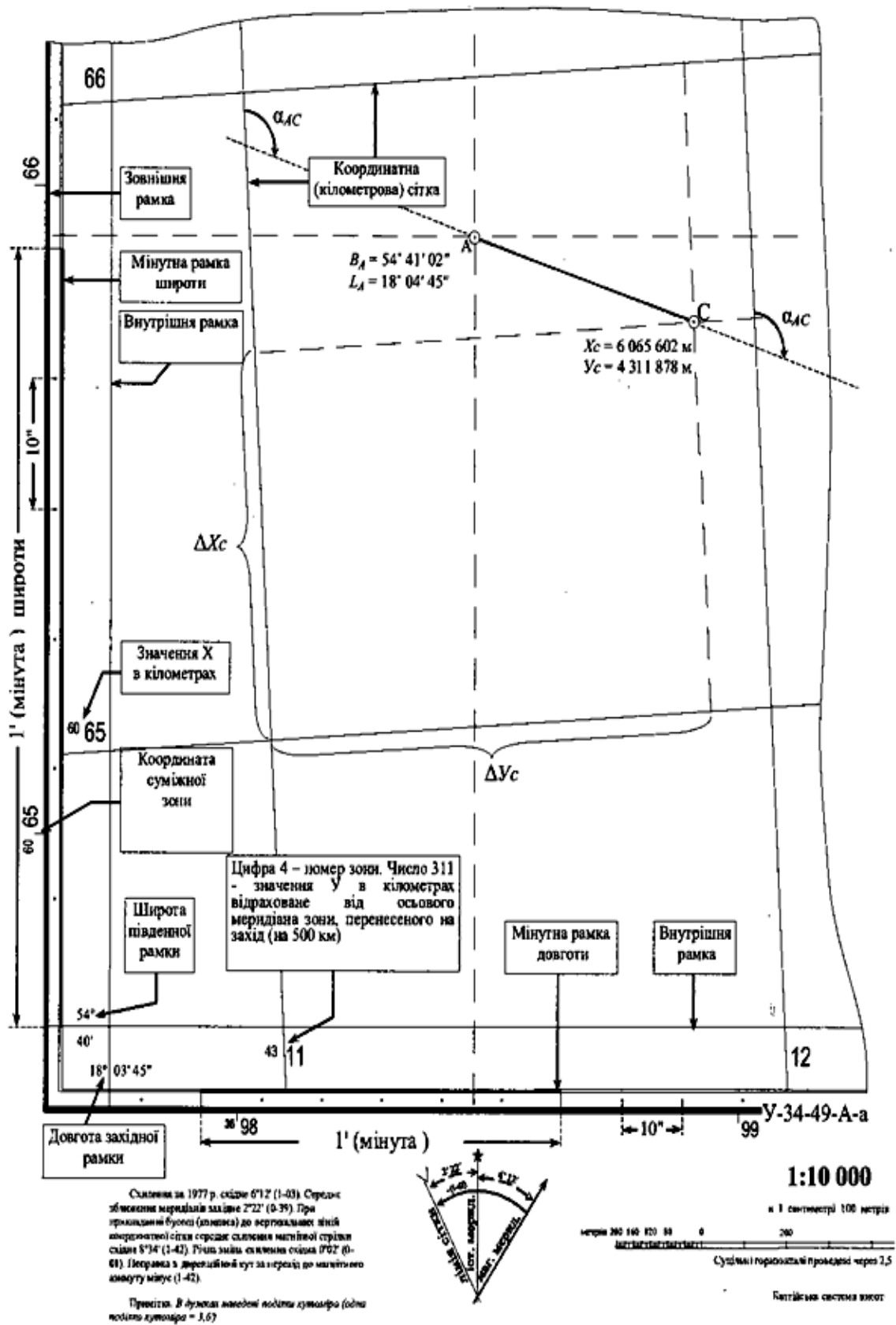


Рис. 6.2. Фрагмент аркуша карти масштабу 1:10 000 номенклатурою У – 34 – 37 – В – в – 4

Для безпосереднього вимірювання істинного азимута лінії через початкову її точку проводять пряму, паралельну до східної або західної внутрішньої рамки карти (до якої точка ближча), і відносно цієї лінії вимірюють азимут транспортиром.

### 6.5. Орієнтування карти або плану на місцевості.

Орієнтування карти або плану на місцевості можна виконати за допомогою бусолі (компаса) або за контурами місцевості.

Лінії напрямку Пн – Пд бусолі суміщають із західною або східною рамкою карта і повертають карту разом із бусоллю доти, доки північний кінець стрілки не зупиниться на відліку, що дорівнює схиленню магнітної стрілки  $\delta$ . Орієнтування по кілометровій сітці виконують так само, але стрілка має показувати відлік  $\delta - \gamma$ , де  $\gamma$  – зближення меридіанів. Під час орієнтування карти або плану за контурами місцевості стають на початок лінії між двома контурами і повертають аркуш карти доти, доки лінія на карті не буде паралельною до лінії на місцевості.

### 6.6. Визначення висоти точки за допомогою горизонталей.

Якщо вибрана на карті точка розміщена на горизонталі, то її висота (позначка) дорівнює висоті горизонталі. Так, висота точки  $A$  (рис. 6.3)  $H_A = 247,5$  м. Якщо ж точка міститься між горизонталями (наприклад, точка  $B$ ), тоді її висоту  $H_B$  знаходять за формулою

$$H_B = H_0 + \Delta h, \quad (6.1)$$

де  $H_0$  – висота найближчої до точки  $B$  молодшої горизонталі ( $H_0 = 240,0$  м),  $\Delta h$  – перевищення між точкою  $B$  і цією горизонталлю.

Оскільки висота між сусідніми горизонталями змінюється пропорційно до закладення  $h$ , для обчислення  $\Delta h$  використовують формулу

$$\Delta h = \frac{Be}{ce} h = \frac{a}{d} h, \quad (6.2)$$

де  $d$  – закладення між горизонталями (віддаль  $ce$ ),  $a$  – віддаль від точки до найближчої молодшої горизонталі (віддаль  $Be$ ),  $h$  – висота перерізу рельєфу (у наведеному випадку  $h = 2,5$  м). Вимірявши за допомогою циркуля – вимірника і поперечного масштабу довжини відрізків  $ce$  та  $Be$ , можна знайти значення перевищення  $\Delta h$ , а за формулою (6.1) – і значення висоти точки  $B$ .

Знайти величину перевищення  $\Delta h$  можна і графічно. Для цього на прямій  $ec$  відкладають у вибраному масштабі відрізки  $Be$  та  $ec$  (рис. 6.4). В точках  $c$  та  $B$  до прямої  $ec$  будують перпендикуляри. Від точки  $c$  відкладають величину закладення і отримують точку  $c'$ .

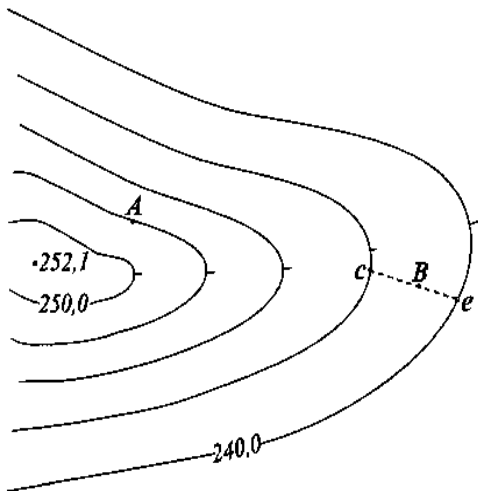


Рис. 6.3. Визначення висот точок на схилі за горизонталями

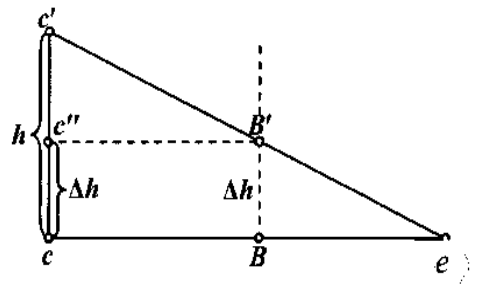


Рис. 6.4. Визначення перевищення до точок

### 6.7. Побудова профілю місцевості за горизонталями.

Лінію на карті, вздовж якої необхідно побудувати профіль місцевості, називають **лінією профілю**. На топографічній карті викреслюють лінію між заданими точками, наприклад, лінію між точками А і В (рис. 6.5). На аркуші

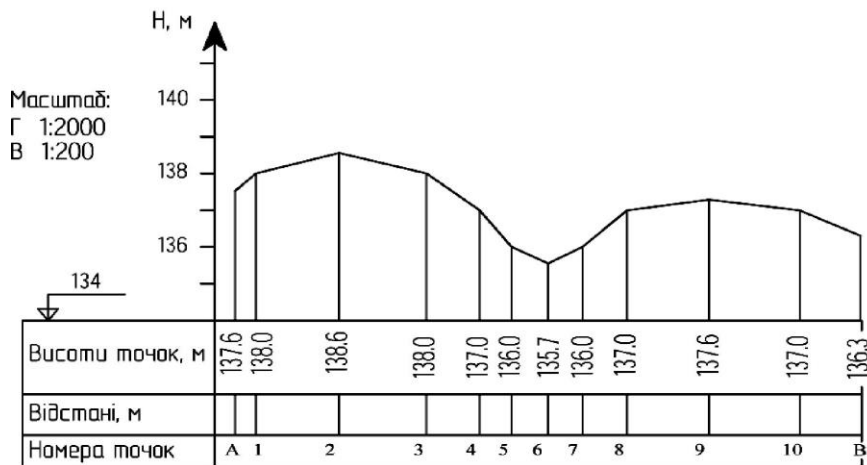
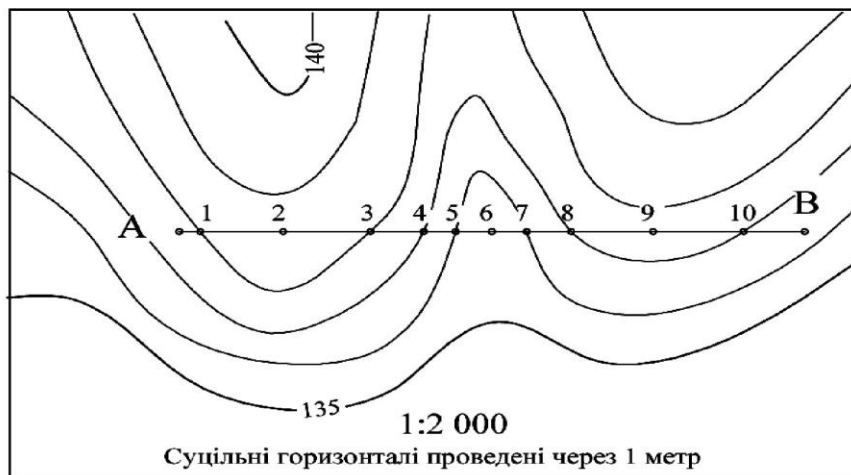


Рис. 6.5. Профіль місцевості за горизонталями

профілю та підписують значення їхніх висот. У позначених точках будують за допомогою прямокутного трикутника або транспортира перпендикуляри до лінії  $AB$ . паперу проводять горизонтальну лінію, суміщають її з лінією  $AB$  на карті і позначають на ній точки перетину усіх горизонталей і контурів з лінією [12].

У такому разі горизонтальний масштаб профілю відповідає масштабу карти. Для наочності та точнішого відображення рельєфу поверхні Землі вздовж вибраної лінії вертикальний масштаб профілю вибирають переважно на порядок більшим за горизонтальний, тобто, якщо горизонтальний масштаб 1:1 000, то вертикальний – 1:100.

Для відкладання висот точок у вертикальному масштабі вибирають умовну висоту лінії  $AB$  (у прикладі, наведеному на рис. 6.5, значення висоти горизонтальної лінії, що проходить через точку  $A$ , становить 137,6 м).

За Рис.6.5, перпендикулярами від лінії умовного горизонту відкладають у вибраному вертикальному масштабі висоти точок. Відкладені точки з'єднують плавною кривою, яка і буде зображенням лінії профілю (поверхні Землі) по лінії  $AB$ .

За допомогою профілю можна розв'язати різні інженерні задачі.

Так, наприклад, можна визначити, чи існує пряма видимість між вибраними точками, розміщеними на лінії профілю.

### 6.8. Проектування траси із заданим ухилом.

При проектуванні залізниць і шосейних доріг, каналів і інших протяжних об'єктів виникає необхідність намітити на карті (плані) трасу майбутньої споруди із заданим ухилом [10]

Нехай на плані масштабу 1:10 000 вимагається намітити трасу шосейної дороги між точками  $M$  і  $N$ , щоб ухил її в усіх частинах не перевищував  $i = 0,05$  (рис. 6.6). Висота перерізу рельєфу на плані  $h = 5$  м.

Для вирішення завдання розраховують закладення, що відповідає заданому ухилу  $i$  і висоті перерізу рельєфу  $h$ ,

$$d = \frac{h}{i} = \frac{5\text{м}}{0,05} = 100\text{м}$$

і виражають його в масштабі плану:

$$d' = \frac{d, \text{м} \cdot 100}{M} = \frac{100\text{м} \cdot 100}{10000} = 1\text{см},$$

де  $M$  – знаменник чисельного масштабу плану. Величину закладення  $d'$  можна визначити також по графіку закладень Розчином циркуля-вимника, рівним закладенню  $d' = 1$  см, з точки  $M$  засікають сусідню горизонталь і

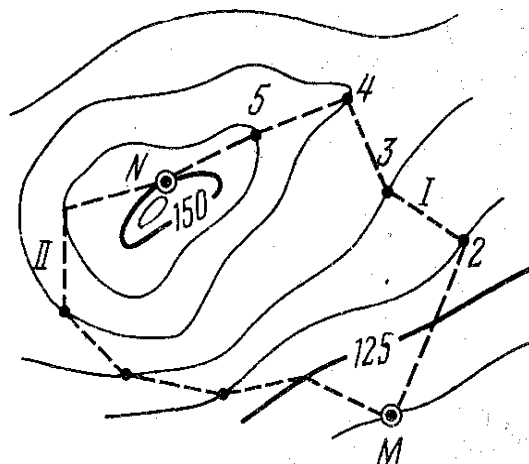


Рис. 6.6. Схема проектування траси із заданим ухилом

отримують точку 1 з точки 1 тем же розчином засікають наступну горизонталь, отримуючи точку 2, і т. д. З'єднавши отримані точки, проводять лінію із заданим ухилом.

Якщо розраховане закладення  $d'$  виявиться менше відстані між двома сусідніми горизонталями (т. е. ухил ската на цій ділянці менший за задане), то ділянка траси проводиться по найкоротшій відстані між ними. При проектуванні доріг останнє розцінюється як позитивний чинник.

Слід зазначити, що рішення цієї задачі дозволяє намітити декілька варіантів траси, з яких вибирається найбільш прийнятний з техніко-економічних міркувань.

### 6.9. Визначення меж та площі водозбірного басейну.

Водозбірною площею або басейном називається ділянка земної поверхні, з якої вода за умовами рельєфу повинна стікати в цей водостік (річку, лощину і т. д.). Оконтурування водозбірної площі робиться з урахуванням рельєфу місцевості, використовуючи горизонталі зображені на карті або плані [10].

Межами водозбірної площі служать лінії вододілів, перетинаючи горизонталі під прямим кутом. На рис. 6.7 ліній вододілів показані пунктиром.

Знаючи водозбірну площу, середньорічну кількість опадів, умови випару і вбирання вологи ґрунтом, можна підрахувати потужність водного потоку, яка потрібна для розрахунку мостів, майданчиків гребель і інших гідротехнічних споруд.

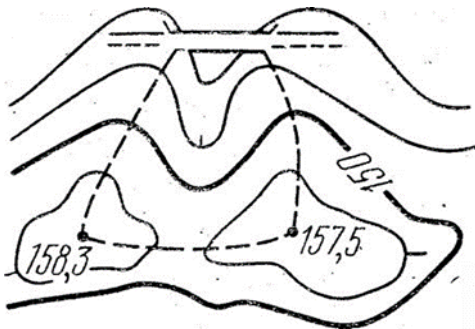


Рис. 6.7. Схема визначення меж водозбірної площі

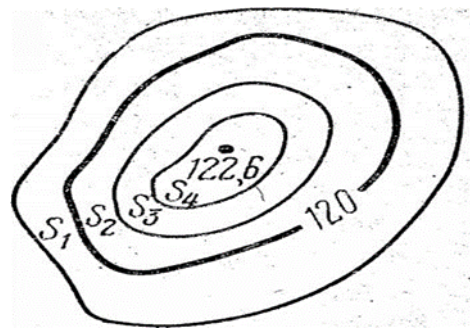


Рис. 6.8. Схема визначення об'ємів земельних мас

### 6.10. Визначення об'ємів земляних тел.

Використовуючи план з горизонталями, можна вчислити об'єми земляних тіл, що представляють собою пагорби або гори, або об'єми просторів, що утворюються западиною або улоговиною [10].

Об'єм порід, поміщених в пагорб (рис. 6.8), може бути представлений як сума об'єктів, ув'язнених між сусідніми горизонталями. Об'єм кожного пояса визначиться по наближеній формулі об'єму усіченого конуса :

для I пояса

$$V_1 = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot h;$$

для II поясаі

$$V_2 = \frac{S_2 + S_3}{2} \cdot h \quad \text{т. д. ,}$$

де  $h$  – висота перерізу рельєфу;  $S_i, S_{i+1}$  – площі нижнього і верхнього підстав пояси, обмежені горизонталями; залежно від необхідної точності визначаються графічно або за допомогою планіметра. Якщо верхній шар пагорба має форму куполу, то його об'єм визначиться по наближеній формулі

$$V_B = \frac{1}{2} S_B \cdot h',$$

де  $S_B$  - площа основи верхнього шару;  $h'$  – різниця відміток горизонталі основи верхнього шару і вершини пагорба.

Тоді загальний об'єм пагорба

$$V = \sum_{i=1}^n V_i.$$

### Питання для самоконтролю

1. Які задачі можна рiшати по топографiчнiй картi?
2. Які координатні лінії наносяться на карту?
3. Як визначити геодезичні координати точки на топографічній карті?
4. Як визначити прямокутні координати точки на топографічній карті?
5. Як на топографічній карті виміряти дирекційний кут лінії і визначити істинний та магнітний азимут?
6. Як по топографічній карті визначити довжину лінії на місцевості?
7. Як по топографічній карті визначити висоту точки?
8. Як орієнтують карту або план на місцевості?
9. Що необхідно зробити на топографічній карті щоб побудувати профіль місцевості по заданій лінії?
10. Як провести на топографічній карті лінію з заданим ухилом між двома точками?
11. Визначте на топографічній карті границю площі водозбору струмка.

## 7. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩ

### 7.1. Безпосереднє та посереднє визначення площ. Класифікація посередніх методів визначення площ

Розрізняють безпосереднє та посереднє визначення площ.

**Безпосередньо** визначають площі за результатами вимірювань на поверхні Землі. Для цього ділянку місцевості поділяють на прості геометричні фігури (найчастіше – на трикутники, прямокутники, квадрати, рідше – на трапеції), вимірюють довжини основ і висоти трикутників, довжини сторін прямокутників або квадратів, сторони й висоти трапецій і на основі цих лінійних вимірів за відомими з геометрії формулами обчислюють площі земельних ділянок.

**Посереднє** визначення площ виконують за результатами вимірювань на плані, а не на місцевості. Тобто спочатку складають план ділянки місцевості площу якої необхідно знайти, і на його основі знаходять її площу.

Методи посереднього визначення площ можна класифікувати на:

- 1) графічний;
- 2) механічний;
- 3) аналітичний.

### 7.2. Суть графічного способу визначення площ

Найпростіший спосіб посереднього визначення площ – **графічний**. Принципово цей спосіб не відрізняється від безпосереднього визначення площ на місцевості. За графічним способом на найпростіші фігури ділять план ділянки місцевості, а не саму ділянку. Найпростішими фігурами є також трикутники, прямокутники, квадрати, трапеції. Необхідні для обчислення площ параметри вимірюють на планах і картах, а не на місцевості [9, 10, 11].

Точність графічного методу визначення площ нижча за точність визначення площ безпосередньо на місцевості. Площа ділянки визначається з настільки меншою точністю, наскільки менший масштаб плану або карти.

Різновидом графічного методу визначення площ є визначення площ за допомогою палеток. Палетки використовують, щоб знайти площі ділянок, обмежених криволінійними контурами (рис. 7.1). Палетка виготовляється на прозорому папері (кальці або прозорому пластику). На аркуші такого паперу будують сітку квадратів із заданими сторонами, розміри яких вибирають залежно від масштабу плану (карти) або групи паралельних ліній, проведених на відстані 2-5 мм одна від одної. Так, наприклад, для плану масштабу 1:10 000 квадрат зі стороною 1 см відповідає площі 1 га (10 000 м<sup>2</sup>), зі стороною 2 мм – 4 ари (400 м<sup>2</sup>) і т.д. Щоб знайти площу, палетку накладають на

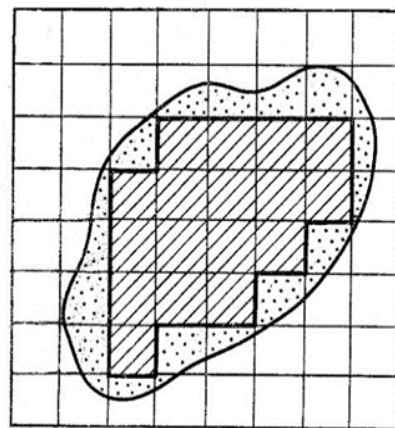


Рис. 7.1. Квадратна палетка

криволінійний контур, площа якого визначається. Потім рахують, скільки цілих квадратів є всередині контуру  $N_1$ , кількість неповних квадратів визначають на око  $N_2$  (їх частка становить 1/4, 1/2, 3/4 від величини цілого квадрата). Їх суму додають до кількості цілих квадратів. Помноживши цю суму на площу одного квадрата, отримують площу фігури, обмеженої криволінійним контуром, т.е.  $S = s (N_1 + N_2)$ . При визначенні площ до 10см<sup>2</sup> можна використати паралельну (лінійну) палетку [9, 10]. Палетка накладається на задану ділянку так, щоб крайні точки  $m$  і  $n$  контура розмістилися посередині між паралельними лініями палетки (рис. 7.2, а). В результаті вимірювана площа виявляється розчленованою на фігури, близькі до трапецій з рівними висотами; при цьому відрізки паралельних ліній усередині контура є середніми лініями трапеції. Для визначення площі ділянки треба виміряти довжини середніх ліній трапеції,  $l_1, l_2, \dots, l_n$  і їх суму помножити на відстань між лініями з урахуванням масштабу

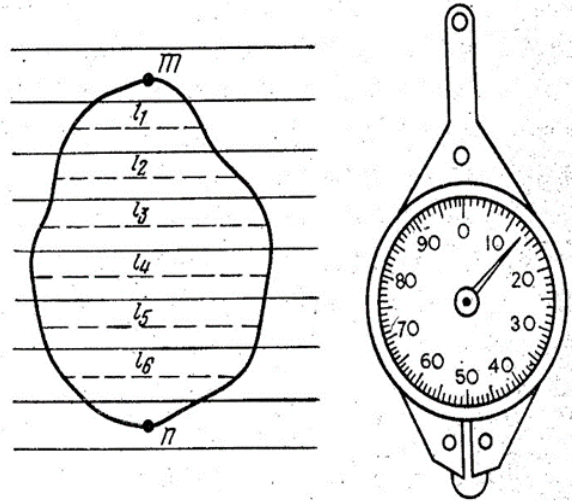


Рис.7.2.

$$S = a(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) = a \sum_{i=1}^n l_i. \quad a - \text{лінійна палетка, } b - \text{курвіметр плану, т. е.}$$

Сумарна довжина відрізків може бути заміряна за допомогою курвіметра (рис.7.2, б) – приладу для виміру довжин ліній на плані (карті). Для цього колесо курвіметра послідовно прокатують по вимірюваних лініях і по різниці початкового і кінцевого відліків на циферблаті визначають сумарну довжину відрізків в сантиметрах плану. Для контролю вимірюють площу при другому положенні палетки, розгорнувши її на 60 – 90° відносно первинного положення. Відносна точність такого визначення площі невисока – приблизно 1/100 ÷ 1/150.

### 7.3. Суть механічного способу визначення площ

Значно точнішим є механічний метод визначення площ, тобто за допомогою спеціальних приладів – **планіметрів**. Найпоширенішим є **полярний планіметр** (рис. 7.3). Він складається з двох важелів – полюсного та обвідного. Поліусний важіль на одному кінці має тягар циліндричної форми з голкою в центрі нижньої площини. Голка наколюється на папір і слугує полюсом планіметра. Другий кінець полюсного важеля вставляється в отвір, розташований на обвідному важелі [9].



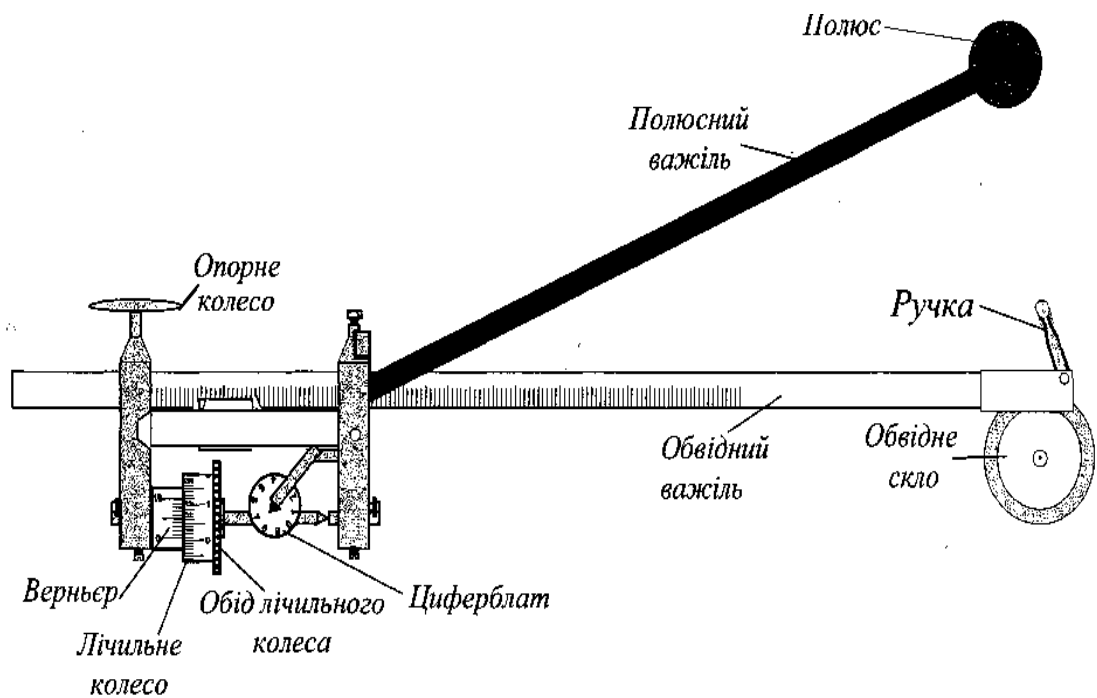


Рис. 7.3. Полярний планіметр

На одному кінці обвідного важеля прикріплене в металевій оправі збільшувальне скло з точкою в центра. До оправы прикріплеиа ручка для плавного обведення контуру площі. На другому кінці є відліковий механізм.

Перед обведенням фігури встановлюють полюс планіметра так, щоб точка обвідного важеля під час переміщення дотикалася до усіх точок контуру ділянки, площу якої визначають. Відлік зчитують з лічильного механізму (рис. 7.4), який складається з колеса, циліндрична поверхня якого поділена на 100 частин, та верньєра, за допомогою якого відлічують десяті частки найменшої поділки колеса. Десята частка найменшої поділки колеса називається **поділком планіметра**. Крім того, лічильний механізм ще має циферблат (10 поділок), який дає змогу визначити кількість повних обертів колеса.

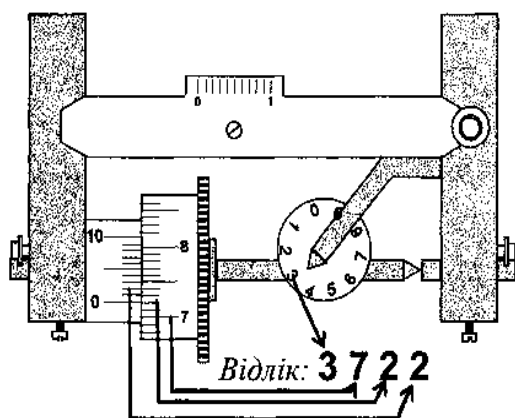


Рис. 7.4. Відлічування відлікового пристрою планіметра

Отже, одному обертю цього колеса відповідає 1 000 поділок планіметра. На (рис. 7.4) відлік планіметра становить 3722. Перша цифра (3) зчитується за положенням стрілки, що міститься між поділками 3 і 4 шкали циферблата, тобто вже пройшла поділку 3. Друга цифра у відліку (7) – це цифра на колесі після якої - нуль верньєра. Третя цифра у відліку (2) – це кількість поділок від цифри 7 колеса до нуля верньєра. Четверта цифра у

відліку (2) – це кількість поділок верньєра від нуля до поділки, що точно збгається з поділкою шкали колеса.

Наприклад, полюс планіметра розташований ззовні контуру фігури, площа якої вимірюється. Встановивши обвідну точку над однією з чітких точок контуру цієї фігури, відлічують початковий відлік  $n_1$  (наприклад, 4534). Обвідною точкою точно обводять контур ділянки, площу якої визначають.

Довівши обвідну точку до початкової точки обведення, відлічують другий відлік  $n_2$  (наприклад, 6787). Віднявши від другого відліку перший, отримаємо число 2223 – площу обведеного контуру в поділках планіметра. Якщо другий відлік менший за перший, то його збільшують на 10 000 – повний оберт обертового колеса.

Знаходячи площу зі встановленим полюсом всередині контуру ділянки місцевості, площа якої визначається, до другого відліку додають постійне число планіметра і від одержаної суми віднімають перший відлік. Різниця відліків буде площею фігури в поділках планіметра.

Щоб отримати площу в квадратних метрах, треба знати, скільки квадратних метрів площі відповідає одній поділці цього планіметра, тобто потрібно знайти ціну поділки планіметра. Ціну поділки планіметра визначають для масштабу плану (карта), на якому зображений контур, площу якого необхідно виміряти. Якщо, наприклад, для заданого масштабу ціна поділки планіметра  $50 \text{ м}^2$ , то площа ділянки буде  $50 \times 2\,223 = 111\,150 \text{ м}^2 = 11,115 \text{ Га}$ .

Для визначення ціни поділки планіметра на карті чи плані обводять фігуру, площа якої відома, наприклад, квадрат координатної сітки, площа якого на місцевості  $10\,000 \text{ м}^2$ . Після обведення такого квадрата планіметром його площа становить 200 поділок планіметра. Тоді ціну поділки цього планіметра знаходять так

$$\frac{10\,000 \text{ м}^2}{200} = 50 \text{ м}^2.$$

Постійне число планіметра визначають так: обводять площу будь-якої фігури з положенням полюса ззовні цієї фігури і отримують першу різницю відліків. Потім встановлюють полюс всередині цієї фігури і після обведення контуру одержують другу різницю. Визначають постійне число планіметра.

Точність вимірювання площ планіметром залежить від властивостей основи плану (креслярський папір, калька, пластик, фотоплан). Для площ розміром в середньому  $15 \text{ см}^2$  на папері планіметр забезпечує відносну похибку 1:400, якщо стан приладу добрий.

#### 7.4. Цифрові планіметри

Цифрові (електронні) планіметри бувають двох типів – полярні та роликові. Полярні цифрові планіметри відрізняються від звичайних лише автоматичною реєстрацією результату вимірювань. Роликові моделі досконаліші й багатофункціональні [2, 9].

Принцип роботи цифрових планіметрів практично не відрізняється від принципу роботи механічного полярного планіметра. На контурі фігури, площу якої потрібно виміряти, встановлюють центр обвідної лупи. Для роликів плашметрів перед початком роботи обвідний важіль встановлюють під прямим кутом до роликів важеля. Після натиснення клавіші START на дисплеї з'явиться відлік «0». Вибирають одиниці вимірювання площі. Позначають точку відліку на контурі площі, яку треба виміряти. Плавню по контуру за годинниковою стрілкою обводять фігуру.

На дисплеї висвічується значення виміряної площі. Якщо фігуру обводять проти годинникової стрілки, на дисплеї висвічується від'ємне значення площі. Цю особливість можна використовувати, якщо всередині вимірюваної площі є інші фігури. При цьому планіметр автоматично віднімає площу або площі фігур всередині основної фігури.

Якщо площа фігури надто велика, то її вимірюють, поділивши її на декілька менших сегментів. Для цього спочатку обводять контур першого сегмента і натискають клавішу HOLD, далі обводять контур другого сегмента і знову натискають HOLD. Ті самі дії повторюють для решти сегментів. В результаті на дисплеї одержують сумарне значення площі. Якщо воно перевищує кількість символів на дисплеї відлікового пристрою планіметра, то одиниці вимірювання змінюватимуться автоматично, наприклад, з квадратних сантиметрів на квадратні метри.

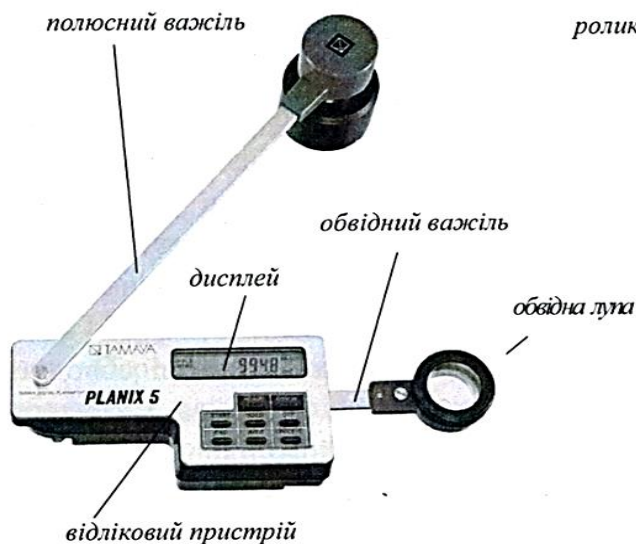


Рис. 7.5. Будова цифрового планіметра **PLANIX 5**



Рис. 7.6. Будова цифрового планіметра **PLANCOM KP – 90N**

Ту саму площу можна виміряти декілька разів. Після кожного вимірювання натискають клавішу END, а після останнього – натискають клавішу AVER й одержують кінцевий усереднений результат.

Точність вимірювання площ цифровими планіметрами в середньому в 1,5 раза вища порівняно з механічними і залежить в основному від точності обведення контуру фігури.

### 7.5. Функціональні можливості й технічні характеристики цифрових планіметрів

Функціональні можливості цифрових планіметрів такі:

- вибір метричної абоанглійської систем вимірювань;
- вибіро одиниць вимірювань: мм<sup>2</sup>; см<sup>2</sup>, м<sup>2</sup>, км<sup>2</sup> у метричній системі або дюймів, квадратних футів і акрів в англійській системі вимірювань;
- вимірювання площ у зменшених або збільшених масштабах;
- вимірювання площ з різними масштабами;
- фіксування у пам'яті значення площі вимірюної фігури;
- додають площі декількох сегментів у межах однієї фігури;
- обчислення середнього значення вимірів тієї самої площі;
- запит масштабного коефіцієнта (коли масштаб карти – 1/N, то N запам'ятовується як масштаб);
- вимірювання площі з пульсую - чого відліку (якщо не було встановлено одиницю вимірювання).

Найсучасніші моделі цифрових планіметрів, такі як **PLANIX EX** (рис. 7.7), **PLANIX S10 marble** (фірма-виробник TAMAYA TECHNICS INC, Японія), **PLANCOM KP-21C** (рис. 7.8) (фірма - виробник PLANCOM, Японія), **Ushikata X-Plan 380 dill** (рис. 7.9), не тільки обчислюють площі, але й вимірюють:

- довжини прямих ліній і кривих, обчислюють координати, кути, радіуси кіл, дуги, причому координати можуть бути одержані з урахуванням реального масштабу карта.

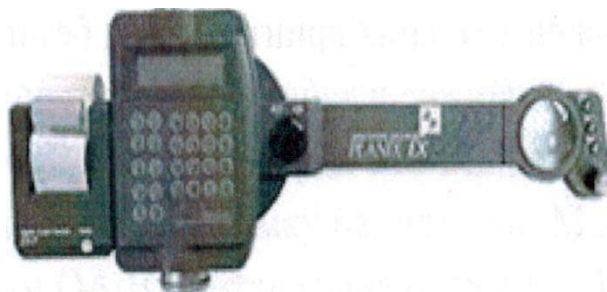


Рис. 7.7. Загальний вигляд цифрового планіметра **PLANIX EX**



Рис. 7.8. Загальний вигляд цифрового планіметра **PLANCOM KP-21C**



Рис. 7.9. Загальний вигляд цифрового планіметра **Ushikata X-Plan 380 dill**

Такі моделі як *PLANIX EX* та *PLANCOM KP-21C*, також можна під'єднати до комп'ютерів і отримувати файл координат. Друкують результати на спеціальних принтерах, які безпосередньо під'єднані до планіметра.

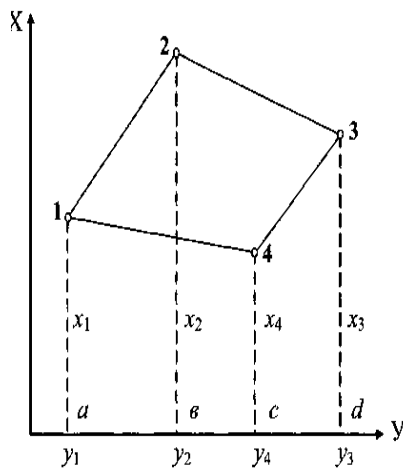
Нижче в (табл. 7.1) наведено основні характеристики найпоширеніших в практиці типів цифрових планіметрів [9].

Таблиця 7.1

**Технічні характеристики цифрових планіметрів**

	<b>PLANIX 5</b>	<b>PLANIX 7</b>	<b>PLANIX EX</b>
Тип планіметра	полюсний	роликівий	роликівий
Дисплей LCD	8 символів х 1 рядок	8 символів х 1 рядок	17 символів х 3 рядки
Діапазон вимірювань	діаметр 35,6 см	300 см х 30 см	380 мм х 10 м
Точність	не нижче за ±0,2 %	не нижче за ±0,2%	±0,1%
Одиниці вимірювання	см <sup>2</sup>	см <sup>2</sup> м <sup>2</sup> км <sup>2</sup> га	мм <sup>2</sup> см <sup>2</sup> м <sup>2</sup> км <sup>2</sup> га
Габарити/ Вага	64х213х39мм /900 г	150х240х39мм /500г	350х165х43мм /1000 г

**7.6. Аналітичний метод визначення площ**



*Рис. 7.10. До обчислення площі за координатами вершин полігону*

Найточніший метод визначення площ зімкнутих контурів – аналітичний. У цьому методі використовують значення координат вершин полігону, який обмежує шукану площу [9].

Нехай дано чотирикутник 1234 (рис. 7.10) та координати його вершин:  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4)$ . Площу цього чотирикутника можна визначити як площу чотирьох трапецій, а саме:

$$S = S_{1,2,b,a} + S_{2,3,d,b} - S_{1,4,c,a} - S_{4,3,d,c}. \quad (7.1)$$

Площу кожної трапеції можна обчислити як добуток півсуми основ на висоту і результат записати у вигляді:

$$2S_{1,2,b,a} = (X_1+X_2)(Y_2-Y_1); \quad 2S_{2,3,d,b} = (X_2+X_3)(Y_3+Y_2);$$

$$2S_{1,4,c,a} = (X_1+X_4)(Y_4-Y_1); \quad 2S_{4,3,d,c} = (X_4+X_3)(Y_3-Y_4).$$

Підставивши ці значення у формулу (7.1), отримаємо

$$2S = (X_1+X_2)(Y_2-Y_1) + (X_2+X_3)(Y_3-Y_2) - (X_1+X_4)(Y_4-Y_1) - (X_4+X_3)(Y_3-Y_4),$$

Розкриємо в правій частині формули дужки і запишемо

$$2S = X_1Y_2 - X_1Y_1 + X_2Y_2 - X_2Y_1 + X_2Y_3 - X_2Y_2 + X_3Y_3 - X_3Y_2 - X_3Y_3 + X_3Y_4 - X_4Y_3 + X_4Y_4 - X_4Y_4 + X_4Y_1 - X_1Y_4 + X_1Y_1.$$

Скоротавши однакові члени з різними знаками, одержимо

$$2S = X_1Y_2 - X_2Y_1 + X_2Y_3 - X_3Y_2 + X_3Y_4 - X_4Y_3 + X_4Y_1 - X_1Y_4.$$

Згрупуємо члени у формулі (7.4) так, щоб множниками були абсциси  $X$ , й отримаємо

$$2S = X_1(Y_2 - Y_4) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_4 - Y_2) + X_4(Y_1 - Y_3), \quad (7.2)$$

або ординати  $Y$

$$2S = Y_1(X_4 - X_2) + Y_2(X_1 - X_3) + Y_3(X_2 - X_4) + Y_4(X_3 - X_1). \quad (7.3)$$

Формули (7.2) та (7.3) можна записати для будь-якого  $n$ -кутника у вигляді

$$2S = \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}), \quad (7.4)$$

$$2S = \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}). \quad (7.5)$$

У формулах  $i$ -номер точки  $n$ -кутника. За цими формулами можна визначати площу багатокутника. За однією – площу, а інша використовується для контролю правильності обчислень.

В аналітичному методі точність визначення площ залежить в основному від точності визначення координат вершин  $n$ -кутника.

### Питання для самоконтролю

1. У чому відмінності між безпосереднім та посереднім визначення площ?
2. Які методи посереднього визначення площ ви знаєте?
3. У чому суть графічного способу визначення площ на карті або плані і що для цього необхідно зробити?
4. У чому суть механічного способу визначення площ на карті або плані і що для цього необхідно мати?
5. З чого складається полярний планіметр?
6. Як визначити ціну поділки полярного планіметра?
7. У чому суть аналітичного методу визначення площ на карті або плані?
8. Напишіть формули за якими обчислюється площа фігури при аналітичному способі визначення площ?

## 8. ВІДОМОСТІ ПРО РОЗВИТОК ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

### 8.1. Основні принципи організації геодезичних робіт

Усі геодезичні виміри, як би ретельно вони не виконувалися, супроводжуються неминучими випадковими погрішностями. Як вже відзначалося раніше, про точність вимірів можна судити за величиною абсолютної (середньою квадратичною) або відносної погрішності. Для правильної організації геодезичних робіт перед зйомкою заздалегідь задаються необхідною точністю виміру і з її обліком вибирають методику виробництва робіт і відповідні прилади.

Наукова організація геодезичних робіт вимагає обов'язкового дотримання основних принципів:

1. Принцип розвитку "від загального до окремого"; цей принцип є головним при розвитку геодезичних опорних мереж, на основі яких виконуються зйомки і вирішуються інженерні завдання на місцевості.

2. Обов'язковий контроль усіх етапів вимірювального і обчислювального процесів; без контролю попередніх вимірів і обчислень не можна приступати до виконання подальших етапів польових або камеральних робіт [9].

### 8.2. Поняття про опорні мережі

Всяка топографічна зйомка повинна базуватися в точках, закріплених на місцевості, планове і висотне положення яких (т. е. координати  $x$ ,  $y$ ,  $H$ ) відоме. Такі точки називаються *опорними пунктами*. Сукупність цих пунктів складає *опорну мережу*. Положення опорних пунктів на земній поверхні може бути визначене астрономічним і геодезичним способами [10, 11].

**Астрономічний спосіб** полягає у визначенні геодезичних координат (геодезичної широти  $B$  і геодезичної довготи  $L$ ) кожного пункту шляхом спостережень небесних світил. За результатами астрономічних спостережень визначаються також геодезичні азимути  $A$  напрямів на пункти; крім того, азимути напрямів можуть бути отримані за допомогою гірокомпасів або гиротеодолитов. Надалі від геодезичних координат пунктів ( $B$ ,  $L$ ) і геодезичних азимутів ( $A$ ) переходять до прямокутних координат ( $x$ ,  $y$ ) і дирекційним кутам ( $\alpha$ ) напрямів.

Гідністю цього способу є незалежне визначення координат пунктів. Проте навіть незначні погрішності у визначенні геодезичних координат точок з урахуванням погрішності ухилення прямовисних ліній від нормалей до поверхні еліпсоїда викликають значні погрішності в прямокутних координатах, що досягають 60 – 100 м. Отже, основним недоліком астрономічного способу визначення координат точки є порівняно мала точність.

**Геодезичний спосіб** полягає в тому, що з астрономічних спостережень знаходять прямокутні координати лише окремих (початкових) пунктів системи. Інші пункти опорної мережі зв'язуються з початковими шляхом виконання на земній поверхні вимірів сторін і кутів геометричних фігур,

вершинами яких є опорні пункти. Така схема побудови опорних мереж обмежує накопичення погрешностей, забезпечує надійний контроль вимірів і дозволяє незалежно виконувати геодезичні роботи на різних ділянках, забезпечуючи їх зімкнення в межах встановлених допусків.

Опорні мережі, координати пунктів яких визначені геодезичним способом в єдиній системі координат, носять назву *геодезичних опорних мереж*. Геодезичний спосіб створення опорних мереж на території нашої країни є основним.

### 8.3. Класифікація геодезичних опорних мереж

Згідно з принципом переходу "від загального до окремого" уся опорна мережа підрозділяється на класи і побудову її здійснюється декількома східцями: від мереж вищого класу до нижчого, від великих і точних геометричних побудов до дрібніших і менш точніших. Пункти вищих класів розташовуються на великих (до декількох десятків км) відстанях один від одного і потім послідовно згущуються шляхом розвитку між ними мереж нижчих класів. Такий підхід дозволяє в стислі терміни з високою точністю розповсюдити єдину систему координат на усю територію країни [10].

Розрізняють планові геодезичні мережі, в яких для кожного пункту визначаються прямокутні координати ( $x, y$ ) в загальнодержавній системі, і висотні, в яких висоти ( $H$ ) пунктів визначаються у Балтійській системі висот.

Геодезичні мережі прийнято підрозділяти на державну геодезичну мережу, геодезичні мережі згущення і знімальні геодезичні мережі. Густина геодезичних мереж і необхідна точність знаходження планового положення пункту визначається характером наукових і інженерно-технічних завдань, що вирішуються на цій основі. Тому для забезпечення необхідної точності побудови геодезичних мереж кутові і лінійні виміри її елементів повинні виконуватися відповідними приладами і методами.

### 8.4. Методи побудови державних геодезичних мереж

Державна геодезична мережа є головною геодезичною основою топографічних зйомок усіх масштабів і повинна задовольняти вимогам народного господарства при рішенні відповідних наукових і інженерно-технічних завдань [10, 11].

Державна геодезична мережа включає:

а) планові мережі 1, 2, 3 і 4 класів, які розрізняються між собою точністю кутових і лінійних вимірів, завдовжки сторін і порядком їх послідовного розвитку. Планові мережі створюються методами триангуляції, трилатерації, полігонометрії і їх поєднаннями;

б) висотні нівелірні мережі I, II, III і IV класів.

**Метод триангуляції.** Суть методу триангуляції полягає в побудові на місцевості систем трикутників, в яких вимірюються усі кути і довжини деяких базисних сторін (рис. 8.1, а). Довжини інших сторін трикутників



розраховуються по відомих формулах тригонометрії. Якщо безпосередній вимір базисної сторони скрутний, то на одній із сторін (наприклад,  $AB$ ), розбивають базисну мережу  $ABCD$ , в якій з високою точністю вимірюють короткий базис  $CD$  і усі горизонтальні кути. Шляхом обчислень переходять від довжин базису до довжини сторони  $AB$ , яка в даному випадку називається вихідною стороною мережі. Якщо відомі координати початкового пункту  $A$ , дирекційний кут і довжина початкової сторони ( $\alpha_{AB}$ ,  $d_{AB}$ ), то, послідовно вирішуючи пряму геодезичну задачу, можна розрахувати координати усіх пунктів мережі.

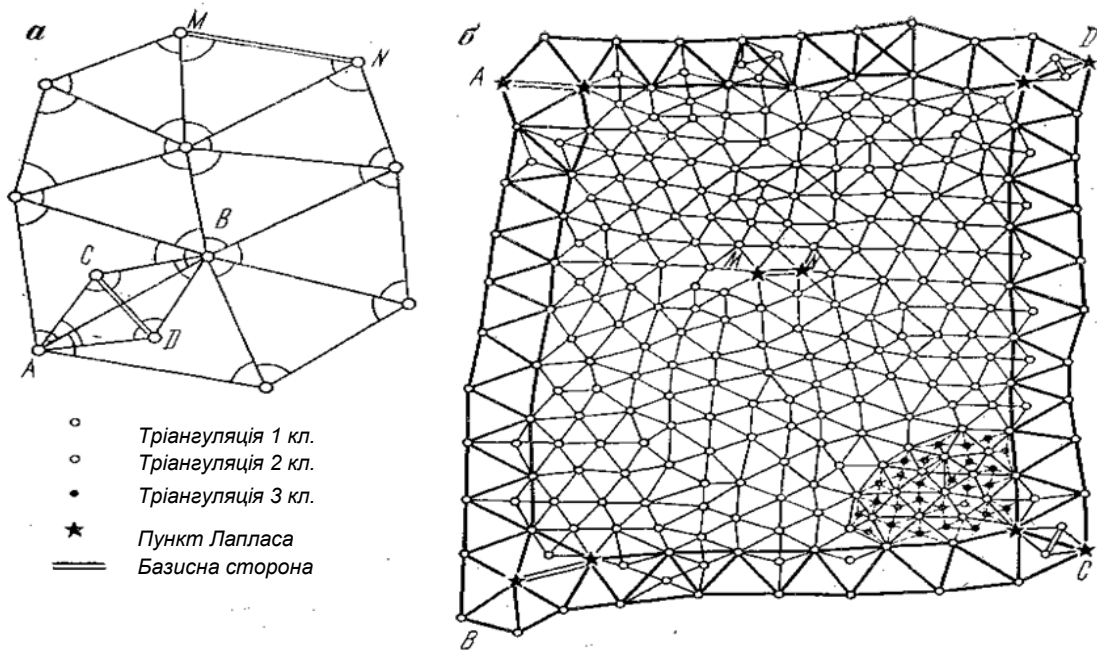


Рис. 8.1. Триангуляція:

*a* – суть методу триангуляції; *b* – схема розвитку мереж триангуляції 1 - 4 класів

Триангуляція 1 класу створюється у вигляді астрономо – геодезичній мережі і покликана забезпечити рішення основних наукових завдань, пов'язаних з визначенням форми і розмірів Землі. Вона є головною основою розвитку мереж подальших класів і служить для поширення єдиної системи координат на усю територію. Її побудова здійснюється з найвищою точністю, яку можуть забезпечити сучасні прилади при ретельно продуманій методиці вимірів.

Мережі триангуляції 1 класу будуються у вигляді рядів трикутників, близьких до рівносторонніх, меридіанів, що розташовуються упродовж, і паралелей і віддалених один від одного на 200 км. Перетинаючись між собою, ряди трикутників утворюють замкнуті полігони периметром 800 – 1 000 км (рис. 8.1, б). У місцях перетину ланок полігонів 1 класу вимірюються базисні сторони або визначаються довжини вихідних сторін на основі базисних мереж. На кінцях базисних (вихідних) сторін визначаються пункти

Лапласа, т. е. робляться астрономічні спостереження для визначення широт і довгот пунктів і азимутів напрямів [6].

Таблиця 8.1

Клас триангуляції	Довжина сторін, км	Допустима середня квадратична погрішність виміру кутів	Допустима нев'язка в трикутниках	Допустима відносна погрішність базисної (вихідний) сторони
1	20–25	0,7"	3,0"	1:400 000
2	7–20	1,0	4,0	1:300 000
3	5–8	1,5	6,0	1:200 000
4	2–5	2,0	8,0	1:200 000

Триангуляція 2 класи будується у вигляді суцільних мереж трикутників, що заповнюють полігони триангуляції 1 класу. Вона є опорною мережею, що служить для розвитку мереж подальшого згущення і геодезичного обґрунтування усіх топографічних зйомок.

Триангуляція 3 і 4 класів є подальшим згущенням державної геодезичної мережі і служить для обґрунтування топографічних зйомок великого масштабу. Вона будується у вигляді вставок жорстких систем або окремих пунктів в мережі старших класів.

Основні характеристики триангуляційної мережі 1-4 класів приведені в (табл. 8.1).

**Методи трилатерації.** Державні геодезичні мережі 3 і 4 класів можуть будуватися також методом трилатерації. Трилатерація, подібно до триангуляції, є системою трикутників, в яких виміряні довжини усіх сторін. З рішення трикутників визначають горизонтальні кути, а через них – кути дирекцій сторін. Подальші обчислення координат пунктів роблять так само, як і в триангуляції.

Довжини сторін в мережі трилатерації вимірюються, як правило, радіо- і светодалекомірами. При цьому відносні погрішності виміру сторін не повинні перевищувати: для 3 класу – 1:100 000, для 4 класу – 1:40 000. Метод трилатерації може застосовуватися для побудови опорних мереж у поєднанні з триангуляцією (лінійно-кутова триангуляція); при цьому в мережі вимірюють усі сторони і кути трикутників.

**Метод полігонометрії.** У лісистій рівнинній місцевості, де розвиток мережі триангуляції скрутний або економічно недоцільно із-за складних місцевих умов, використовується метод полігонометрії. Цей метод полягає в прокладенні на місцевості систем ходів і полігонів, в яких вимірюються усі кути і сторони (рис. 8.2, а). Якщо відомі координати одного з пунктів і дирекційний кут однієї із сторін, то можна визначити координати усіх пунктів полігонометричного ходу.

Кути в полігонометрії вимірюються теодолітами відповідної точності. Для виміру довжин сторін полігонометрических ходів застосовують свето– і радіо–далекоміри, оптико–механічні далекоміри, сталеві і інварні дроти, стрічки і рулетки. Довжини сторін можуть бути визначені також від вимірюного базису через допоміжну геометричну фігуру з вимірними кутами. Тому залежно від способу виміру сторін полігонометрію розділяють на:

- а) магістральна (рис. 8.2, а) – з безпосереднім виміром сторін ходу;
- б) паралактичну або базисну, засновану на непрямому визначенні сторін по короткому базису і гострим паралактичним кутам (рис. 8.2, б). При цьому безпосередні лінійні виміри зводяться до мінімуму [10, 11].

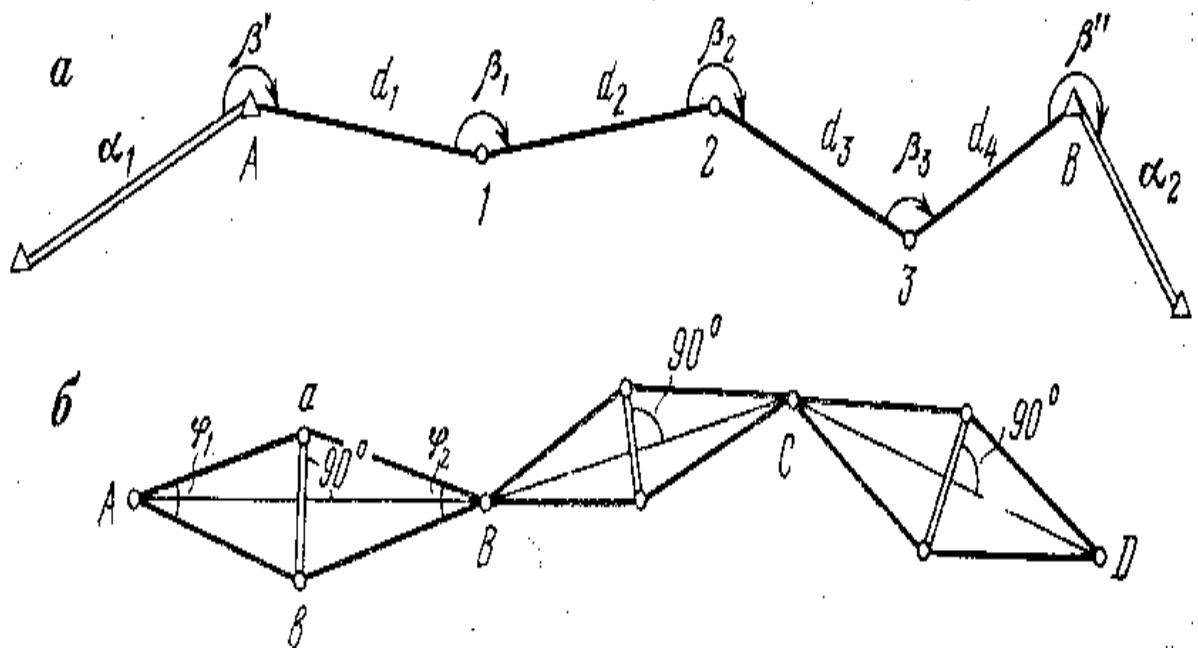


Рис. 8.2. Полігонометрія:  
а – магістральна; б – паралактична ( базисна )

Якщо базис  $ab$  перпендикулярний до сторони  $AB$  полігонометричного ходу і ділиться нею навпіл, то для визначення довжини сторони  $AB$  досить виміряти базис  $ab$  і паралактичні кути  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ .

Як правило, метод полігонометрії доцільно застосовувати в районах, де триангуляція вимагає суцільного спорудження високих знаків.

Полігонометрія 1 класу будується у вигляді витягнутих по напрямках меридіанів і паралелей ходів, що утворюють ланки першокласного полігону з периметром 700 – 800 км. На кінцях ланки (у вершинах полігонів) визначаються пункти Лапласа. Полігонометрія 2 класи розвивається усередині полігонів триангуляції або полігонометрії 1 класу у вигляді мережі замкнутих полігонів з периметром 150 – 180 км.

Полігонометрія 3 і 4 класів будується у вигляді систем ходів з вузловими пунктами або поодиноких ходів, що спираються на \* пункти державної геодезичної мережі вищих класів. Основні характеристики полігонометрії приведені в табл. 8.2 [10].

Таблиця 8.2

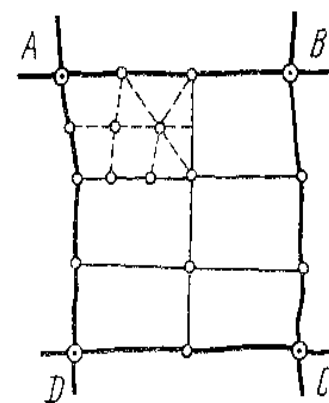
Клас полігонометрії	Максимальне число сторін в ході	Довжина сторін, км	Середня квадратична погрішність виміру кута	Відносна погрішність виміру довжини сторони
1	12	8 – 30	0,4"	1:400 000
2	6	5 – 18	1,0	1:200 000
3	6	3 – 10	1,5	1:100 000
4	20	0,25 – 2	2,0	1:40 000

**Державна нівелірна мережа.** Висоти пунктів державної нівелірної мережі визначають методом геометричної нівелювання. По точності і призначенню державна нівелірна мережа розділяється на мережі I, II, III і IV класів [10].

Нівелірна мережа II класу складена з ходів, що спираються на пункти нівелювання I класу і утворюють полігони з периметром в 500 – 600 км (рис. 8.3). Середня квадратична погрішність визначення перевищення в нівелірних ходах II класу не повинна перевищувати  $m_h = 0,8$  мм на 1 км ходу.

Нівелірні мережі III класу прокладаються (рис. 8.3) усередині полігонів нівеляції I і II класів у вигляді систем і окремих ходів, що ділять полігон II класу на 6 – 9 полігонів периметром 150 – 200 км. Нівелірні мережі I і II класів є головною висотною основою, за допомогою якої встановлюється єдина (Балтійська) система висот по усій території, і використовуються для вирішення наукових завдань: вивчення вертикальних рухів земної кори, визначення рівня води в морях і океанах і т. п. Лінії нівелювання I і II класів прокладаються по заздалегідь розроблених напрямках. Не рідше чим через кожні 25 років лінії I і частково II класів нівелюються повторно. У усіх випадках лінії нівелювання I і II класів прокладаються по трасах з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами і найменш складним профілем.

Нівелювання I класу виконується з найвищою точністю, що досягається застосуванням найбільш досконалих приладів і методів спостережень середня квадратична випадкова погрішність визначення перевищення  $m_h = 0,5$  мм на 1 км ходу.



- ⊙ Пункти I класу
- Ходи II класу
- Ходи III класу
- Ходи IV класу

Рис. 8.3. Схема розвитку мереж нівелювання

Нівелірна мережа II класу складена з ходів, що спираються на пункти нівелювання I класу і утворюють полігони з периметром в 500 – 600 км (рис. 8.3). Середня квадратична погрішність визначення перевищення в нівелірних ходах II класу не повинна перевищувати  $m_h = 0,8$  мм на 1 км ходу.

Нівелірні мережі III класу прокладаються (рис. 8.3) усередині полігонів нівеляції I і II класів у вигляді систем і окремих ходів, що ділять полігон II класу на 6 – 9 полігонів периметром 150 – 200 км ( $m_h = 1,6$  мм на 1 км ходу). Подальше згущування нівелірної мережі III класу виконується побудовою систем ходів нівелювання IV класу ( $m_h = 6$  мм на 1 км ходу), що спираються на пункти нівелювання вищих класів. Ходи нівелювання IV класу є безпосередньою висотною основою топографічних зйомок; густина їх прокладення обумовлюється масштабами зйомок і характером рельєфу місцевості.

Лінії нівелювання усіх класів в середньому через кожні 5 км закріплюються на місцевості постійними реперами і марками.

### 8.5. Геодезичні мережі згущення і знімальні мережі

*Геодезичні мережі згущення* розвиваються на основі державної геодезичної мережі і служать для обґрунтування великомасштабних зйомок, а також інженерно-геодезичних і маркшейдерських робіт, що виконуються в містах і селищах, на будівельних майданчиках великих промислових об'єктів, на територіях гірських відведень і т. д. [10, 11].

Планові геодезичні мережі згущення створюються у вигляді триангуляції (триангуляційні мережі) і полігонометрії 1 і 2 розрядів. Триангуляція 1 розряду розвивається у вигляді мереж і ланцюжків трикутників із стороною 1 – 5 км, а також шляхом вставок окремих пунктів в мережу вищого класу. Кути вимірюються з середньою квадратичною погрішністю не більше 5", відносна погрішність вихідних сторін – не більше 1:50 000.

Триангуляція 2 розряди будується так само, як триангуляція 1 розряду; крім того, положення пунктів 2 розряди може визначатися прямими, зворотними і комбінованими геодезичними засічками. Довжини сторін трикутників в мережах 2 розряди приймаються від 0,5 до 3 км, середня квадратична погрішність виміру кутів – 10", відносна погрішність вихідних сторін – не більше 1: 20 000.

Полігонометрія 1 і 2 розрядів створюється у вигляді поодиноких ходів або систем з вузловими точками, довжини сторін яких приймаються в середньому рівними, відповідно, 0,3 і 0,2 км. Середня квадратична погрішність виміру кутів в ходах полігонометрії 1 розряду – 5", відносна погрішність виміру довжин – 1:10 000. У полігонометрії 2 розряди точність кутових і лінійних вимірів в 2 рази нижче в порівнянні з полігонометрією 1 розряду.

На усі пункти геодезичних мереж згущення мають бути передані відмітки нівелюванням IV класу або технічним нівелюванням. У гірській

місцевості допускається передача відміток точок тригонометричним нівелюванням.

**Знімальні геодезичні мережі** (геодезичне знімальне обґрунтування) створюються для згущування геодезичної мережі до щільності, що забезпечує виконання топографічної зйомки. Щільність знімальних мереж визначається масштабом зйомки, характером рельєфу місцевості, а також необхідністю забезпечення інженерно-геодезичних, маркшейдерських і інших робіт для цілей дослідження, будівництва і експлуатації споруд.

Знімальне обґрунтування розвивається від пунктів державних геодезичних мереж і геодезичних мереж згущення. Знімальні мережі створюються побудовою знімальних триангуляційних мереж, прокладенням, теодолітних тахеометричних і мензульних ходів, прямими, зворотними і комбінованими засічками. При розвитку знімального обґрунтування одночасно визначається, як правило, планове і висотне положення точок.

Висоти точок знімальних мереж визначаються тригонометричним нівелюванням або геометричним нівелюванням горизонтальним променем за допомогою нівеліра, а також теодоліта з рівнем при трубі.

#### 8.6. Закріплення і позначення на місцевості пунктів геодезичної мережі

Пункти геодезичних мереж закріплюються на місцевості підземними центрами, які повинні забезпечувати незмінність положення і збереження пункту впродовж тривалого часу [6, 10].

Типи підземних центрів встановлюються залежно від фізико-географічних умов регіону, складу ґрунту і глибини сезонного промерзання ґрунту.

Наприклад, центр пункту державної геодезичної мережі 1 – 4 класів

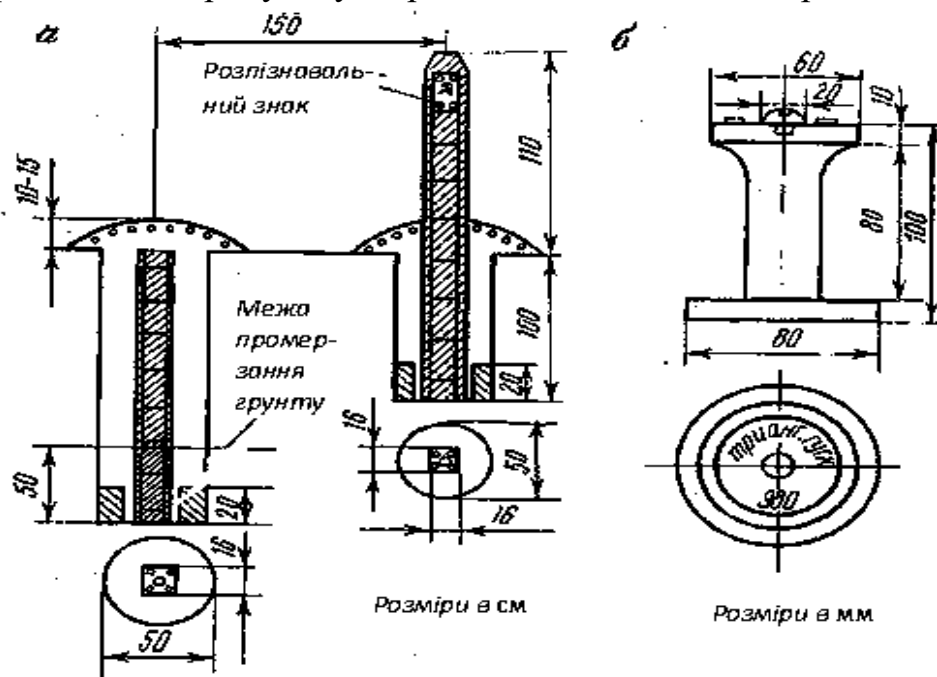


Рис. 8.4. Центр пункту державної мережі 1 - 4 класів типу 1:  
а – загальний вигляд; б – марка

типу 1 згідно інструкції "Центри і реperi державної геодезичної мережі" призначений для південної зони сезонного промерзання ґрунтів. Він складається (рис. 8.4, а) із залізобетонного пілона перерізом 16×16 см (чи азбоцементної труби 14 – 16 см, заповненою бетоном) і бетонного якоря. Пілон цементується в якір. Основа центру повинна розташовуватися нижче глибини сезонного промерзання ґрунту не менше 0,5 м і не менше 1,3 м від поверхні землі. У верхній частині знаку на рівні поверхні землі бетонується чавунна марка (рис. 8.4, б). Над маркою в радіусі 0,5 м насипається ґрунт шаром 10 – 15 см В 1,5 м від центру встановлюється розпізнавальний стовп з охоронною плитою.

Пункти висотної геодезичної мережі закріплюються ґрунтовими реперами (рис. 8.5, а), стінними реперами (рис. 8.5, б) і марками (рис. 8.5, в) [6, 10].

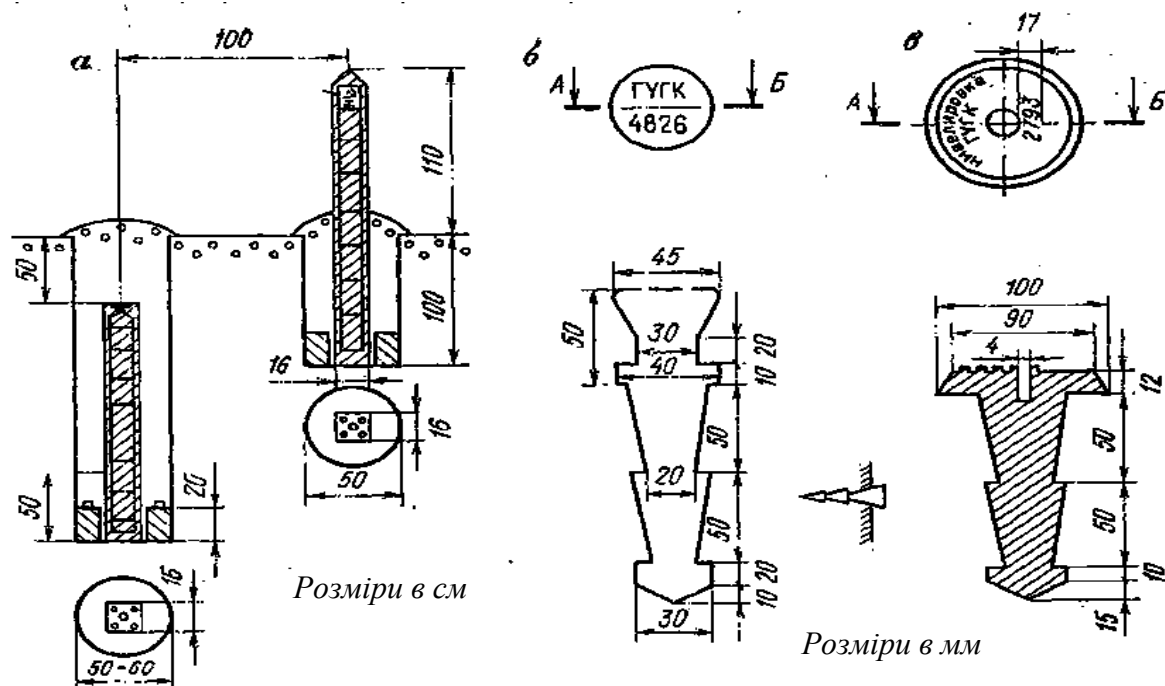


Рис. 8.5. Пункти нівелірної мережі: а - ґрунтовий репер; б - стінний репер; в - нівелірна марка

ґрунтовий репер у верхній частині має чавунну марку; відмітка репера відноситься до верхньої точки півсферичного виступу марки. Висоту стінного репера визначають для верхньої грані виступу, а висоти марок – для центру отвору, зробленого в диску. В якості зовнішнього оформлення стінного репера служить охоронна плита, відлита з чавуну. Вона закріплюється в стіні будівлі або споруди поряд із стінним репером або над ним.

Конструкції центрів геодезичних пунктів триангуляції і полігонометрії 1 і 2 розрядів рекомендовані в інструкції [5].

На рис. 8.6 зображений центр типу 5 для районів з сезонним промерзанням ґрунтів, що складається з двох бетонних блоків у формі

усічених пірамід. У кожному з блоків на прямовисній лінії зацементовані марки.

Для закріплення пунктів знімального обґрунтування, збереження яких має бути забезпечене впродовж декількох років, застосовуються центри у вигляді бетонних (рис. 8.7, а) і дерев'яних стовпів (рис. 8.7, б) і металевих труб з бетонним якорем (рис. 8.7, в) у тих, що закладаються на глибину 80 см.

Велика частина пунктів знімальних мереж закріплюється тимчасовими знаками, що є дерев'яними кілками або металевими трубками завдовжки не менше 40 – 50 см, які забивають врівень з поверхнею землі; центром дерев'яного тимчасового знаку служить цвях, вбитий у верхній торець кілка. Для полегшення відшукування такого знаку поряд з ним забивають сторожок висотою 30 см; знак обкопують круглою канавкою діаметром 0,8 м.

Рис. 8.6. Центр – репер  
геодезичної мережі сгущення  
типу 5

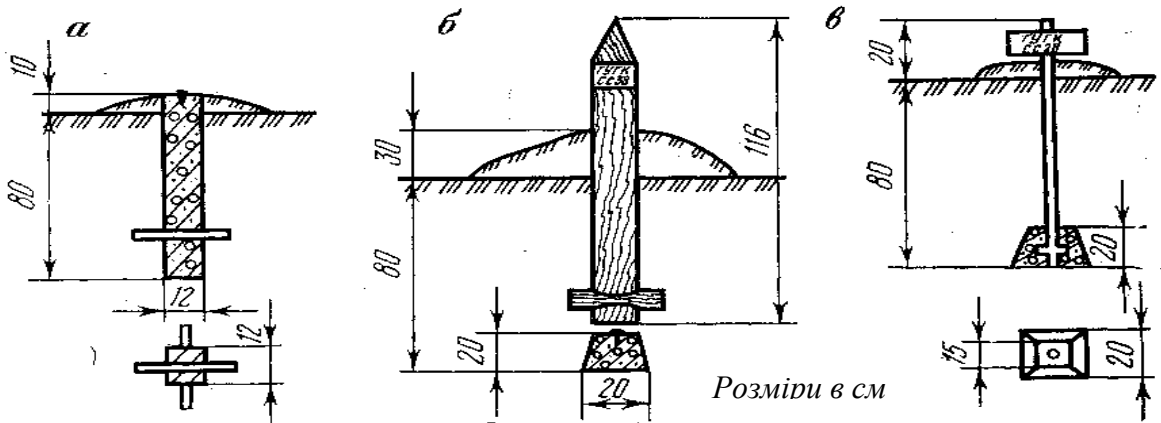
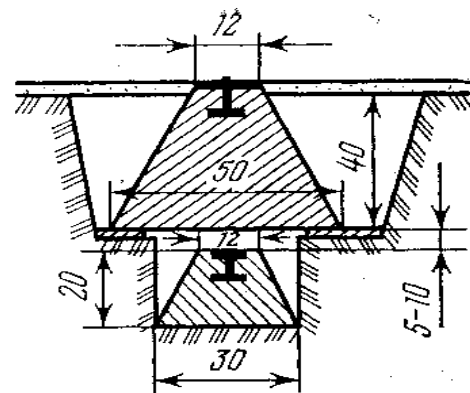


Рис. 8.7. Центри довготривалих пунктів знімального обґрунтування

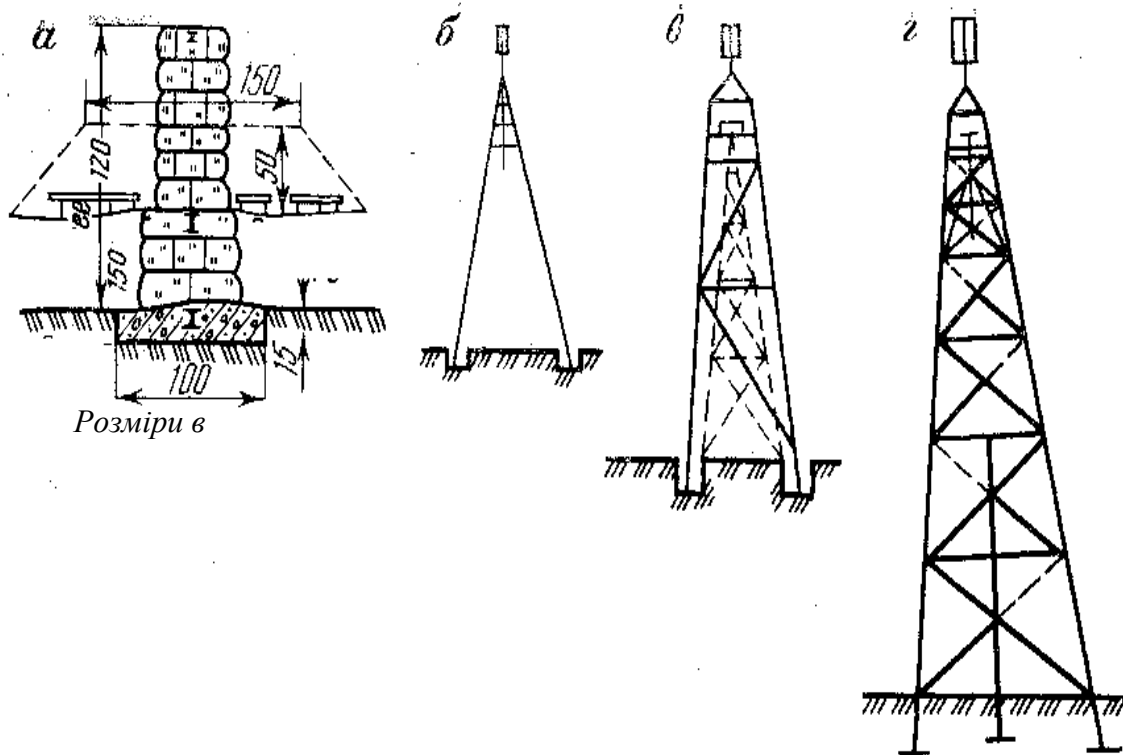
Для забезпечення взаємної видимості між суміжними геодезичними пунктами при виробництві кутових і лінійних вимірів над центрами встановлюються наземні геодезичні знаки [10]. Тип зовнішніх знаків залежить від того, на яку висоту треба підняти прилад для встановлення нормальної видимості між суміжними пунктами. Основними вимогами до зовнішніх геодезичних знаків є: їх міцність і довготривале збереження,



жорсткість і стійкість, зручність роботи на знаках і безпека підйому і спуску з них. Зазвичай геодезичні знаки мають пристосування для установки приладу (інструментальний стовпчик), платформу для спостерігача і візирний пристрій (циліндр).

Тури є кам'яними, цегляними або бетонними стовпами, що споруджуються над маркою, закладеною в скелі; встановлюються на скелястих вершинах в гірській місцевості. Піраміди будуються на великих геодезичних мережах усіх класів у відкритій місцевості, якщо видимість на суміжні пункти можлива із землі. Вони бувають трьох – і чотиригранні, прості, з штативом і з віхою; висота пірамід зазвичай коливається від 5 до 10 м.

Піраміди будуються на великих геодезичних мережах усіх класів у відкритій місцевості, якщо видимість на суміжні пункти можлива із землі. Вони бувають трьох – і чотиригранні, прості, з штативом і з віхою; висота пірамід зазвичай коливається від 5 до 10 м.



*Рис. 8.8. Зовнішні геодезичні знаки:*

*а – тура; б – піраміда; в – простий сигнал; г – складний сигнал*

Залежно від конструкції зовнішні геодезичні знаки підрозділяються на тури, піраміди, прості і складні сигнали (рис. 8.8).

При необхідності підйому приладу на висоту до 10 м будують прості сигнали, що складаються з двох пірамід, не дотичних один до одного : внутрішньою тригранною, такою, що несе столик для установки приладу, і

зовнішньою чотиригранною з платформою для спостерігача і візирним циліндром. Для підйому приладу на висоту більше 10 м на пункті зводиться складний сигнал, внутрішня піраміда якого спирається на стовпи зовнішньої.

Геодезичні знаки можуть бути дерев'яними або металевими, постійними або розбірними. Останніми роками зустрічаються будівлі залізобетонних сигналів з великих секцій заводського виготовлення.

При розвитку знімальних геодезичних мереж на пунктах можуть встановлюватися віхи. Навколо зовнішнього знаку робиться зовнішнє оформлення у вигляді канави.

### **8.7. Сучасна Державна геодезична мережа України**

Кабінет Міністрів України постановою № 37 від 16.01.2003 р. затвердив Державну програму науково-технічного розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003-2010 рр [9, 15].

Основними завданнями програми є:

1. Створення національної системи відліку, пов'язаної з європейськими та світовими системами координат.
2. Розвиток мережі постійнодіючих перманентних станцій супутникових радіонавігаційних спостережень.
3. Модернізація та розвиток державних геодезичної та гравіметричної мережі.
4. Згущення та оновлення Державної нівелірної мережі.
5. Моніторингові дослідження на геодинамічних полігонах і територіях інтенсивного техногенного (антропогенного) навантаження для запобігання сейсмічним та іншим небезпечним процесам.
6. Топографічне картографування території та розвиток технологій виконання топографічних знімачів на основі застосування аерокосмічних даних, цифрових методів, супутникових радіонавігаційних систем.
7. Тематичне і спеціальне картографування, розроблення та видання серії тематичних атласів карт для навчального процесу.
8. Топографо-геодезичне і картографічне забезпечення демаркації державного кордону.
9. Створення нормативно-правової і нормативно-технічної бази топографо-геодезичної та картографічної діяльності, створення національного еталону України.
10. Створення інформаційних банків і баз геопросторових даних.

Відповідно до цієї програми створюють сучасні державні мережі та вирішують інші перелічені вище проблеми.

Назвемо основні відмінності між сучасними державними геодезичними мережами (ДГМ) та мережами минулого:

1. Сучасні мережі створюють методами космічної та наземної геодезії, тоді як раніше ДГМ будували тільки наземними методами.
2. Завдяки космічним методам сучасні мережі будують переважно як просторові мережі, тобто одночасно визначають планові координата точок

$X_i$ ,  $Y_i$  та висоти  $H_i$ . В минулому планові та висотні мережі створювали окремо.

3. Частина пунктів ДГМ є перманентними, в яких безперервно ведуть космічні та наземні геодезичні вимірювання, астрономічні та гравіметричні спостереження, інші вимірювання. Необхідність в постійних вимірюваннях викликана покладеним на геодезію завданням вивчати зміни розмірів та форми Землі з часом.

4. Сучасні мережі точніші.

Назвемо дві головні причини, що вимагають підвищення точності ДГМ.

По-перше, це перехід до великомасштабних топографічних зніманих. В Україні на всю територію є карта масштабу 1:10 000. Але потрібні карти більших масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 (масштаб більший, якщо його знаменник менший). Раніше точність ДГМ розраховували на максимальний масштаб 1:10 000, сьогодні треба визначати точність ДГМ на масштаб 1:500 і навіть на масштаби 1:200, 1:100.

Подруге, і це не менш важливо, в наш час користуються не тільки паперовими топографічними картами, але й електронними.

Точність вимірювань на паперових картах становить 0,1 мм у масштабі плану чи карти. Горизонтальна віддаль на місцевості, яка на карті масштабу 1:10 000 дорівнює 0,1 мм, становить 1 м. Це означає, що для такого масштабу паперових карт достатньо знати координати  $X$  та  $Y$  точок з похибками 1 м.

Якщо масштаб 1:500, то величин! 0,1 мм відповідатиме на поверхні Землі горизонтальний відрізок 5 см. Як бачимо, з переходом до масштабу 1:500 треба підвищити точність ДГМ у двадцять разів. Але цього недостатньо. На електронних картах координати визначають не графічно, а аналітично, ототожнюючи координати точки з координатами пікселів. Якщо розмір пікселя 20 мікрон, тобто 0,02 мм, то координати точки для електронних карт потрібно знати в 4 – 5 разів точніше. Справді, поділивши 0,1 мм на 0,02 мм, отримаємо 5. Тобто доцільна точність координат ДГМ для електронних карт становить 1 – 2 см. Виникає запитання: чи може сучасна геодезія забезпечити таку точність?

Перевага сучасної геодезії - це висока точність лінійних вимірів. Справді, точність вимірювання ліній мірною стрічкою 1:2 000, а електронним тахеометром – 1:200 000 і це ще не межа. Зрозуміло, що відповідь на поставлене запитання позитивна.

5. Зменшення розрядності мереж.

Раніше мережі поділялися на чотири класи. Сучасні ДГМ відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 8 червня 1999 р. № 844 поділено на три класи.

Фундаментальна державна геодезична мережа – це мережа пунктів, координати яких визначено за допомогою сучасних космічних технологій з найвищою точністю. Її основою є 15 пунктів, рівномірно розташованих на території України.

Просторове положення пунктів астрономо-геодезичної мережі 1-го класу (АГМ-1) визначаються методами супутникової геодезії в загальноземній системі координат з відносною похибкою  $\Delta P / P = 1 \cdot 10^{-8}$  ( $\Delta P$  – середня квадратична похибка визначення геоцентричного радіуса  $P$  деякого пункту). Частина пунктів – постійнодіючі (перманентні) станції. Загальний вигляд перманентної станції показано на рис. 8.9.

Постійнодіюча базова станція повинна мати приймач глобальної навігаційної супутникової системи (ГНУС), супутникову антену, комп'ютер, передавач, програмне забезпечення, безперебійне джерело струму. Приймач діє постійно. Роботою приймача керує комп'ютер, який опрацьовує дані супутникових вимірювань. Програмне забезпечення базової станції повинно забезпечувати опрацювання даних приймача ГНУС, а також видавати диференційні поправки.

Користувачі рухомих приймачів ГНУС під час виконання польових робіт отримують необхідні дані, а також диференційні поправки через радіоканали, інші безперебійні швидкісні мережі зв'язку або через Інтернет і можуть визначати координата із сантиметровою точністю [9].

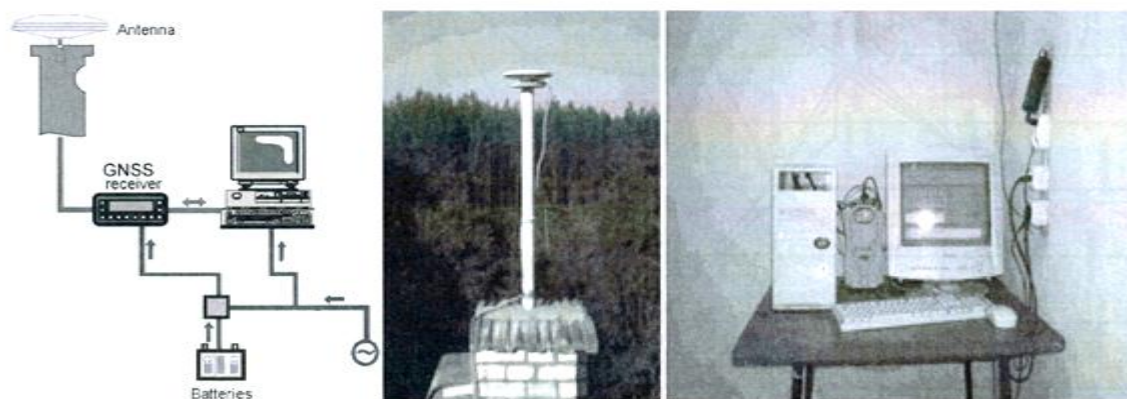


Рис. 8.9. Постійнодіюча перманентна станція (Шацьк)

Решта пунктів АГМ-1 – це фундаментально закріплені на місцевості пункти. Положення цих пунктів періодично визначають згідно з довготерміновою програмою їх існування.

Сучасна АТМ України налічує 5933 пункти 1-го і 2-го класів точності, 108 базисів, 256 астрономічних пунктів. Пункти АГМ-1 віддалені один від одного на  $50 \div 150$  км. Взаємне положення сусідніх пунктів АТМ визначають з точністю близько 10 см.

Пункти АТМ повинні бути зв'язані з мережами високоточного нівелювання, що дає змогу визначати перевищення нормальних висот між сусідніми пунктами із середньоквадратичними похибками не більшими, ніж 0,05 м. На кожному пункті АГМ-1 періодично повторно визначають відхилення прямовисних ліній із середньоквадратичною похибкою 0,5".

Взаємне розташування пунктів АГМ-1 на території України зображено на рис. 8.10 [9]. Основні вимоги до мереж 2 та 3 класів подано в табл. 8.3.

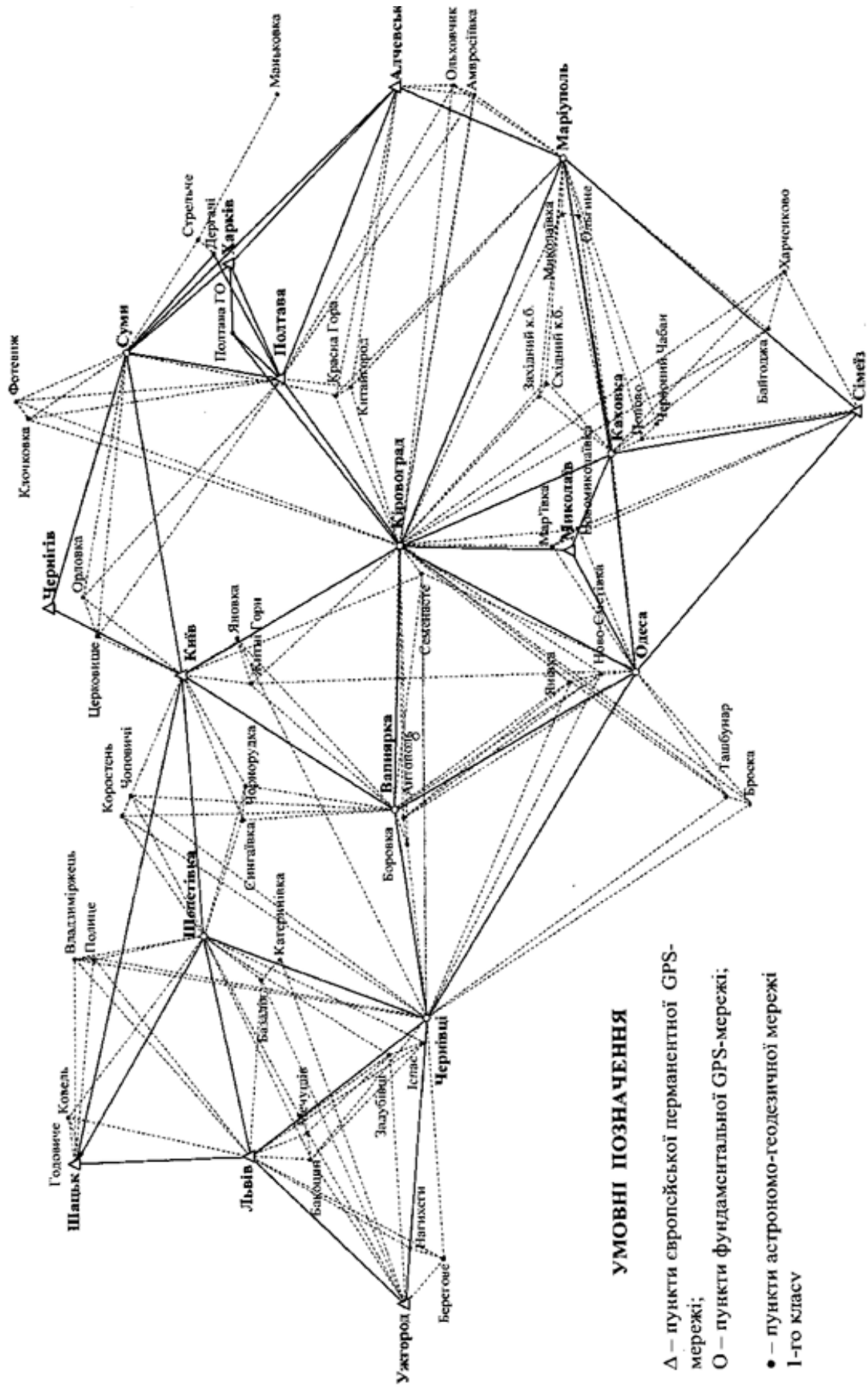


Рис. 8.10. Схема фундаментальної GPS – мережі та пунктів астрономо-геодезичної мережі I-го класу

Як видно з табл. 8.3, пункти ДГМ другого та третього класів можна створювати як наземними, так і космічними методами. За вихідні дати приймають Європейську референцну систему (EUREF) 1980 р. Параметри еліпсоїда EUREF-80 такі:

велика піввісь  $a = 6\,378\,137$  м;

геометричне стиснення –  $\alpha = 1/298,2572$ .

Таблиця 8.3

**Основні вимоги до Державної геодезичної мережі (ДГМ) 2-го та 3-го класів**

№ з/п	Класи		2 клас	3 клас
	Характеристика			(згущення)
1	Довжини сторін, км:			
	а) GPS	найбільша	20	10
		найменша	5	2
	б) триангуляція	найбільша	20	9
		найменша	7	5
в) полігонометрія	найбільша	12	8	
	найменша	5	2	
г) трилатерація	найбільша	12	8	
	найменша	5	2	
2	Середня квадратична похибка вимірювання кута, не більше ніж		1"	1,5"
3	Середня квадратична похибка вимірювання сторін, не більше ніж		0,03 м	0,04 м
4	Відносна похибка вимірювання сторін		1:300 000	1:200 000

У перехідний період до введення системи EUREF використовується система координат 1942 р. (СК-42) і референц-еліпсоїд Красовського з вихідними датами:

- велика піввісь  $a = 6\,378\,245$  м;

- геометричне стиснення –  $\alpha = 1/298,3$ ;

- висота геоїда над референц-еліпсоїдом у Пулкові дорівнює нулю.

Положення пунктів визначають у двох названих системах координат.

Між ними встановлюється однозначний зв'язок, який визначають параметрами взаємного переходу.

## 8.8. Загальні відомості про зйомки місцевості

Сукупність дій, що виконуються на місцевості з метою отримання плану, карти або профілю, називається **зйомкою**. Основними діями при зйомках є геодезичні виміри: лінійні, в результаті яких визначаються відстані між точками місцевості; кутові, дозволяючи визначати горизонтальні і вертикальні кути між напрямками на задані точки; висотні або нівелювання, в результаті яких визначаються перевищення між точками місцевості [1, 10].

Якщо зйомка робиться для отримання плану зі змалюванням ситуації, то її називають **горизонтальною або плановою**. Зйомка, в результаті якої має бути отриманий план, або карта зі зображенням ситуації і рельєфу, називається **топографічною**. При топографічній зйомці разом з іншими діями роблять виміри з метою визначення висот точок місцевості, т. е. нівелювання. Залежно від вживаних приладів і методів розрізняють наступні види зйомок.

1. **Теодолітна зйомка** виконується з метою одержання контурного плану, на якому зображена тільки ситуація місцевості у вигляді умовних знаків. Прилади (рис. 8.11): теодоліт, штатив (тринога), віхи, сталеві вимірвальні стрічки, металеві рулетки.

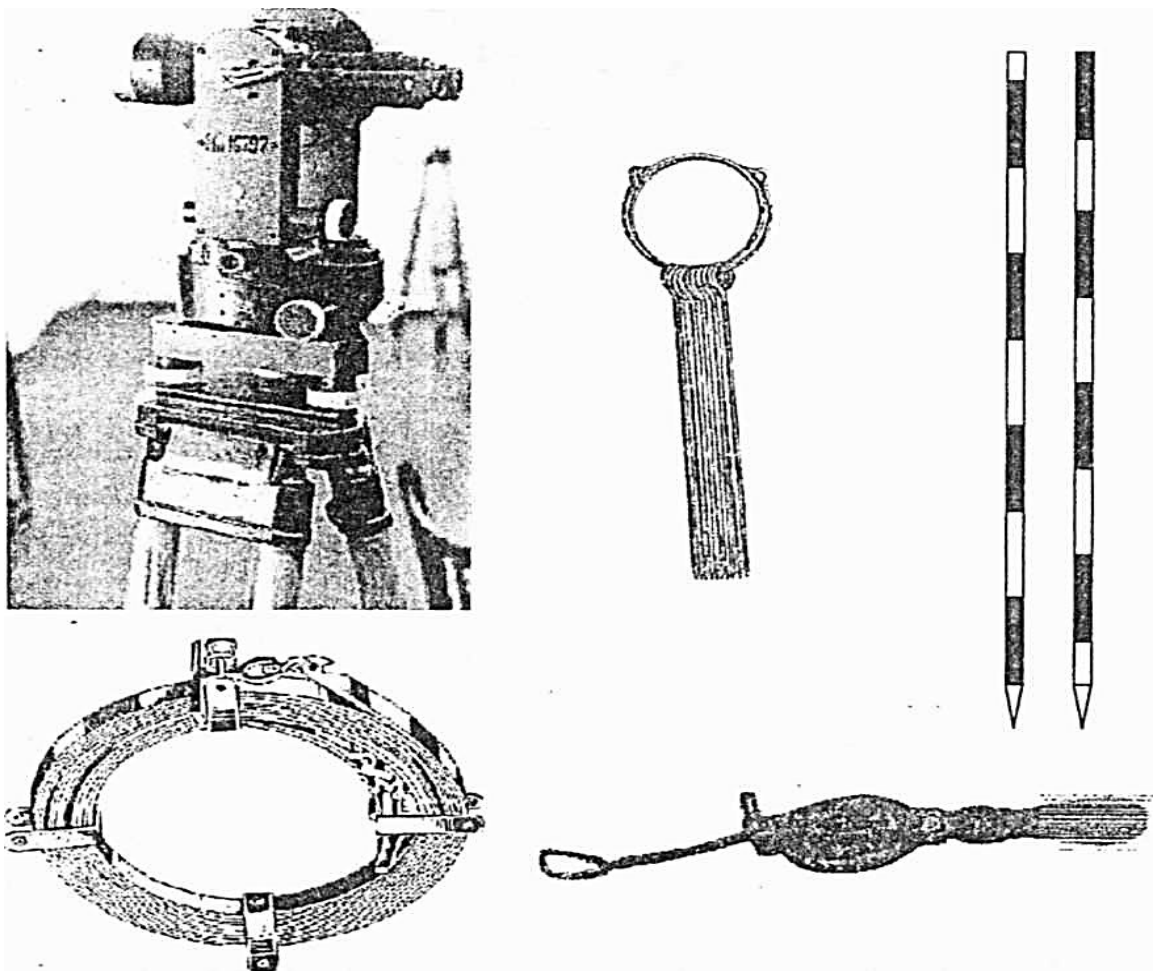


Рис. 8.11

2. **Тахеометрична зйомка** виконується з метою одержання топографічного плану або карти, на яких зображені не тільки ситуація, а й рельєф місцевості у вигляді горизонталей. Прилади: тахеометр\*, штатив, віха, рейка, 2-х метрова рулетка.

3. **Мензульна зйомка** виконується з тією ж метою, що і тахеометрична. Прилади (рис. 8.12): мензула (столик розміром 60х60х3 см) на штативу кіпрегіль, віха, рейка, центрувальна вилка з виском, мензульна бусоль, 2-х метрова рулетка. Перелагаю мензульної зйомки над тахеометричною є те, що план будують безпосередньо в процесі польових зйомочних робіт, і його можна порівняти з місцевістю, а недоліком є залежність від погодних умов.

4. **Аерофотозйомка** виконується спеціальними автоматичними аерофотоапаратами, які установлені на спеціальних літаках з метою одержання топографічних планів і карт.

5. **Фототеодолітна зйомка** виконується спеціальними приладами фототеодолітами\*\* (рис. 8.13) з метою одержання планів, карт, координат і абсолютних відміток точок місцевості і т. ін.

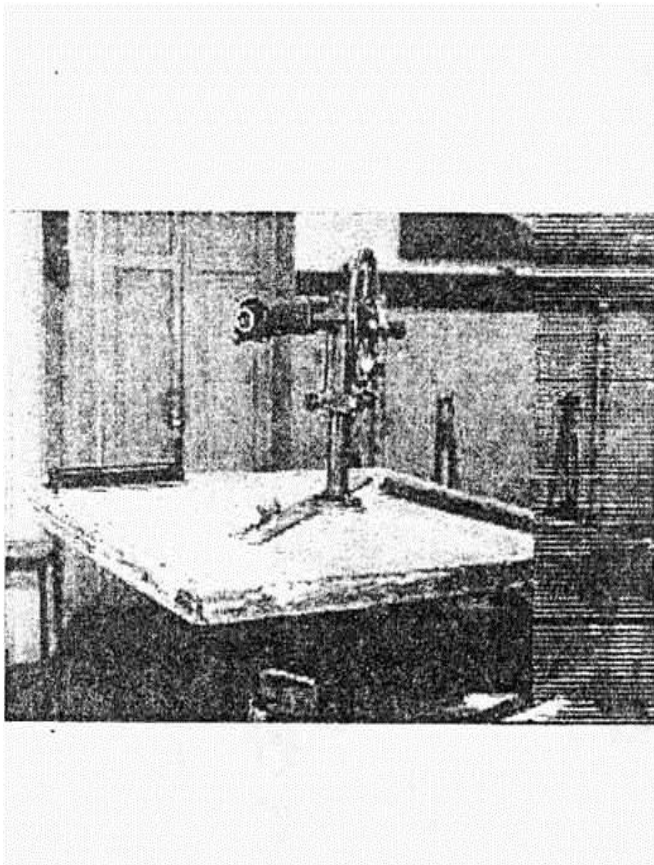


Рис. 8.12

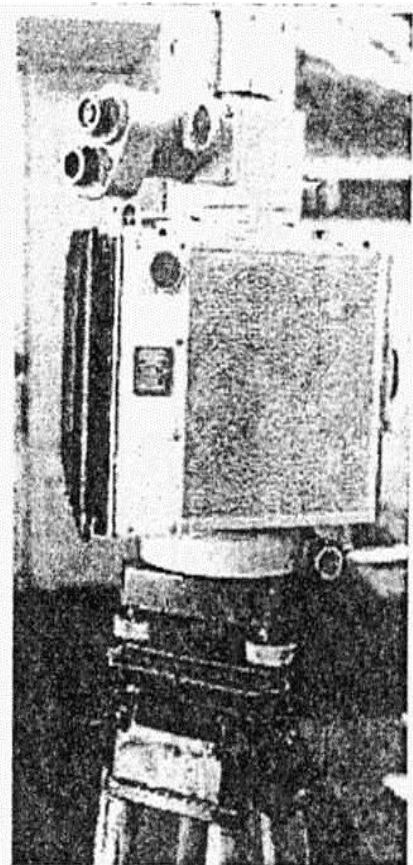


Рис. 8.13

\**Тахеометр* - це той же теодоліт, споряджений вертикальним кругом і нитковим далекоміром;

\*\**Фототеодоліт* - комбінований прилад з теодоліта і фотокамери для фотографування на скляні фотопластинки розміром 13х18 см.



6. *Бусольна зйомка, екерна і окомірна зйомки* виконувалися раніше геологами при розвідці родовищ корисних копалин для визначення їх місцезнаходження, у початковий період загального ознайомлення з об'єктом, при виборі трас споруд та ін.

7. *Вертикальна зйомка (нівелювання)* виконується з метою визначення перевищень між окремими точками земної поверхні, складання профілей, великомасштабних топографічних планів та ін.

Розрізняють такі методи нівелювання:

- 1) *геометричний* – це нівелювання горизонтальним променем візування;
- 2) *тригонометричний* – це нівелювання похилим променем візування;
- 3) *фізичний* – це нівелювання барометрами (рис. 8.14) або гідростатичне (рис. 8.15). Барометричне нівелювання засноване на тому, що із зміною висоти точок над рівневою поверхнею змінюється атмосферний тиск. Гідростатичне нівелювання засноване на властивості рідини займати в сполучених посудинах однакову висоту;
- 4) *механічне* – це нівелювання нівелірами-автоматами, будову яких засновано на дії виска. Нівеліри-автомати використовують при попередньому виборі трас доріг, каналів та інших лінійних споруд, для отримання профілей залізничних колій та ін.
- 5) *фотограмметричне* – це нівелювання застосовують при наземній і аерофотозйомці.

Детально будуть подані не всі види зйомок, а тільки теодолітна, тахеометрична і два види нівелювання – геометричне і тригонометричне.

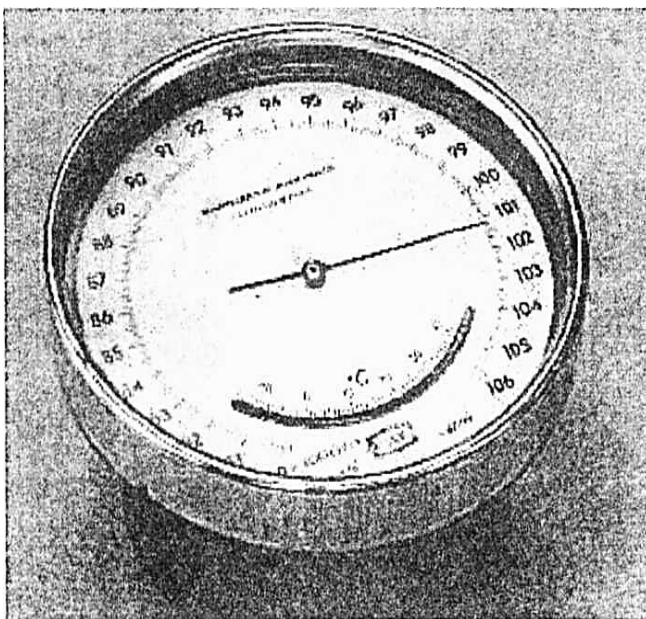


Рис. 8.14

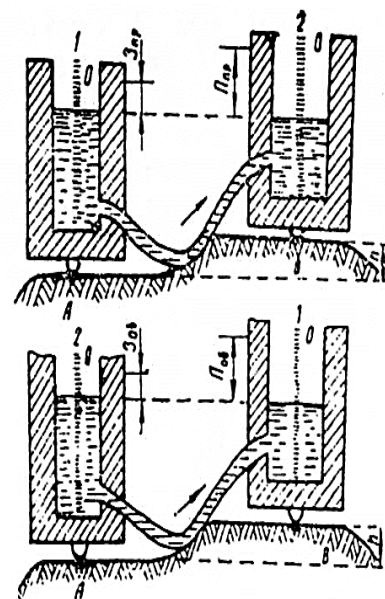


Рис. 8.15

### Питання для самоконтролю

1. Що називається опорною геодезичною мережею?
2. Якими способами визначається положення опорних пунктів на земній поверхні?
3. Як підрозділяються геодезичні мережі?
4. Якими методами створюються планові геодезичні мережі?
5. Суть метода триангуляції?
6. Суть метода трилатерації?
7. Суть метода полігонометрії?
8. Яким методом створюється висотна мережа?
9. Якими методами створюються геодезичні мережі згущення?
10. Якими методами створюються знімальні геодезичні мережі?
11. Чим закріплюються пункти геодезичних мереж на місцевості?
12. Для чого над центрами триангуляції встановлюються наземні геодезичні знаки і які наземні геодезичні знаки ви знаєте?
13. Якими методами створюють сучасні Державні геодезичні мережі (ДГМ) на Україні?
14. Назвіть дві головні причини, що вимагають підвищення точності ДГМ?
15. Що називається зйомкою?
16. Які основні дії виконують при зйомках місцевості?
17. Які види зйомок для отримання карти або плану ви знаєте?
18. Які види зйомок в залежності від застосовуваних приладів ви знаєте?

## 9. ГЕОДЕЗИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

### 9.1. Теодоліт. Будова та перевірки

#### 9. 1.1. Принцип вимірювання горизонтального кута

Під час виконання топографічних робіт потрібно виконувати кутові вимірювання. До того ж необхідно знати ортогональні проекції вимірюваних на місцевості кутів на рівневу поверхню, яку вважатимемо горизонтальною площиною [9].

Нехай три точки  $A, B, C$  місцевості розташовані на різних висотах (рис. 9. 1). Проведемо через них площину. Вона буде нахиленою. З'єднаємо точку  $B$  з точками  $A$  і  $C$ . Тоді в нахиленій площині отримаємо кут місцевості  $ABC = \beta'$ . Проте нам потрібно знати не кут  $ABC$ , а його ортогональну проекцію на горизонтальну площину  $H$ . Щоб одержати ортогональну проекцію цього кута, необхідно через сторони  $BC$  та  $BA$  провести прямовисні площини  $Q$  та  $T$ . Перетин цих площин з горизонтальною площиною  $H$  дасть горизонтальний кут  $avc = \beta$ , який і потрібно виміряти. Кут  $avc$  є мірою двогранного кута, утвореного двома вертикальними площинами  $Q$  і  $T$ . Для вимірювання кута  $avc$  на ребрі  $DB$  можна взяти будь-яку точку, наприклад  $v'$  провести через цю точку горизонтальну площину і на ній побудувати коло довільного радіуса. Радіуси  $v'a'$  і  $v'c'$  цього кола, що лежать у площинах  $Q$  і  $T$ , утворюють кут  $a'v'c'$ , який дорівнює горизонтальному куту  $avc$ , а кількість градусів та частки градуса у дузі  $a'c'$  є величиною цього кута.

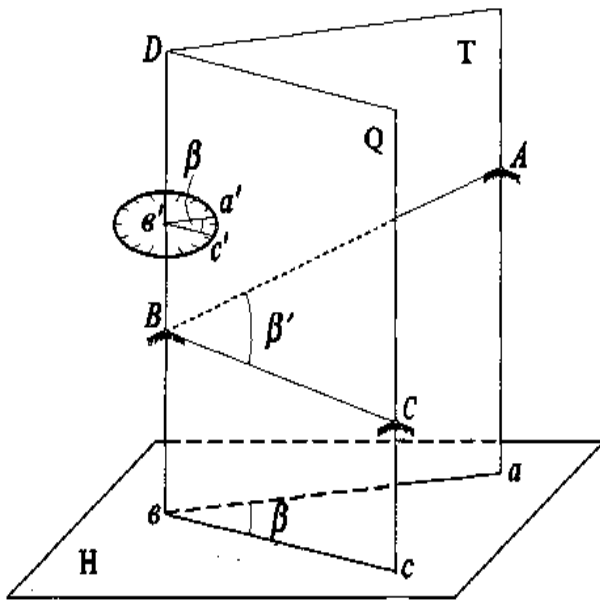


Рис. 9. 1. До вимірювання ортогональної проекції горизонтального кута

Отже, для вимірювання градусної величини ортогональних (горизонтальних) проекцій кутів місцевості потрібен прилад, оснащений кругом з градусними поділками. Площину цього круга під час вимірювань необхідно встановлювати горизонтально (паралельно до рівневої поверхні  $H$ ), а центр круга  $v'$  сумістити з ребром  $DB$ , тобто встановити точку  $v'$  на одній прямовисній лінії з точкою  $B$  місцевості. Такий градуирований круг називають **лімбом**. Крім того, в приладі має бути рухома вертикальна площина, яка перпендикулярна до площини лімба і проходить через центр лімба  $v'$ . Така рухома вертикальна площина називається **візирною**.

Для створення взірної площини зазвичай використовують зорову трубу, яка, повертаючись навколо власної горизонтальної осі, описує вертикальну площину. Зорову трубу за допомогою її підставок скріплюють з іншим кругом, що повертається навколо вертикальної осі, яка проходить через центр лімба. Цей круг називають *алідадою*. Слово *алідада* в перекладі з грецької означає лінійка. Повертаючи алідаду в горизонтальній площині (коли лімб нерухомий), можна суміщати рухому вертикальну площину з площинами  $Q$  і  $T$ , а в ці моменти фіксувати на лімбі початок і кінець дуги  $a's'$ . Такий фіксувальний пристрій (найпростіший - це штрих на аліаді, що займає певне положення між градусними штрихами лімба) називається *відліковим пристроєм*. Він дає змогу відлічувати лімб в точках  $a'$  і  $s'$ . Різниця цих відліків, тобто  $s'-a'$ , дає значення кута  $a'v's'$ , яке дорівнює горизонтальному куту  $авс$ . На цьому принципі ґрунтується будова приладу, який називають *теодолітом*.

Оскільки центр лімба теодоліта встановлюють над вершиною вимірюваного кута, то допоміжними частинами теодоліта є штатив та центрир.

Для встановлення осі обертання лімба та алідади в прямовисне положення, а площини лімба і алідади в горизонтальне положення використовують рівні.

У наш час теодоліти обов'язково мають вертикальні круги для вимірювання вертикальних кутів (кутів нахилу).

### 9.1.2. Принципова схема теодоліта

Схема конструкції теодоліта показана на рис. 9.2. Теодоліт встановлюють на підставку, яка має три підймальні гвинти. Підставка, своєю чергою, за допомогою станового гвинта кріпиться до головки штатива. В середину втулки підставки встановлюється порожниста вісь лімба, а в неї – вісь алідади [9].

*Лімб* – горизонтальний круг з градусними поділками. *Алідада* – також горизонтальний круг, що має один або два діаметрально розташовані штрихи – індекси, які дають змогу відлічувати шкалу лімба, тобто визначати положення алідади відносно лімба.

На аліаді закріплені дві колонки, на які кріпиться горизонтальна вісь обертання зорової труби. На цю ж вісь насаджений вертикальний круг, за допомогою якого вимірюють вертикальні кути.

Розглянемо детальніше будову та призначення основних вузлів та частин теодоліта.

1. *Підставка теодоліта* є основою для монтажу всіх вузлів і складається з підставки (рис. 9.2) та трьох підймальних гвинтів, за допомогою яких вісь обертання приладу  $ZZ_1$  встановлюють прямовисно.

2. *Вертикальна вісь обертання теодоліта*  $ZZ_1$  повинна бути спільною для лімба й алідади. Вона об'єднує алідадну частину приладу з горизонтальним кругом і підставкою, а також забезпечує обертання

алідади та лімба навколо осі  $ZZ_1$ . За головну вісь теодоліта приймають вертикальну вісь обертання алідади.

3. **Горизонтальний кутомірний круг** (лімб) має рівномірну шкалу градусних або градусових поділок і їх частин, за якою відлічують положення напрямків на предмети місцевості відносно нульової поділки шкали лімба. Якщо горизонтальний круг нерухомо скріплений з підставкою, то теодоліт називаються **простим**. Теодоліти, лімби яких, як і алідадні круги, мають закріплювальний та навідний гвинти, називаються **повторювальними**. Зорові труби таких теодолітів можна точно наводити на предмети місцевості, обертаючи лімб скріплений з алідадою, або тільки алідаду.

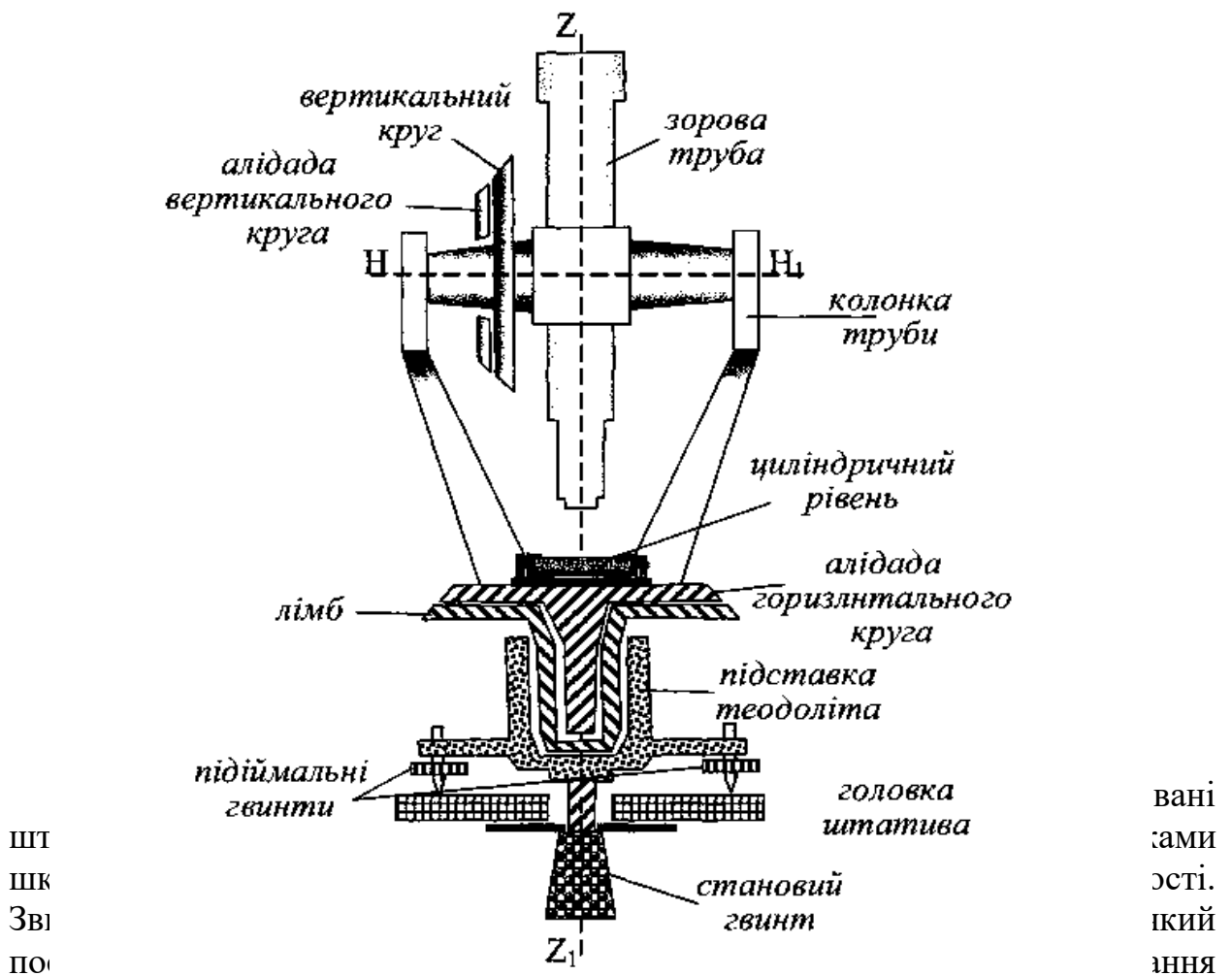


Рис. 9.2. Принципова схема будови теодоліта

горизонтальних кутів. Алідада обов'язково має закріплювально-навідний пристрій, який забезпечує точне візування зорової труби на предмети місцевості.

6. **Циліндричний рівень** при алідаді горизонтального круга призначений для того, щоб встановити вертикальну вісь обертання приладу прямою.

7. **Зорова** (візирна) **труба** наглухо скріплена з горизонтальною віссю обертання  $HH_1$ . Візирна вісь труби (під час повертання алідади навколо

вертикальної осі, а труби – навколо горизонтальної осі) описує рухомі вертикальні площини, з якими суміщаються предмета місцевості під час вимірювання горизонтальних кутів.

8. **Вертикальний кутомірний круг**, як і візирна труба, наглухо екріплений з горизонтальною віссю обертання труби. Вертикальний круг має рівномірну градусну шкалу, за допомогою якої вимірюють вертикальні кути.

Допоміжними приладами теодоліта є: бусоль, штатив, нитковий або оптичний центрир, пакувальний футляр, прилади, необхідні для юстування теодоліта та технічного догляду за ним.

Для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів розташування окремих вузлів та частин теодоліта має відповідати таким геометричним умовам:

- площина горизонтального круга повинна бути перпендикулярна до головної (вертикальної) осі теодоліта;
- вісь циліндричного рівня (дотична в нуль-пункті рівня) має бути перпендикулярною до головної осі приладу;
- візирна вісь теодоліта (лінія візування) повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання зорової труби;
- вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярна до головної осі обертання теодоліта;
- площина вертикального круга повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання зорової труби;
- положення лінії, що з'єднує нуль-пункта аліади вертикального круга, повинно бути постійним відносно прямовисної лінії.

Невиконання або неточне виконання цих умов призведе до того, що виміряні кути будуть помилковими.

### **9.1.3. Головні характеристики та класифікація кутомірних приладів**

Головними характеристиками кутомірних приладів є:

- діаметр горизонтального круга (лімба) і ціна його найменшої поділки;
- діаметр вертикального круга і ціна його найменшої поділки;
- діаметр об'єктива зорової труби, збільшення, фокусна віддаль, поле зору та яскравість зображення, які дає труба;
- ціна поділки циліндричного рівня, за допомогою якого головну вісь теодоліта встановлюють прямовисно;
- вага та габарита приладу.

Кутомірні прилади можна класифікувати за призначенням:

1. Теодоліти, призначені для вимірювання горизонтальних кутів. Вертикальні круги таких приладів або мають значно меншу точність порівняно з горизонтальними, або відсутні.

2. Вертикальні круги – для вимірювання вертикальних кутів. Горизонтальні круги таких приладів мають незначну точність. Використовують вертикальні круги тільки в астрономічних спостереженнях.

3. В універсальних приладах однакова точність горизонтального та вертикального кругів. Тому приладові похибки вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів цими приладами рівні. Універсальними називають тільки високоточні прилади, призначені для астрономічних спостережень.

4. Теодоліти-тахеометри. У таких приладах однакова точність горизонтальних і вертикальних кругів, їх зорові труби переводяться через зеніт і обладнані пристроями для віддалемірних вимірів. Широко застосовуються в топографічних та геодезичних роботах. Часто їх називають одним словом - тахеометри.

5. Гідротеодоліти. Слугують для визначення на місцевості напряму істинного меридіана та азимутів земних предметів.

6. Електронні теодоліти. Процес вимірювання кутів такими приладами автоматизований. Значення відліку висвічується на дисплеї.

7. Електронні тахеометри. Автоматизовані оптико-електронні прилади, які працюють за заданими програмами і дають змогу вимірювати горизонтальні вертикальні кути, віддалі або просторові координати пунктів, що спостерігають, та їхні висоти.

8. До кутомірних приладів належать також бусолі, екліметри, екери, транспортири.

Теодоліти за конструктивними особливостями поділяються на:

- механічні – мають металеві горизонтальні та вертикальні вимірювальні круги;
- оптичні, вимірювальні круги яких скляні. Нанесення штрихів на прозоре скло дає можливість за допомогою лінз та призм передавати зображення цих штрихів у поле зору відлікових пристроїв;
- кодові, градусні вимірювальні круги яких також скляні, а кругові шкали таких теодолітів замінені умовними (кодовими) знаками, що дає змогу автоматизувати процес вимірювання кутів.

Однак найважливішою є класифікація теодолітів за точністю. Теодоліти за точністю поділяють на три класи:

- високоточні (можна вимірювати горизонтальний кут одним прийомом з точністю  $0,5'' \div 1,0''$ );
- точні (дають змогу вимірювати горизонтальний кут одним прийомом з точністю  $2,0'' \div 10,0''$ );
- технічні (можна вимірювати горизонтальний кут одним прийомом з точністю  $15'' \div 30''$ ).

#### ***Високоточні теодоліти.***

Теодоліт триангуляційний ТТ-2"/6", точність відлікового пристрою горизонтального круга якого 2", вертикального круга – 6".

Оптичний теодоліт Т05, відліковий пристрій якого спільний для обох кругів і має точність 0,5".

Оптичний теодоліт ОТ-02, відліковий пристрій якого теж спільний для обох кругів, а ціна поділки шкали відлікового пристрою (оптичного мікрометра) становить 0,2" (у модернізованого ОТ-02М – 0,5").

Оптичний теодоліт Т1, ціна поділки відлікового пристрою (оптичного мікромметра) якого – 1". Призначений для астрономічних спостережень.

#### **Точні теодоліти.**

Оптичні теодоліти ОТС, ТБ-1, Т2. Мають шкалу оптичного мікромметра 1". Оптичні теодоліти Т2 є покращеною конструкцією теодоліта ТБ-1. Теодоліти Т2 стали основою для подальших вдосконалень.

Оптичний теодоліт 2Т2КП - з компенсатором і прямим зображенням.

Оптичні теодоліти 3Т, а також 3Т2КП.

Оптичні теодоліти Т5, Т5К, 2Т5, 2Т5К, 3Т5КП.

#### **Технічні теодоліти.**

Оптичні теодоліти Т15, Т15К, 4Т15П;

Оптичні теодоліти Т30 – зі штриховим мікроскопом, Т30К – зі штриховим мікроскопом та компенсатором.

Оптичні теодоліти 2Т-30, 2Т-30М, 2Т-30К, 2Т-30КП, 4Т30КП, 4Т30П10 – усі зі шкаловими мікроскопами (К–компенсатор; П–пряме зображення; М–маркшейдерський). Ціна поділки шкали – 5', тільки в теодолітах 2Т-30М та 4Т30П10 – 1'.

Оптичні теодоліти Т-60. Ціна поділки шкали – 1' .

**Компенсатори** - це автоматичні пристрої, що замінюють циліндричні рівні при алідаді вертикального круга й автоматично встановлюють пряму, що проходить через нуль-пункти алідади, перпендикулярно до прямовисної лінії. Компенсатор звільняє спостерігача від необхідності приводити бульбашку циліндричного рівня на середину його шкали перед кожним відлічуванням вертикального круга.

Наведені вище марки теодолітів випускали в СРСР. Деякі з них сьогодні виробляють в Російській Федерації. В Україні також використовуються теодоліти багатьох іноземних фірм: Carl Zeiss (Німеччина), Sokkia, Topcon (Японія), Trimble (США), Leica (Швейцарія) та інші.

### **9.1.4. Рівні, їх будова та призначення**

Рівні використовують для встановлення осей та площин приладів у горизонтальне та вертикальне положення, а також для вимірювання малих кутів відхилення їхніх параметрів від правильного положення [9].

За принципом дії розрізняють **рідинні, електронні, пружинні** рівні.

За формою рідинні рівні поділяють на циліндричні та сферичні.

Циліндричні рівні використовують для точного, а сферичні для приблизного встановлення приладів у задане положення.

Важливий показник рівнів – їхні характеристики точності, за якими рівні класифікують на:

- **встанівні** – приводять осі приладів в задане положення з точністю 5 – 10'.
- **технічні** – з ціною поділки приблизно 1';
- **точні** – з ціною поділки не більше за 30";
- **високоточні** – з ціною поділки не більше за 10".



**Циліндричний рівень** – це скляна трубка – ампула (рис. 9.3), внутрішня поверхня якої в поздовжньому перерізі має вигляд дуги віщовідного радіуса. Циліндричні рііні бувають односторонні та двосторонні, поворотні (реверсійні).

Внутрішня поверхня сферичних рівнів має сферичну поверхню (рис. 9.4).

Ампули рівнів встановлюють в металеву оправу і заповнюють сірчаним ефіром або етиловим спиртом. Кінці ампули, після її заповнення гарячою рідиною, запаюють. Бульбашка рівня утворюється з парів наповнювача. Нормальна довжина бульбашки 0,3 – 0,4 довжини ампули за температури +20°C.

Щоб довжина бульбашки не змінювалась за різних температур, ампули виготовляють із запасною камерою або з компенсаційною скляною паличкою всередині ампули. Запасна камера відокремлена від робочої скляною перегородкою з отвором внизу. Нахиляючи рівень, можна переміщувати частину наповнювача з однієї камери в іншу, регулюючи довжину бульбашки.

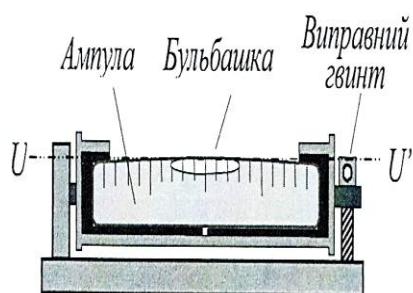


Рис. 9.3. Циліндричний рівень

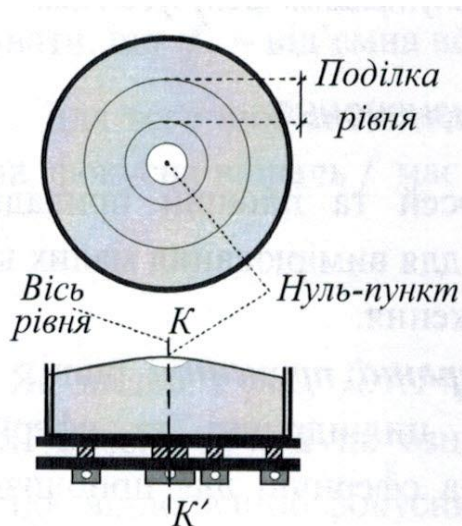


Рис. 9.4. Сферичний рівень

Всередині ампули компенсаційного рівня розміщена скляна паличка, яка має велику теплоємність. Зі зміною температури рівня паличка виділяє або поглинає тепло, тому довжина бульбашки практично не змінюється. На зовнішній стороні ампули наносять поділки через 2 мм і оцифровують через 5 або 10 поділок, в односторонніх рівнях з однієї сторони, а в реверсійних – з обох сторін. Ззовні, на поверхні ампули сферичного рівня, поділки наносять у вигляді концентричних кіл, радіуси яких відрізняються один від одного на 2 мм (рис.9.4). Бульбашка – чутливий елемент рівня. Центр бульбашки є найвищою точкою верхньої частини рівня. Якщо рівень нахилити, то бульбашка зміститься, щоб зайняти найвище положення.

**Нуль-пунктом рівня** називають точку, яка розташована посередині шкали ампули, відносно якої симетрично нанесені поділки. Дотична до внутрішньої поверхні ампули в нуль-пункті називається **віссю циліндричного рівня**  $UU'$  (рис. 9.3).

**Віссю сферичного рівня**  $KK'$  (див. рис. 9.4) називають нормаль до внутрішньої поверхні рівня в нуль-пункті.

**Ціна поділки рівня** – це кут, на який необхідно нахилити вісь рівня, щоб бульбашка рівня перемістилася на одну поділку його шкали (тобто 2 мм).

### 9.1.5. Зорова труба

Зорові оптичні труби застосовують для збільшення зображення віддаленого предмета, тобто для збільшення кута, під яким предмет видно неозброєним оком [9].

Труба (рис. 9.5) складається з об'єктивного 1 окулярного коліна, в які вставляються об'єктив і окуляр. Перед окуляром міститься сітка ниток, які гравіровані на склі.

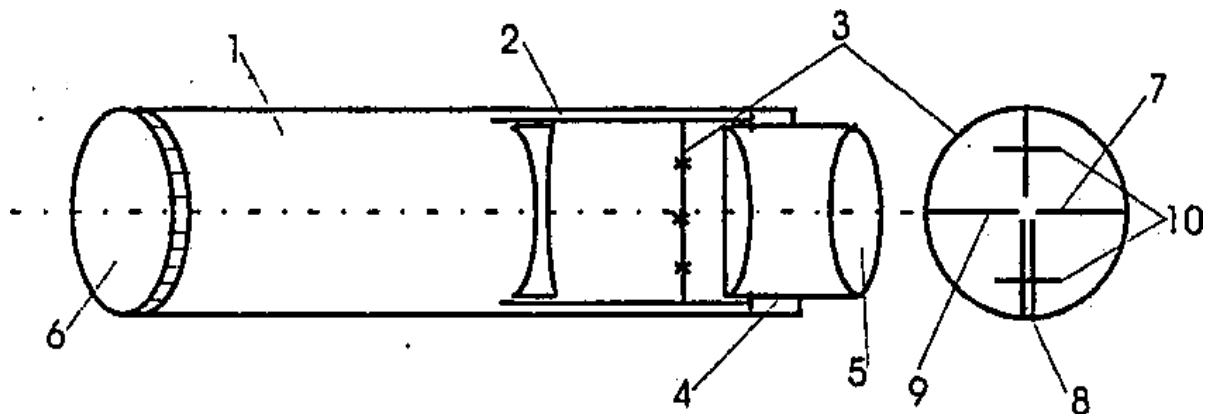


Рис. 9.5. Будова зорової труби з внутрішнім фокусуванням

1 - об'єктивне коліно; 2 - окулярне коліно; 3 - сітка ниток; 4 - окулярна трубочка; 5 - окуляр; 6 - об'єктив; 7 - перехрестя сітки; 8 - бісектор; 9 - середня горизонтальна нитка; 10 - далекомірні штрихи

Перехрестя вертикальної і горизонтальної ниток називають центром сітки, яким спостерігач наводить (візує) на предмет.

Розрізняють три осі, які проходять в зоровій трубі:

1) **візирна вісь** - це уявна пряма, яка з'єднує оптичний центр об'єктива з перехрестям сітки ниток;

2) **оптична вісь** - це уявна пряма, яка з'єднує оптичні центри об'єктива і окуляра;

3) **геометрична вісь** - це вісь циліндра труби.

Продовження візирної осі до предмета, що спостерігають, називають **візирною лінією**. Навести трубу на предмет – означає навести візирну вісь перехрестям сітки на потрібну точку предмета.

Розрізняють зорові труби із зовнішнім і внутрішнім фокусуванням.

Саме з фокусуванням зорових труб пов'язані суттєві недоліки труб з зовнішнім фокусуванням, під час якого змінюється довжина зорової труби.

Коли окулярне коліно висувається з об'єктивного, то повітря всередині труби розрізується і в трубу всмоктується зовнішнє повітря разом з пилом та вологою. Під час зворотного руху окуляра із зорової труби виходить чистіше повітря, тому що пилінки осідають на стінках зорової труби та на лінзах

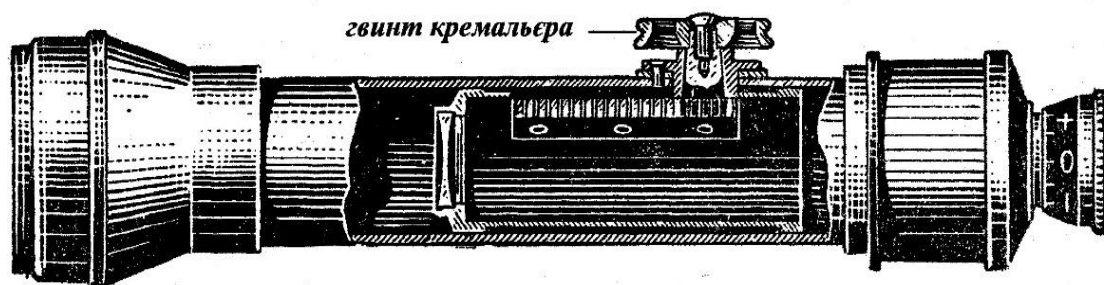
об'єктива і окуляра. Тому час від часу необхідно чистити зорову трубу. Тому в наш час виготовляють прилади із зоровими трубами з внутрішнім фокусуванням.

На рис. 9.6 показано загальний вигляд такої труби.

Рис. 9.6. Зорова труба з внутрішнім фокусуванням

### 9.1.6. Перевірки та юстування теодолітів

Взаємне розміщення частин теодоліта повинно відповідати певним геометричним умовам, які впливають з принципу вимірювання



горизонтального кута. Наявність цих умов встановлюють, виконуючи перевірки приладу [9]. Якщо виявиться, що та чи інша геометрична умова не виконується, прилад юстують. Ще раз назвемо осі теодоліта (рис. 9.7):

1. **Вертикальна вісь** обертання теодоліта – пряма, навколо якої обертається алідада.

2. **Вісь циліндричного рівня** – дотична до внутрішньої поверхні ампули рівня у нуль-пункті, спрямована вздовж ампули рівня.

3. **Візирна вісь** – це уявна пряма лінія, яка проходить через центр сітки ниток та задню голівну точку об'єктива.

4. **Горизонтальна вісь** – це обертається зорова труба. вісь, навколо якої

5. **Площина горизонтального круга** – це площина, в якій розташований горизонтальний круг (лімб).

6. **Площина вертикального круга** – площина, в якій розміщений вертикальний

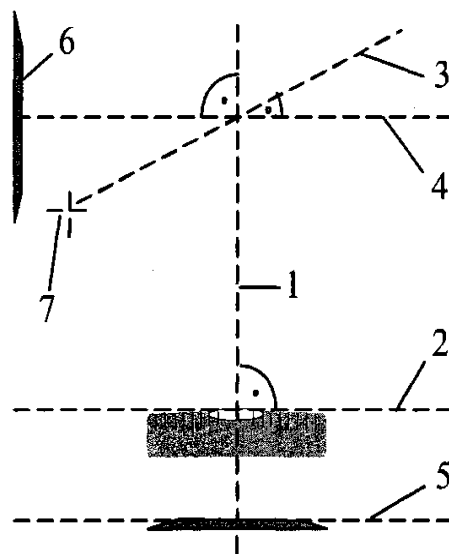


Рис. 9.7. Осі теодоліта

Розглянемо перевірки теодоліта.

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

кажучи, необхідно, щоб виконувалася умова  $u_1u_2 \perp o_1o_2$  (рис. 9.8).

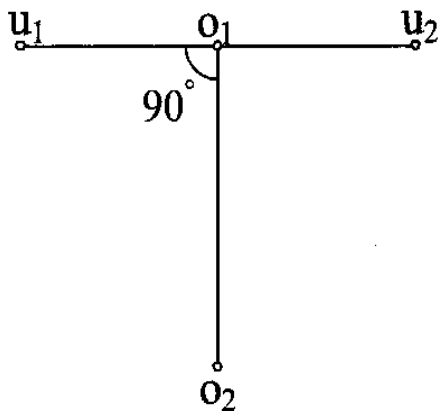


Рис. 9.8. До перевірки циліндричного рівня

Практично перевірку виконують так:

- встановлюють вісь рівня паралельно до лінії, що з'єднує будь-які два підймальні гвинти, і, обертаючи їх в протилежні боки, переміщують бульбашку рівня на середину шкали ампули (в нуль-пункт);

- повертають алідаду на  $180^\circ$ . Якщо бульбашка залишилася на середині або відхилилася не більше ніж на одну поділку шкали рівня, то умова виконується, якщо ні - здійснюють юстування. Для цього вертикальними виправними гвинтами рівня переміщують бульбашку в напрямку до середини

шкали на половину дуги відхилення. Перевірку повторюють до виконання умови.

2. Візирна вісь повинна бути перпендикулярна до горизонтальної осі теодоліта (осі обертання зорової труби). Ця перевірка називається перевіркою на колімацію.

Нехай горизонтальна вісь (вісь обертання зорової труби) теодоліта – горизонтальна, а візирна вісь зорової труби перпендикулярна до неї. Тоді, якщо зорову трубу обертати навколо горизонтальної осі, то візирна вісь описуватиме площину, перпендикулярну до осі обертання труби. Цю площину називають **колімаційною**.

Якщо ж названі осі взаємно не перпендикулярні, то під час повертання зорової труби навколо осі обертання візирна вісь описуватиме конус з вершиною у точці їх перетину.

Припустимо, що центр сітки ниток розташований в точці  $K_1$  (рис. 9.9), тобто візирна вісь  $AK_1$  не є перпендикулярною до осі обертання  $h_1h_2$  зорової труби. Якщо би центр сітки ниток містився в точці  $K$  і візирна вісь була б перпендикулярна до осі обертання  $h_1h_2$  зорової труби, тоді у разі наведення зорової труби на віддалену точку  $A$  місцевості відлік горизонтального круга був би  $M$ . Якщо ж центр сітки ниток містився в точці  $K_1$ , то для наведення візирної осі на точку  $A$  необхідно зорovou трубу, а разом з нею і горизонтальний круг, повернути праворуч (проти годинникової стрілки) на величину відхилення, тобто на кут  $C$ , який називають **колімаційною похибкою**. Тоді відлік горизонтального круга буде  $M_1$ . Якщо поділки горизонтального круга підписані за ходом годинникової стрілки, то  $M_1 = M - C$ , звідки

$$M = M_1 + C. \quad (9.1)$$

Переведемо зорову трубу через зеніт. Центр сітки ниток переміститься в симетричну точку  $K_2$ , а візирна вісь, як і до того, утворюватиме з площиною, перпендикулярною до осі обертання зорової труби, такий самий кут  $C$ .

Для наведення візирної осі на точку  $A$  необхідно повернути зорову трубу, а з нею і горизонтальний круг, за годинниковою стрілкою на кут  $C$ , тоді новий відлік горизонтального круга  $M_2 = M + C$ . Звідси

$$M = M_2 - C. \quad (9.2)$$

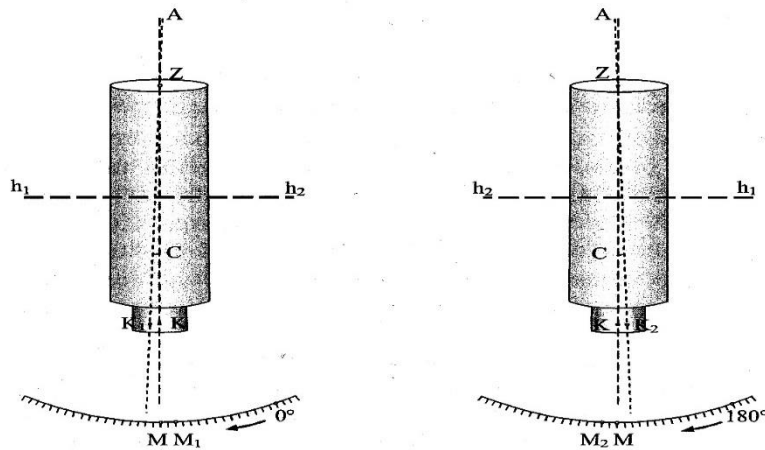


Рис. 9.9. До перевірки колімаційної похибки теодоліта

Якщо відняти від виразу (9.2) вираз (9.1) і згрупувати члени, отримаємо

$$2C = M_2 - M_1,$$

або

Якщо додати вирази (9.1) та (9.2) і згрупувати члени, одержимо

$$M = \frac{M_1 + M_2}{2}.$$

$$M = \frac{KL + K\Pi \pm 180^\circ}{2}, \quad (9.3)$$

$$C = \frac{KL - K\Pi \pm 180^\circ}{2}, \quad (9.4)$$

Для зручності формули (9.3) та (9.4) записують у вигляді

де  $K\Pi$  (круг ліворуч) – відлік горизонтального круга, коли (9.6) вертикальний круг теодоліта розташований ліворуч від окуляра зорової (9.5)

труби;  $KП$  (круг праворуч) – відлік горизонтального круга, коли вертикальний круг теодоліта розміщений праворуч від окуляра зорової труби.

Практично перевірку виконують так:

- 1) встановлюють вертикальну вісь теодоліта вертикально;
- 2) центр сітки ниток наводять на віддалену, розташовану близько догоризонту, точку та відлічують горизонтальний круг (відлік  $KП$  або  $KЛ$ );
- 3) переводять трубу через зеніт, повертають алідаду на  $180^\circ$  і знову наводять трубу на вибрану точку;
- 4) відлічують горизонтальний круг (відлік  $KП$  або  $KЛ$ ); – обчислюють за формулою (9.3) значення колімаційної похибки.

Якщо  $C = 0$  або не перевищує подвійної точності відлікового пристрою, то умови дотримуються. Якщо ні, виконують юстування. Для цього:

- а) за формулою (9.6) обчислюють відлік, вільний від колімаційної похибки;
- в) навідним гвинтом алідади встановлюють цей відлік на горизонтальному крузі;
- с) обертаючи горизонтальні виправні гвинти сітчиниток, наводять центр сітки ниток на вибрану точку.

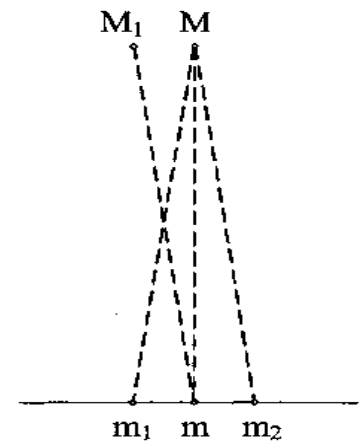
### **3. Горизонтальна вісь обертання труби повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта.**

Теодоліт встановлюють на відстані приблизно 20 м від стіни. Зорову трубу наводять при крузі праворуч та ліворуч на високо розташовану точку  $M$  на стіні (рис. 9.10).

Далі трубу опускають вниз до горизонтального положення і фіксують проекцію центра сітки ниток на стіні. Якщо при двох положеннях круга проекції точки  $M$  збігались в точці  $m$ , то  $Mm$  – прямовисна лінія, і відповідно, колімаційна площина прямовисна.

Якщо умова не виконується, то проекція при одному крузі буде в точці  $m_1$ , а при другому – в точці  $m_2$ . Середнє положення  $m$  буде правильним. Поділивши відрізок  $m_1m_2$  на дві рівні частини, знаходять точку  $m$ . Наводять центр сітки ниток на цю точку і повертають трубу об'єктивом вгору до рівня точки  $M$ . При цьому центр сітки ниток (на рис. 9.10 точка  $M_1$ ) не збігається з точкою  $M$ . Отже, вісь обертання труби не є горизонтальною.

Щоб позбутися нахилу, достатньо було б видовжити одну з підставок настільки, щоб точки  $M_1$  і  $M$  збіглися. Проте в оптичних теодолітах цього робити не можна. Якщо точки  $M_1$  і  $M$  розходяться на ширину бісектора, то



*Рис. 9.10. До визначення перпендикулярності горизонтальної та вертикальної осей теодоліта*

нахил осі обертання труби становить 30". Допускається експлуатація теодоліта, якщо нахил 1'. Виправляють недолік в оптичних майстернях.

Зауважимо: якщо виконувати вимірювання при двох положеннях вертикального круга (*КЛ* і *КП*), то із середнього результату буде вилучена похибка за негоризонтальність осі зорової труби.

**4. Сітка ниток повинна бути встановлена правильно, тобто вертикальна нитка (бісектор) має бути вертикальною, а горизонтальна – горизонтальною.**

Щоб перевірити цю умову, вертикальну вісь обертання теодоліта встановлюють прямовисно. Наводять центр сітки ниток на точку та обертають трубу навколо своєї осі. Якщо зображення точки не сходять з вертикальної нитки, то умова виконується. Якщо зміщення більше ніж 1/3 ширини бісектора, то сітку ниток необхідно розвернути. Для цього послабляють гвинти, якими окуляр кріпиться до корпусу зорової труби, і повертають сітку ниток так, щоб умова виконувалася. Виправивши положення сітки ниток, треба повторно перевірити перпендикулярності візирної осі до осі обертання труби. Слід пам'ятати, що внаслідок цього може з'явитися колімаційна похибка, оскільки повертали сітку ниток.

## **9.2. Вимірювання горизонтальних кутів**

### **9.2.1. Встановлення теодоліта над вершиною кута**

Теодоліт приводять в робочий стан у такій послідовності:

- 1) центрують теодоліт;
- 2) встановлюють вертикальну вісь теодоліта прямовисно і, тим самим, площину лімба – горизонтально;
- 3) встановлюють зорову трубу по оку і по предмету. Усувають паралакс сітки ниток;
- 4) встановлюють чітке зображення штрихового або шкалового мікроскопа.

Як виконуються ці дії. Передусім потрібно, щоб ніжки штатива були однакової довжини. Для цього відпускають закріпний гвинт однієї ніжки, видовжуючи її відповідно до росту спостерігача, і закріплюють гвинт цієї ніжки. Звести впритул усі три ніжки, а потім відпустити закріпні гвинти двох інших ніжок. Нижні частини цих ніжок під своєю вагою падатимуть і впиратимуться металевими наконечниками в ґрунт. Після цього необхідно закріпити закріпні гвинти цих ніжок.

Потім починають центрування. Верхню площину головки штатива встановлюють приблизно горизонтально. При цьому центр головки штатива має бути приблизно над центром знака, а кінці ніжок повинні бути вершинами рівностороннього трикутника (якщо знак закладено на горизонтальній поверхні). Далі на головку штатива встановлюють теодоліт і прикріплюють його становим гвинтом. До станового гвинта підвішують висок на нитці. Вістря виска має бути над центром знака, а головка штатива

повинна залишатися горизонтальною. Якщо штатив встановлено приблизно над центром знака, то достатньо, попустивши становий гвинт, перемістити теодоліт на головці штатива або сильніше вдавити в ґрунт одну з ніжок штатива. У цей час головка штатива має залишатися горизонтальною. Якщо ж головка штатива встановлена не над центром знака, доведеться змістити штатив.

Зазначимо, що штатив встановлюють окремо від теодоліта тільки на початковій точці. На коротких лініях теодоліт переносять разом зі штативом у вертикальному положенні. Теодоліт упаковують тільки під час переїздів та переходах на значні віддалі [9].

### Будова теодоліта 2Т30М

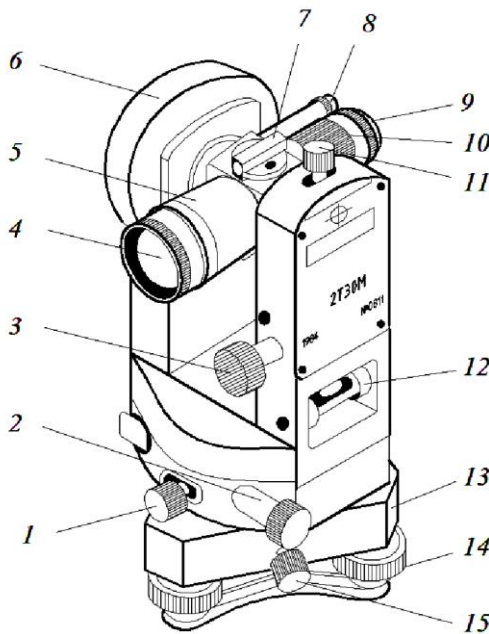


Рис. 9.11. Будова теодоліта 2Т30М

1—закріпний гвинт горизонтального круга; 2—навідний гвинт горизонтального круга; 3—навідний гвинт зорової труби; 4—об'єктив; 5—зорова труба; 6—вертикальний круг; 7—оптичний візир; 8—труба відлікового мікроскопа; 9—окуляр (діоптрійне кільце); 10—кільце фокусуєчої лінзи; 11—закріпний гвинт зорової труби; 12—циліндричний рівень; 13—підставка; 14—підйомні гвинти; 15—закріпний гвинт підставки.

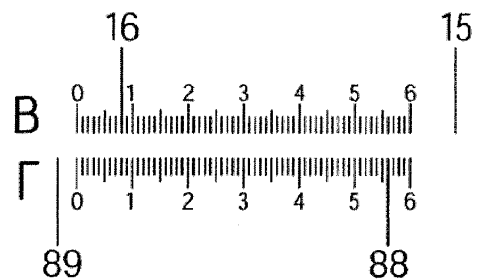


Рис. 9. 12. Поле зору шкалового мікроскопа  
Відлік за ВК дорівнює  $16^{\circ}08'$   
Відлік за ГК дорівнює  $88^{\circ}56'$

Після центрування вертикальну вісь теодоліта розташовують прямовисно за допомогою циліндричного рівня в такій послідовності:



– встановлюють вісь циліндричного рівня у напрямку двох підймальних гвинтів 14 теодоліта і, обертаючи їх в різні боки, виводять бульбашку циліндричного рівня на середину шкали рівня 12 (у нуль-пункт);

– відк ріпивши алідаду 1, повертають алідадну частину теодоліта на  $90^\circ$ , тобто встановлюють циліндричний рівень у напрямку третього підймального гвинта 14. Обертаючи цей гвинт, знову приводять бульбашку в нуль-пункт.

Якщо рівень перевірений, то після цих дій бульбашка опиниться на середині шкали або відхилитиметься на половину (максимум на одну поділку) шкали циліндричного рівня за будь-якого положення алідади. Після цього необхідно переконатись, що теодоліт зцентрований.

Встановлюють трубу теодоліта і відлікового мікроскопа у робочий стан за допомогою фокусувального гвинта 10 (кремальєри) та окулярного кільця зорової труби і мікроскопа 9.

### 9.2.2. Вимірювання горизонтальних кутів методом прийомів

Залежно від конструкції приладів, умов вимірів і вимог, що пред'являються до них, застосовуються наступні методи виміру горизонтальних кутів [9]:

1. Метод прийомів ( метод окремого кута);
2. Метод повторень;
3. Метод кругових прийомів.

Найпростішими методами, які найчастіше використовують під час вимірювань технічними теодолітами, є метод вимірювання окремого кута або **метод прийомів**.

Розглянемо цей метод.

Точки нумерують за ходом годинникової стрілки від одиниці до  $n$ -ї точки. У такій послідовності і вимірюють кути. Доцільно вимірюват внутршні кути полігона, оскільки наперед відома їх теоретична сума. Ці кути є також правими по ходу. Якщо спостерігач стоїть в точці  $i$ , то праворуч від нього буде точка з номером  $i-1$  (задня точка), а ліворуч – точка з номером  $i+1$  (передня точка) (рис. 9.13).

Над точкою  $i$  встановлюють у робочий стан теодоліт. В точках " $i-1$ " та  $i+1$  вертикально встановлюють візирні цілі (віхи). Якщо зорова труба обернена окуляром до спостерігача і вертикальний круг праворуч від зорової труби, то говорять, що горизонтальний круг відлічують при крузі праворуч і записують ( $KП$ ). У положенні вертикального круга ліворуч від зорової труби – при крузі ліворуч ( $KЛ$ ).

Далі виконують такі дії:

- наводять зорову трубу на задню (праву) точку і відлічують горизонтальний круг;

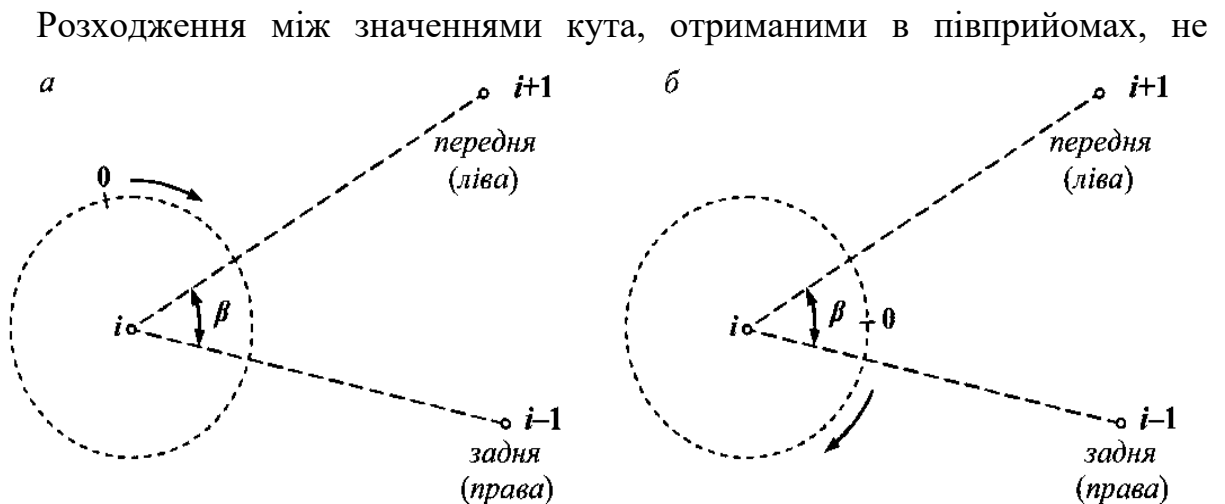
- відкріплюють закріпний гвинт алідади. Встановивши нерухомо горизонтальний круг, обертають теодоліт за годинниковою стрілкою, наводять трубу на передню (ліву) точку і також відлічують горизонтальний

круг. Для визначення правого кута  $\beta_1$  необхідно від відліку на задню (праву) точку відняти відлік на передню (ліву) точку. Оскільки поділки на горизонтальному крузі зростають за ходом годинникової стрілки, то, як видно з рис. 9.13, а, відлік на задню точку завжди буде більшим за відлік на передню точку. Якщо нульова поділка лімба буде між напрямками на передню і задню точки (рис. 9.13, б), відлік на передню точку буде номінально більшим за відлік на задню точку. Тоді, щоб обчислити значення правого кута треба до відліку на задню точку додати  $360^\circ$  і від цієї суми відняти відлік на передню точку.

З таких вимірювань складається півприйм.

Другий півприйм виконують у такій самій послідовності за іншого положення вертикального круга. Для цього зорову трубу переводять через zenit. Крім того, рекомендується в другому півприйомі повертати алідаду проти ходу годинникової стрілки.

Рис. 9.13. До вимірювання кутів та нумерації точок ходу



Розходження між значеннями кута, отриманими в півприйомах, не

повинні перевищувати подвійної точності відлікового пристрою теодоліта.

Якщо розходження значення горизонтального кута  $\beta$  у півприйомах допустиме, то обчислюють середнє значення кута із двох півприймів.

Результати вимірювань записують у журнал, зразок якого наведено у табл. 9.1.

Для зменшення впливу похибок вимірювань кути вимірюють  $n$  прийомами з перестановкою лімба через  $180^\circ/n$ , де  $n$  – кількість прийомів.

Якщо передбачено вимірювання горизонтального кута тільки одним прийомом, то в другому півприйомі лімб зміщують. Для цього, перевівши трубу через zenit:

1 відкріплюють закріпний гвинт лімба та повертають теодоліт за ходом годинникової стрілки приблизно на  $1^\circ - 2^\circ$  (для теодолітів з односторонньою системою відліку по кругах) та приблизно на  $90^\circ$  (для теодолітів з двосторонньою системою відліку);

2 закріплюють лімб і, відкріпивши закріпний гвинт алідади, повертаючи теодоліт за ходом годинникової стрілки, наводять трубу на точку  $i+1$ . Далі у другому півприйомі виконують дії, описані вище.

Таблиця 9.1

**Журнал вимірювання горизонтальних кутів методом окремого кута**

Початок спостережень  $9^{30}$  Назва пункту Погода *похмура*  
 Дата 28.06.2018 Спостерігав Гарасимчук В. Записував Шкултин В.

Номер станції стояння	Номер станції наведення	Відліки горизонтального круга		Значення кута			
				обчислене		середнє	
		°	'	°	'	°	'
I			кЛ				
	i-1	192	32,5				
	i+1	141	58,6	50	33,9		
			кП			50	33,8
	i-1	12	33,0	50	33,6		
	i+1	321	59,4				

**9.2.3. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів**

Цей спосіб застосовується тоді, коли на точці потрібно спостерігати три і більше напрямків (рис. 9.14) [12]. 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 *КЛ* на початкову точку наприклад В. Закріплюють лімб і беруть відлік з горизонтального круга  $\alpha_b$ . Відкріплюють закріпний гвинт

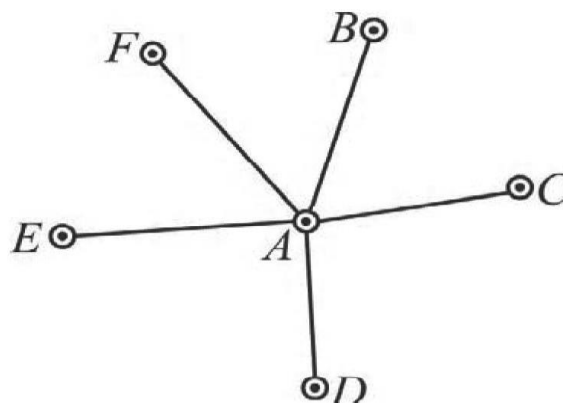


Рис. 9.14. Схема вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

алідади горизонтального круга і зорову трубу наводять на точку С та знімають відлік  $\alpha_c$ . Аналогічно по черзі наводять трубу на решту точок за ходом годинникової стрілки і беруть відповідно відліки  $\alpha_d$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_f$  і знову знімають відлік  $\alpha_b$  на точку В. Цей відлік називають замиканням горизонту.

Результати спостережень записують в журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів (табл. 2).

Переводять трубу через зеніт і при *КП* 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 враховують середнє значення із відліків *КЛ* і *КП*, але градуси залишають ті які є при *КЛ*. Середнє значення беруть тільки із мінут і їх десятих.

Таблиця 9.2

**Журнал  
вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів**

Для того щоб одержати приведені напрямки, то враховують постійне

Станція	Точки візування	Відліки по ГК		$C = \frac{КЛ - КП}{2} + 180$ (колімація)	Середнє значення відліків при <i>КЛ</i>	Приведений напрямок при <i>КЛ</i>
		<i>КЛ</i>	<i>КП</i>			
A	B	0°01.0'	180°00'	+ 0,5'	<u>0°00,75'</u> 0°00,5'	0°00. 0'
	C	64°54,5'	244°55,5'	- 0,5'	64°55,0'	64°54,25'
	D	126°18,0'	306°19,0'	- 0,5'	126°18,5'	126°17,75'
	E	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'
	B	0°01, 5'	180°00,5'	+ 0,5'	0°01, 0'	0°00, 0'

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.

### 9.3. Вимірювання вертикального кута

Вертикальний кут (кут нахилу) складається горизонтальною площиною і лінією візування і може мати знак + або – в залежності від

того де знаходиться точка, на яку візують вище чи нижче від станції. При вимірюванні вертикального кута теодолітом (рис. 9.15) візують на одну і ту ж точку при положеннях вертикального круга справа і зліва відносно труби, позначивши на віхі  $V = i$ .

У залежності від того, який теодоліт застосовують для вимірювань кут нахилу одержують із відліків на вертикальному крузі за різними формулами [10].

Наприклад, якщо застосовувався теодоліт 2Т-30М, то:

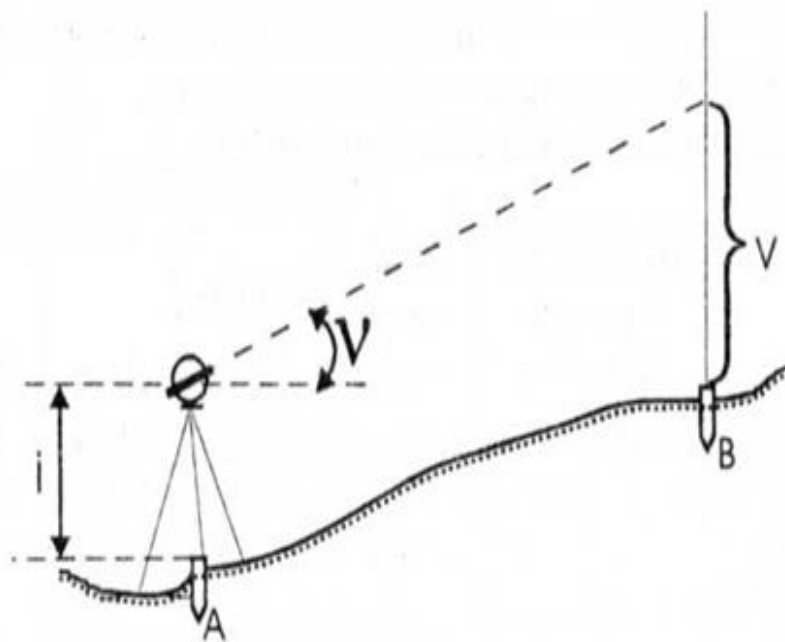


Рис. 9.15. Вимірювання вертикального кута

де  $KЛ$  – відлік на вертикальному крузі при його положенні зліва відносно труби;

$KП$  – відлік на вертикальному крузі при його положенні справа відносно

$$v = \frac{KЛ - KП - 180^\circ}{2}, \quad (9.7)$$

труби.

Якщо відліки на вертикальному крузі менші  $90^\circ$ , необхідно додавати до відліку  $360^\circ$ .

При виконанні топографічних зйомок кути нахилу вимірюються при одному положенні вертикального круга або справа, або зліва відносно труби. Але для цього необхідно знати значення місця нуля (МО) вертикального круга. МО визначають один раз на станції із

обчислення за формулою:

$$(9.8)$$

де  $KЛ$  і  $KП$  – відліки на вертикальному крузі, взяті після візування на

$$МО = \frac{KЛ + KП - 180^\circ}{2};$$

одну і ту ж точку. Місце нуля не повинно перевищувати  $1' \div 2'$ . Подальші значення вертикальних кутів, виміряних на станції, обчислюють за формулами:

$$v = KЛ - МО \quad (9.9)$$

або

$$v = МО - KП - 180^\circ. \quad (9.10)$$

При вимірюванні довжин ліній кути їх нахилу можна визначити за допомогою екліметра [1]. Він складається з круга, поділеного на градуси, и візирної трубки, скріпленої з кругом (рис. 9.16).

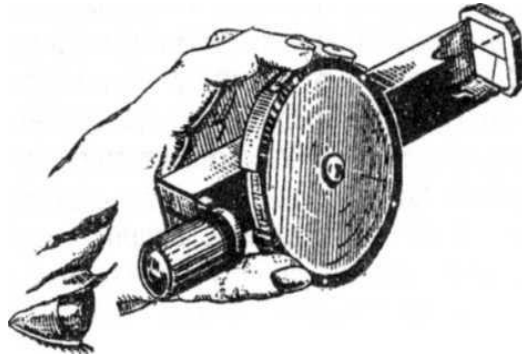


Рис. 9.16. Екліметр

Круг вільно обертається навколо осі, закріпленої на візирній трубці. Кут нахилу візирної трубки при наведенні на предмет можна прочитати на крузі.

## 9.4. Лінійні виміри

### 9.4.1. Способи виміру довжин ліній

Перед вимірюванням довжин кінці ліній на місцевості повинні бути закріплені центрами (залізо-бетонними, металевими або дерев'яними кілочками, забитими в землю, дюбелями або болтами забитими в асфальт іт. ін.). Довжини ліній визначають двома методами: **безпосередньо і посередньо** [1].

При **безпосередньому** вимірюванні довжину лінії порівнюють з мірним приладом, що містить якесь число одиниць, наприклад рулетка, метр, жезл, аршин і т. ін.

При **посередньому** визначенні довжин ліній використовують геометричні або фізичні в залежності між довжиною лінії яку визначають, і розміром безпосередньо виміряних величин. Наприклад,

у трикутнику виміряно три кути й одну сторону; за теоремою синусів обчислюють довжини двох інших сторін. До посередніх визначень відносять також вимірювання довжин ліній далекомірами.

Для вимірювання довжин ліній на місцевості застосовують такі прилади:

1. Прилади, які при вимірюванні укладаються безпосередньо на землю (це сталеві вимірювальні стрічки, металеві або тісмяні рулетки).

2. Підвісні мірні прилади, такі як базисний прилад БП-3, далекомір АД-1М, та ін.

У комплект базисного приладу входять три інварних 24-метрових дроти (інвар - сплав з 36% нікелю і 64% заліза, коефіцієнт лінійного розширення якого приблизно в 12 разів менший, ніж у сталі, 2 блок-штативи, 2 лот-апарати, 2 гирі вагою 10 кг, штативи з спеціальними головками (ціликами). Раніше базисні прилади застосовували при вимірюванні довжин ліній у полігонометрії і базисів вихідних сторін триангуляції. Зараз їх використовують для вимірювання довжин ліній компараторів. Потім усі робочі мірні прилади перед початком лінійних вимірювань компарують, тобто звіряють з наперед виміряною інварними дротами довжиною і визначають дійсну довжину мірних приладів. Далекомір АД-1 сконструйований у Ленінградському відділенні науково-дослідного інституту маркшейдерської справи і виготовлявся їх експериментальними майстернями. У комплект приладу входять 2 бобини з 500- метровим сталевим каліброваним дротом діаметром 0,8 мм, блок-штатив, гиря вагою 15 кг, динамометр, шкали і сам далекомір. АД-1 призначався для вимірів довжин ліній у полігонометрії, але в серію не пішов тому, що був витіснений більш сучасними далекомірними приладами.

3. Далекоміри:

- нитяний;
- подвійного зображення;
- далекомірні насадки ДНТ та ін;
- диференціальні ДД-2, ДД-3;
- електрооптичні (світлодалекоміри);
- квантові (лазерні);
- радіодалекоміри.

#### **9.4.2. Припади для лінійних вимірювань (мірні стрічки, рулетки)**

**Мірні стрічки** (рис. 9.17) – сталеві смуги завширшки 15 – 20 мм, завтовшки 0,3 – 0,4 мм. Їх довжина 20, 24, 50, 100 м. Найпоширенішими є мірні стрічки завдовжки 20 м. На стрічках метри позначено цифрами на прямокутних або овальних пластинках, півметри – клепками, дециметри – круглими отворами. Дециметри, вимірюючи лінії, ділять на око на сантиметри [9, 10].

Розрізняють такі мірні стрічки: *кінцеві штрихові* та *шкалові*.

У *кінцевих* стрічок довжина відлічується між кінцями натягнутих ручок. Кінцеві стрічки зручні для вимірювань віддалей між будовами, коли стрічку потрібно прикласти до стіни.

За довжину *штрихових* стрічок приймають віддалей між штрихами, нанесеними біля гачків. Вимірювати значні довжини зручніше і точніше штриховою стрічкою.

Для точних вимірювань застосовують *шкалові* стрічки, ширина яких 6 – 10 мм, або шкалові дроти діаметром близько 2 мм. Шкали зазвичай мають довжини 8 – 10 см, на них нанесено міліметрові поділки.

У комплект стрічки входить 10 або 11 металевих шпильок (рис. 9.16), якими фіксують кінці стрічки, укладаючи їх на місцевості. Найкраще мати

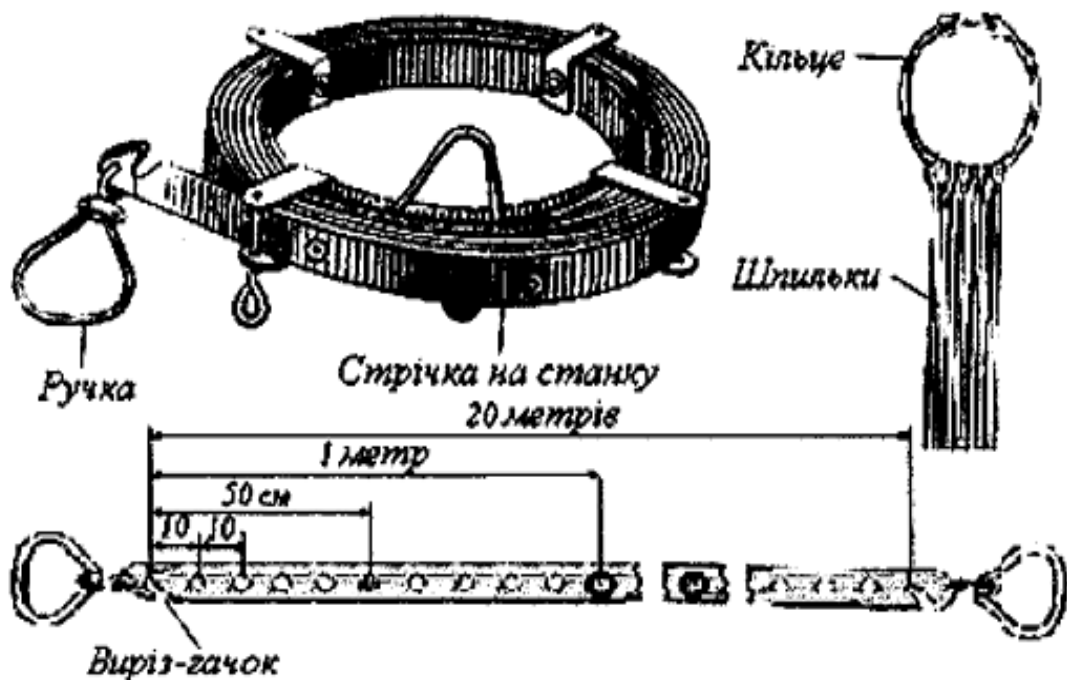


Рис. 9.17. Землемірна стрічка

комплект з 10 шпильок; якщо у комплекті 11 шпильок, частіше виникають грубі помилки лінійних вимірювань. Під час переїздів та зберігання стрічку намотують на металеве кільце і закріплюють гвинтом. Для зберігання шпильки підвішують на дротяне кільце. Щоб досягти під час вимірювань постійних натягів стрічки, інколи в комплект до стрічки додають динамометр, а для врахування температури стрічки-термометр. Для вимірювання невеликих віддалей використовують *рулетки* (рис. 9.18) з найменшими сантиметровими, частіше міліметровими, поділками. Рулетки бувають різної довжини: 2, 5, 10, 20, 30, 50 м. Ширина металевої смужки найчастіше 10 мм, товщина – 0,2 мм. Рулетки зберігають намотаними на особливий пристрій.

В інженерно-геодезичних роботах використовуються металеві релетки в закритому корпусі типу РЗ, на хрестовині типу РК, на вилці тіпа РВ і ін. ; в



маркшейдерській практиці застосовуються гірські рулетки типів РГ-20, РГ-30 і РГ-50, що виготовляються з нержавіючої сталі, що володіють високими механічними властивостями. Точність вимірювання довжин ліній сталеву рулеткою досягає 1:50 000 і вище [10].

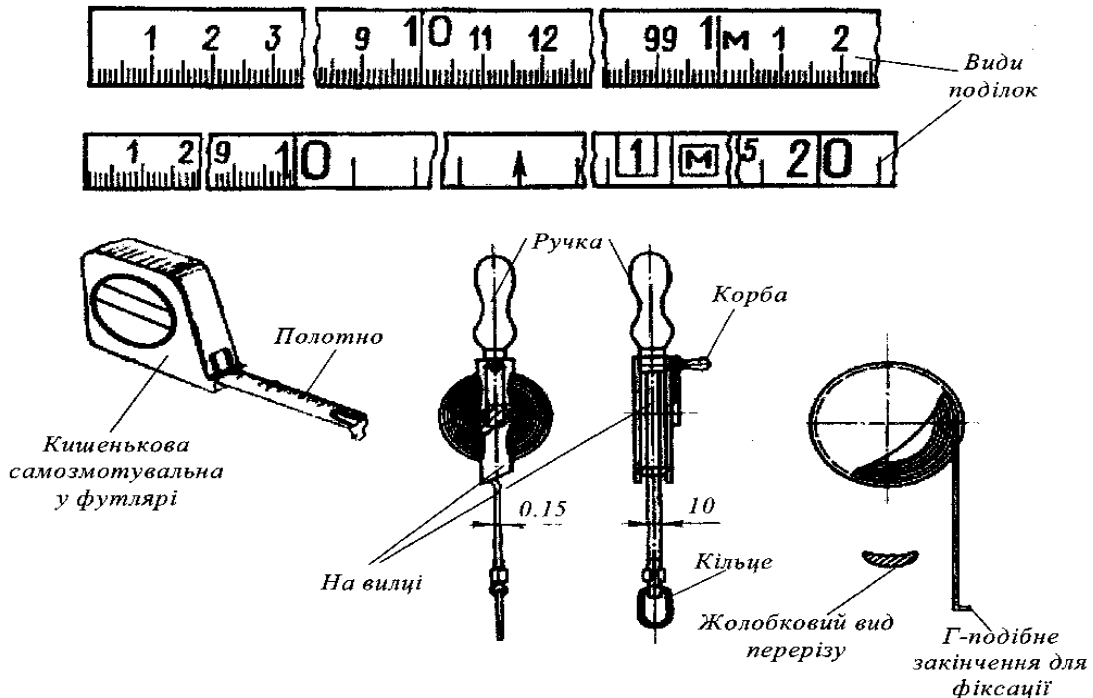


Рис. 9.18. Сталеві рулетки

Перед застосуванням мірний прилад необхідно перевірити, тобто порівняти його довжину зі взірцевою довжиною.

#### 9.4.3. Компарування мірних стрічок та рулеток

Міри довжин за призначенням поділяють на три групи: еталони одиниці довжини, взірцеві міри та робочі міри. Еталони одиниці довжини є основною мірою для всіх лінійних вимірювань в Україні. Вони призначені для зберігання та відтворення одиниці довжини з найвищою точністю, якої можна досягти за допомогою сучасної вимірювальної техніки [9].

Взірцеві міри довжини мають певну, наперед задану, точність. Їх використовують для перевірки робочих мір. Мірні стрічки та рулетки, якими вимірюють невідомі довжини, є робочими мірними приладами. Визначення довжини робочих мір називається **компаруванням**.

Довжина мірної стрічки між штрихами, що позначають кінці приладу, майже ніколи не дорівнює номіналу (наприклад, 20 м) через помилки нанесення штрихів під час виготовлення стрічок на заводах. Під компаруванням розуміють визначення з необхідною точністю фактичної довжини мірного приладу. Звичайно для цього використовують відомі взірцеві міри, найчастіше так звані компаратори. Найпростіший компаратор – це дві

металеві пластинки, зацементовані на горизонтальній площині (наприклад, у підлогу). На пластинках нанесено два штрихи  $A$  та  $B$  (рис. 9.19). Віддаль  $L$  між штрихами наперед визначають взірцевими мірами з точністю не менше ніж 0.2 – 0.3 мм. Віддаль  $L$  закладають дещо більшою за 20 м. Стрічку, довжину якої визначають, заносять в приміщення не менше ніж за годину до компарування, вкладають поруч з компаратором. Початковий штрих стрічки  $П$  суміщають зі штрихом  $A$  компаратора і натягують з такою самою силою, що і під час вимірювань. Вимірюють віддаль  $\Delta L$  між штрихом компаратора  $B$  та кінцевим штрихом стрічки  $K$  за допомогою циркуля-вимірника та поперечного масштабу або за допомогою лінійки з міліметровими поділками. Як зрозуміло з рисунка, фактична довжина стрічки  $l$  буде

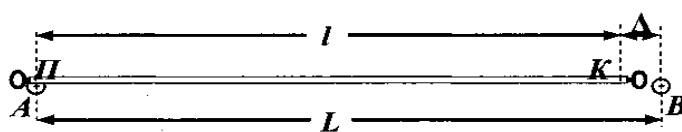
$$l = L - \Delta L. \quad (9.11)$$

Вимірюють температуру повітря  $t$  і вважають, що стрічка має таку саму температуру.

Нехай  $L = 20 \text{ м} + 13,7 \text{ мм}$ , а  $\Delta L = 9,1 \text{ мм}$ ,  $t = 17^\circ\text{C}$ . На основі (9.11) знаходимо  $l_0 = 20,0046 \text{ м}$ . Значення  $l_0$  записують у вигляді

$$l_0 = 20\text{м} \pm \Delta l \text{ при } t = 17^\circ\text{C}, \quad (9.13)$$

де  $l_0 = 20\text{м}$ ,  $\Delta l$  – поправка за компарування. В наведеному прикладі  $\Delta l = 4,6 \text{ мм}$ . Вираз (9.13) називають рівнянням стрічки. В нашому випадку  $l_0 = 20 \text{ м} + 4,6 \text{ мм}$  при  $t = 17^\circ \text{C}$ . Тобто стрічка довша від номіналу 20 м на 4,6 мм. Але



це тільки при температурі  $t = 17^\circ\text{C}$ . Тому рівняння стрічки без температури компарування втрачає зміст.

Рис. 9.19. Компарування мірної стрічки

Розглянемо, як знаходять поправку за компарування стрічки у виміряну довжину лінії. Під час вимірювання довжину лінії спочатку визначають, вважаючи, що стрічка має номінальну довжину, тобто 20 м. Якщо в результаті компарування з'ясується, що довжина стрічки більша за номінальну на  $\Delta l$ , то результат вимірювання збільшиться на  $n \cdot \Delta l$ , де  $n$  – кількість відкладень стрічки. Тому поправку  $n \cdot \Delta l$  потрібно додати до результату вимірювання. Навпаки, якщо довжина стрічки менша за номінальну на  $\Delta l$ , то результат вимірювання зменшиться на  $n \cdot \Delta l$ . Тому поправку  $n \cdot \Delta l$  потрібно відняти від результату вимірювання.

Щоб переконатись у вищесказаному, уявімо собі що потрібно виміряти дуже довгу лінію. Якщо стрічка коротша від номіналу, вона вкладається в таку лінію більшу кількість разів, результат вимірювання буде більшим від фактичного. Тому, щоб знайти правильний результат, поправку  $n \cdot \Delta l$  потрібно відняти від результату вимірювання; навпаки, довша від номіналу стрічка укладається в цій довгій лінії меншу кількість разів. Тому, для того щоб отримати правильний результат, поправку  $n \cdot \Delta l$  потрібно додати до отриманого результату вимірювання.

Приклад. Нехай рівняння стрічки  $l = 20 \text{ м} + 4,6 \text{ мм}$  при  $t = 17^\circ \text{ С}$ .  
 Результат вимірювання лінії становить  $164,48 \text{ м}$ .  
 Тоді поправка буде  $\Delta l = 164,48 / 20 \cdot 4,6 = +38 \text{ мм}$ .  
 А виправлений результат  $164,48 + 0,04 = 164,52 \text{ м}$ .

У зроблених розрахунках прийнято, що вимірювання стрічкою виконували в середньому за такої самої температури, як і під час її компарування ( $t = 17^\circ \text{ С}$ ). Аналогічно компарують і рулетки.

#### 9.4.4. Вимірювання ліній мірною стрічкою

Вимірювання лінії  $AB$  (рис. 9.20) стрічкою виконують два помічники спостерігача: задній і передній. У переднього помічника всі десять шпильок, які він тримає разом з рукою мірної стрічки в одній руці, а другою рукою фіксує на місцевості довжину мірної стрічки за допомогою шпильки. Задній помічник спрямовує переднього в створі лінії, передній натягує стрічку так, щоб вона вирівнялась і вклалась у створі усією довжиною, а тоді вставляє шпильку в гачок на кінці стрічки, навпроти нульового штриха, і втирає її в землю (точка 1). Обидва помічники ідуть вперед, задній підходить до шпильки і, не виймаючи її із землі, закріплює початок стрічки, зачепивши гачок з початковим штрихом стрічки за шпильку. Далі задній помічник спрямовує переднього в створі лінії і той відкладає наступні  $20 \text{ м}$ , зафіксувавши на землі другою шпилькою точку 2. Тільки після цього задній помічник виймає першу шпильку. У точці 2 у заднього помічника будуть вже дві шпильки: одна в руці друга в землі. Вимірюна віддаль

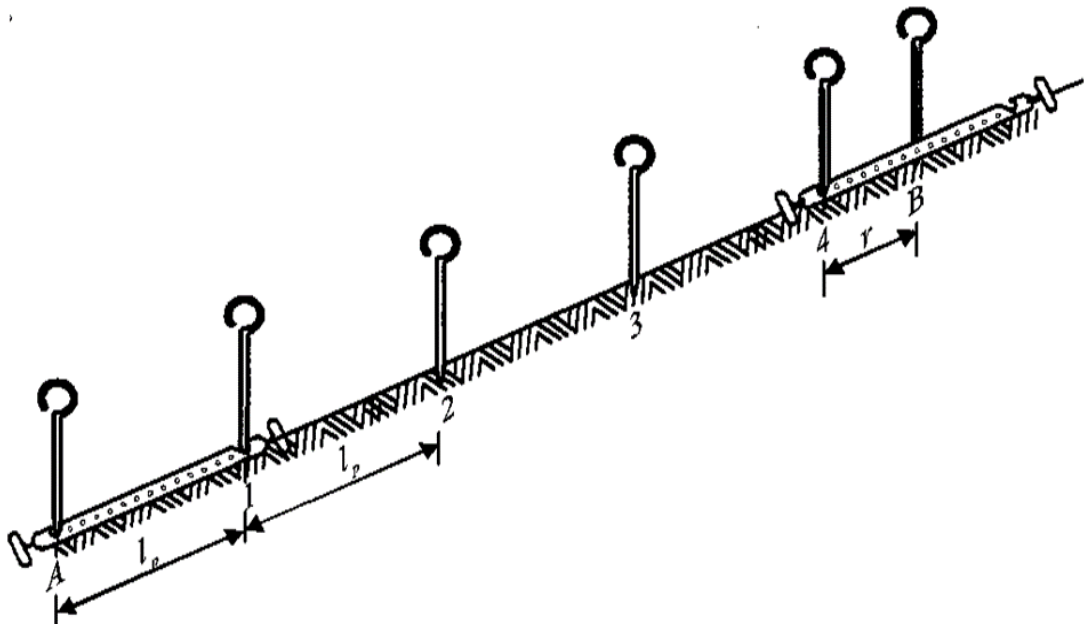


Рис. 9.20. Вимірювання довжини лінії мірною стрічкою становить  $20 \text{ м} \cdot 2 = 40 \text{ м}$ . Аналогічно роблять і далі. Закінчивши вимірювання, рахують кількість шпильок у заднього помічника. Їх повинно бути

десять. За тим, скільки шпильок у заднього помічника, визначають кількість відкладень стрічки.

Залишок лінії 4-В вимірюють тією самою стрічкою; цілі метри відраховують за номерами (цифрами), підписаними на пластинках, десяті (дециметри) – за отворами, соті (сантиметри) – оцінюють на око, ділячи дециметр на 10 частин. Залишок лінії називають *доміром*. Якщо довжина лінії більша, ніж 200 м, то передній помічник, закріпивши в землі десяту шпильку (в цій точці – 200 м), йде разом із заднім помічником вперед. Задній закріплює початок стрічки за десяту шпильку, спрямовує у створі лінії переднього помічника. Той, натягнувши та струсивши стрічку, прикладає її ручку до землі і наступає на неї ногою. Задній помічник виймає

десяту шпильку, підходить до переднього, вставляє одну шпильку в землю (в гачок), а дев'ять шпильок віддає передньому помічнику. Цей процес називається передаванням шпильок. В точці першого передавання шпильок буде вже виміряно віддаль 220 м (була одна передача – 200 м і у заднього помічника одна шпилька, яка ще в землі). Кількості таких передач  $n$  відповідає довжина  $200n$  м.

Нехай домір становить 17,25 м, а передач було дві ( $n = 2$ ), шпильок у заднього помічника  $k = 6$ . Загальна формула для обчислення довжин ліній матиме вигляд

$$L = 200n + 20k + d. \quad (9.14)$$

В нашому конкретному прикладі одержимо

$$L = 200 \cdot 2 + 20 \cdot 6 + 17,25 = 537,25 \text{ м.}$$

Лінію вимірюють двічі в прямому і зворотному напрямках. Отримують значення  $L_1, L_2$ . За кінцевий результат приймають середнє значення  $L_{сер}$ . Різниця  $\Delta L = L_2 - L_1$  має задовольняти відношен

$$\frac{\Delta L}{L_{сер}} = \frac{1}{2000}. \quad (9.15)$$

Під час вимірювання ліній в міських умовах положення початкового і кінцевого штрихів стрічки фіксують на твердому покритті (бетон, асфальт) крейдою або кольоровим олівцем. Вимірюючи лінії по снігу, під кінець стрічки, що міститься в створі, підкладають спеціальні дерев'яні дощечки. Штрихи на стрічці суміщають зі штрихами на дощечках, вдавлюючи їх у сніг.

Сталеві мірні стрічки ламаються, якщо з ними необережно поводяться та через роз'їдання іржею. Розмотуючи стрічку та під час вимірювань, треба стежити, щоб не створювалось петель, вісімок та кругів, не допускати наїзду транспорту на стрічку. Переносючи стрічки, помічники повинні тримати її в руках і не волокати по землі. Гвинт, яким кріпиться змотана на кільце стрічка, треба пропускати через деталь, що з'єднує кінець стрічки з її ручкою. Перед змотуванням стрічки на кільце її потрібно насухо витерти. Коли стрічку кладуть на зберігання, то змашують її машинним маслом або вазеліном.

#### 9.4.5. Грубі похибки, які виникають під час вимірювання лінії стрічкою

Під грубими похибками розуміють прорахунки, промахи, які можна виявити і позбутися їх завдяки повторним вимірюванням. Але, наперед знаючи, коли і чому виникають грубі похибки, можна уникнути їх або хоча б зменшити частоту їх появи [9].

Найчастіше під час лінійних вимірювань стрічкою виникають такі грубі похибки:

1. Неправильний підрахунок кількості передач, що, зрозуміло (хоча би на одну), призведе до грубої помилки в 200 м. Тому виконавець робіт, спостерігаючи за ходом вимірювань, кожну передачу шпильок повинен зазначати в польовому журналі наприклад, одиничкою.

2. Прорахунок кількості шпильок у заднього помічника, який може трапитися не тільки тому, що помічник неправильно підрахував кількість шпильок, а ще й тому, що він забув витягнути шпильку із землі або загубив її. Прорахунок в одну шпильку призведе до грубої помилки в 20 м. Тому обов'язково для контролю потрібно порахувати кількість шпильок у переднього помічника, їх має бути 10. В іншому разі необхідно повторно вимірювати лінію спочатку, а втрачену шпильку спробувати знайти.

3. Під час вимірювання доміру відлічують стрічку не від початку, а від кінця. Нагадаємо, що коли, наприклад, на одній стороні стрічки цифра 14, то на другій – 6 (сума – 20 м). Відлік потрібно брати з того боку стрічки, на якому відліки (цифри) у напрямі вимірювань (від початку лінії до її кінця) зростають.

4. При відліках цифру "6" на пластинках можна прочитати як "9" або навпаки. Це залежить від того, з якого боку стоїть спостерігач відносно стрічки. У таких випадках слід відшукувати суміжні цифри: для цифри "6" це "5" та "7", для "9" – "8" та "10".

5. Поправка за компарування вводиться не з тим знаком. Необхідно запам'ятати, що коли стрічка довша від номіналу, поправка вводиться зі знаком "+", якщо коротша – зі знаком "-".

#### 9.4.6. Приведення нахилених ліній до горизонту

Як відомо, в основу складання планів покладена горизонтальна проекція ліній, тобто їх горизонтальне прокладання [9, 10]]. Якщо лінія  $AB$  (рис. 9.21) нахилена до горизонту під кутом  $\nu$ , то для визначення горизонтального прокладання  $d$  вимірюють мірною стрічкою нахилену довжину  $D$  лінії  $AB$  та кут нахилу  $\nu$ . Тоді горизонтальна проекція  $d = AC$  визначиться з прямокутного трикутника  $ACB$  за формулою

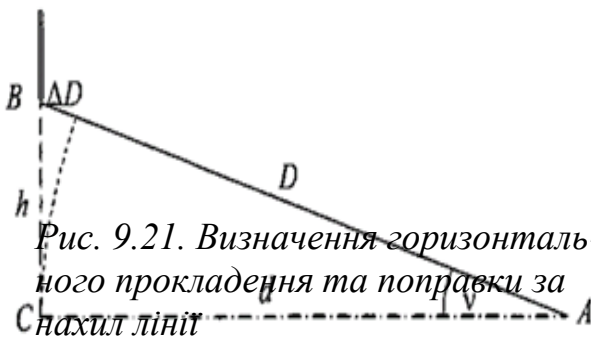
$$d = D \cos \nu. \quad (9.16)$$

Можна також обчислити поправку  $\Delta D$  за нахил лінії місцевості до горизонту.

$$\Delta D = d - D = D - D \cos \nu = D(1 - \cos \nu) = 2D \sin^2 \nu / 2 \quad (9.17)$$

Надаючи різних числових значень аргументам  $D$  та  $v$ , за формулою (9.17) можна знайти значення функції  $\Delta D$  і скласти таблицю поправок  $\Delta D$ . Користуючись такою таблицею, можна уникнути обчислень  $d$  за формулою (9.16) або  $\Delta D$  за формулою (9.17). Якщо на різних частинах лінії кути нахилу не однакові, тоді необхідно вимірювати довжини окремих відрізків цієї лінії і кути нахилу цих відрізків. За формулою (9.16) можна знайти горизонтальне прокладення кожного з відрізків, а потім їх суму, яка і буде горизонтальним прокладанням всієї лінії. Якщо нахили місцевості незначні, горизонтальне прокладення можна отримати безпосередньо за допомогою стрічки. При цьому утримують стрічку горизонтально, піднімаючи початок або кінець стрічки над землею і проектуючи його за допомогою виска (або вертикально встановленої віхи) на землю.

На рис. 9.22 показано, як за допомогою виска піднятий передній кінець стрічки (довжиною  $l$ ) проєктують в точку  $B$  і фіксують цю точку на місцевості шпилькою; потім над точкою  $C$  тримають піднятий на потрібну



висоту кінець стрічки і позначають цю точку на місцевості шпилькою і т. д. Горизонтальність стрічки визначають на око.

Якщо кути нахилу значні, виміряти горизонтальні прокладення також безпосередньо можливо, однак доводиться вести вимірювання частинами стрічки по 5 – 10 м, так, щоб не потрібно було піднімати кінець або початок стрічки на висоту, більшу за зріст робітника.

#### 9.4.7. Похибки лінійних вимірювань стрічкою

Вимірювання ліній, як і всі інші, не можна виконати безпомилково. Грубі похибки (прорахунки) виявляються повторними вимірюваннями. Інших похибок уникнути повністю неможливо [9].

Такими похибками є:

1. Похибки в довжині стрічки. Навіть після компарування довжину стрічки знаємо з похибкою 0,2 – 0,5 мм.

2. Похибки за неточне укладання стрічки в створі лінії. Якщо стрічка в створі неточно укладена, замість довжини прямої отримують довжину ламаної лінії, яка завжди довші за пряму (рис. 9.23). Отже, ця похибка має односторонній характер. Збільшення кількості віх значно знижує вплив цієї похибки.

3. Похибки за викривлення стрічки. Виконуючи вимірювання по траві, чагарниках, кущах, у вітряну погоду, стрічку укладають на землю не по прямій, а викривляють у вигляді дуги. Ця похибка також має односторонній характер і діє так, як і попередня. Щоб не допустити цих похибок, стрічку енергійно струшують перед укладанням на землю.

4. Похибка за провисання або прогинання стрічки (рис. 9.24). Стрічка провисає під час вимірювань через яри, ями, понижені місця рельєфу місцевості і прогинається – якщо вимірюють через горби. І в першому, і в другому випадках похибка має односторонній характер – збільшує результат вимірювань. В обох випадках зменшить похибку сильніше натягування стрічки. Взагалі похибка від нерівностей поверхні дуже значна, особливо на хвилястих і дрібно горбистих поверхнях.

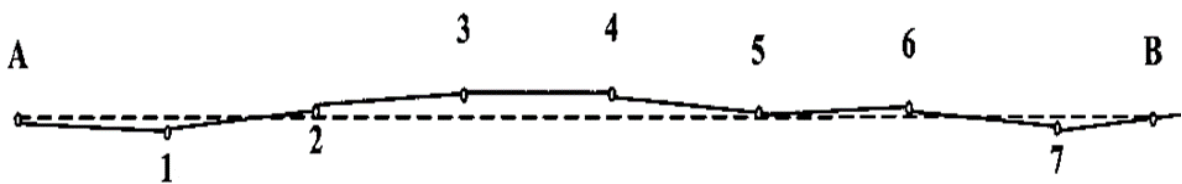


Рис. 9.23. Подовження лінії АВ в зв'язку з неточним укладанням стрічки в створі

5. Похибка за натяг стрічки. Стрічка еластична і тому за різної сили натягу змінює свою довжину. Важливо навчитися натягувати стрічку з однаковою силою, бажано з такою, як і під час компарування. Зміна сили натягу в 1,5 кг не впливає на довжину стрічки. Для досягнення постійного натягу і, відповідно, підвищення точності вимірювань варто застосовувати

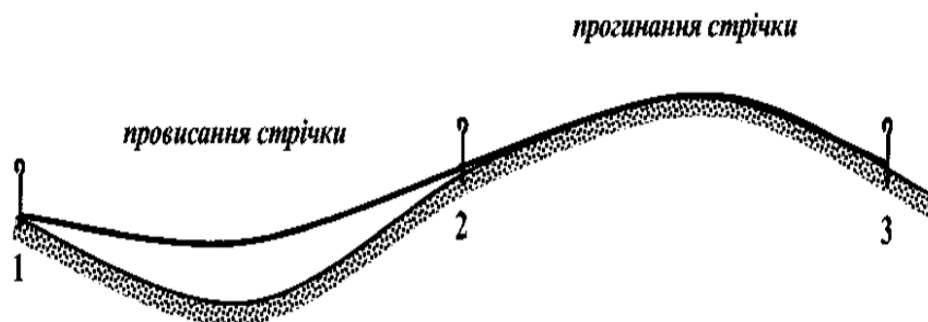


Рис. 9.24. Провисання та прогинання стрічки на нерівній поверхні

пружинний динамометр.

6. Похибка за вплив температури. Коефіцієнт розширення сталевих стрічок  $\alpha = 0,0000125$ . Тому зміна температури на  $1^\circ\text{C}$  змінить довжину 20-метрової стрічки на 0.25 мм. Якщо температура стрічки під час вимірювання відрізняється від її температури під час компарування на  $10^\circ\text{C}$ , то довжина стрічки зміниться на 2,5 мм.

Вимірюючи температуру стрічки потрібно підкладати термометр під стрічку. Поправку за температуру обчислюють за формулою

$$\Delta L = L\alpha(t_{\text{вим}} - t_{\text{комп}}), \quad (9.18)$$

де  $L$  – довжина вимірюваної лінії;  $\alpha$  – коефіцієнт розширення сталі;  $t_{\text{комп}}$  – температура стрічки під час компарування;  $t_{\text{вим}}$  – температура стрічки під час вимірювання.

Якщо  $t_{\text{вим}} > t_{\text{комп}}$  м, то поправка  $\Delta L$  буде зі знаком "+", якщо  $t_{\text{вим}} < t_{\text{комп}}$  – зі знаком "-".

7. Похибка, що залежить від характеру ґрунту. Під час натягування стрічки, укладеної на поверхню землі, виникає тертя стрічки з ґрунтом. Сила тертя для різних ґрунтів різна. В результаті сила натягу стрічки буде різна на різних ґрунтах, що і викликає похибки вимірювань. Залежно від характеру ґрунту змінюється також стійкість шпильки, закріпленої в ґрунті, що веде до різних похибок фіксації кінців стрічки. Так, на ґрунті, покритому травою, шпилька (під час натягу стрічки) менше змінює своє положення. Особливо великі зміщення шпильок на пісках.

8. Похибки за нахил лінії. Якщо кути нахилу  $\nu$  малі, можна прийняти, що  $\sin \nu = \nu$  і тому формулі (9.17) можна надати вигляду

$$\Delta L = 2L \frac{\nu^2}{4} = \frac{1}{2} L \nu^2. \quad (9.19)$$

Виразимо кут  $\nu$  в радіанах  $\nu = \frac{\nu^\circ}{\rho^\circ}$  ( $\rho^\circ$  – кількість градусів у одному радіані, яка дорівнює  $57,3^\circ$ ). Тому

$$\Delta L = \frac{1}{2} L \frac{\nu^{\circ 2}}{\rho^{\circ 2}}. \quad (9.20)$$

Звідси

$$\nu^\circ = \rho^\circ \sqrt{\frac{2\Delta L}{L}}. \quad (9.21)$$

Якщо прийняти, що відносна похибка дорівнює  $\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{20000}$ , то  $\nu^\circ \leq \frac{\rho^\circ}{100} \approx 0,6^\circ$ .

Під час вимірювань стрічкою не враховують кути нахилу до  $1^\circ$  включно.

#### 9.4.8. Точність вимірювання ліній стрічкою

Отже, точність вимірювання ліній стрічкою залежить від вищеперелічених факторів, а також від досвіду та старання виконавців робіт. Оскільки



більшість похибок мають односторонній характер, тобто є систематичними, то сумарна похибка буде пропорційною до довжини лінії [8].

З досвіду вимірювання ліній стрічкою відомо, що під час польових

вимірювань відносна похибка не перевищує  $\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{1000}$  – за несприятливих умов;

$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{2000}$  – за середніх умов; та  $\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{3000}$  – за сприятливих умов.

Якщо місцевість рівнинна, з твердим ґрунтом, погода сприятлива, вимірювання виконуються старанно і вводяться поправки за температуру

стрічки, то точність може зростати до  $\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{5000}$ .

#### 9.4.9. Вимірювання довжин ліній нитяним далекоміром

**Нитяний далекомір** – це верхній *aa* і нижній *vv* рівновіддалені від центра горизонтальні штрихи сітки ниток (рис. 9.25).

Для вимірювання довжини теодоліт ставлять на штативі на одному кінці лінії точка *A*, на другому її кінці, в точці *B*, прямовісно ставлять рейку з сантиметровими поділками (рис. 9.26).

**Геодезична рейка** – це дерев'яний брусок з поділками 1 см (див. рис. 9.25).

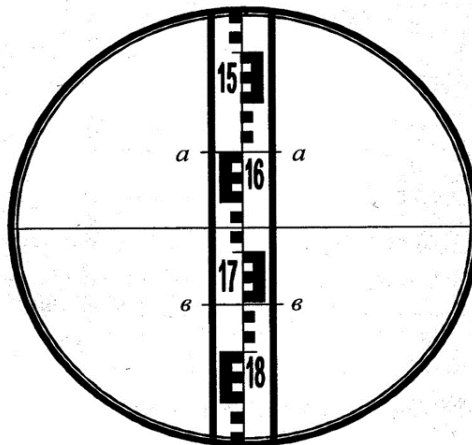


Рис. 9.25. Сітка ниток теодоліта

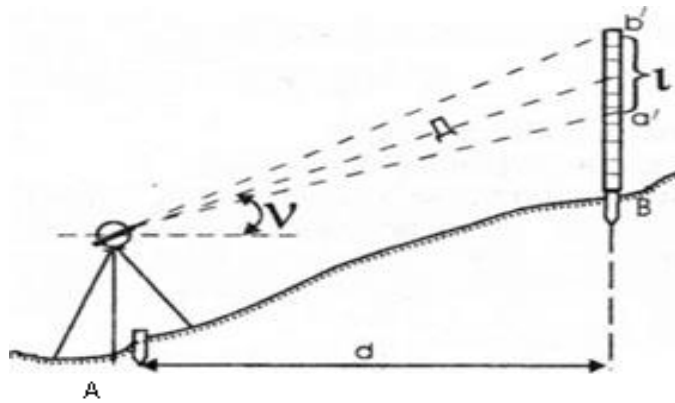


Рис. 9.26. Вимірювання віддалі нитковим віддалеміром

Далекомірні штрихи  $aa'$  і  $bb'$  (рис. 9.27) ніби відсікають на рейці відрізок  $l$ , величина цього відрізка в сантиметрах буде відповідати відстані  $D$  в метрах [1].

Дійсно, якщо зорову трубу при горизонтальному її положенні навести на вертикальну рейку, то одержимо зображення відрізка  $ab = l$  рейки (рис. 9.27), якій відповідає відстані  $a''b'' = p''$  між далекомірними штрихами.

Із рис. 9.27 видно, що трикутники  $aFb$  і  $a''Fb''$  подібні. Звідси виходить, що:

$$\frac{E}{f} = \frac{l}{p} \text{ або } E = \frac{f}{p}l,$$

де  $E$  – відстань від рейки до переднього  $F$  фокуса об'єктива;

$f$  – фокусна відстань об'єктива;

$P = a''b'' = a'b'$  – відстань між далекомірними штрихами;

$l = ab$  – відрізок рейки.

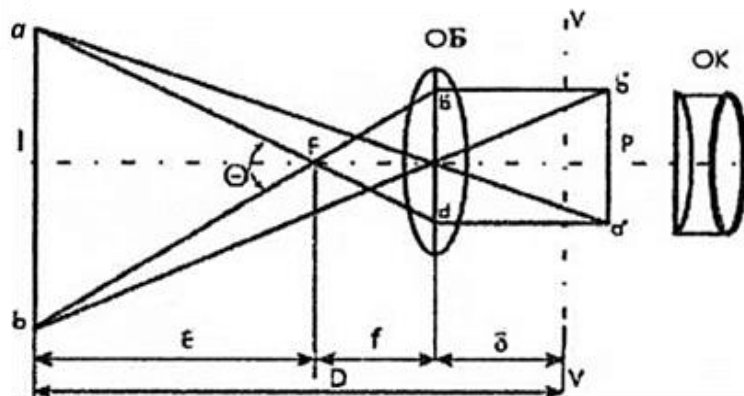


Рис. 9.27. Зображення рейки в зоровій трубці

Відстань від рейки до центра об'єктива буде  $E + f$ . Але ж відстань  $D$  вимірюється до осі  $VV$  обертання теодоліта. Тому:

$$D = E + f + \delta,$$

де:  $\delta$  – відстань від центра об'єктива до осі обертання інструмента.

Для даної конструкції труби кут  $\theta$ , фокусна відстань  $f$  об'єктива і відстань  $P$  між нитками сітки – величини сталі тому й відношення

$\frac{f}{P} = k$  – величина також стала, її називають **коефіцієнтом далекоміра**.

Тому  $D = kl + f + \delta$ .

Позначаючи  $f + \delta = c$  маємо

$$D = kl + c,$$

де  $k$  – коефіцієнт далекоміра;

$l$  – відрізок рейки;

$c$  – стала далекоміра.

Звичайно далековимірвальні штрихи нарізають на скляній

пластинці таким чином, щоб  $\frac{f}{P} = k = 100$ , а стала далекоміра для

зорових труб із внутрішнім фокусуванням (коли не змінюється довжина труби при фокусуванні)  $c = 0$ . Тоді

$$D = k \cdot l. \quad (9.22)$$

Якщо лінія на місцевості похила (рис. 9.28), то вимірюється кут  $\nu$  її нахилу і потім обчислюється горизонтальне проложення  $d$  цієї лінії.

При вимірюванні похилої довжини  $D$  лінії  $AB$  рейка  $Va$  на точці вертикально стояча і площина рейки не перпендикулярна до візирної лінії  $JO$  (рис. 9.28). Тому відстань  $AB$  буде більша, ніж якби рейка була перпендикулярна в точці  $O$  до візирної лінії і займала положення  $a'b'$ .

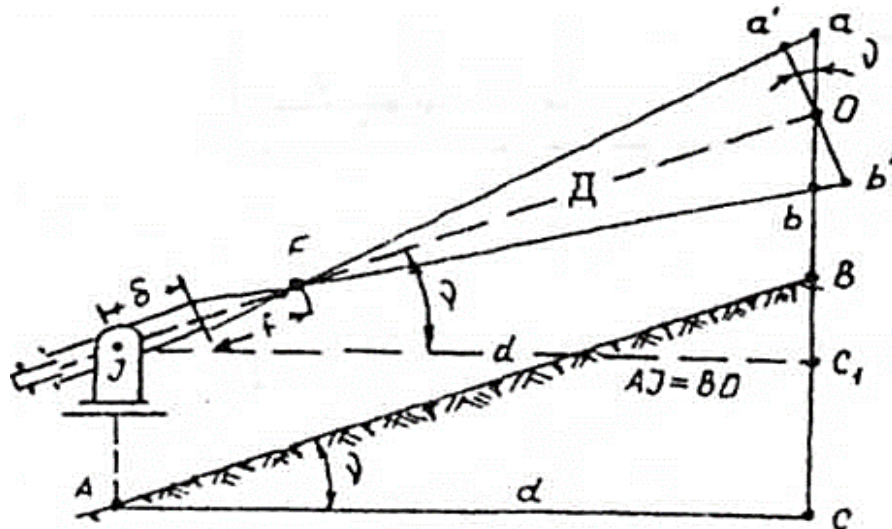


Рис.9.28. Вимірювання похилої довжини

Кут, на який слід би нахилити рейку, дорівнює куту  $\nu$  нахилу

візирної лінії, тому, замість відрізка  $a'e' - l'$ , визначається відрізок  $av - l$  і одержуємо:

$$\frac{a'b'}{2} = \frac{ab}{2} \cos v,$$

або

$$l' = l \cos v,$$

тобто

$$D = kl \cos v.$$

Оскільки горизонтальне проложення похилої лінії  $AB$ :

$$d = D \cos v,$$

то підставляючи замість  $D$  одержимо:

$$d = kl \cos^2 v,$$

або

$$d = D \cos^2 v. \quad (9.23)$$

Точність вимірювання відстаней нитяним далекоміром невелике і приблизно дорівнює  $\frac{1}{300} \div \frac{1}{400} D$

#### 9.4.10. Визначення недоступної відстані на земній поверхні

Для визначення відстані, коли можуть зустрітися перешкоди: річка, яр, болото, будівельний котлован і т.ін. і безпосередньо виміряти відстань не можна, виконують додаткові вимірювання, а відстань визначають посереднім способом [1].

Наприклад, для визначення відстані між точками  $B$  і  $K$  (рис. 9.29) від точки  $B$  вздовж берега річки по рівному місцю прокладають лінію  $BA$  – базис ( $b_1$ ), довжину якого виміряють сталевую мірною стрічкою або рулеткою. При вершинах трикутника  $BAK$  вимірюють теодолітом повним прийомом кожний з трьох кутів  $\beta_1, \beta_2, \gamma_1$ ; при цьому додержують вимогу, щоб

$$(\beta_1 + \beta_2 + \gamma_1 - 180^\circ) \leq |2'|.$$

За теоремою синусів визначають довжину  $D$  шуканої лінії  $BK$ . Оскільки

$$\frac{b_1}{\sin \gamma_1} = \frac{D}{\sin \beta_1}, \quad \text{то} \quad D = \frac{b_1}{\sin \gamma_1} \sin \beta_1.$$

Для контролю визначення величини  $D$  прокладають базис  $b_2$  (лінію  $BC$ ) і вимірюють кути  $\beta_3, \beta_4, \gamma_2$ . Аналогічно обчислюють:

$$D = \frac{b_2 \sin \beta_4}{\sin \gamma_2}$$

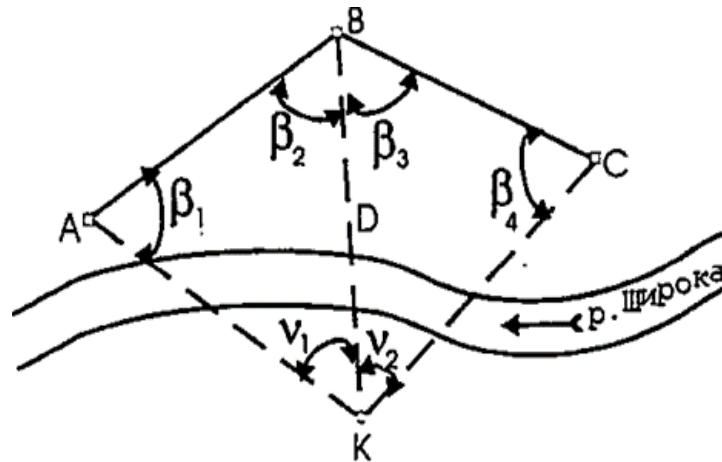


Рис. 9.29. Визначення недоступної відстані

Розбіжність між обома значеннями величини не повинна перевищувати

$$\frac{1}{1000} D.$$

За остаточне значення шуканої відстані беруть середнє арифметичне з обчислених величин  $D$ . Треба намагатися, щоб трикутники  $ABK$  і  $BCK$ , були близькі до рівносторонніх.

#### 9.4.11. Загальні відомості про лазерні рулетки

Сьогодні лазерні (електронні) рулетки (віддалеміри) є передовою технологією безконтактного вимірювання відстаней до будь-яких об'єктів із будь-яким нахилом до відбивної поверхні. Лазерні рулетки – це малогабаритний технічний пристрій, оснащений LCD дисплеєм, клавіатурою, обчислювальним пристроєм і лазером. Вузько напрямлений промінь лазера дає змогу вимірювати відстані до невеликих об'єктів (0,6 см ... 6 см) в межах від 0,05 до 200 м з точністю від  $\pm 1$  мм до  $\pm 2$  мм. Завдяки вбудованій технології Power Range™ можна виконувати вимірювання на відстані до 100 м без візирних пластин.

Сучасне покоління лазерних рулеток має вбудований оптичний візир з двократним збільшенням або цифровий з потрібним збільшенням, що покращує візування на віддалені об'єкти.

Вночі у сутінках або коли об'єкт в тіні дальність вимірювання без використання візирної пластини може збільшуватись. Щоб збільшити дальність вимірювання протягом світлового дня або коли об'єкт, до якого виконується вимірювання, має погану відбивну поверхню, рекомендується використовувати візирну пластину. Вимірювання можуть бути помилковими, якщо

вимірювання виконуються до прозорих поверхонь, таких як вода, незадимлене скло тощо, або глянцевиx поверхонь.

Технології Bluetooth® і DISTO™ transfer дають можливість надійно передавати результати вимірювань у форматі Excel®, AutoCAD® та інших програмних продуктів у Pocket PC або ноутбук.

Для знімання великих приміщень, фасадів будівель і куполів церков безконтактним методом рулетку можна встановити на теодоліт.

Окрім цього, лазерні рулетки можуть мати різьбовий отвір для штатива і вмонтований циліндричний рівень.

Лазерні рулетки мають вмонтовану пам'ять, а також інтегровані тригонометричні функції, які дають змогу визначити, наприклад, розміри вікон на фасадах будівель чи кути нахилу покрівлі. Використовуючи алгоритм теореми Піфагора, прилад може обчислювати відстані за двома і трьома точками, а також висоти за трьома точками. В меню приладу є функції збереження констант, виклик константи із пам'яті, зміна значення виміру, таймер, додавання та віднімання результатів, а також спеціальні функції – обчислення площ, об'ємів тощо.

Лазерні рулетки прискорюють, спрощують і автоматизують виконання ремонтних, будівельних і геодезичних робіт. Цими рулетками можна виконувати вимірювання за лічені секунди, а вбудований інтерфейс полегшує зчитування одержаних результатів. Лазерні рулетки з внутрішньою пам'яттю дають змогу зберігати результати вимірювань, а найсучасніші моделі можна під'єднувати до комп'ютера.

Лазерні рулетки можна використовувати в несприятливих погодних умовах, якщо температура коливається в доволі широкому діапазоні від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Температурний діапазон зберігання становить від  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ .

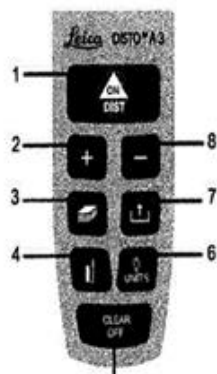
Елементи живлення забезпечують виконання до 10 тис. вимірювань. Лазерними рулетками можна користуватись і за недостатнього освітлення, оскільки у більшості моделей є підсвітка дисплея.

Працюючи з лазерними рулетками, слід дотримуватися правил з техніки безпеки та не допускати:

- прямого наведення приладу на Сонце;
- вимірювання у місцях підвищеної небезпеки, де можуть проводитися вибухові роботи без належних застережних заходів (наприклад, вимірювання на дорогах, будівельних майданчиках тощо);
- використання приладу поблизу автозаправних станцій, хімічних заводів і в зонах з потенційно вибухонебезпечним середовищем;
- спостереження лазерного променя біноклями та іншими оптичними приладами.

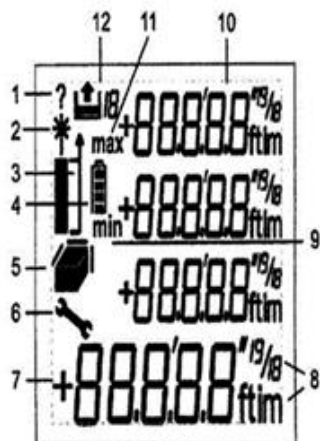


Будова лазерної рулетки Leica DISTO™ A3



Функціональні клавіші DISTO™ A3

Клавіатура		
	клавіша	значення клавіші
1	<b>ON/DIST</b>	увімкнути / вимірювати
2	<b>PLUS</b>	плюс +
3	<b>AREA/VOLUME</b>	площа / об'єм
4	<b>REFERENCE</b>	точка відлічування
5	<b>CLEAR/OFF</b>	очистити / вимкнути
6	<b>UNITS/ILLUMINATION</b>	одиниці вимірювання / підсвітка
7	<b>STORAGE</b>	пам'ять
8	<b>MINUS</b>	мінус -



Функціональні можливості дисплея DISTO™ A3

Дисплей	
1	Інформація про помилкові виміри
2	Лазер увімкнений
3	Відлічування від верхньої або від нижньої панелі приладу
4	Стан елементів живлення
5	Площа, об'єм
6	Повідомлення про помилку
7	Основне табло
8	Одиниці вимірювання з показом степеня
9	Мінімальне значення безперервного вимірювання
10	Три допоміжні значення (наприклад, попередні значення)
11	Максимальне значення безперервного вимірювання
12	Звернення до пам'яті приладу

Рис. 9.30. Будова лазерних рулеток LeicaDISTO™ A3

#### 9.4.12. Процес вимірювання лазерними рулетками

Увімкнувши лазер, спрямовуємо промінь на вибрану ціль і натискаємо відповідну кнопку, яка забезпечує функцію вимірювання ліній (рис. 9.30).

Виміряна відстань у вибраних одиницях вимірювання з'являється на дисплеї.

За замовчуванням прилад виконує вимірювання від його нижньої поверхні (рис. 9.31, а). Налаштування можна змінити так, що наступне вимірювання виконуватиметься від верхньої поверхні приладу. Після цього налаштування приладу автоматично повертається до вимірювання від його нижньої поверхні.

Функція вимірювання мінімальних і максимальних відстаней є стандартною для більшості лазерних рулеток. Ця функція дає змогу виміряти максимальну або мінімальну відстань від фіксованої точки до декількох поверхонь (рис. 9.31, б).

Найчастіше ця функція використовується для вимірювання найкоротших відстаней до будь-яких поверхонь (мінімальне значення) (рис. 9.31, в) або діагоналей (максимальних значень).

Коли прилад працює в режимі неперервного вимірювання, повільно переміщують промінь лазера в горизонтальній і вертикальній площині в області, вибраній для вимірювання (наприклад, у куті приміщення) (рис. 9.31, г). На дисплеї висвітлиться максимальне і мінімальне значення, а також результат останнього

Для виконання стандартної функцій додавання і віднімання виконують перше вимірювання. Натискають клавішу, яка відповідає вибраній функції, і виконують наступні вимірювання.

Кінцевий результат послідовних вимірювань, результат останнього вимірювання, також висвічуватимуться на дисплеї.

Для обчислення площі слід натиснути клавішу, що відповідає вибраній функції і виміряти довжини сторін. Після того як будуть виконані два виміри, результат визначеної площі висвітлиться

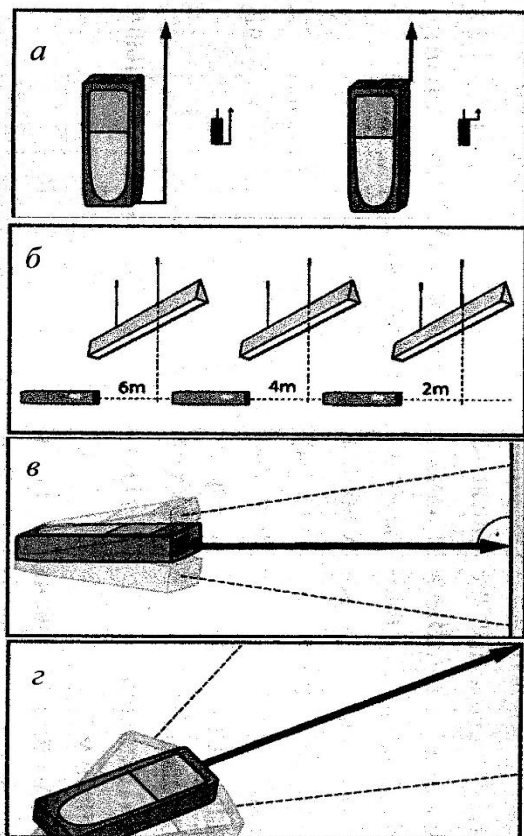


Рис. 9.31. Вимірювання ліній лазерною рулеткою DISTO™ A3

на дисплеї.

Об'єм визначається аналогічно.

Натиснувши відповідну клавішу, можна переглянути останні результати вимірювань в зворотній послідовності, а також вибрати з пам'яті результат для подальших обчислень [8, 9].



### 9.4.13. Функціональні можливості й технічні характеристики лазерних рулеток

Наведемо деякі технічні характеристики найпоширеніших сьогодні моделей, які використовуються під час виконання топографо-геодезичних робіт, в землевпорядкуванні та будівництві. Розглянемо деякі типи рулеток:

**Leica DISTO™ A3** (рис. 9.30) – базова модель надійна і проста, її можна використовувати як для роботи у приміщенні, так і на вулиці. Як і у всіх лазерних віддалемірах фірми Leica, лазерна пляма має чіткі межі, тому її можна завжди побачити її, навіть у важкодоступних місцях.

Окрім стандартних функціональних клавіш (додавання, віднімання, визначення площі і об'єму), в цій моделі додатково передбачено функції мінімальної і максимальної відстаней, які дають змогу виконувати горизонтальні та діагональні вимірювання. Вимірювання можуть виконуватись в безперервному режимі.

Функція пам'яті Leica DISTO™ A3 дає змогу запам'ятовувати 19 значень.

Оскільки дисплей 4-рядковий, можна зчитувати декілька вимірянних значень у різних його рядках, а завдяки підсвітці екрана – прочитати вимірні параметри навіть за поганого освітлення. Вбудований бульбашковий рівень дає змогу тримати прилад горизонтально. Як і інші моделі Leica DISTO, ця модель має вбудовану технологію Power Range™, тому можна виконувати вимірювання на відстані до 80 м без візирних пластин.

Діапазон вимірювань – від 0,05 м до 100 м з точністю  $\pm 1,5$  мм.

**Leica DISTO™ A5** (рис. 9.32) – це багатофункціональна модель, створена на основі попередньої. Діапазон вимірювань збільшено від 0,05 м до 200 м з точністю  $\pm 1,5$  мм.

Особливості:

- може виконувати непрямі вимірювання;
- має унікальну позиційну скобу з автоматичним розпізнаванням її положення;
- має вбудований оптичний візир з 2-разовим збільшенням, який спрощує наведення лазерного променя під час вимірювань далеких відстаней.

**Leica DISTO™ A6** (рис. 9.33) – аналогічна за будовою і має всі технічні



Рис. 9.32.  
DISTO™ A5

Рис. 9.33.  
DISTO™ A6

характеристики попередньої моделі Leica DISTO™ A5, за винятком того, що технологія Power Range™ у цій моделі дає змогу виконувати вимірювання на відстані до 100 м без візирних пластин.

Діапазон вимірювань – від 0,05 м до 200 м з точністю  $\pm 1,5$  мм.

Особливість:

- обладнана технологією Bluetooth®, тому можна передавати дані вимірювань на Pocket PC або ноутбук для подальшого їх опрацювання. Програмне забезпечення DISTO™ transfer дає змогу передавати результати вимірювань у форматах Excel®, Word®, AutoCAD® та інших програмних продуктів.



Рис. 9.34.  
DISTO™ A8



Рис. 9.35.  
DISTO™ D3

**Leica DISTO™ A8** (рис. 9.34) – це модель, яка має всі функції і технічні характеристики попередньої моделі Leica DISTO™ A6, діапазон вимірювань і точність.

Особливість:

- обладнана інтегрованим цифровим візором з триразовим збільшенням, який покращує візування на віддалені об'єкти, та вбудованим давачем нахилу, який дає змогу вимірювати кути нахилу та виконувати посередні (непрямі) вимірювання.

**Leica DISTO™ D3** (рис. 9.35) менша за розмірами і значно легша за своїх попередників, має всі функції серії Leica DISTO™ A6, багатофункціональну позиційну скобу з автоматичним розпізнаванням, вбудований електронний рівень, можливість встановлення на штатив, автоматичну підсвітку дисплея та прямі кнопки вибору функцій. Може зберігати в пам'яті 20 останніх вимірів. Вимірює відстані в діапазоні від 0.05 м до 100 м з максимальною похибкою  $\pm 1$  мм.

Особливості її в тому, що можна:

- вимірювати нахили ліній в діапазоні  $\pm 45^\circ$ ;
- обчислити горизонтальну відстань;
- розрахувати кути стику стін;
- опосередковано визначити довжини за теоремою Піфагора;

встановити одну константу, яка використовуватиметься у вимірюваннях.

**Leica DISTO™ D5** дає змогу вимірювати кути нахилу в діапазоні  $\pm 45^\circ$  та виконує інші функції, аналогічно до моделі Leica DISTO™ D3.

Виконує вимірювання на відстані до 100 м без візирних пластин. Діапазон вимірювань від 0.05 м до 200 м з точністю  $\pm 1$  мм.

Особливості:

- перший у світі лазерний віддалемір з 4-разовим цифровим візором та кольоровим дисплеєм 2,4" з високою роздільною здатністю.

## 9.5. Геометричне нівелювання

### 9.5.1. Суть та способи геометричного нівелювання.

**Нівелюванням** називається сукупність вимірів на місцевості, в результаті якої визначають перевищення між точками місцевості з подальшим обчисленням їх висот щодо прийнятої вихідної поверхні. [9, 10, 11].

Існують такі способи нівелювання:

а) **геометричне нівелювання**, під час виконання якого перевищення між точками місцевості визначають горизонтальним візирним променем;

б) **тригонометричне нівелювання** - перевищення знаходять нахиленим візирним променем;

в) **гідростатичне нівелювання** ґрунтується на властивості вільної поверхні рідини у з'єднаних посудинах встановлюватися на одному рівні незалежно від виду і маси рідини і перерізу посудини;

г) **фізичне (барометричне) нівелювання**, в основу якого покладена залежність між величиною атмосферного тиску в певній точці місцевості та висотою цієї точки. Чим більша висота точки, тим менший тиск. Величина атмосферного тиску змінюється приблизно на 1 мм р. ст. зі зміною висоти барометра на 11 м;

д) **автоматизоване нівелювання** – нівеліри-автомати (механічні прилади) викреслюють профілі поверхні місцевості, яку нівелюють. Такий метод широко використовують під час перевірки стану профілю залізничних колій.

Розглянемо суть геометричного нівелювання та принцип геометричного нівелювання із середини, коли нівелір встановлено приблизно на однакових

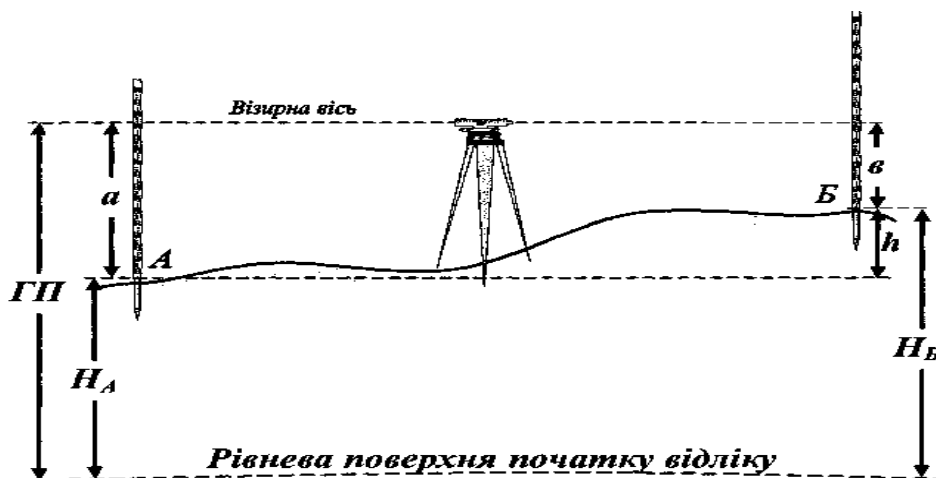


Рис. 9.36. Принцип геометричного нівелювання із середини

відстанях від рейок. Припустимо, потрібно визначити перевищення  $h$  між точками  $A$  та  $B$  (рис. 9.36). Нехай рівнева поверхня початку відліку є

рівневою поверхнею океану, а поверхні, що проходять через точки  $A$  і  $B$  на поверхні Землі, – рівневими поверхнями цих точок. Оскільки віддаль між точками  $A$  і  $B$ , які нівелюють, не більша за 300 м, то ці рівневі поверхні можна замінити горизонтальними, паралельними лініями.

Встановимо в точках  $A$  та  $B$  у прямовисне положення рейки та, за змогою, на однаковій віддалі від них нівелір. **Нівелір** – геодезичний прилад, головна особливість якого полягає в тому, що після приведення його на станції в робочий стан візирна вісь його зорової труби займає горизонтальне положення. Отже, візирна вісь, рівневі поверхні точок  $A$ ,  $B$  та рівнева поверхня початку відліку паралельні між собою.

Наведемо трубу нівеліра на рейки, встановлені у точках  $A$  і  $B$ , і відлічимо чорні шкали цих рейок (відліки  $a$  і  $b$  відповідно). Але відрізки  $a$  та  $(b + h)$  паралельні та рівні між собою. Звідси перевищення між точками  $A$  та  $B$  становить

$$h = a - b. \quad (9.24)$$

Точка  $B$ , перевищення якої над точкою  $A$  визначають, називається **передньою**, а точка  $A$ , відносно якої знаходять перевищення точки  $B$ , називається **задньою**. Такі самі назви мають встановлені в цих точках рейки.

На підставі формули (9.24) можна зробити висновок, що перевищення дорівнює різниці відліків задньої та передньої рейок.

Перевищення буде додатним, якщо  $a > b$  (тобто передня точка вища від задньої) і від'ємним, якщо  $a < b$  (тобто передня точка нижча від задньої).

Знаючи висоту задньої точки  $H_A$  та перевищення між задньою та передньою точками, можна обчислити висоту передньої точки  $H_B$ . З рис. 9.36 можна записати

$$H_B = H_A + h. \quad (9.25)$$

Тобто висота наступної точки дорівнює висоті попередньої точки плюс перевищення між ними.

Інакше висоту точки  $B$  можна знайти за значеннями відліків  $a$  та  $b$  рейок через горизонт приладу  $ГП$  – висоту візирного променя над поверхнею початку відліку за формулою

$$ГП = H_A + a. \quad (9.26)$$

Отже, горизонт приладу на станції дорівнює висоті точки плюс відлік чорної шкали рейки, встановленої в цій точці.

З рис. 9.37 можна записати

$$H_B = ГП - b, \quad (9.27)$$

тобто висота точки дорівнює горизонту приладу мінус відлік чорної шкали рейки, встановленої в цій точці.

Під час виконання геометричного нівелювання вперед (рис. 9.37) нівелір встановлюють так, щоб окуляр зорової труби розмістився над задньою точкою  $A$ , а над передньою точкою  $B$  встановлюють рейку. Привівши нівелір в робоче положення, відлічують чорну шкалу передньої рейки (відлік  $b$ ) та вимірюють рулеткою або за допомогою рейки висоту візирного променя над

точкою  $A$  (тобто віддаль  $i$  від точки  $A$  до центра окуляра). З рис. 9.37 очевидно, що

$$h = i - v. \quad (9.28)$$

Як побачимо далі, нівелювання із *середини* має значні переваги над нівелюванням *вперед*.

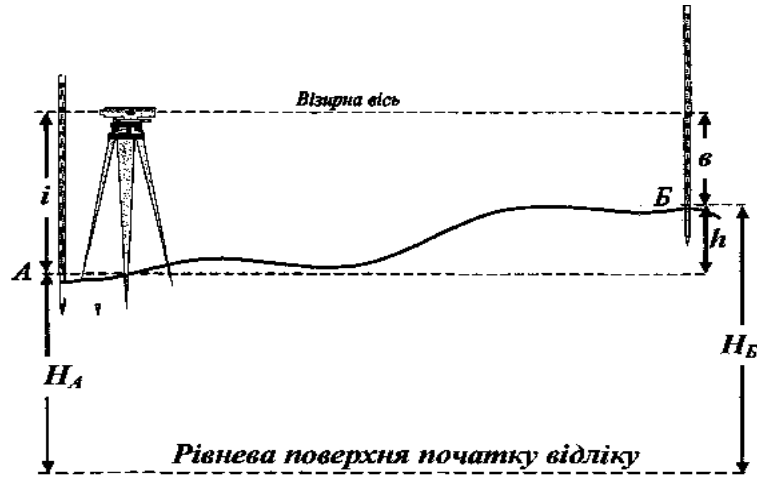


Рис. 9.37. Принцип геометричного нівелювання вперед

На практиці точки, між якими потрібно визначити перевищення, розміщені на великих відстанях. Тоді для передавання перевищення роблять не одну станцію, а декілька, інколи десятки станцій. Таке нівелювання називають *складне (послідовне)* (рис. 9.38). Під час прокладання нівелірного ходу нівелювання виконують методом із середини.

Розглянемо принцип геометричного нівелювання у ході з трьох станцій. Нехай висоти точок  $A$  і  $B$  відомі з геометричного нівелювання вищого класу.

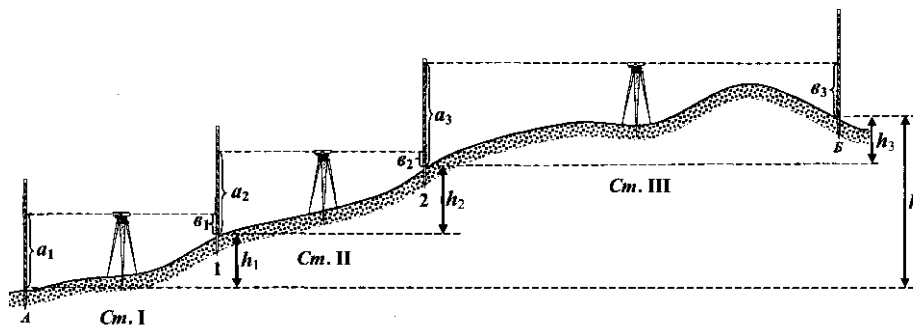


Рис. 9.38. Послідовність прокладання нівелірного ходу

Для прокладання нівелірного ходу між цими точками нівелір встановлюють на станції I приблизно на однакових відстанях від рейок, що встановлені в точках  $A$  і 1. Рейку в точці  $A$  називають *задньою*, а в точці 1 – *передньою*. Після цього зчитують відліки  $a_1$   $v_1$  із задньої і передньої рейок

на станції I. Потім задню рейку переносять в точку 2, а нівелір встановлюють на станції II, посередині між точками 1 і 2. Отже, рейка, що була на станції I задньою, буде на станції II передньою, а передня – задньою. Зчитують відліки рейок  $a_2$ , і  $v_2$ . Потім задню рейку з точки 1 переносять в точку B, а нівелір на станцію III і зчитують відліки  $a_3$ ,  $v_3$  із задньої і передньої рейок. Тобто, виконуючи послідовне нівелювання, прокладають **нівелірний хід**.

Точки, що були задніми та передніми (тобто точки 1 і 2) під час прокладання нівелірного ходу, називаються зв'язувальними, оскільки вони зв'язують передавання висот. З рис. 9.38 очевидно, що  $h_1 = a_1 - v_1$ ;  $h_2 = a_2 - v_2$ ;  $h_3 = a_3 - v_3$ . В загальному вигляді можна записати

$$h_i = a_i - v_i. \quad (9.29)$$

Тобто сума всіх перевищень дорівнює перевищенню  $h$  між кінцевими точками ходу

$$h = \sum_{n=1}^n h_i = \sum_{n=1}^n a_i - \sum_{n=1}^n v_i. \quad (9.30)$$

Знаючи висоту точки A ( $H_A$ ) і визначивши за формулою (9.32) перевищення на кожній станції, можна обчислити висоти всіх зв'язувальних точок за формулами

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H_A + h_1; \\ H_2 &= H_1 + h_2; \\ H_B &= H_2 + h_3; \end{aligned} \right\} \quad (9.31)$$

Якщо відомі висоти зв'язувальних точок 1, 2, то можна відразу знайти висоту кінцевої точки  $H_B$  за формулою

$$H_B = H_A + \sum h_i. \quad (9.32)$$

### 9.5.2. Спільний вплив кривини Землі та вертикальної рефракції на результати геометричного нівелювання

Використаємо рис. 9.39, на якому світлова крива повернута випуклістю вниз, що спричинено зростанням густини повітря з висотою у світлий період доби. Істинне перевищення  $h$  можна отримати як різницю відліків рейок  $a'$  та  $v'$  [9, 10].

$$h = a' - v'. \quad (9.33)$$

На рис.9.39 відліки  $a$  та  $v$  – це фактичні відліки рейок;  $K_A$ ,  $K_B$  – вплив кривини Землі на відліки рейок;  $r_A$ ,  $r_B$  – вплив вертикальної (нівелірної) рефракції на ці відліки.

Якщо віддалі від нівеліра до рейок рівні (рівність пліч),  $K_A = K_B$ . Однак згідно з рис. 9.39  $r_A < r_B$ , тому що промінь на передню рейку проходить нижче над поверхнею Землі та викривляється більше. Безпосередньо з рисунка маємо

$$\left. \begin{aligned} a' &= a - K_A - r_A \\ v' &= v - K_B - r_B \end{aligned} \right\} \quad (9.34)$$

Підставляючи значення  $a'$  і  $v'$  з формули (9.33) в (9.34), отримаємо

$$h = a - v - r_A + r_B. \quad (9.35)$$

Позначимо вимірне перевищення  $h_e$  як  $a - v$  і диференціальну рефракцію  $\Delta r$  через різницю  $r_B - r_A$ . З урахуванням позначень формула (9.35) набуде вигляду

$$h = h_e + \Delta r. \quad (9.36)$$

Коли світлова крива повернута випуклістю вверх (якщо зменшується густина повітря з висотою, переважно в нічний період доби), то формула (9.36) матиме вигляд

$$h = h_e - \Delta r. \quad (9.37)$$

Рівняння (9.36) та (9.37) правильні як для додатних, так і для від'ємних перевищень. У разі інверсії густини (вдень) вимірне перевищення зменшене, а у разі зменшення густини з висотою (зазвичай вночі, рано-вранці та увечері) – збільшене вертикальною рефракцією. Це означає, що в першому випадку поправки за рефракцію додатні, а в другому – від'ємні.

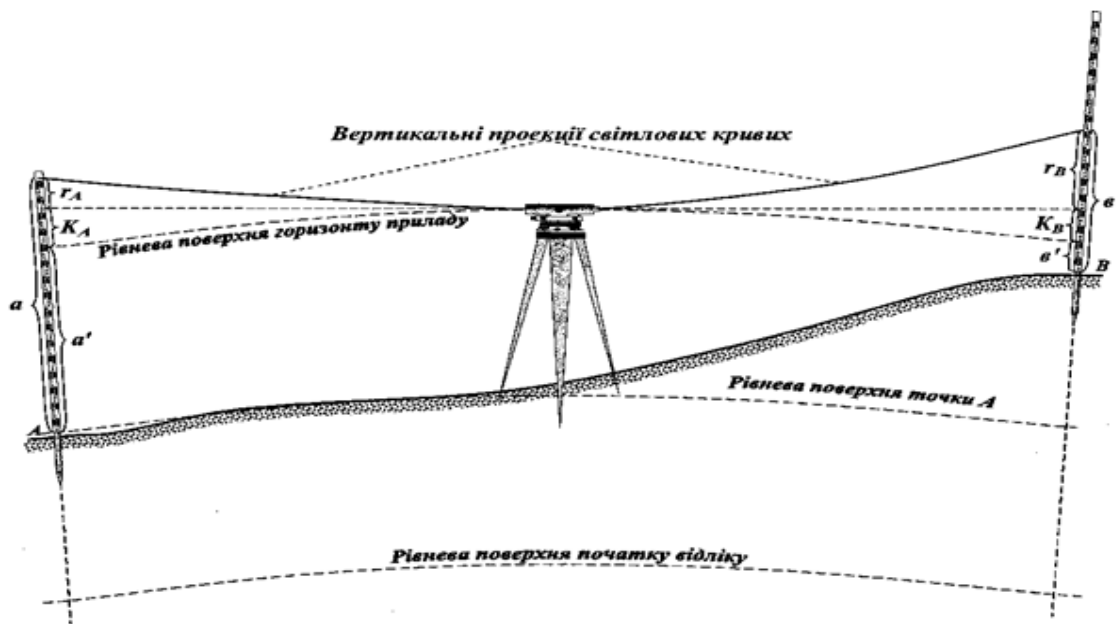


Рис. 9.39. Геометрія дії вертикальної рефракції та кривини Землі на результати геометричного нівелювання

Отже, для зменшення дії вертикальної рефракції на середнє перевищення необхідно прямий нівелірний хід прокладати за однієї стратифікації густини повітря, а зворотний – за іншої. Розроблено декілька методів визначення рефракції і введення поправок за рефракцію.

Щодо впливу кривини Землі на результати геометричного нівелювання, то, якщо рівні плечі нівелювання, впливом кривини Землі можна знехтувати.

### 9.5.3. Державна нівелірна мережа

Державна геодезична мережа (ДГМ) – це сукупність пунктів, рівномірно розташованих на поверхні Землі в межах території країни і закріплених на

місцевості спеціальними центрами, які забезпечують збереження та стійкість пунктів у плановому та висотному відношеннях на тривалий час [9].

ДГМ є носієм системи координат та висот України і має дві складові: *планову* та *висотну*. У цьому розділі розглянемо тільки висотні мережі.

Назвемо три головні групи задач, розв'язати які неможливо без Державної висотної основи:

1. **Топографічне знімання.** Зобразити на картах та планах рельєф місцевості в єдиній для всієї країни системі висот неможливо без достатньо густої системи точок з відомими висотами.

2. **Будівництво, меліорація та інші задачі інженерно-технічного характеру.** Не знаючи висот, неможливо збудувати найпростішу споруду, не кажучи вже про фабрики, заводи, електростанції, метро та десятки інших складних споруд.

3. **Наукові задачі.** Сучасна геодезія вивчає не тільки форму та розміри Землі, але й їхні зміни в просторі та часі, а для цього потрібно багаторазово, повторно визначати висоти з високою точністю, оскільки за рік-два вони змінюються на декілька міліметрів.

На особливу увагу заслуговує вивчення локальних геодинамічних явищ на важливих промислових об'єктах. Високоточні повторні вимірювання дають змогу прогнозувати рухи земної кори, технологічного обладнання, запобігати аваріям та катастрофам. Отже, нівелірна мережа має велике значення для економіки, науки та оборони країни.

Державна нівелірна мережа України поділяється на чотири класи: мережі I, II, III та IV класів

За початкову нульову відмітку висот в Україні прийнято усереднений за багато років спостережень рівень Балтійського моря – нуль-пункт Кронштадтського футштока.

Державні нівелірні мережі I і II класів – головна висотна основа країни. Нівелірні мережі III і IV класів згущують мережу точок із відомими висотами. Нівелювання I класу виконують із найвищою точністю, якої можна досягти завдяки сучасному рівню геодезичної техніки, використовуючи найточніші прилади та методи нівелювання. Точність нівелірних мереж II, III, IV класів поступово зменшується.

Нівелювання I класу виконують через кожні 25 років, а в сейсмічних районах через кожні 15 років. Нівелювання II класу повторюють через 35 та 25 років відповідно.

Граничні значення випадкових та систематичних середніх квадратичних похибок нівелювання різних класів на 1 км ходу та допустимі нев'язки в нівелірних полігонах або ходах наведено в табл. 9.3 [7].

У табл. 9.3,  $L$  – периметр (довжина) нівелірного полігона чи ходу в кілометрах. Похибки  $\eta$  та  $\sigma$  обчислюють за нев'язками  $f_h$  у полігонах або ходах.

Схематично послідовне заповнення деякої території пунктами нівелірної мережі різних класів можна уявити так, як це показано на рис. 9.40.



Таблиця 9.3

Клас нівелювання	Граничні середні квадратичні похибки		Допустимі нев'язки
	випадкові $\eta$ , мм/км	систематичні $\sigma$ , мм/км	
I	0,8	0,08	3 мм $\sqrt{L}$ (км)
II	2,0	0,20	5 мм $\sqrt{L}$ (км)
III	5,0	–	10 мм $\sqrt{L}$ (км)
IV	10,0	–	20 мм $\sqrt{L}$ (км)

Лінії Державної нівелірної мережі I, II, III, IV класів закріплюють реперами не рідше ніж через 5 км. **Репери** – це фундаментально закріплені на місцевості пункти з відомими висотами.

Нівелірні мережі в містах, населених пунктах, на геодинамічних полігонах мають певні особливості, які полягають в тому, що повторне нівелювання виконують частіше, ніж в державних мережах, полігони та ходи – коротші, а реperi закладають значно щільніше: I, II класи – через 2 – 3 км; III, IV класи – через 300 – 800 м [9].

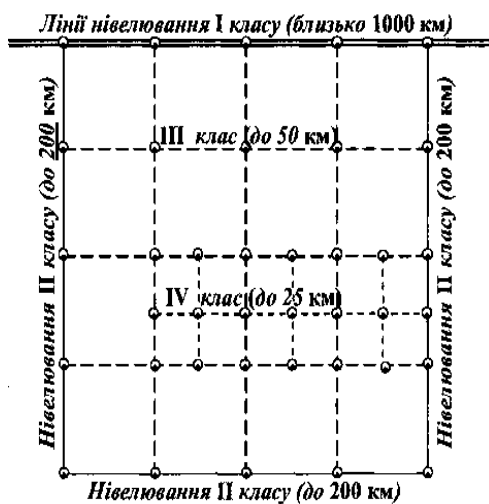


Рис. 9.40. Схема послідовного згущення (заповнення) полігона II класу нівелірними ходами:

- — — — — лінія I класу;
- — — — — полігон II класу;
- - - - - полігон III класу;
- · · · · лінія IV класу;
- — реperi

Залежно від важливості та специфічних призначень реперів їх можна поділити на:

1. **Вікові** (грунтові та скельні).
2. **Фундаментальні** (залізобетонні, азбестоцементні, трубчаті (металеві) та скельні).
3. **Звичайні** (грунтові та стінні).
4. **Тимчасові**.

#### 9.5.4. Нівелірні знаки

Нівелірні знаки називають **репером** та **маркою**. Репери класифікують на **грунтові**, **скельні**, **стінні**. Марки закладають тільки у стіни споруд. Головною відмінністю між репером і маркою є те місце (точка), висоту якої визначають. У реперів такою точкою є верхній виступ зазвичай сферичної головки репера. Марка має круглий отвір, центр якого і є точкою, висоту якої визначають.

Вікові та фундаментальні репери закладають тільки на лініях нівелювання I та II класів у місцях перетину цих ліній та на геодинамічних полігонах. Вікові репери дають змогу вивчати вертикальні рухи земної кори, оскільки їх закладають у корінні породи.

Фундаментальні репери забезпечують багаторічне зберігання висотної основи та дають змогу вивчати рухи земної поверхні. Їх закладають на лініях I і II класу не рідше ніж через 60 км, а в сейсмічних районах – через 40 км. Фундаментальні репери закладають також поблизу морських, основних річкових та озерних рівневих постів.

Звичайні репери закладають на лініях I, II, III, IV класів. Ці репери називають, ґрунтовими або стінними.

Ґрунтові репери закладають такими способами:

1. **Котловинним.** Цей спосіб використовують у місцях, де неможливо використати механізми.

2. **Свердловинним.** Репер закладають у ґрунт за допомогою бурових машин.

3. **Забиванням** безанкерних реперів палезабивними механізмами.

4. **Загвинчуванням** металевих труб у районах з пищаними та заболоченими ґрунтами.

Стінні, скельні репери та марки закладають, як правило, бурінням із застосуванням свердел та бурів або шлямбура. Існує дуже багато різних типів реперів. Однак, оскільки уся територія України входить у зону сезонного промерзання ґрунтів, то, як правило, закладають репери, призначені саме для таких районів [7, 9].

Ґрунтові репери закладають у пробурені свердловини діаметром 50 см. Ґрунтові репери, які закладаються на лініях нівелювання III, IV класів, складаються із залізобетонного пілона у формі паралелепіпеда (рис. 9.43) з поперечним перерізом 16×16 см та бетонної плити діаметром 48 см, які виготовляють завчасно. Глибину закладання репера відносно поверхні Землі та межі промерзання ґрунту показано на рис. 9.41. Мінімальна глибина закладання – 130 см (із висотою якоря). Біля репера на віддаї 1 приблизно 1 м закладають розпізнавальний стовп. У його верхній частині прикріплюють охоронну пластину, яка також показана на рис. 9.41. Вона повинна бути повернута в бік репера.

Посередині бетонної плити (якоря) роблять виїмку розміром 20×20×15 см, в яку встановлюють залізобетонний пілон. Пілон можна замінити азбестоцементною трубою із зовнішнім діаметром не менше ніж 16 см, яку заповнюють бетоном та арматурою. У верхню грань пілона або труби зацементовують марку (рис. 9.42).

У південній частині зони промерзання ґрунта, межа якої проходить по лінії Ужгород-Харків, використовують якорі заввишки 20 см, у північній – 35 см. Допускають закладення реперів у свердловини діаметром 35 см, але у такому разі висота якоря повинна становити 50 см у південній та 80 см у північній частинах зони.

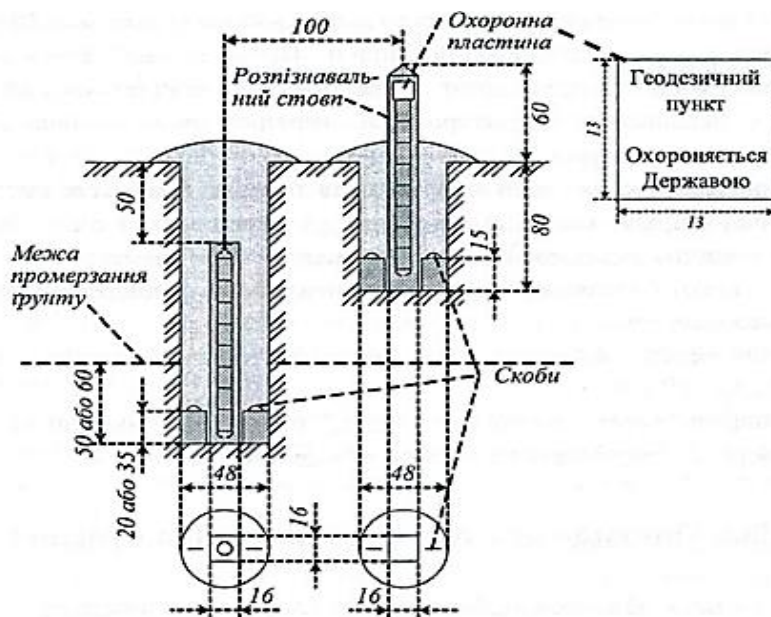


Рис. 9.41. Грунтовий репер

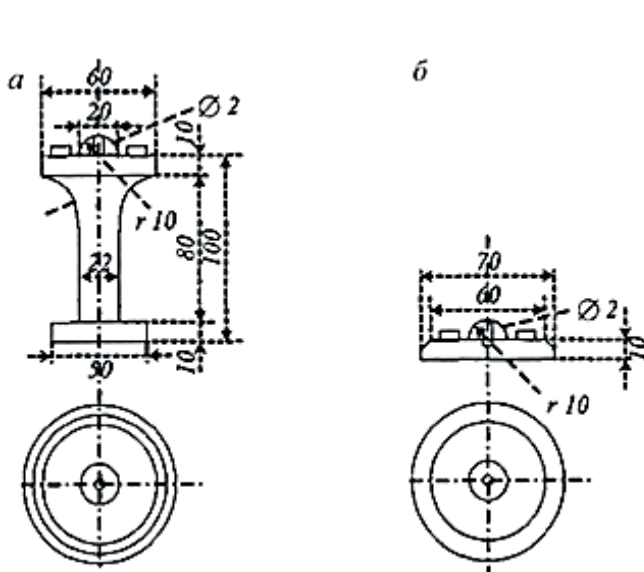


Рис. 9.42. Нівелірні марки, які:  
а - закладають у бетон; б - приварюють до металевої труби

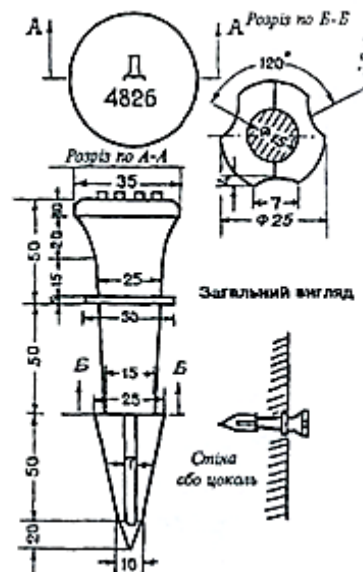


Рис. 9.43. Стінний репер

Стінний репер, який закладають на лініях нівелювання III та IV класів, показано на рис. 9.43.

Виконавець робіт, заклавши реperi, здає їх на зберігання місцевим органам влади та підприємствам згідно з відповідним актом.

## 9.6. Прилади для геометричного нівелювання

### 9.6.1. Класифікація нівелірів. Основні осі нівелірів

Для нівелювання використовують прилади, які називаються *нівелірами*. Їх головна особливість – задавати горизонтальний візирний промінь після встановлення нівеліра в робочий стан [2, 9].

На рис. 9.44 показано схеми сучасних оптичних нівелірів. Нівеліри складаються з підставки 1 з трьома підймальними гвинтами (на схемах видно два гвинти), в яку входить вертикальна вісь обертання нівеліра 2.

Зорова труба схематично показана об'єктивом  $L_1$  та окуляром  $L_2$ . Сітка ниток позначена хрестиком.

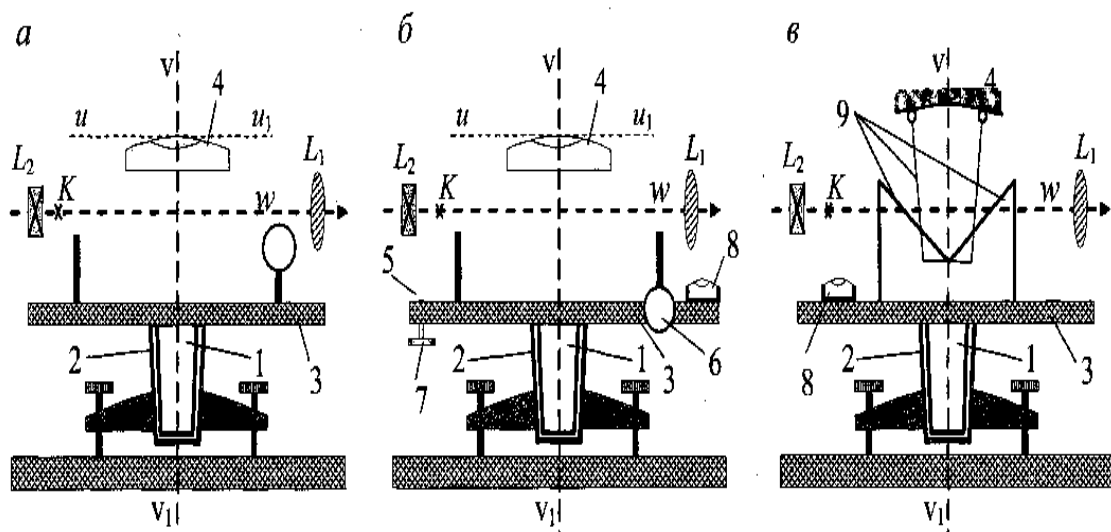


Рис. 9.44. Схеми сучасних оптичних нівелірів

Нівеліри доцільно класифікувати за трьома ознаками:

- а) за точністю;
- б) за способом встановлення візирної осі в горизонтальне положення;
- в) за способом відлічування шкали нівелірної рейки.

За першою ознакою нівеліри поділяють на три групи:

1. Високоточні – використовуються для нівелювання I та II класів.
2. Точні – застосовуються для виконання нівелювання III та IV класів.
3. Технічні – використовуються для технічного нівелювання.

За другою ознакою нівеліри поділяють на два типи.

Перший тип – це нівеліри, в яких візирна вісь встановлюється горизонтально за допомогою циліндричного рівня 4, який скріплений із трубою нівеліра (рис. 9.44, а, б).

Другий тип – нівеліри, в яких лінія візування самостійно встановлюється горизонтально (рис. 9.44, в) за допомогою спеціального пристрою – *компенсатора* (номер 9 на рис. 9.44, в).

Є дві конструкції нівелірів першого типу. У одній з них (рис. 9.47, а) труба наглухо скріплена з лінійкою 3. У цих нівелірах візирну вісь встановлюють точно в горизонтальне положення за допомогою цилінд-

ричного рівня 4. Інколи такі нівеліри мають сферичні рівні. Сферичний рівень встановлюють на лінійці 3 (на рис. 9.44, а цей рівень не показано). Він призначений для приблизного, попереднього встановлення вертикальної осі  $VV_1$  в прямовисне положення.

У другій конструкції нівелірів (рис. 9.44, б) труба скріплена наглухо з лінійкою 5, яку можна повертати на невеликий кут навколо осі 6 за допомогою елеваційного гвинта 7. Вертикальну вісь  $VV_1$  нівеліра приблизно встановлюють прямовисно за допомогою сферичного рівня 8. Перед відлічуванням шкали рейки візирну вісь точно встановлюють в горизонтальне положення, за допомогою елеваційного гвинта 7, встановивши горизонтально вісь циліндричного рівня 4.

За методом відлічування рейок нівеліри поділяють на два класи:

1. Оптичні нівеліри.
2. Електронні, цифрові нівеліри.

Під час роботи оптичними нівелірами виконавець відлічує шкали рейок окомірно. Електронні нівеліри обладнані приладами зарядного зв'язку (ПЗЗ), які й відлічують шкалу рейки автоматично. Значення відліків висвічуються на дисплеї і можуть зберігатись у пам'яті електронного нівеліра.

Головними осями нівелірів є:

- 1) вісь обертання нівеліра (вертикальна вісь);
- 2) візирна вісь (для нівелірів з циліндричним рівнем);
- 3) вісь сферичного рівня;
- 4) вісь циліндричного рівня;
- 5) лінія візування (для нівелірів з компенсаторами).

**Візирна вісь** нівеліра – це лінія, що з'єднує центр сітки ниток з центром об'єктива.

Лінією візування називають пряму, що проходить через центр об'єктива (його передню головну точку), та проекцію центра сітки ниток на навелірній рейці.

### 9.6.2. Оптичні нівеліри

Розглянемо декілька найпоширеніших оптичних нівелірів [9, 10].

**Нівелір Н-3**, зображений на рис. 9.45, має збільшення зорової труби  $30\times$ , ціну поділки циліндричного рівня – 15", ціну поділки сферичного рівня 10', найменшу віддаль візування – 1,8 м.

Попередньо вертикальну вісь. приладу встановлюють прямовисно допомогою підіймальних гвинтів і сферичного рівня; точного суміщення зображень кінців бульбашки циліндричного рівня добиваються за допомогою елеваційного гвинта.

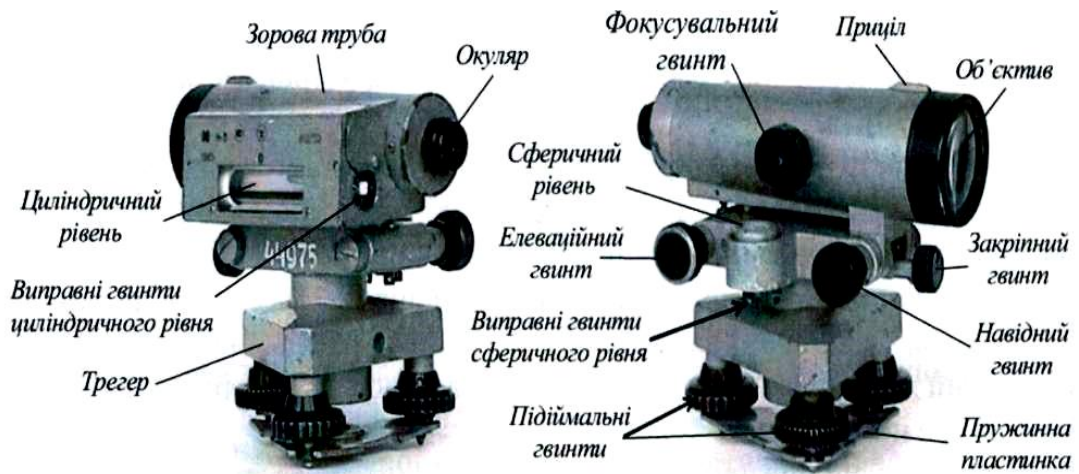


Рис. 9.45. Нівелір Н-3

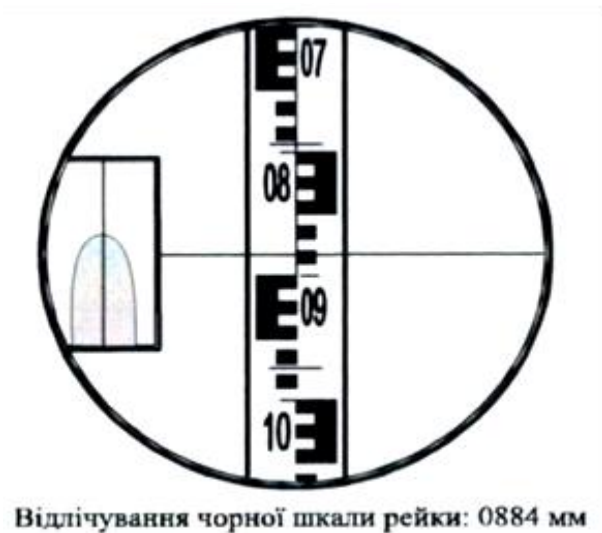


Рис. 9.46. Поле зору нівеліра Н-3 та відлік чорної шкали рейки

Основне призначення нівеліра Н-3 – виконання нівелювання III та IV класів. На рис.9.46 зображено поле зору зорової труби нівеліра Н-3 та зображення у ньому нівелірної рейки, сітки ниток і кінців бульбашки циліндричного рівня.

Перед відлічуванням шкали рейки за допомогою елеваційного гвинта приводять зображення кінців бульбашки циліндричного рівня у контакт (див. зображення кінців бульбашки циліндричного рівня в лівій частині поля зору, наведене на рис. 9.46).

**Нівелір Н-10Л.** На рис. 9.47 подано загальний вигляд нівеліра Н-10Л.

Збільшення його зорової труби  $23\times$ , ціна поділки циліндричного рівня –  $45''$ , сферичного –  $10'$ , мінімальна віддаль візування – 1,5 м. Зовні цей нівелір відрізняється від Н-3 розташуванням елеваційного гвинта та дзеркалом підс-



Рис. 9.47. Нівелір Н-10Л

вічування циліндричного рівня, а також відсутністю підставки. Замість підставки нівелір прикріплюється до спеціального штатива з кутовою п'яткою, яка дає змогу нахилити нівелір, тобто приводити в робочий стан. Якщо такий нівелір має підставку, то його – шифр 2Н-10Л.

**Нівелір Н-10КЛ.** У маркуванні нівеліра буква К означає компенсатор, Л – лімб (горизонтальний круг).



Рис. 9.48. Нівелір Н-10КЛ

Компенсатор нахилу дає змогу підвищити точність і продуктивність праці, оскільки спостерігачу не потрібно встановлювати за допомогою елеваційного гвинта в контакт зображення кінців бульбашки циліндричного

рівня. Особливо ефективний нівелір Н-10КЛ на нестійких ґрунтах, але не на території інтенсивного будівництва, яке спричиняє вібрацію ґрунту і, внаслідок цього, дрижання компенсатора.

На рис. 9.48 зображено загальний вигляд нівеліра Н-10КЛ [9].

Нівелір Н-10КЛ – це технічний нівелір, оснащений компенсатором та горизонтальним кругом. Мінімальна віддаль фокусування – 0,5 м. У зоровій трубі нівеліра, яка має збільшення  $20^{\times}$ , на відміну від інших труб з внутрішнім фокусуванням, відсутня фокусувальна лінза. Її функції виконує прямокутна вільно підвішена призма маятникового типу.

Хід променів у трубі нівеліра Н-10 КЛ зображено на рис. 9.49. Промінь від рейки проходить через об'єктив, вхідну пентапризму, прямокутну призму, вихідну (малу) пентапризму і потрапляє на сітку ниток. Пентапризми для наочності показані окремо, хоча насправді вони склеєні симетрично. Ламана труба нівеліра дає пряме зображення предметів. Цього досягають обертальною системою із двох пентапризм та прямокутної призми. У нівелірі є горизонтальний круг із ціною поділки  $1^{\circ}$ , сферичний рівень з ціною поділки  $10'$  і дзеркалом підсвітки.

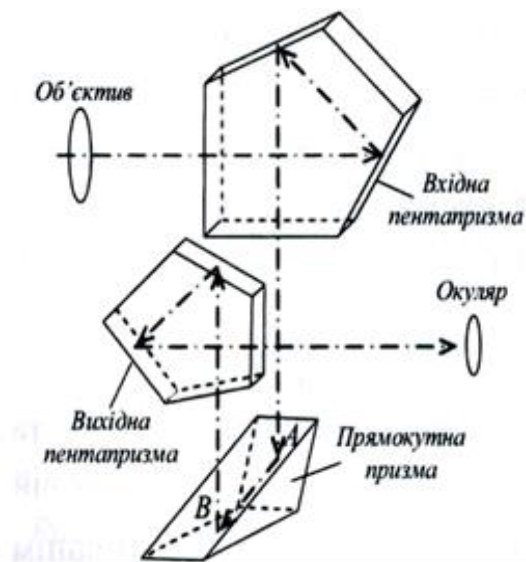


Рис. 9.49. Хід променів у нівелірі Н-10 КЛ

У нівелірі використано призмий компенсатор, який одночасно виконує роль фокусувального елемента. Компенсатор нівеліра містить дві пентапризми, які склеєні та закріплені нерухомо на корпусі приладу, і рухому прямокутну, рівнобедрену призму, що підвішена на валу.

Під час перефокусування зберігається сталість оптичних віддалей від задньої головної точки об'єктива до прямокутної призми та віддаль від центра сітки ниток до цієї призми. Цим забезпечується незмінність положення візирної лінії й не порушується умова компенсації. Юстування компенсатора можна виконати, переміщаючи одночасно склеєні пентапризми вздовж лінії візування.

Для нівелювання III, IV класів також використовують нівелір **НИК-2** (рис. 9.50). Нівелір має зорову трубу з прямим зображенням та горизонтальний круг. Маса приладу 2 кг.

Основні технічні характеристики нівеліра НИК-2:

1. Середньоквадратична похибка визначення:
  - перевщення на 1 км ходу з рейками РН-3-3000СП – 1,5 мм;
  - горизонтальних кутів –  $8'$ .
2. Діапазон робота компенсатора –  $\pm 30'$ .
3. Найменша відстань візування – 0,5 м.



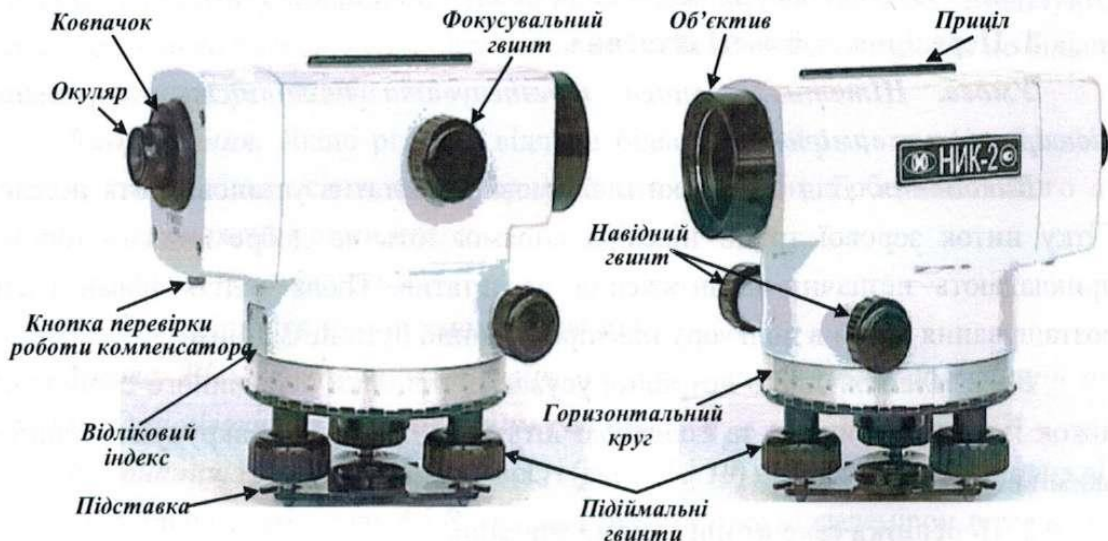


Рис. 9.50. Нівелір НІК-2

4. Найменша відстань візування – 0,5 м.
  5. Збільшення труби –  $31,3 \pm 1\times$ .
- Ціна поділки сферичного рівня на 2 мм –  $10+2'$ .

### 9.6.3. Перевірки оптичних нівелірів

Розглянемо перевірки нівелірів з циліндричним рівнем та нівелірів з компенсаторами. Перед початком польових робіт нівеліри обов'язково перевіряють в такій послідовності [9].

1. Перевірка стійкості штатива.
2. Перевірка сферичного рівня.
3. Перевірка правильності встановлення сітки ниток.
4. Перевірка головної умови нівеліра.
5. Перевірка роботи компенсатора (тільки для нівелірів з компенсатором).

Розглянемо виконання кожної із перевірок нівеліра окремо.

#### 1. Перевірка стійкості штатива.

**Умова.** Штатив повинен забезпечувати незмінність положення нівеліра під час вимірювань.

**Виконання.** Для перевірки цієї умови на штатив устанавлюють нівелір. Сітку ниток зорової труби нівеліра спрямовують на добре видиму точку і прикладають незначні навантаження на штатив. Після зняття навантажень розташування точки в полі зору нівеліра повинно бути незмінним.

**Виправлення.** Якщо потрібно, усувають причини ненадійного скріплення ніжок із наконечниками та головкою штатива. Для цього закручують гвинти, якими вони скріплені.

## 2. Перевірка сферичного рівня нівеліра.

**Умова.** Вісь сферичного рівня має бути паралельною до осі обертання нівеліра.

**Виконання.** За допомогою трьох підймальних гвинтів трегера суміщають центр бульбашки сферичного рівня з центром внутрішнього кола його шкали – нуль-пунктом. Повертають трубу нівеліра навколо осі обертання на  $180^\circ$ . Якщо бульбашка змістилася від середини не більше ніж на 0,5 поділки сферичного рівня, то умова (перевірка) виконана. Якщо ж бульбашка змістилася більше, то виконують виправлення.

**Виправлення.** За допомогою виправних гвинтів сферичного рівня переміщують його бульбашку на половину дуги відхилення в напрямку до середини.

Після виправлення перевірку повторюють.

## 3. Перевірка правильності встановлення сітки ниток у зоровій трубі нівеліра.

**Умова.** Горизонтальний (середній) штрих сітки ниток має міститися в горизонтальній площині, коли вісь обертання нівеліра встановлена прямовисно.

**Виконання.** За 20 метрів від приведеного в робочий стан нівеліра забивають костиль і встановлюють на нього нівелірну рейку. Спрямовують зорову трубу на рейку так, щоб зображення рейки розмістилося біля одного краю поля зору труби. За допомогою елеваційного гвинта переміщують бульбашку циліндричного рівня на середину (в контакт). Відлічують рейку середньою ниткою сітки ниток (відлік,  $a$ ). Навідним гвинтом труби повертають зорову трубу так, щоб зображення рейки змістилось на другий край поля зору. Переміщують бульбашку циліндричного рівня на середину (в контакт). Відлічують рейку середньою ниткою сітки ниток (відлік  $b$ ). Якщо різниця відліків не більша за 2 мм, то перевірка виконана.

**Виправлення.** Якщо різниця відліків більша ніж 2 мм, то послаблюють гвинти, якими кільце сітки ниток прикріплено до труби, і обертають його до потрібного положення сітки ниток.

Перевірку повторюють.

## 4. Перевірка головної умови нівеліра.

**Умова.** Вісь циліндричного рівня має бути паралельна до візирної осі нівеліра (для нівелірів з циліндричним рівнем).

**Виконання.** На рівнинній місцевості (рис. 9.51) на віддалі 75 – 80 м одна від одної закріплюють дві точки  $A$  і  $B$ , між якими нитковим віддалеміром вимірюють віддаль  $D$ . Перевищення  $h$  між ними визначають нівелюванням вперед. Для цього встановлюють нівелір на віддалі 2 – 3 м від точки  $A$  і переводять його в робоче положення. Елеваційним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня у нуль-пункт відлічують чорну шкалу рейки, встановленої в точці  $A$  (відлік  $i_1$ ). Спрямовують трубу на другу (віддалену) рейку, встановлену в точці  $B$ . Елеваційним гвинтом приводять

бульбашку циліндричного рівня у нуль-пункт і відлічують чорну шкалу рейки (відлік  $a_1$ ).

Встановлюють нівелір на віддалі 2-3 м від точки  $B$  і приводять його в робоче положення. Привівши бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт, відлічують чорну шкалу рейки, встановленої на точці  $B$  (відлік  $i_2$ ). Спрямовують трубу на другу рейку, що розміщена в точці  $A$ . Знову елеваційним гвинтом переміщують бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт і відлічують чорну шкалу рейки (відлік  $a_2$ ). Непаралельність осі рівня та візирної осі визначають за формулою

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (9.38)$$

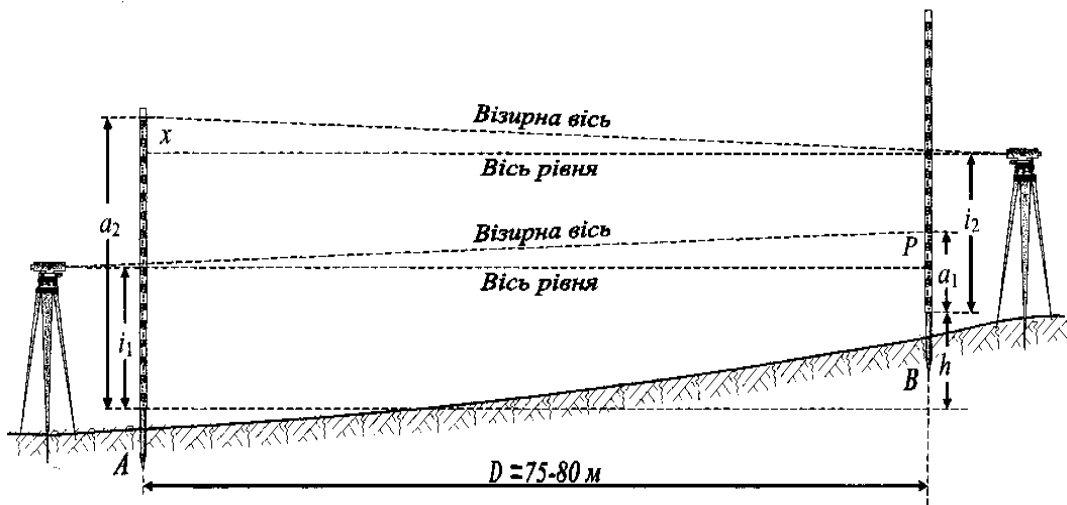


Рис. 9.51. Основна перевірка нівеліра з циліндричним рівнем при зоровій трубі

Далі обчислюють кут непаралельності осі рівня і візирної осі

$$i'' = \frac{x}{D} \rho, \quad (9.39)$$

де  $\rho = 206265''$ .

Якщо значення кута  $i \leq 10''$  то перевірка виконана.)

**Виправлення.** Якщо  $i > 10''$  то елеваційним гвинтом наводять середню нитку на відлік рейки  $a$ , який дорівнює

$$a = a_2 - x. \quad (9.40)$$

У такому разі бульбашка циліндричного рівня зміститься із середини. Послаблюють один із бокових виправних гвинтів і вертикальними виправними гвинтами переміщують бульбашку рівня на середину. Гвинти закріплюють. Перевірку повторюють.

Нівеліри з компенсатором перевіряють так само, як і нівеліри з рівнем. Виправляють негоризонтальність візирної осі, переміщуючи сітку ниток, розташовану під кришкою, на правильний відлік  $a = a_2 - x$ .

### 5. Перевірка роботи компенсатора (тільки для нівелірів з компенсатором).

**Умова.** Нівелір не повинен мати недокомпенсації.

**Виконання.** Перевірку виконують у такій послідовності. Нівелір установлюють посередині між рейками, віддаль між якими 75 – 80 м, і переміщують бульбашку сферичного рівня на середину (рис. 9.52, положення 1). Відлічують рейки  $a_1$  і  $b_1$  визначають перевищення  $h_1 = a_1 - b_1$

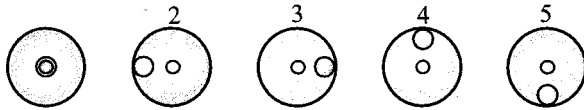


Рис. 9.52. До перевірки роботи компенсатора

Підймальними гвинтами переміщують бульбашку сферичного рівня у межах великого кола так, як показано на рис. 9.52 (положення 2, 3, 4, 5). Після кожного зміщення відлічують рейки:  $a_2$  і  $b_2$ , ...,  $a_5$  і  $b_5$ . Визначають перевищення  $h_2$ , ...,  $h_5$ .

Нівелір справний, якщо середні перевищення, отримані в положеннях 2–5 сферичного рівня, відрізнятимуться від перевищення (положення 1) не більше ніж на 7 мм. Якщо розходження більші, нівелір виправляють у заводських умовах.

### 9.6.4. Будова електронного нівеліра Sprinter 200M

Електронний нівелір Sprinter 200M (див. рис. 9.53) – високоякісний цифровий нівелір, який застосовують переважно для виконання технічного

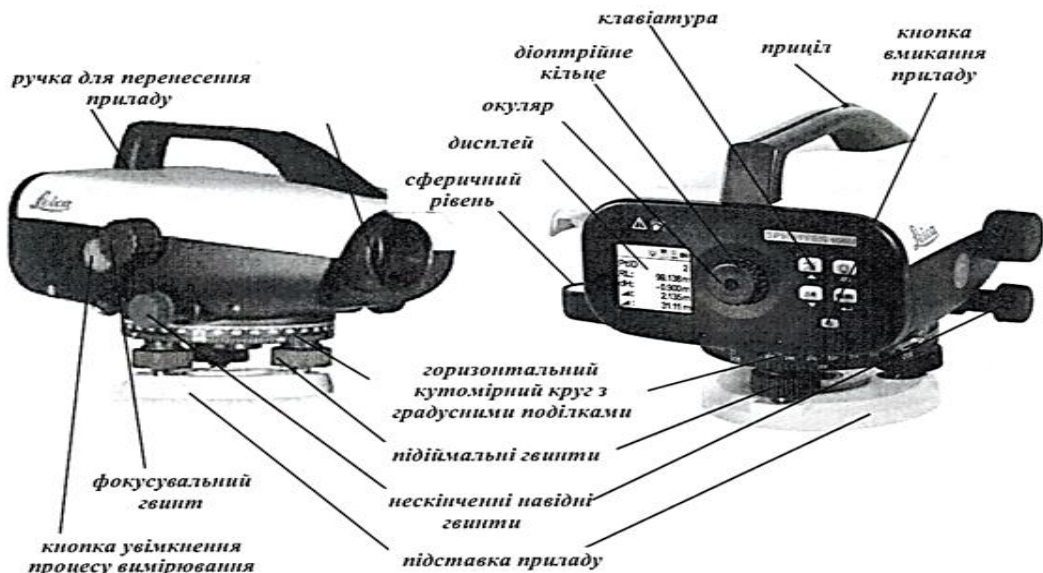


Рис. 9.53. Загальний вигляд і будова нівеліра Sprinter 200M

нівелювання та нівелювання IV класу. Переваги Sprinter 200M полягають у пришвидшенні та полегшенні нівелювання завдяки електронному зчитуванню спеціальної штрихкової рейки і відображенню результату вимірювання, обчислень та накопичених даних на дисплеї [8, 9].

Таблиця 9.4

**Технічні характеристики нівеліра Leica Sprinter 200M**

Середня квадратична похибка вимірювання перевищення на 1 км подвійного ходу на алюмінієв рейки: під час електронного вимірювання на кодний бік рейки під час оптичного вимірювання на шашковий бік рейки	1,5 мм 2,5 мм
Середня квадратична похибка вимірювання віддалі (під час електронного вимірювання на кодний бік рейки)	10 мм $d < 10$ м (0,001d м) для $d > 10$ м
Діапазон електронних вимірювань	Від 2 м до 80 м
Діапазон оптичних вимірювань	Від 0,5 м
Тривалість одноразових вимірювань	< 3 с
Режими вимірювання	Одноразовий і стеження
Програми вимірювання	Вимірювання; вимірювання та запис результатів у пам'ять нівеліра; відлічування рейки (висоти та віддалі), передавання висоти з введенням висоти репера RL; вимірювання ходу
Сферичний рівень	Чутливість 10'/2 мм
Компенсатор магнітний	З магнітним демпфіруванням
Робочий діапазон компенсатора	10"
Точність встановлення компенсатора	0,8'
Вбудована пам'ять	500 вимірів
Завантаження даних	Формат GSI через порт RS232
Живлення	Чотири батарейки або акумулятори типу AA
Збільшення зорової труби	24×
Стандрат волого - та пилозахисту	IP55
Вага	<2,5 кг

### 9.6.5. Нівелірні рейки

Нівелірні рейки – це бруски, ширина яких до 10 см, товщина 2-3 см, висота 2-4 м. Рейки бувають суцільні або складувані. Для технічного нівелювання використовують переважно складувані рейки (рис. 9.54). Дві



Рис. 9.54. Рейка РН-3

частини рейки скріплені між собою і фіксуються ручкою-замком. На обох боках рейки на білому тлі нанесено сантиметрові поділки шкали. На одному боці – чорні (чорна шкала), на другому – червоні (червона шкала). Щоб спростити відлічування, поділки об'єднано по п'ять сантиметрів буквою Е. Кожний дециметр на рейці підписаний двозначним числом.

Нуль чорної шкали збігається з початком рейки, а перший дециметр червоної шкали підписаний числом 47 або 48.

Чорна шкала є основною, а червона шкала зміщена на величину, яку називають п'яткою рейки (різниця відліків червоної і чорної шкал рейки).

Рейки можуть мати ручки і сферичний рівень для встановлення у прямовисне положення.

Шкалу рейки після того, як кінці бульбашки циліндричного рівня зведено в контакт (див. рис. 9.46), відлічують горизонтальною ниткою сітки ниток. Відлік рейки – чотиризначне число. Перші дві цифри – це значення, вказане на рейці молодшого дециметрового штриха, між якими міститься горизонтальна нитка сітки ниток (08). Третя цифра у відліку – кількість сантиметрових поділок від молодшого дециметрового штриха до горизонтальної нитки сітки ниток (8). Четверта цифра у відліку – десята частка найменшої поділки шкали рейки (0,1 см) від останнього сантиметрового штриха до горизонтальної нитки сітки ниток у бік збільшення відліку (4).

### 9.6.6. Лазерні нівеліри

*Лазерні побудовувачі площини* (рис. 9.55, 9.56) – це різновид лазерних нівелірів. Вони бувають статичними і ротаційними. Ротаційні частіше використовують на відкритих майданчиках. Статичні застосовують під час будівельних або ремонтних робіт всередині невеликих приміщень. На відміну від ротаційних лазерних нівелірів, які внаслідок обертання лазерного променя задають вертикальну або горизонтальну площини, статичні лазерні побудовувачі формують одночасно дві, три і більше лазерних площин чи точок або в проекції на горизонтальну або вертикальну площини будують тонкі прямілінії, відносно яких виконують подальші вимірювання. Сьогодні найширше застосовуються багатопроменеві лазерні побудовувачі які можуть моделювати до чотирьох вертикальних площин і горизонтальну з розгорткою

360. Візуально розкреслюючи приміщення, вони стають чудовими орієнтирами для роботи. Лідерами з виробництва лазерних побудовувачів площини є німецькі компанії Geo-Fennel і Stabila та американська фірма Zircon.



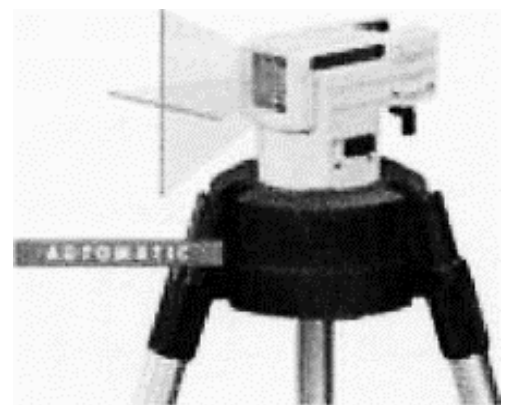
*Рис. 9.55. Загальний вигляд побудовувача точок Multi-Pointer*

Сьогодні лазерні нівеліри вважають найкращою альтернативою традиційним побудовувачам площини.

Лазерні нівеліри, які оптичні, використовують для визначення перевищення між точками або винесення на місцевість проектних відміток. Лазерні нівеліри створюють видиму горизонтальну, вертикальну або нахилену площини за допомогою лазерного променя, який обертається зі швидкістю до 600 об/хв. Площину встановлюють в горизонтальне положення за допомогою електронного або рідинного рівня або автоматичною системою само – нівелювання. Для фіксації цієї площини можна використовувати як звичайні рейки, так і рейки, обладнані спеціальним приймачем випромінювання.

Точність нівелірних робіт підвищується завдяки використанню приймачів.

Лазерні нівеліри застосовують для виконання робіт у приміщеннях та за їхніми межами, в промисловому та цивільному будівництві, монтажі інженерного обладнання, для розмічування і задавання напрямку, в землевпорядкуванні. Їх також широко використовують під час внутрішніх будівельних робіт, таких як зведення стін, підвісних стель, вирівнювання підлоги, встановлення віконних і дверних коробок, для автоматизації ландшафтних робіт, оскільки лазерний промінь дає можливість візуально контролювати відхилення в горизонтальній і вертикальній площинах.



*Рис. 9.56. Загальний вигляд побудовувача площин Stabila LAX-50*

### **9.6.7. Функціональні можливості та технічні характеристики лазерних нівелірів**

Розглянемо функціональні можливості й технічні характеристики лазерних нівелірів найвідоміших фірм-виробників геодезичного обладнання.

Ротаційні нівеліри **Rugby 100/100LR, Rugby 200** (Leica Geosystems, Швейцарія) – це нова серія лазерних нівелірів для розв'язання інженерно-геодезичних задач у промисловому і цивільному будівництві як всередині приміщення, так і назовні. На відкритому будівельному майданчику, щоб поліпшити якість приймання лазерного випромінювання і отримати точніші

результата вимірювання, використовують ручний приймач Rod Eye або промисловий приймач, який встановлюється на будівельні машини.

**Rugby 200** (рис. 9.57) – це нівелір з автоматичним встановленням у горизонтальне та вертикальне положення. Діапазон роботи компенсатора становить  $\pm 5^\circ$ . Видимий лазерний промінь, обертаючись на  $360^\circ$ , формує горизонтальну площину, яку можна використовувати як вихідну для розв'язання стандартних задач з нівелювання на будівельному майданчику. Додатковий промінь потрібен для побудови кутів  $90^\circ$  та у разі перемикання лазера вниз – як лазерний висок для центрування над точкою. Крім горизонтальної і вертикальної площин, нівелір може будувати похилу площину. Для цього в ньому є функція задавання проектного ухилу в площинах  $X$  і  $Y$ .



*Рис. 9.57. Лазерний нівелір Rugby 200*

Отже, Rugby 200 можна використовувати для вертикального розпланування будівельного майданчика як під горизонтальну, так і під похилу площину. Повнофункціональний пульт дистанційного керування дає змогу сповільнити обертання лазерного променя або розвернути сегмент сканування у напрямку нового місця монтажу.

Лазерні нівеліри серії Rugby широко застосовують під час виконання внутрішніх будівельних робіт, таких як зведення стін, підвісних стель, вирівнювання підлоги, встановлення віконних і дверних коробок, а також для побудови опалубки і вкладання бетону, монтажу інженерного обладнання, для розмічувальних робіт. Технічні характеристики нівелірів серії Rugby подано в табл. 9.5.

**Rugby 300 SG** та **Rugby 400 DG** (див. рис.9.58) – це високоточні лазерні нівеліри, які використовують для побудови горизонтальної та похилої



*Рис. 9.58. Лазерний нівелір Rugby 400 DG*

площин, ліній із заданим ухилом, визначення ухилу вздовж осей  $X$ ,  $Y$ . Вони також оптимізують процес управління машинами та механізмами на будівельному майданчику і сумісні з 2D - та 3D - системами управління машинами Leica Geosystems. Характеристики цих приладів подано в табл. 9.5.

Вони дають змогу істотно зекономити матеріали та зменшити витрати праці, пришвидшити виконання робіт.

Особливостями цих нівелірів є наявність режиму контролю за висотою приладу та можливість стабільно працювати за несприятливих умов, таких як сильний вітер, вібрації тощо.



**Rugby 300 SG** та **Rugby 400 DG** можна використовувати для таких видів робіт:

- розпланування будівельного майданчиках під горизонтальну площину, наприклад, для побудови паркінгів, злітно – посадкових смуг тощо;
- побудови похилої площини із заданим ухилом, наприклад, для системи зрошення;
- високоточного контролю ухилу під час роботи екскаваторів і бульдозерів; встановлення очищувальних споруд та труб під заданим ухилом;
- встановлення опалубки для бетону;
- реконструкція штучних водоймищ;
- розмічування фундаментів та опор;
- управління машинами сумісно з MC200 Depthmaster для екскаваторів, з MC1200 для грейдерів та з системами управління на основі лазерних сенсорів Leica САВ для бульдозерів, скрейперів та іншого подібного обладнання.

Таблиця 9.5

**Технічні характеристики деяких нівелірів серії Rugby**

Модель нівеліра	<b>Rugby 300 SG</b>	<b>Rugby 400 DG</b>
Тип лазера	невидимий, інфрачервоний, 780 нм	
Діапазон вимірювання	до 750 м	
Точність встановлення променя у горизонтальне положення	±1.6 мм на 30 м	
Діапазон ухилу	-5 до +25% по одній осі	-5 до +25% по будь-якій осі -5 до +15% по осях X та Y
Режими встановлення ухилу	безпосередній або цифровий	
Тривалість роботи джерела живлення	до 130 годин	

**RL-H3A/H3B, RT-5Sa/RT-5Sb, RL-H1Sa/H2Sa** – це серія лазерних нівелірів японської корпорації TOPCON, які використовуються для автоматичної побудови горизонтальної площини.

**RL-H3A/H3B** – це нівеліри, обладнані видимим лазерним променем (690 нм), який може обертатися зі швидкістю 600 об/хв. Візирний промінь приводиться в горизонтальне положення за допомогою компенсатора, діапазон дії якого становить  $\pm 3^\circ$ . Якщо порушено межі компенсації, на LCD-моніторі з'являється попередження, яке супроводжується звуковим сигналом.

Завдяки високій точності приведення лазерного променя в горизонтальне положення  $\pm 8''$  –  $\pm 10''$  нівеліри RL-H3A та RL-H3B успішно використовують для внутрішніх ремонтних, будівельних та реставраційних робіт.

**RT-5Sa** (див. рис. 9.59). **RT-5Sb** – високоточні лазерні нівеліри, обладнані унікальною системою кодування детекторів кутів нахилу. Мають широкий діапазон побудови та визначення ухилів ( $\pm 50\%$  для RT-5Sa). Режим зміни потужності видимого лазерного променя від 1.3 мВт до 4.5 мВт дає змогу виконувати вимірювання на відстані до 1200 м. Точність встановлення променя у горизонтальне положення становить  $\pm 1.2$  мм на 50 м ( $\pm 5''$ ). RT-5Sa/RT-5Sb повністю автоматизовують процес нівелювання і забезпечують високу точність контролю за положенням бульдозерів, гідравлічних екскаваторів та інших будівельних машин.



Рис.9.59. Лазерний нівелір RT-5Sa



Рис. 9.60. Лазерний нівелір RL- H2Sa

**RL-H1Sa/H2Sa** (див.рис. 9.60) – ротаційні нівеліри, які, як і їхні попередники серії RL-H, уможливають приведення лазерного візирного променя в горизонтальне положення з точністю  $\pm 2.4$  мм на 50 м ( $\pm 10''$ ). Мають широкий радіус дії обладнані системою, яка дає змогу визначити ухили та будувати лінії і площини із заданим ухилом. Вони також сумісні із системами контролю та управління машинами та механізмами на будівельному майданчику на основі лазерних сенсорів LS-70.

Технічні характеристики лазерних нівелірів подано в табл. 9.6.

Таблиця 9.6

**Технічні характеристики лазерних нівелірів корпорації TOPCON**

Модель нівеліра	RL-H3A	RL-H3B	RT-5Sa / RT-5Sb	RL- H1Sa	RL-H2Sa
1	2	3	4	5	6
Тип лазера	690 нм, клас 3A	690 нм, клас 1	видимий, 685 нм, клас 3A	780 нм, клас 1	685 нм, клас 3 A
Потужність лазера	2.0 мВт	0.9 мВт	від 1.3 мВт до 4.5 мВт	1.5 мВт	2.0 мВт
Швидкість обертання	600 об/хв		300/600/900/1200 об/хв	300/600 об/хв	300/600/ 900 об/хв

Продовження табл. 9.6

Діапазон вимірювання	2 – 700 м	2 -400 м	до 1200 м	до 700 м	
Межі компенсатора	±3°		±5°		
Діапазон ухилу	–	–	±50 % (RT-5Sa) ±10 % (RT-5Sb)	5– 10%	±8% (X,Y) ±10% (X,Y)
Точність встановлення променя у горизонтальне положення	±1.9 мм/50 м (±8")	±2.4 мм/50 м (±10")	±1.2 мм/50 м (±5")	±2.4 мм/50 м (±10")	
Джерела живлення	акумулятор BT-49Q (Ni-3VІH)	елементи живлення	елементи живлення, акумулятори		
Тривалість роботи: елементів живлення, акумулятора	120 год 60 год	120 год	120 год 40 год	45 год 30 год	
Робоча температура	-20° С – +50° С				
Вага	2.8 кг	2.6 кг	8.0 кг	2.7 кг	

Таблиця 9.7

**Технічні характеристики лазерних нівелірів корпорації TOPCON**

Модель нівеліра	RL-VH3A	RL-VH3G
Тип лазера	видимий червоний, 633 нм, клас 3A	видимий зелений, 532 нм, клас 3A
Точність встановлення променя у вертикальне положення	± 15"	
Точність встановлення променя у горизонтальне положення	±10"	
Швидкість обертання лазерного променя	30 до 600об/хв	30 до 300 об/хв
Діапазон дії компенсатора	±5°	
Діапазон вимірювання	100 м	

Джерела живлення	елементи живлення, акумулятори
Робоча температура	-20° С – +50° С
Габарита	214 x 167 x 259.5 мм

**RL-VH3G/A** – лазерний нівелір, який застосовують для побудови горизонтальної і вертикальної площин. Має функцію автофокусування. Модель RL-VH3G обладнана зеленим лазером, видимість якого в п'ять разів вища, ніж у червоного лазера. Електронний компенсатор автоматично приводить нівелір в робоче положення. Радіус дії пульта управління – 100 м. Швидкість обертання лазера можна регулювати від 30 до 600 об/хв.

Використовуючи фотодетектор, ширину кута сканування можна довести до 180°. У вертикальному положенні лазерний промінь може слугувати центром. Технічні характеристики модифікацій лазерного нівеліра **RL-VH3** наведено в табл. 9.7.

Використовують цей прилад як для виконання внутрішніх інтер'єрних робіт, так і для розв'язання інженерно-геодезичних задач на відкритому будівельному майданчику.

### Питання для самоконтролю

1. Для яких цілей використовується теодоліт?
2. Назвіть будову та призначення основних вузлів та частин теодоліта?
3. Для чого використовують рівні?
4. Які рівні ви знаєте?
4. Що називається віссю циліндричного та сферичного рівнів?
5. Які осі проходять в зоровій трубі?
6. Назвіть основні осі теодоліта?
7. Яким геометричним умовам має відповідати теодоліт?
8. Назвіть основні частини теодоліта 2Т30М?
9. В якій послідовності теодоліт приводять в робочий стан?
10. Які методи виміру горизонтальних кутів ви знаєте?
11. Опишіть вимірювання горизонтального кута методом прийомів?
12. Чому дорівнює допустима помилка при вимірюванні горизонтального кута методом прийомів?
13. Що необхідно зробити якщо помилка вимірювання горизонтального кута перевищила допустиму?
14. Що таке вертикальний кут?
15. Що таке місце нуля вертикального круга теодоліта і за якою формулою він обчислюється?
16. За якими формулами обчислюється кут нахилу?

17. Якими методами вимірюються довжини ліній на місцевості і в чому їх відмінності?
18. Які прилади застосовують для вимірювання ліній на місцевості?
19. Що називається компаруванням міних приладів?
20. Порядок вимірювання ліній на місцевості мірною стрічкою або рулетками?
21. Які грубі похибки виникають під час лінійних вимірювань стрічкою?
22. Які поправки вводять в виміряну довжину лінійними мірними приладами?
23. За якими формулами обчислюються поправки в виміряну довжину за температуру і нахил лінії?
24. Яка відносна помилка при виміру ліній мірними стрічками?
25. Суть вимірювання довжин ліній нитяним далекоміром?
26. За якою формулою обчислюється довжина лінії виміряна нитяним далекоміром?
27. Як визначити недоступну відстань на земній поверхні?
28. Познайомтесь з функціональними можливостями і технічними характеристиками лазерних рулеток.
29. Що називається нівелюванням?
30. Що таке нівелір?
31. Які способи нівелювання ви знаєте?
32. Суть геометричного нівелювання?
33. Які способи та принципи геометричного нівелювання ви знаєте?
35. На які класи поділяється Державна нівелірна мережа України?
36. Що прийнято за початкову нульову відмітку висот в Україні?
37. Що таке репери?
38. Як класифікують репери?
39. Якими способами закладають ґрунтові репери?
40. Як поділяють нівеліри за точністю?
41. Назвіть основні осі нівеліра?
42. Назвіть основні частини нівеліра Н-3 або НВ-1.
43. Назвіть основні перевірки нівеліра Н-3 або НВ-1.
44. Що таке нівелірні рейки?
45. Познайомтесь з функціональними можливостями і технічними характеристиками лазерних нівелірів.

## 10. ГЕОДЕЗИЧНІ ЗЙОМКИ

### 10.1. Горизонтальна теодолітна зйомка

#### 10.1.1. Суть теодолітної зйомки.

**Теодолітної** називається горизонтальна (контурна) зйомка місцевості, в результаті якої може бути отриманий план зі зображенням ситуації місцевості (контурів і місцевих предметів) без рельєфу [10, 11]. Теодолітна зйомка належить до великомасштабних (масштабу 1:5 000 і більше) і застосовується в рівнинній місцевості в умовах складної ситуації і на забудованих територіях: в населених пунктах, на будівельних майданчиках, промшладках гірських підприємств, на територіях залізничних вузлів, аеропортів і т. п. В якості планового знімального обґрунтування при теодолітній зйомці зазвичай використовуються точки теодолітних ходів.

**Теодолітні ходи** є системами ламаних ліній, в яких горизонтальні кути вимірюються технічними теодолітами, а довжини сторін – сталевими мірними стрічками і рулетками або оптичними далекомірами. По точності теодолітні ходи підрозділяються на розряди: ходи 1 розряду – з відносною погрішністю не нижче 1:2 000, 2 розряди – не нижче 1:1 000. Зазвичай теодолітні ходи потрібні не лише для виконання зйомки ситуації місцевості, але і служать геодезичною основою для інших видів інженерно-геодезичних робіт. Теодолітні ходи розвиваються від пунктів планових державних геодезичних мереж (ДГМ) і мереж згущування.

За формою розрізняють наступні види теодолітних ходів: 1) **розімкнений хід**, початок і кінець якого спираються на пункти геодезичного обґрунтування

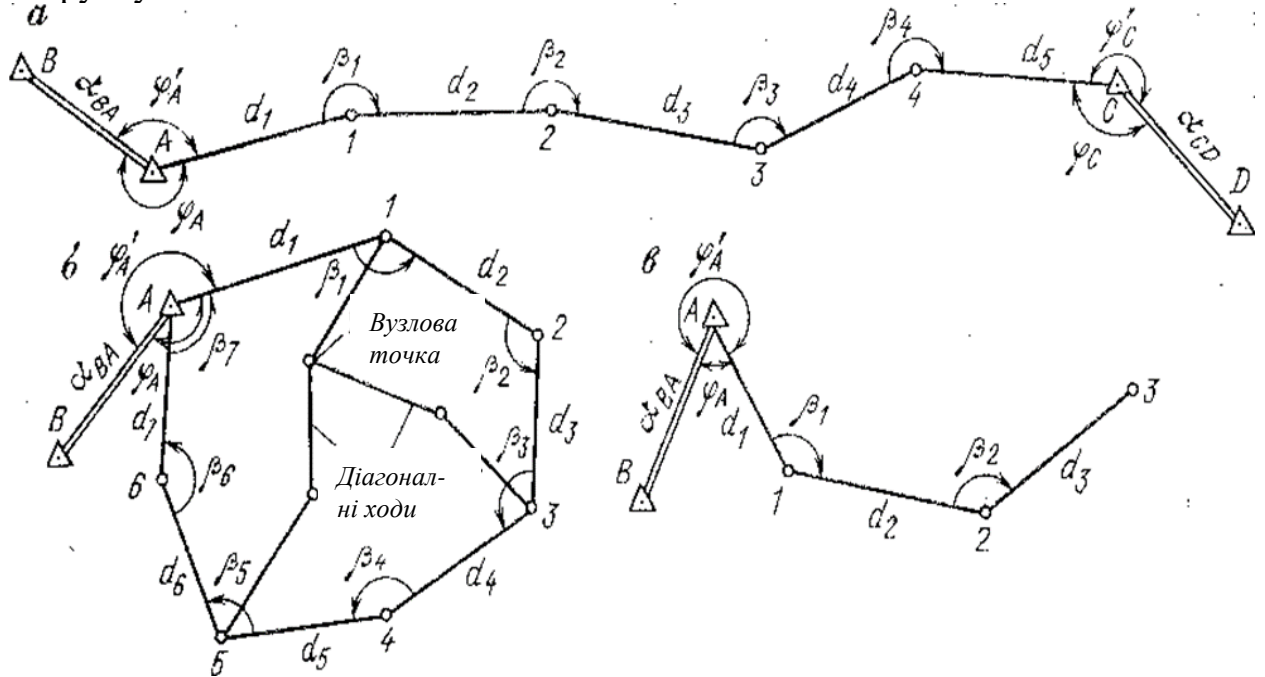


Рис. 10.1. Теодолітні ходи:

а – розімкнений хід; б – замкнений хід; в – висячий хід

ня (рис. 10.1, а); 2) *замкнутий хід* (полігон) – зімкнутий багатокутник, що зазвичай примикає до пункту геодезичного обґрунтування (рис. 10.1, б); 3) *висячий хід*, один з кінців якого примикає до пункту геодезичного обґрунтування, а другий кінець залишається вільним (рис. 10.1, в).

Форма теодолітних ходів залежить від характеру території, що знімається. Так, для зйомки смуги місцевості при трасуванні осей лінійних об'єктів (доріг, трубопроводів, ЛЕП і т. п.) прокладають розімкнені ходи. При зйомках населених пунктів, будівельних майданчиків, промплощадок підприємств і інших зазвичай по межі ділянки прокладають замкнутий полігон. При необхідності усередині полігону прокладають діагональні ходи, які можуть утворювати вузлові точки (рис. 10.1, б). Прокладення висячих теодолітних ходів допускається лише в окремих випадках при зйомці невідповідальних об'єктів; при цьому довжина висячого ходу не повинна перевищувати 300 м при зйомках масштабу 1:2 000 і 200 м – масштабу 1:1 000.

### 10.1.2. Організація робіт

У інженерній практиці зокрема використовують графічні зображення невеличких ділянок поверхні, так звані контурні (горизонтальні) плани, які одержують за результатами теодолітної зйомки. Ця зйомка складається з таких етапів [9]:

**1. Камеральна підготовка.** У цей період вивчають графоаналітичні матеріали на район майбутніх робіт: виявляють і відбирають плани складені на цю місцевість за раніше виконаними зйомками, складають схему розміщення пунктів державних геодезичних мереж, а з каталогів виписують координати цих пунктів, складають проект організації польових робіт.

**2. Рекогносцировка місцевості.** Після камеральної підготовки оглядають місцевість, виявляючи зміни в контурах і перевіряючи доцільність виконання наміченого проекту, уточнюючи його на місці. Визначають місця точок зйомочного обґрунтування і закріплюють їх на місцевості, намічають шляхи прив'язування цих точок до пунктів державної геодезичної мережі. Складають схеми теодолітних ходів і проект проведення польових зйомочних робіт, які складаються з побудови зйомочного обґрунтування і зйомки контурів.

**3. Польові вимірвальні роботи.**

**4. Камеральна обробка результатів вимірювань.**

Найбільший об'єм доводиться на польові роботи, які включають рекогносцирування ділянки, що знімається, прокладення теодолітних ходів і полігонів, їх прив'язку до пунктів геодезичної опорної мережі і зйомку ситуації.

### 10.1.3. Знімальна (робоча) геодезична основа

Для картографування території будь-якої держави, особливо такої великої, як Україна, дуже важливо створити математичну основу, тобто мережу геодезичних пунктів, закріплених на місцевості. Координата цих пунктів повинні мати єдиний для цієї держави початок координат. Такі мережі, які охоплюють територію усїєї країни, називають державними геодезичними мережами (ДГМ). Пункти ДГМ мають просторові, тобто планові ( $X, Y$ ), та висотні ( $H$ ) координати. Під час горизонтального знімання використовують тільки планові координати ( $X, Y$ ) [9].

Відомо, що ДГМ складається з:

- астрономо-геодезичної мережі першого класу;
- геодезичної мережі другого класу;
- геодезичної мережі згущення третього класу.

ДГМ є головною геодезичною основою знімань. Мінімальна довжина сторін ДГМ згущення третього класу становить 8 км, і у такому разі один пункт припадатиме на площу території в 60 – 70 км<sup>2</sup>. Тому цієї мережі недостатньо для детального знімання території у великих масштабах і для цього додатково створюють *мережу згущення*.

Чинна Інструкція [6] вимагає: на територіях, де виконуватимуть знімання в масштабі 1:5 000, потрібен один пункт планової основи на 20 – 30 км<sup>2</sup> і один репер нівелювання на 10 – 15 км<sup>2</sup>; на територіях, де ведеться знімання в масштабі 1:2 000 і більших, необхідно мати хоча б один пункт планової основи на територію 5 – 15 км<sup>2</sup> і один репер нівелювання на 5 – 7 км<sup>2</sup>.

Раніше мережі згущення поділялись на:

- мережі полігонометрії, трилатерації, триангуляції 4-го класу;
- мережі полігонометрії, трилатерації, триангуляції 1-го та 2-го розрядів;
- мережі технічного та тригонометричного нівелювання.

У сучасній геодезії, завдяки застосуванню нової вимірювальної техніки, зменшилась диференціація мереж за точністю. Вважають, що недоцільно будувати розрядні мережі, а відразу після мереж 4-го треба класу переходити до *знімальних мереж*. Знімальні геодезичні мережі є основою для виконання знімання усіх масштабів топографічних карт та інших робіт.

Найпоширенішим методом побудови знімальної мережі є *теодолітний хід*. Він є кутомірним ходом і принципово не відрізняється від полігонометричного, лише точність вимірювання кутів та ліній у теодолітному ході значно нижча.

*Класичним теодолітним ходом* є хід, у якому кути вимірюють технічними теодолітами з точністю, не нижчою за 1', а довжини ліній – мірною стрічкою з відносною похибкою, не меншою від 1/2000.

Сучасні теодолітні ходи можна прокладати і точнішими приладами. Як правило, в сучасних теодолітних ходах лінії вимірюють електронними тахеометрами. Останніми точніше можна вимірювати і горизонтальні кути.



Робоча основа створюється також побудовою знімальних триангуляційних мереж (ланцюгів трикутників або чотирикутників), знімальної трилатерації, прямими, оберненими та комбінованими засічками, вставками окремих пунктів у трикутник, у кут тощо. Густота пунктів знімальної основи має бути такою, щоб віддалі між точками робочої основи для масштабу знімання 1:5 000 не перевищували 500 м, а для масштабу знімання 1:2 000 – 200 м.

Враховуючи, що планшет прямокутного розграфлення масштабу 1:5000 має розмір 40×40 см, а масштабу 1:2 000 – 50×50 см, то на планшеті прямокутної розграфлення масштабу 1:5 000 має бути 25 пунктів основи, а на планшет масштабу 1:2 000 – 36 пунктів.

Якщо знімання виконують електронним тахеометром, то довжини сторін робочої основи можна збільшити вдвічі до 1 000 і 400 м відповідно. Тоді кількість пунктів робочої основи також зменшиться приблизно вдвічі. В залежності від складності ситуації на ділянці знімання кількість пунктів знімальної основи може змінюватися.

#### 10.1.4. Підготовчі роботи

В період камеральної підготовки з'ясовують необхідність зйомки і вибирають її масштаб, виходячи з необхідної точності зображення ситуації місцевості [9, 10]. Потім підбирають і вивчають наявні картографічні матеріали (плани, карти і профілі), а також географічні описи району майбутньої зйомки. Якщо в районі зйомки є пункти геодезичної опорної мережі, то складають схему їх розташування, а з каталогів виписують координати.

На основі наявних планів і карт найбільш великих масштабів намічають теодолітні ходи. Довжини теодолітних ходів, що прокладаються між опорними геодезичними пунктами, вибираються виходячи з масштабу зйомки і не повинні перевищувати встановлених [5] величин, наведених нижче.

Згідно з чинною Інструкцією [5] теодолітні ходи з використанням теодолітів, мірних стрічок та рулеток прокладають з граничними відносними 1:3 000, 1:2 000, 1:1 000 відповідно до табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Масштаби	$\Delta_{го} = 0,2 \text{ мм}$			$\Delta_{гр} = 0,3 \text{ мм}$	
	$\frac{1}{N} = \frac{1}{3000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$
	Допустимі довжини ходів між вихідними пунктами, км				
1:5 000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2 000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1 000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	-	-

Теодолітні ходи з використанням оптичних теодолітів і світловіддалемірів та електронних тахеометрів прокладають з граничними відносними помилками 1:2 000 відповідно до даних, наведених у табл.10.2.

Таблиця 10.2

Масштаб	$\Delta_{гр} = 0,2 \text{ мм}$		$\Delta_{гр} = 0,3 \text{ мм}$	
	Допустимі довжини ходів	Допустима кількість сторін	Допустимі довжини ходів	Допустима кількість сторін
1:5 000	12,0	30	16,0	40
1:2 000	7,0	20	9,0	30
1:1 000	4,0	20	6,0	20
1:500	2,0	20	-	-

Крім цього, сторони теодолітних ходів можуть змінюватися в межах, наведених у табл. 10.3.

Таблиця 10.3

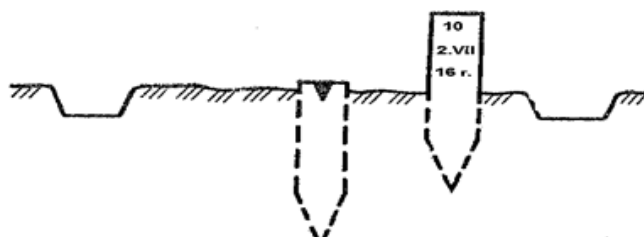
**Допустимі довжини сторін теодолітних ходів, м**

Територія знімання	Лінії вимірюють стрічкою		Лінії вимірюють світловіддалеміром	
	найменша	найбільша	найменша	найбільша
незабудована	40	350	40	1 500
забудована	20	350	20	1 000

**10.1.5. Прокладання теодолітних ходів на місцевості**

Польові роботи розпочинають з рекогностування, тобто закріплення вершини теодолітних ходів на місцевості знаками. Вибирають місця закладання пунктів так, щоб:

- 1) з кожного з них було видно сусідні пункти ходу;
- 2) поверхня землі між двома сусідніми пунктами ходу була сприятлива для вимірювання ліній стрічкою;
- 3) пункти закладають в місцях тривалого їх збереження і зручних для вимірювання кутів;
- 4) з пунктів теодолітного ходу було видно значну частину місцевост;
- 5) довжини сторін теодолітного ходу повинні бути в межах, наведених у



*Рис.10.2. Схема позначення і закріплення точки теодолітного ходу тимчасовими знаками*

Вершини теодолітних ходів закріплюються на місцевості в основному тимчасовими знаками – дерев'яними кілками, що забиваються врівень з поверхнею землі; центр позначається хрестоподібною насічкою в торці кілка або цвяхом (рис. 10.2) [10]. В якості тимчасових знаків можуть використовуватися також металеві штирі, милиці і трубки або цвяхи, вбиті в пні дерев, а також валуни, на яких масляною фарбою наносяться хрести. Для полегшення відшукування точок поряд з ними забивають сторожки – дерев'яні кілки, що виступають над поверхнею землі на 30 – 35 см; на сторожках підписують номери точок і дату їх закладки. Закріплені точки обкопують канавками або обкладають каменями по колу діаметром 0,8 м.

Усі пункти теодолітних ходів на забудованих територіях згідно з Інструкцією [5] закріплюють центрами довготривалого збереження (рис. 10.3).

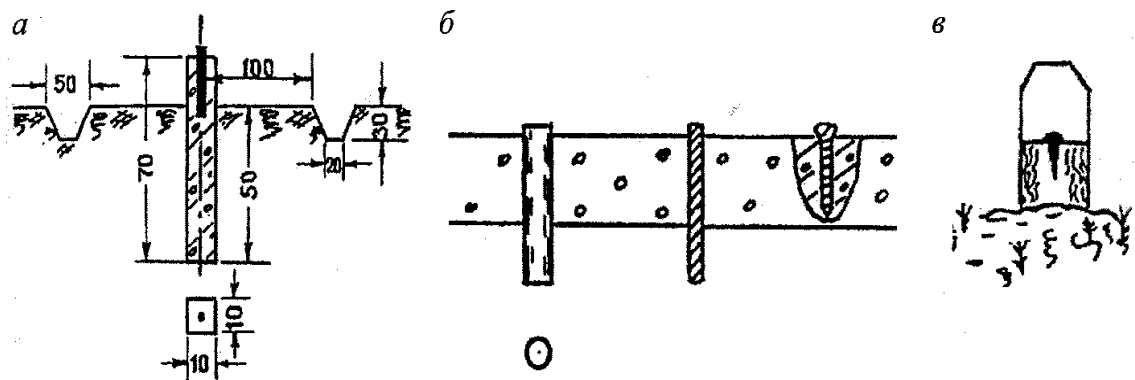


Рис. 10.3. Типи центрів знімальної основи тривалого збереження: а – бетонний паралелепіпед; б – металева труба, штир, залізничний костиль, які забетоновані (вбиті) у тверде покриття; в – пень із забитим цвяхом, штирем

Прокладення теодолітних ходів і полігонів включає виробництво кутових і лінійних вимірів. Перед початком вимірів слід зробити перевірки і юстирування використовуваних приладів [9].

Лінії та кути теодолітного ходу вимірюють відповідними приладами.

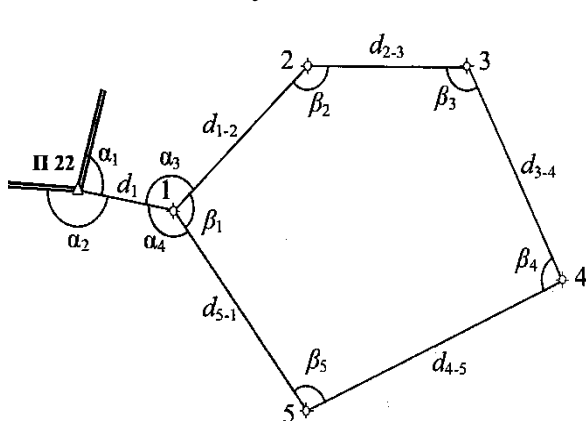


Рис. 10.4. Зімкнутий теодолітний хід (полігон)

Мета прокладення теодолітного ходу – визначити прямокутні координати (X, Y) усіх вершин ходу. Для цього використовують точки ДГМ або мереж згущення, на які спирається цей хід. На рис. 10.4 такий пункт П22 показаний трикутником. Слово "спирається" означає зв'язок точок теодолітного ходу з пунктами ДГМ. Тут цей зв'язок забезпечується додатковими вимірюваннями чотирьох кутів  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  та лінії  $d_1$ . Такий зв'язок в геодезії

називається **прив'язкою** пунктів теодолітного ходу до пунктів ДГМ або пунктів мереж згущення.

Для контролю прив'язують не один пункт (на рис. 10.4 це пункт 1), а хоча б два пункта теодолітного ходу.

Саме за результатами вимірювань кутів та ліній теодолітного ходу, а також вимірювань прив'язки визначають координата точок теодолітного ходу, за якими потім будують план.

Зімкнуті теодолітні ходи, прокладені на межах ділянки, не завжди дають можливість виконати знімання ситуації всередині ділянки. Тому через середину ділянки додатково прокладають розімкнуті теодолітні ходи (рис. 10.5).

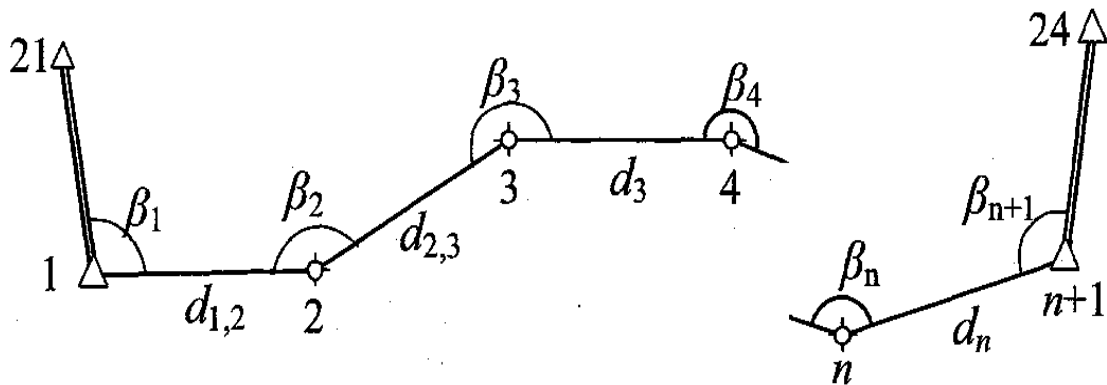


Рис. 10.5. Розімкнутий теодолітний хід, прокладений між точками з відомими координатами

На рис.10.5 трикутниками показано пункти з відомими координатами.

Закріпивши пункти теодолітного ходу, виконують знімання ділянки місцевості у такій послідовності:

1) визначають за допомогою бусолі магнітний азимут для контролю хоча б двох ліній загального зімкнутого полігона;

2) вимірюють мірною стрічкою усі лінії в прямому та зворотному напрямках. Якщо  $\frac{D_{np} - D_{зв}}{D_{сер}} \geq \frac{1}{T}$ , тоді за кінцевий результат приймають

середнє значення з двох вимірювань;

3) вимірюють теодолітом (екліметром) кути нахилу сторін ходу одним півприйомом в одному напрямку;

4) вимірюють усі горизонтальні кути. В полігоні, прокладеному навколо ділянки знімання, вимірюють внутрішні кути. В розімкнутих ходах доцільно вимірювати ліві кути. Кути вимірюють двома півприйомами при *КЛ* та *КП*, тобто одним повним прийомом. Між півприйомами лімб повертають приблизно на  $1^\circ - 2^\circ$ , що є контролем вимірювань;

5) виконують знімання ситуації. Знімання ситуації можна виконувати одночасно з прокладанням теодолітних ходів, що доцільніше, або окремо після прокладання ходів.

### 10.1.6. Знімання ситуації місцевості

Знімання ситуації місцевості полягає у визначенні положення характерних точок контурів і місцевих предметів відносно вершин і сторін теодолітного ходу. Знімання може виконуватися одночасно з прокладенням теодолітного ходу або незалежно [10, 11].

Результати знімання записують олівцем на схематичному рисунку, який називається **абрисом**, масштаб якого приймається довільним. На абрисі показують взаємне розташування вершин теодолітних ходів, ліній і об'єктів, що знімаються, з усіма числовими результатами вимірів і пояснювальними записами. Абрис ведеться в олівці чітко і акуратно. Він є основним документом зйомки і служить матеріалом для складання плану місцевості.

Залежно від характеру місцевості і розташування контурів відносно теодолітних ходів застосовують той або інший спосіб знімання ситуації. Основними з них є наступні:

**1. Спосіб перпендикулярів (ординат або прямокутних координат)** – застосовується у відкритій місцевості для знімання контурів витягнутої форми і місцевих предметів, розташованих поблизу сторін теодолітного ходу.

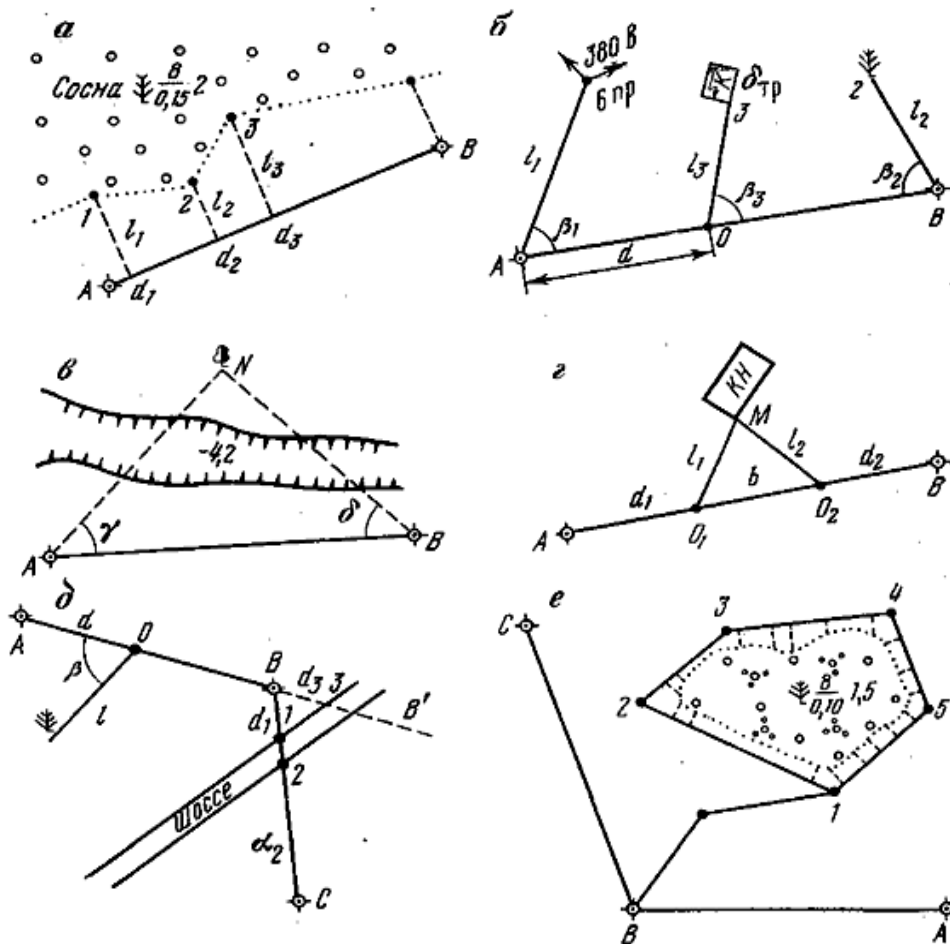


Рис. 10.6. Способи знімання ситуації:  
 а – перпендикулярів; б – полярних координат; в – кутових засічок;  
 г – лінійних засічок; д – створів; е – обходу

Сторона теодолітного ходу (наприклад,  $AB$ , рис. 10.6, а) береться за вісь абсцис, а точка  $A$  – за початок координат. Положення точок, що знімаються,  $1, 2, 3$  визначиться довжинами перпендикулярів  $l_1, l_2, l_3$  і відстанями  $d_1, d_2, d_3$  від точки  $A$  теодолітного ходу до основи відповідного перпендикуляра. Отже, для кожної характерної точки контура місцевості визначаються прямокутні координати (абсциси  $d_1, d_2, d_3$  і ординати  $l_1, l_2, l_3$ , по яких ці точки можна нанести на план.

Вимірювання віддалі  $d_1, d_2, d_3$  виконується сталеву мірною стрічкою, що укладається по створу лінії  $AB$ , а довжин перпендикулярів  $l_1, l_2, l_3$  – рулеткою з точністю до сотих доль метра при ясно виражених контурах і до десятих доль метра в інших випадках. Довжини перпендикулярів невеликої довжини (4 – 8 м при зйомках масштабів 1:500 – 1:2 000) виставляють на око, а при більшій їх довжині – за допомогою екера [10].

З багатьох конструкцій в практиці найбільше застосування знайшли дводзеркальний екери. Дводзеркальний екер ЕД (рис. 10.7, а) складається з

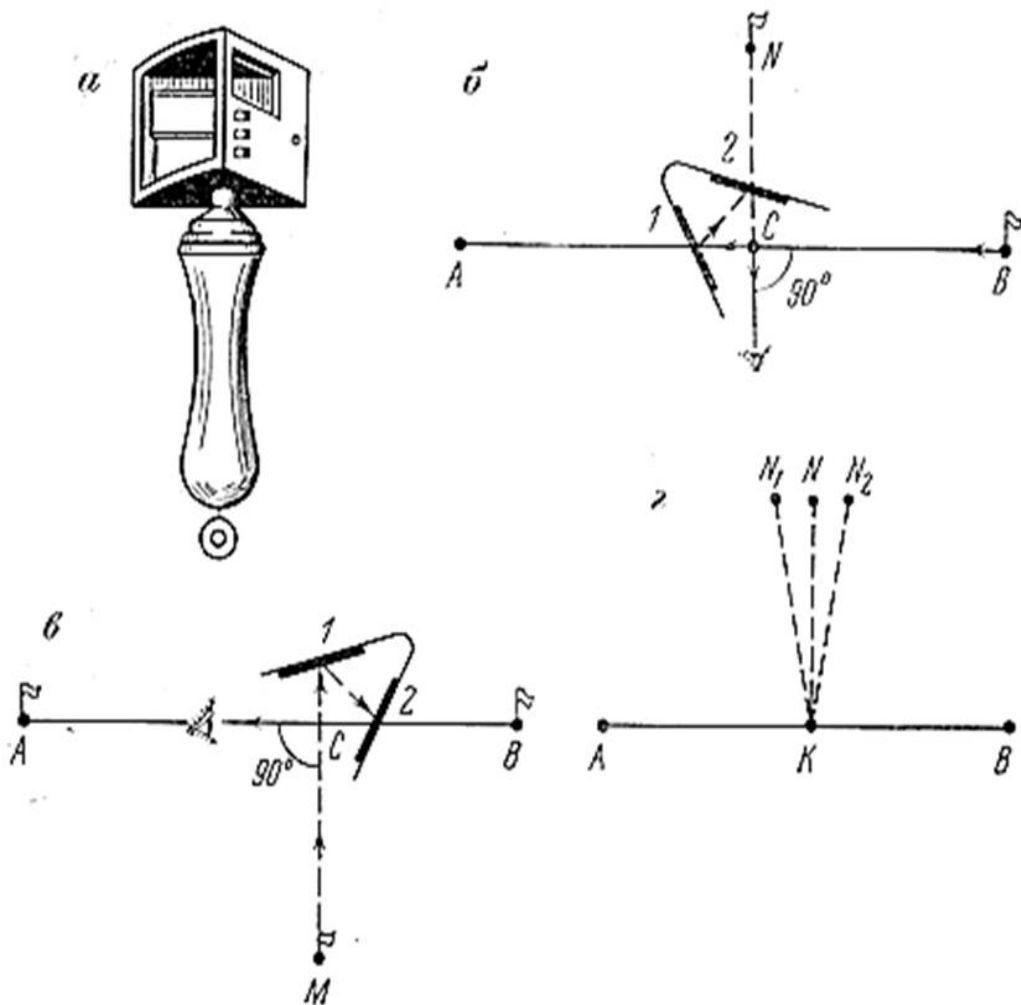


Рис. 10.7. Дводзеркальний екер ЕД і робота з ним

чотиригранного корпусу, на внутрішніх поверхнях бічних граней якого закріплено два плоскі дзеркала під кутом  $45^\circ$  одно до іншого. У металевій оправі над дзеркалами є вікна. Для утримання приладу в робочому положенні до корпусу екера прикріплена ручка з гачком для підвішування виска.

Принцип дії екера полягає в тому, що промінь світла, відбитий від двох плоских дзеркал, перетинає свій первинний напрям під кутом, удвічі більшим кута між дзеркалами, т. е. під кутом  $90^\circ$  (рис. 10.7, б).

Для побудови перпендикуляра в точці  $C$  до лінії  $AB$  (див. рис. 10.7, б) встають з екером в точці  $C$  і повертають його так, щоб промінь від віхи  $B$  потрапив на дзеркало 1. Відбившись від дзеркала 1, промінь потрапляє на дзеркало 2, і спостерігач в дзеркалі 2 бачить зображення віхи  $B$ . Спостерігаючи через вікно в оправі над дзеркалом, спостерігач дає вказівку помічникові виставити віху у напрямі цього зображення, т. е. по лінії  $CN$ . Кут між променями  $CB$  і  $CN$  дорівнює  $90^\circ$ .

Якщо в процесі зйомки вимагається опустити перпендикуляр з характерної точки контура  $M$  на сторону теодолітного ходу  $AB$ , то в точках  $B$  і  $M$  встановлюють віхи (рис. 10.7, в). Спостерігач переміщається з екером по лінії  $AB$  до тих пір, поки зображення віхи  $B$ , видиме через вікно екера, не виявиться продовженням зображення віхи  $M$ , видимого в дзеркалі 2. Основа перпендикуляра  $C$  визначається на місцевості за допомогою виска, підвішеного до гачка на ручці екера.

Перед початком роботи екер слід повірити, т. е. переконатися в тому, що площини його дзеркал розташовані під кутом в  $45^\circ$ . Для цього стають з екером в точці  $K$  (рис. 10.7, г), лінії  $AB$ , що знаходиться в створі, і послідовно будують кути  $AKN$  і  $BKN$ . Якщо кут між дзеркалами відрізняється від  $45^\circ$ , те виставлена в першому випадку віха займе положення  $N_1$ , а у другому –  $N_2$ . В цьому випадку посередині між віхами  $N_1$  і  $N_2$  встановлюють віху  $N$  і виправними гвинтами при одному з дзеркал повертають його до тих пір, доки зображення віхи  $A$  або  $B$  в другому дзеркалі не буде продовженням віхи  $N$  у віконці. Середня квадратична погрішність побудови прямого кута дво-дзеркальним екером складає  $4'$ .

**2. Спосіб полярних координат** застосовується у відкритій місцевості для зйомки окремих місцевих предметів і характерних точок контурів, віддалених від ходу теодоліта. Сторона ходу теодоліта  $AB$  (рис. 10.6, б) береться за полярну вісь, а вершина  $A$  або  $B$  – за полюс. Для визначення планового положення точок (наприклад, 1 і 2) досить виміряти горизонтальні кути  $\beta_1, \beta_2$  між початковим напрямом і напрямками на точки, що знімаються, і відстані  $l_1, l_2$  до цих точок. Горизонтальні кути вимірюються технічним теодолітом одним напівприйомом, а довжини – сталеною стрічкою, нитяним або оптичним далекоміром. Точкою установки теодоліта при зйомці ситуації полярним способом може служити одна з вершин ходу теодоліта або допоміжна опорна точка на його стороні (точка  $O$ ).

### **3. Спосіб біполярних координат (засічок).**

Для зйомки важкодоступних точок у відкритій місцевості вигідно застосовувати *спосіб кутових засічок*. Для цього в точках  $A$  і  $B$  (рис. 10.6, в) за допомогою теодоліта вимірюють кути  $\gamma$ ,  $\delta$  між стороною теодолітного ходу  $AB$  і напрямками на точку  $N$ , що знімається. Точка  $N$  на плані буде отримана в перетині напрямів, побудованих по цих кутах. Слід мати на увазі, що найбільш вигідним є випадок, коли кут при точці  $N$ , що засікається, близький до  $90^\circ$ ; засічки під кутом менше  $30^\circ$  і більше  $150^\circ$  дають неточні положення точок, що знімаються.

При зйомці доступних об'єктів з чіткими контурами (будівлі, інженерні споруди і т. п.), розташованих зблизька сторін теодолітного ходу, можна використати *спосіб лінійних засічок*. Для цього на стороні ходу теодоліта  $AB$  (рис. 10.6, г) вибирають дві допоміжні точки  $O_1$  і  $O_2$ , відрізок між якими  $b$  є базисом. З точок  $O_1$  і  $O_2$  стрічкою або рулеткою вимірюють відстані  $l_1$ ,  $l_2$  до точки ситуації  $M$ , що знімається. Перетин лінійних засічок відрізками  $l_1$  і  $l_2$  визначить положення точки  $M$  на плані. При лінійних засічках форма трикутника  $O_1MO_2$  має бути по можливості близька до рівносторонньої, а довжини сторін – не перевершувати довжину мірного приладу.

**4. Спосіб створів (промірів)** застосовується у випадках, коли межі ситуації перетинають (рис. 10.6, д) сторони теодолітного ходу або продовження сторін, а також для визначення положення допоміжних опорних точок (точка  $O$ ). Положення точок, що знімаються,  $1, 2, 3$  визначиться лінійними промірами  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ . Спосіб створів знаходить широке застосування при зйомці забудованих територій, особливо в поєднанні його із способами перпендикулярів і лінійних засічок.

**5. Спосіб обходу** застосовується в закритій місцевості для съемки важливих об'єктів, які із-за дальності і місцевих перешкод не можуть бути зняті від вершин і сторін основного теодолітного ходу. В цьому випадку навколо об'єкту (рис. 10.6, е), що знімається, прокладають додатковий знімальний хід  $1-2-3-4-5$ , який прив'язують до основного ходу. Кути в знімальному ході вимірюють одним напівприйомом, а сторони – сталеною стрічкою або за допомогою нитяного далекоміра (у коротких ходах). Межі контура знімаються від сторін знімального ходу способом перпендикулярів.

Якщо контур об'єкту, що знімається, має прямолінійні межі (сільськогосподарські угіддя, лісонасадження, забудови і т. п.), то знімальний хід прокладають безпосередньо по межах об'єкту. Контур цього ходу в даному випадку і буде контуром об'єкту, що знімається.

Зйомка ситуації місцевості вимагає від виконавців ретельності і акуратності при виробництві вимірів і веденні записів і замальовок в польових журналах. Оскільки абрис служить основним знімальним документом, на основі якого складається план місцевості, до складання абрису слід підходити особливо уважно. В процесі зйомки виконавець повинен постійно вивчати ситуацію, форму контурів, вибираючи оптимальні





способи зйомки того іншого елемента ситуації, прагнути детально знімати контури місцевості і фіксувати їх на абрисі, не допускаючи пропусків в записах результатів вимірів. Розмір абрису повинен забезпечувати чітке і зручне розташування на ній усіх побудов і записів.

Для контролю результатів вимірів зйомку найбільш важливих об'єктів або окремих їх точок рекомендується здійснювати шляхом виконання вимірів з двох точок ходу або різними способами. Якщо з цієї точки (чи лінії) ходу зйомка контура не закінчена, то на новій станції її слід розпочинати з точки, яка вже була знята з попередньої станції.

Приклад абриса зйомки ділянки місцевості показаний на рис.10.8 [10, 11]. При зйомці ситуації цієї ділянки використані усі описані вище способи зйомки. Так, способом перпендикулярів від сторін ходу *IV – V* і *V – VI* знятий контур лісу, від сторін *IV – IX* і *IX – VIII* – характерні точки контура луку і т. д.

Полярний спосіб використаний для зйомки точки повороту ґрунтової дороги, кутових точок контура ріллі, луки та ін. Відносно сторони *III - IV* способом засічок зняті кутові точки контура будівлі, що будується; спосіб кутових засічок використаний при зйомці опори ЛЕП і окремого дерева.

Способом створів (промірів) по сторонах *VI – VII*, *IX – VIII*, *IV – V* знята ґрунтова дорога, а також межі ріллі. Зйомка контура березового гаю виконана способом обходу, для чого прокладений знімальний хід *V-a-b-c-d-V* від сторін якого визначалося положення характерних точок контура способом перпендикулярів.

При зйомках невеликих ділянок місцевості і простої ситуації знімання по теодолітному ходу і абрис об'єднуються в одному журналі польових робіт.

При зйомці великих ділянок і складної ситуації абрис ведеться в окремому журналі, в якому сторінка відводиться для одної – двох ліній ходу.

Якщо з однієї точки (сторони) ходу одним із способів, найчастіше полярним або способом обходу, заснімається велике число точок ситуації місцевості, то чисельні значення кутових і лінійних вимірів виносяться в окрему таблицю. Польові журнали і абриса мають бути оформлені якісно, щоб в них міг легко розібратися інший виконавець, що не брав участі в зніманні цієї ділянки місцевості.

## 10.2. Камеральні роботи при теодолітній зйомці

### 10.2.1. Загальні відомості

Камеральні роботи при теодолітній зйомці складаються з обчислювань та графічних побудов. В результаті обчислень визначають планові координати вершин теодолітних ходів; кінцевою метою графічних побудов є отримання ситуаційного плану місцевості [10].

Виміряні кути і довжини сторін теодолітних ходів містять неминучі випадкові погрішності. У зв'язку з накопиченням цих погрішностей виникають, незгоди виміряних або вчислених результатів з теоретичними, які називаються *нев'язками*. Залежно від необхідної точності величини фак-

тичних нев'язок не повинні перевищувати певних величин. При обробці результатів вимірів виниклі нев'язки мають бути певним чином розподілені між вимірними (вчисленими) величинами. Процес розподілу нев'язок і обчислення виправлених значень величин називається **ув'язкою або зрівнюванням результатів вимірів**.

Камеральну обробку результатів вимірів, виконаних при прокладенні теодолітних ходів, розпочинають з перевірки і обробки польових журналів. Повторно виконують усі обчислення, зроблені в полі, і виводять середні значення вимірних кутів (з округленням до  $0,1'$ ) і довжин сторін (до  $0,01$  м). Потім складають схему теодолітних ходів, орієнтовану по сторонах світу. У вершин підписують середні значення горизонтальних кутів, а біля кожної сторони-її горизонтальну довжину. На схему наносять також пункти геодезичної мережі, до яких здійснювалася прив'язка теодолітних ходів, координати початкових пунктів і дирекційні кути початкових сторін.

Обчислювальні роботи за визначенням координат вершин теодолітного ходу включають:

- 1) обробку кутових вимірів і обчислення дирекційних кутів сторін;
- 2) обчислення горизонтальних проекцій сторін;
- 3) обчислення приростів координат і координат вершин ходу.

Усі обчислення ведуться в спеціальній відомості. Обчислювальні роботи для замкнутих і розімкнених (діагональних) ходів мають свою специфіку.

### 10.2.2. Обчислення результатів вимірювань у замкнутому теодолітному ході

*Обробка кутових вимірів і обчислення дирекційних кутів сторін.* Якщо в замкнутому теодолітному ході (полігоні) з  $n$  вершин виміряні усі внутрішні кути (рис. 10.9), то сума вимірних кутів, яку називають **практичною сумою кутів** буде [9, 10].

$$\sum_1^n \beta_{np} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n.$$

В той же час теоретична сума кутів, визначена по відомій формулі геометрії, має бути рівна

$$\sum_1^n \beta_T = 180^\circ \cdot (n - 2). \quad (10.1)$$

Різниця між практичною і теоретичною сумою кутів полігону називається **нев'язкою**. Її прийнято позначати  $f_\beta$ . Обчислюється невязка за формулою

$$f_\beta = \sum \beta_{np} - \sum \beta_T. \quad (10.2)$$

Величина кутової невязки характеризує точність виміру кутів; вона не може бути більше гранично допустимої величини, визначуваної по формулі

$$f_{\beta_{\text{доп.}}} = 1' \sqrt{n}. \quad (10.3)$$

Для полігона на рис.10.1  $n = 6$ , отже,  $f_{\beta_{\text{доп.}}} = 1' \sqrt{6} = 2,4'$ .

Якщо  $f_{\beta} \leq f_{\beta_{\text{доп.}}}$ , то переходять до врівноваження горизонтальних кутів.

Якщо ж  $f_{\beta} > f_{\beta_{\text{доп.}}}$ , шукають похибку в обчисленнях горизонтальних кутів або повторно вимірюють горизонтальні кути.

При виконанні  $|f_{\beta}| \leq f_{\beta_{\text{доп.}}}$ , умови кутова нев'язка розподіляється по вимірних кутах полігону порівну із зворотним знаком. Поправка в кожен кут обчислюється за формулою

$$\delta_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n}. \quad (10.4)$$

Якщо нев'язка  $f_{\beta}$  не ділиться без залишку на число кутів  $n$ , то дещо великі поправки вводять в кути з короткими сторонами, оскільки на результатах таких кутів більшою мірою позначається неточність центрування теодоліта і візирних знаків (віх). Поправки з округленням до десятих доль хвилини виписують зі своїми знаками у відомість над значеннями відповідних вимірних кутів (табл. 10.5). При цьому в усіх випадках повинна дотримуватися умова

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta}, \quad (10.5)$$

т. е. сума поправок повинна дорівнювати нев'язці із зворотним знаком.

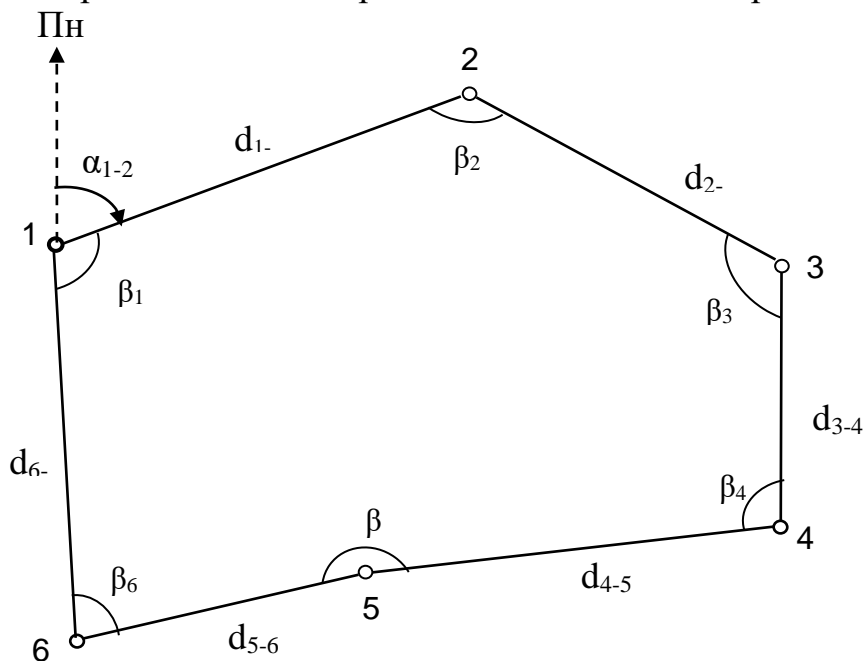


Рис. 10.9. Схема зімкнутого теодолітного ходу (полігона)

Алгебраїчно складаючи вчислені поправки з вимірними кутами, отримують виправлені кути

$$\beta_{випр_i} = \beta_{вим_i} + \delta_\beta. \quad (10.6)$$

Контролем правильності обробки кутових вимірів є рівність

$$\sum \beta_{випр} = \sum \beta_T.$$

По відомому дирекційному куту початкової сторони ( $\alpha_{1-2}$ ) і значенням виправлених внутрішніх кутів полігону послідовно обчислюють дирекційні кути усіх інших сторін:

для правих кутів

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^0 - \beta_{випр_i}^П \quad (10.7)$$

для лівих кутів

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^0 + \beta_{випр_i}^Л, \quad (10.8)$$

де  $\beta_{випр}^П, \beta_{випр}^Л$  – відповідно праві і ліві по ходу виправлені кути.

Контролем правильності обчислень дирекційних кутів сторін полігону є повторне отримання дирекційного кута початкової сторони.

По знайдених значеннях дирекційних кутів сторін обчислюють табличні кути (румби) залежно від чверті, в якій лежить цей напрям (табл.10.4).

Значення табличних кутів записуються у відомості поряд з відповідними дирекційними кутами (див. табл. 10.5)

Таблиця 10.4

### Зв'язок табличних і дирекційних кутів сторін

Дирекційні кути $\alpha$	0 – 90°	90 – 180°	180 – 270°	270 – 360°
Чверть	I	II	III	IV
Табличні кути (румби) $r$ , градус	$a = r$	$r = 180^\circ - a$	$r = a - 180^\circ$	$r = 360^\circ - a$

*Обчислення горизонтальних проєкцій сторін.* В результаті обробки лінійних вимірів обчислюють горизонтальні проєкції сторін. Якщо при вимірі довжин сторін визначалися кути нахилу, то горизонтальні проєкції сторін можуть бути знайдені з відомих виразів:

$$d = D \cos \nu \quad \text{або} \quad d = D - \Delta D_H,$$

де  $\Delta D_H = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}$  – поправка за нахил, визначається по спеціальних

таблицях.

Значення горизонтальних довжин сторін заносяться у відомість обчислення координат.

Обчислення приростів координат і координат вершин теодолітного ходу. Прирости координат обчислюються по формулах прямої геодезичної задачі.

$$\Delta x = d \cos \alpha (r); \Delta y = d \sin \alpha (r).$$

Знаки приростів координат визначаються з урахуванням чверті, у якій лежить цей напрям, т. е. по дирекційному куту сторони (табл.10.6).

Таблиця 10.6

### Знаки приростів координат по чвертям

Прирости координат	Чверти			
	I	II	III	IV
$\Delta x$	+	-	-	+
$\Delta y$	+	+	-	+

Прирости координат можуть бути вичислені наступними способами:

1. За допомогою електронних мікрокалькуляторів.
2. За допомогою таблиць приростів координат.

Оскільки полігон має вигляд замкнутого багатокутника, то теоретична сума приростів координат по кожній осі має дорівнювати нулю, тобто.

$$\sum \Delta x_T = 0; \quad \sum \Delta y_T = 0.$$

Проте на практиці внаслідок погрішностей кутових і лінійних вимірів суми приростів координат дорівнюють не нулю, а деяким величинам  $f_x$  і  $f_y$ , які називаються **нев'язками в приростах координат** (10.9).

$$f_x = \sum \Delta x; \quad f_y = \sum \Delta y. \quad (10.9)$$

В результаті цих невязок полігон, який має бути замкнутим, виявиться розімкненим на величину відрізка що 1-1,' що називається **абсолютною лінійною невязкою** ходу  $f_s$ . Як впливає з рис.10.2, проекції абсолютної невязки на осі координат є невязками в приростах координат  $f_x$  і  $f_y$ ; звідси

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (10.10)$$

Точність кутових і лінійних вимірів в теодолітному ході оцінюється за величиною **відносної лінійної невязки**

$$f_{\text{відн}} = \frac{f_s}{P} = \frac{1}{P:f_s} = \frac{1}{N}, \quad (10.11)$$

де  $P$  – периметр полігона.

Невязку вважають допустимою, якщо вона не перевищує 1:2 000 довжини периметра за середніх умов вимірювання ліній; 1:3 000 – за сприятливих умов та 1:1 000 – у несприятливих умовах.

У випадках, коли фактична відносна нев'язка виявиться неприпустимою, потрібно ретельно перевірити усі записи і обчислення в польових журналах і відомості. Якщо при цьому помилка не виявлена, слід виконати контрольні виміри довжин сторін в першу чергу тих, дирекційні кути (румби) яких близькі до дирекційного кута, отриманого з вираження

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_y}{f_x}.$$

Якщо відносна нев'язка допустима, то допустимі і нев'язки в приростах координат  $f_x$  і  $f_y$ ; це дає основу зробити ув'язку (врівноваження) приростів координат окремо по абсцисах і ординатах. Нев'язки  $f_x$  і  $f_y$  розподіляються у прирости координат пропорційно довжинам сторін з оберненим знаком. При цьому поправки в прирости координат визначаються по формулах їх значення з округленням до сантиметра за-

$$\delta_{x_i} = -\frac{f_x}{P} d_i; \quad \delta_{y_i} = -\frac{f_y}{P} d_i; \quad (10.12)$$

писують у відомості над відповідними вчисленими приростами координат (див. табл.10.3). Для контролю обчислюють суми поправок  $\delta_x$  і  $\delta_y$ , які мають дорівнювати відповідним нев'язкам із зворотним знаком, т. е.

$$\sum \delta_x = -f_x; \quad \sum \delta_y = -f_y. \quad (10.13)$$

По вчислених приростах координат і поправках обчислюють виправлені прирости координат:

$$\Delta x_{\text{вип}_i} = \Delta x_i + \delta_{x_i}; \quad \Delta y_{\text{вип}_i} = \Delta y_i + \delta_{y_i}. \quad (10.14)$$

Суми виправлених приростів координат мають дорівнювати нулю:

$$\sum \Delta x_{\text{вип}} = 0; \quad \sum \Delta y_{\text{вип}} = 0.$$

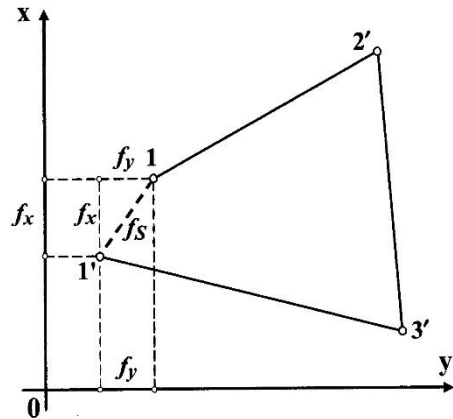


Рис.10.2. Геометричний зміст нев'язок приростів координат у зімкнутому полігоні

Таблиця 10.5

Відомість обчислення координат геодезичного ходу від т.1 до т.1

№ вершин ходу	Кут						Горизонтальне прокладення	Прирости координат, м				Координати, м			
	виміряні (праві)		виправлені		дирекційні			румб		обчислені		виправлені		X	Y
	*	'	*	'	*	'		назва	*	'	Δx	Δy	Δx		
1	2		3		4		5		7	8	9	10	11	12	
1									-0,01	-0,07			600,00	365,48	
2	98	08,2	98	08,0	67	35	Пн.С	67	35	321,47	132,60	321,40			
									-0,01	-0,05			732,60	686,88	
3	153	26,8	153	26,0	149	27	Пд.С	30	33	109,82	-186,07	109,77			
									-0,01	-0,04			546,53	796,65	
4	90	01,2	90	01,0	176	01	Пд.С	3	59	12,70	-182,41	12,66			
									-0,01	-0,07			364,12	809,31	
5	203	11,8	203	11,0	266	00	Пд.З	86	00	-352,89	-24,69	-352,96			
									0,00	-0,04			339,43	456,35	
6	52	45,8	52	46,0	242	49	Пд.З	27	11	-150,65	-77,37	-150,69			
									-0,01	-0,07			262,06	305,66	
1	122	28,2	122	28,0	10	03	Пн.С	10	03	59,89	337,94	59,82			
2					67	35	Пн.С	67	35				600,00	365,48	
$\sum \beta_{\text{пр}} =$	720	02,0	0	0									0,00	0,00	
$\sum \beta_{\text{н}} =$	720	00,0													
$f_{\beta} =$		+2,0													
дон. $f_{\beta} =$		±2,4													
$\sum \beta_{\text{пр}} =$															
$\sum \beta_{\text{н}} =$															
$f_{\beta} =$															
дон. $f_{\beta} =$															

$$f_s = 0,34 \text{ м}$$

$$f_{\text{відн}} = \frac{f_s}{P} = \frac{1}{4744} < \frac{1}{2000}$$



По виправлених приростах і координатах початкової точки послідовно обчислюють координати усіх вершин полігону :

$$X_{i+1} = X_i + \Delta x_{\text{вип.}}; Y_{i+1} = Y_i + \Delta y_{\text{вип.}} \quad (10.15)$$

Остаточним контролем правильності обчислень координат служить отримання координат початкової точки теодолітного ходу. Приклад розрахунку координат вершин замкнутого теодолітного ходу наведений у відомості (див. табл. 10.5).

Примітка, у табл. 10.5, поправки в кути заокруглювали до 0,5' і вводили у виміряні кути так, щоб значення врівноважених кутів були без десятих часток мінути.

### 10.2.3. Обчислення результатів вимірювань у розімкненому теодолітному ході

*Врівноваження горизонтальних кутів у розімкнених теодолітних ходах.*

Послідовність обчислення у розімкненому ході така ж сама, як і в замкнутому, тільки деякі обчислення виконують за іншими формулами.

Нехай маємо теодолітний хід, прокладений між пунктами з відомими координатами (рис.10.3).

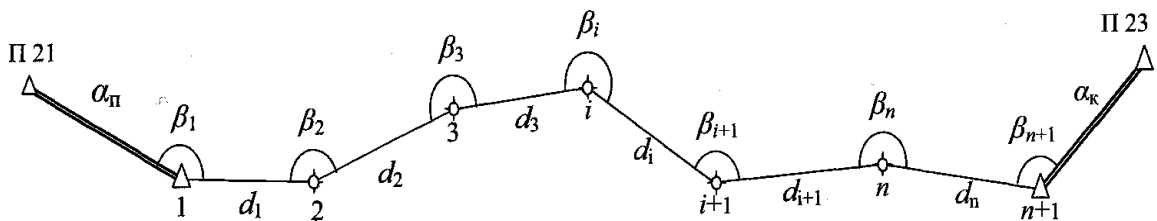


Рис. 10.3. Теодолітний хід, прокладений між пунктами з відомими координатами

Використовуючи формули залежності між дирекційними кутами та кутами повороту (3.1) та (3.2), запишемо відповідно:  
для лівих кутів

$$\alpha_k = \alpha_n + \sum_1^{n+1} \beta_{\text{Л}} - 180^0 \cdot (n+1); \quad (10.16)$$

для правих кутів

$$\alpha_k = \alpha_n + 180^0 \cdot (n+1) - \sum_1^{n+1} \beta_{\text{П}}. \quad (10.17)$$

Розв'яжемо формули (10.16) та (10.17) відносно теоретичних сум горизонтальних кутів

$$\sum_1^{n+1} \beta_{\text{ПТЕОР}} = \alpha_n - \alpha_k + 180^0 \cdot (n+1). \quad (10.18)$$

$$\sum_1^{n+1} \beta_{\text{ЛТЕОР}} = \alpha_k - \alpha_n + 180^0 \cdot (n+1); \quad (10.19)$$

Знайдемо для розімкнутого ходу нев'язки. Так, для лівих кутів

$$f_{\beta_{\text{Л}}} = \sum_1^{n+1} \beta_{\text{Лпр}} - \sum_1^{n+1} \beta_{\text{Лтеор}}, \quad (10.20)$$

а для правих

$$f_{\beta_{\text{П}}} = \sum_1^{n+1} \beta_{\text{Ппр}} - \sum_1^{n+1} \beta_{\text{Птеор}}. \quad (10.21)$$

За формулами (10.18) та (10.19) можна знайти теоретичні суми розімкнутих теодолітних ходів, а за формулами (10.20) та (10.21) нев'язки в цих ходах і тільки після цього врівноважити горизонтальні кути.

Правила врівноважування горизонтальних кутів у розімкнутих теодолітних ходах точно такі самі, як і правила врівноважування горизонтальних кутів у зімкнутих ходах (полігонах).

*Врівноваження приростів координат у розімкнутому теодолітному ході.*

Теоретична сума приростів координат розімкнутого теодолітного ходу дорівнює різниці координат кінцевої і початкової точок ходу.

Нехай маємо розімкнений теодолітний хід, прокладений між точками  $A$  і  $B$

$$\sum_A^B \Delta x_m = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4 + \Delta x_B = A'B',$$

$$\sum_A^B \Delta y_m = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 + \Delta y_4 + \Delta y_B = A''B''.$$

(рис.10.4).

Координати точок  $A$  і  $B$  – відомі ( $x_A, y_A, x_B, y_B$ ). Спроектуємо всі точки ходу на осі координат  $OX$  і  $OY$ .

Як видно з рисунка,

Оскільки  $A'B' = x_B - x_A$  та  $A''B'' = y_B - y_A$ , то запишемо

$$\sum \Delta x_m = x_B - x_A, \quad (10.22)$$

$$\sum \Delta y_m = y_B - y_A. \quad (10.23)$$

Практичну суму приростів координат можемо обчислити, додавши усі прироста координат. Визначимо нев'язки по осях координат за формулами

$$f_{\Delta x} = \sum \Delta x_{\text{пр}} - (x_B - x_A), \quad (10.24)$$

$$f_{\Delta y} = \sum \Delta y_{\text{пр}} - (y_B - y_A). \quad (10.25)$$

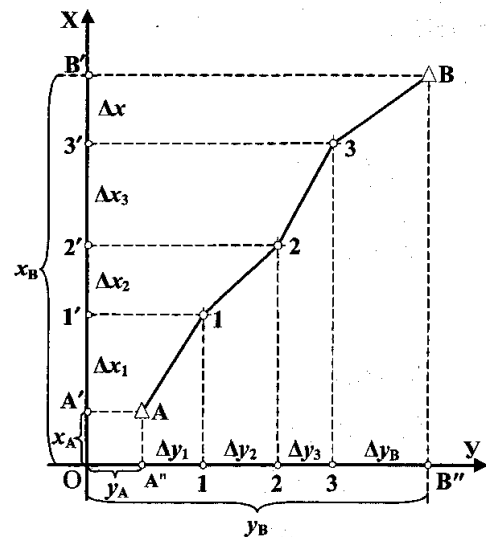


Рис. 10.4. Розімкнений теодолітний хід

Врівноваження приростів координат розімкненого ходу виконується так само, як і зімкнутого ходу (полігона).

#### 10.2.4. Приклад обчислення координат точок зімкнутого теодолітного ходу (полігона). Відомість координат

Теодолітом та стрічкою в зімкнутому теодолітному ході (шестикутнику) рис. 10.1 виміряні горизонтальні кути, довжини сторін ходу та їх кути нахилу [9]. Нехай дирекційний кут сторони 1-2 теодолітного ходу відомий  $a_1 = 67^\circ 35'$ . Координати точки 1 дорівнюють  $X = 600,00$  м,  $Y = 365,48$  м. Треба знати координати інших точок теодолітного ходу.

Усі обчислення виконують у відомості, зразок якої наведено в табл. 10.3. В першу колонку записують номери та назву вершин теодолітного ходу, в другу – з журналу середні значення виміряних горизонтальних кутів. Обчислюють їх суму, тобто практичну суму горизонтальних кутів  $\Sigma\beta_{\text{пр}}$ , значення якої вказують у колонці 2 під останнім пунктом. У наведеному прикладі  $\Sigma\beta_{\text{пр}} = 720^\circ 02,0'$ .

Як відомо, теоретична сума кутів полігоні дорівнює  $180^\circ (n - 2)$ . Якщо  $n = 6$ , то  $= 180^\circ (6 - 2) = 180^\circ \cdot 4 = 720^\circ 00,0'$ . Її значення записують в колонці 2 під практичною сумою кутів.

Знаходять кутову нев'язку  $f_\beta$  за формулою (10.2)

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{пр}} - \Sigma\beta_{\text{т}}$$

У нашому випадку кутова нев'язка  $f_\beta = 720^\circ 02,0' - 720^\circ 00,0' = +2,0'$ . Нев'язка може бути додатною або від'ємною. Допустиму кутову нев'язку

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1' \sqrt{n}$$

визначають за формулою (10.3), де  $n$  - кількість кутів у ході.

У наведеному прикладі  $f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1' \sqrt{6} = \pm 2,4'$ . Отже, кутова нев'язка в ході менша від допустимої. Тобто горизонтальні кути в ході виміряні з необхідною точністю.

Тепер можна розподілити кутову нев'язку за відомими правилами. Поправки у виміряні кути підписують в колонці 2 над значеннями виміряних кутів (бажано червоним кольором).

Додавши поправки алгебраїчно до кожного значення виміряного кута, отримують виправлені кути, сума яких має дорівнювати теоретичній сумі кутів. Виправлені кути записують у колонку 3 відомості.

Потім на основі залежності між кутами теодолітного ходу та дирекційними кутами визначають дирекційні кути сторін ходу. Контролем обчислення дирекційних кутів є повторне обчислення вихідного дирекційного кута сторони 1-2. Дирекційні кути записують в колонку 4 у рядки між вершинами теодолітного ходу.

За значеннями дирекційних кутів знаходять румби. У відомості координат може і не бути такої колонки. Тоді знаки приростів координат

визначаються за величинами дирекційних кутів, які в першій чверті набувають значень у межах  $0^\circ \div 90^\circ$ ; у другій – в межах  $90^\circ \div 180^\circ$ ; у третій – в межах  $180^\circ \div 270^\circ$ ; у четвертій – в межах  $270^\circ \div 360^\circ$ . Знаки приростів координат залежно від чверті наведено в табл. 10.6.

Горизонтальні проекції сторін ходу виписують із журналу в колонку 6.

Прирости координат  $\Delta x$  та  $\Delta y$  обчислюють за формулами

$$\Delta x = d \cdot \cos r, \quad (10.26)$$

$$\Delta y = d \cdot \sin r. \quad (10.27)$$

Знайдені для кожної сторони теодолітного ходу прирости координат записують в колонки 7 та 8 і обчислюють їхні суми. В наведеному прикладі практична сума приростів координат  $\Delta x_{np} = -0,05$  м та  $\Delta y_{np} = +0,34$  м.

Теоретичні суми приростів координат  $\Sigma \Delta x_T$  та  $\Sigma \Delta y_T$  в зімкнутому полігоні дорівнюють нулю. Отже, нев'язки приростів координат у зімкнутому полігоні дорівнюють їхнім практичним сумам. Тобто  $f_{\Delta x} = \Sigma \Delta x_{np}$  і  $f_{\Delta y} = \Sigma \Delta y_{np}$ .

Обчислена за формулою (10.10) абсолютна лінійна нев'язка дорівнює  $f_s = (-0,05)^2 + (+0,34)^2 = +0,34$  м. Для периметра  $P=[d] = 1612,97$  м

$$\frac{f_s}{P} = \frac{1}{4744} < \frac{1}{2000}.$$

відносна похибка буде

Нев'язки  $f_x$  та  $f_y$  розподіляють з оберненим знаком у прирости координат у вигляді поправок  $\delta x_i$  і  $\delta y_i$  пропорційно до довжин ліній так, щоб суми виправлених приростів координат у зімкнутому ході дорівнювали нулю, тобто  $\Sigma \Delta x = 0$  та  $\Sigma \Delta y = 0$ .

Заокруглені до цілих сантиметрів поправки записують в колонки 7 та 8 зверху над обчисленими приростами координат. Сума поправок має дорівнювати нев'язці з оберненим знаком.

Поправки алгебраїчно додають до знайдених приростів координат і отримують виправлені прирости координат. У полігоні суми виправлених приростів координат мають дорівнювати нулю. Визначаючи виправлені прирости координат, слід пам'ятати, що прирости обчислені в метрах, а поправки в прирости – у сантиметрах.

Нарешті, знаючи координати першої вершини полігона, можна знайти з контролем координати усіх вершин полігона за формулами (10.15).

$$X_{i+1} = X_1 + \Delta x_{i,i+1}; Y_{i+1} = Y_1 + \Delta y_{i,i+1}.$$

### 10.2.5. Приклад обчислення координат точок розімкненого теодолітного ходу

Нехай теодолітний хід прокладено між вихідними пунктами  $A$  та  $B$  (див. рис.10.5) [9]. В ході виміряно праві за ходом горизонтальні кути. Координати вихідних пунктів та дирекційні кути вихідних сторін відомі:

$$X_A = 360,62 \text{ м}; Y_A = 172,18 \text{ м};$$

$X_B = 2929,94$  м;  $Y_B = 1254,50$  м;  $\alpha_{C-A} = 278^\circ 22,5'$ ;  $\alpha_{B-D} = 269^\circ 01,2'$ . Обчислення виконують у відомості координат (табл. 10.7). У першу колонку відомості записують назви пунктів вихідних сторін та номери точок теодолітного ходу, в колонку 2 – значення горизонтальних кутів. Додавши їх, одержують практичну суму горизонтальних кутів ходу

$$\sum \beta_{np} = 1989^\circ 19,2'$$

Її значення записують у відомість координат.

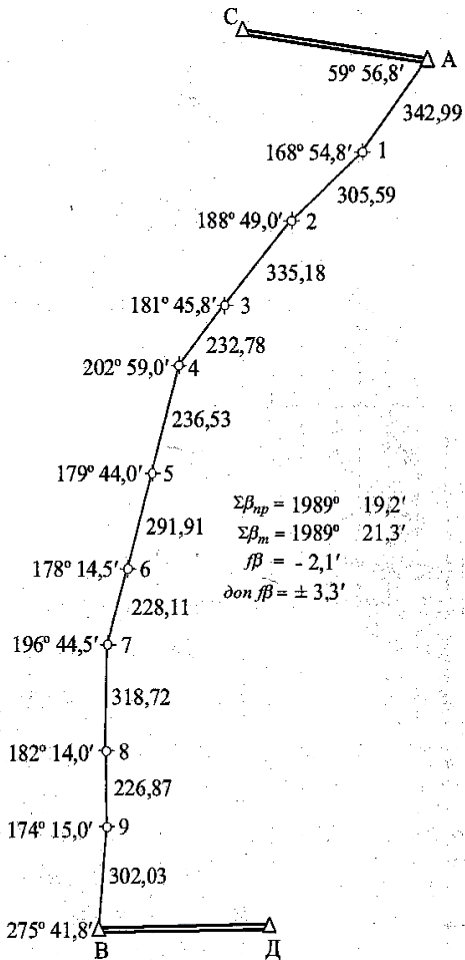


Рис.10.5. Схема розімкненого теодолітного ходу

Теоретичну суму горизонтальних кутів для розімкненого ходу, коли виміряно праві за ходом горизонтальні кути, обчислюють за формулою (10.18). Кількість кутів у ході  $(n+1) = 11$ . Підставивши у формулу значення дирекційних кутів та враховуючи, що  $180^\circ \cdot 11 = 1980^\circ$ , отримують

$$\sum_1^{n+1} \beta_{\text{П.ТЕОР}} = 278^\circ 22,5' - 269^\circ 01,2' + 1980^\circ = 1989^\circ 21,3'$$

значення теоретичної суми кутів у ході і записують його під значенням практичної суми кутів у колонці 2.

За формулою (10.20) знаходять кутову нев'язку в ході

$$f_{\beta_{\text{П}}} = \sum_1^{n+1} \beta_{\text{П.нр}} - \sum_1^{n+1} \beta_{\text{П.Т}} = 1989^\circ 19,2' - 1989^\circ 21,3' = -2,1'$$

Результат записують у колонку 2 під теоретичною сумою горизонтальних кутів.

Визначають допустиму кутову нев'язку ходу за формулою (10.3)

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1' \cdot \sqrt{n+1} = 1' \cdot \sqrt{11} = 3,3'$$

Кутова нев'язка в ході менша за допустиму, тому її можна розподілити у виміряні кути. Оскільки в ході немає

коротких сторін то нев'язку можна розподіляти у виміряні кути порівно. Поправки записують зверху над кутами. виправлені поправками кути записують у колонку 3. За виправленими кутами визначають дирекційні кути так само, як і в зімкнутому полігоні. У наведеному прикладі дирекційний кут сторони A-1 ходу обчислюють за формулою (10.8)

$$a_{A-1} = a_{C-A} + 180^\circ - \beta_1$$

$$a_{A-1} = 278^\circ 22,5' + 180^\circ - 59^\circ 57,0' = 38^\circ 25,5'$$

Аналогічно визначають усі інші дирекційні кути ходу. Записують дирекційні кути у колонку 4 в рядки, що розташовані між пунктами ходу.

Відомість обчислення координат геодезичного ходу від т.А до т.В

№ вершини ходу	виміряні (праві)		кути		Горизонтальне проєлювання	Прирости координат, м				Координати, м			
	*	'	*	'		обчислені	виправлені	Δx	Δy	X	Y		
С													
А	59	56,8	59	57,0	342,99	-0,05	268,71	+0,05	213,16	368,62	172,18		
1	168	54,8	168	55,0	305,52	-0,05	198,39	+0,04	232,35	629,28	385,39		
2	188	49,0	188	49,2		-0,05		+0,05		827,62	617,78		
3	181	45,8	181	46,0	335,18	254,16		218,52					
4	202	59,0	202	59,2	232,78	-0,04	181,10	+0,03	146,25	1081,73	836,35		
5	179	44,0	179	44,2	336,53	-0,05	323,60	+0,05	92,39	1263,79	982,63		
6	178	14,5	178	14,7	291,91	-0,04	280,32	+0,04	81,43	1586,34	1075,07		
7	196	44,5	196	44,7	228,11	217,00		70,31					
8	152	14,0	182	14,2	318,72	-0,03	318,65	+0,05	6,72	1866,62	1156,54		
9	174	15,0	174	15,2	226,87	226,83		-4,07		2083,58	1226,88		
В	275	41,8	275	41,9	302,03	-0,05	301,01	+0,05	24,84	2402,18	1233,65		
Д										2628,98	1229,61		
										2929,94	1254,50		
$\sum \beta_{np} =$	1989	19,2	1989	21,3	P = 2920,64 м	$\sum \Delta x_{np} =$	-2569,77	$\sum \Delta y_{np} =$	1081,90	$\sum \Delta x =$	2569,32	$\sum \Delta y =$	1082,32
$\sum \beta_n =$	1989	21,3				$\sum \Delta x_n =$	-2569,32	$\sum \Delta y_n =$	1082,32				
$f_\beta =$		-2,1				$f_\alpha =$	+0,45	$f_\beta =$	-0,42				
дон. $f_\beta =$		3,3						$f_s =$	0,54 м				
										$f_{allow} =$	$\frac{1}{4375} <$	$\frac{1}{2000}$	

Контролем правильності обчислення дирекційних кутів є отримання вихідного значення дирекційного кута  $a_{B-D}$ .

У колонку 5 вписують горизонтальні прокладення у метрах.

Прирости координат обчислюють аналогічно, як і в зімкнених ходах, і їхні значення записують в колонки 6 та 7. Знаки приростів координат залежать від величин, дирекційних кутів. Визначивши прирости координат, знаходять їх алгебраїчні суми:

$$\Sigma \Delta x_{\text{пр}} = + 2569,77 \text{ м і } \Sigma \Delta y_{\text{пр}} = + 1081,90 \text{ м.}$$

Теоретичні суми приростів координат знаходять за формулами (10.22) та (10.23):

$$\Sigma \Delta x_{\text{т}} = 2929,94 - 368,62 = + 2561,32 \text{ м,}$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{т}} = 1254,50 - 172,18 = + 1082,32 \text{ м.}$$

Теоретичні суми приростів координат записують у колонки 7 та 8 під практичними сумами приростів координат. Далі визначають нев'язки у приростах координат за формулами (10.24) та (10.25). Отримують

$$f_{\Delta x} = +0,45 \text{ м, } f_{\Delta y} = -0,42 \text{ м.}$$

Величину лінійної нев'язки обчислюють за формулою (10.10), а відносної – за (10.11). Вони становлять

$$f_s = \sqrt{0,45^2 + 0,42^2} = 0,616 \text{ м, } f_{\text{відн}} = \frac{f_s}{P} = \frac{1}{4749} < \frac{1}{3000} \text{ (допустима).}$$

Знайдені (практичні) суми приростів координат ув'язують. Поправки в прирости координат обчислюють за формулами (10.12).

Поправки в сантиметрах записують червоним кольором над відповідними приростами координат. Додавши алгебрійно ці поправки до визначених приростів координат, отримують виправлені прирости координат. Контролем правильності обчислень є те, що суми виправлених приростів координат повинні дорівнювати теоретичним сумах приростів координат.

Координати точок теодолітного ходу визначають аналогічно, як і в полігонах. Контролем правильності обчислення координат слугує те, що отримані координати кінцевої точки ходу дорівнюють заданим координатам цієї точки (у наведеному прикладі координати точки В).

### **Обчислення вимірів в діагональному ході**

Обчислення виконуються аналогічно обчисленням у розімкненому ході припускаючи, що точки замкнутого ходу, на які спирається діагональний хід, є твердими, а сам хід є ходом другого порядку відносно до замкнутого. Тому допускається:

$$\frac{f_s}{\sum d} \leq \frac{1}{1000}. \quad (10.29)$$

### 10.2.6. Побудова координатної сітки. Нанесення на план пунктів теодолітного ходу за їхніми координатами

У цьому підрозділі описано графічні роботи, які виконуються під час побудови планів за результатами горизонтального (ситуаційного) знімання.

Для побудова плану у заданому масштабі треба передовсім нанести за координатами пункти знімальної основи, з яких (або відносно ліній між якими) виконувалося знімання території. Для цього на папері будують координатну сітку, спочатку побудувавши дві взаємно перпендикулярні лінії, тобто прямий кут.

У Давньому Єгипті для побудови прямих кутів на місцевості використовували так званий єгипетський прямокутний трикутник, катети якого становили 3 – 4 одиниці міри довжини, а гіпотенуза – 5 і залежність сторін якого описується рівністю  $3^2 + 4^2 = 5^2$ . Отже, якщо на горизонтальній поверхні між двома точками *A* і *B* (рис.10.6) відкласти відрізок завдовжки 4

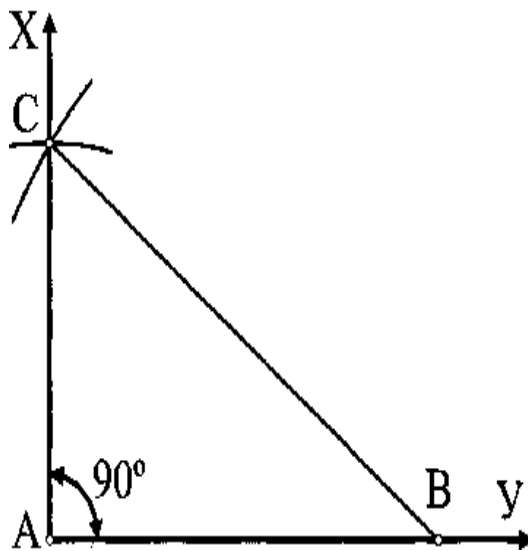


Рис. 10.6. Побудова прямого кута

умовні одиниці, а потім з його кінців прокреслити дуги радіусами (з точки *A* радіусом 3, а з точки *B* радіусом 5 умовних одиниць), то вони перетнуться в деякій точці *C*. Якщо з'єднати точки *A*, *B* і *C* прямими лініями, то в точці *A* утвориться точний прямий кут, а лінії *AB* та *AC* будуть осями координат *X* та *Y* прямокутної системи координат [9].

Зрозуміло, що такий метод побудови прямого кута можна застосувати і для побудови координатної сітки на папері, тільки слід відкладати на папері не десятки метрів, а десятки сантиметрів. Проте циркулем-вимірювачем зручно відкладати відрізки, максимум 10 – 15 см. Щоб забезпечити належну точність і

зручність у роботі на плані спочатку викреслюють сітку квадратів зі сторонами, наприклад, 10 см. Вона називається координатною..

Щоб визначити розміри аркуша паперу для побудови плану, наприклад, зімкнутого полігона, описаного в підр. 10.2.2, визначають з відомості координат (наприклад, табл. 10.3) максимальне і мінімальне значення абсциси й ординати теодолітного ходу. Це  $x_{\min} = 262,06$  м і  $x_{\max} = 732,60$  м та  $y_{\min} = 305,66$  м і  $y_{\max} = 809,31$  м. Отже, вздовж осі абсцис полігон простягається з півдня на північ на 470,54 м, а вздовж осі абсцис із заходу на схід – на 503,65 м.

Нехай треба побудувати план у масштабі 1:5 000. В цьому масштабі лінія на плані, довжина якої 1 см, відповідатиме довжині лінії на місцевості 50 м. Оскільки наш полігон простягається з півдня на північ на 470,54 м, а зі заходу на схід – на 503,65 м, то на плані по осі *X* полігон займе см, а по осі *Y*



$$\frac{470,54}{50} = 9,41 \text{ см, відповідно } \frac{503,65}{50} = 10,07 \text{ см,}$$

Тобто для побудови плану такої ділянки місцевості потрібен аркуш паперу, довжина якого 10 см, а ширина 11 см.

В обчисленнях не враховується розмір написів зверху та знизу плану. Для оформлення плану зверху та знизу, з правої та лівої сторін потрібно приблизно по 10 см. З урахуванням цього розміри аркуша плану мають бути такими: ширина не менше 21 см і довжина не менше ніж 20 см. Отже, для побудови плану такої ділянки потрібен аркуш паперу розмірами 21х20 см.

Для побудови координатної сітки широко застосовується лінійка, яку запропонував російський вчений – геодезист Ф.В. Дробішев [9, 10]. Він розробив велику і малу лінійки. Великою лінійкою можна побудувати сітку квадратів розміром 80х60 см, а малою – розміром 50х50 см.

Лінійку розроблено на принципі єгипетського трикутника зі сторонами 3, 4, 5 одиниць або 6, 8, 10 одиниць. Оскільки розміри планшетів прямокутного розграфлення масштабу 1:5 000 – 40х40 см, а масштабів 1:2 000, 1:1 000, 1:500 – 50х50 см, то достатньо малої лінійки (див. рис.10.7).

Вона має шість вікон прямокутної форми, позначених 0, 1, 2, 3, 4, 5. Правий кінець її віддалений від початкової точки (початку відліку) на 70,711 см. Ця величина є гіпотенузою великого квадрата зі стороною 50 см. Ліві

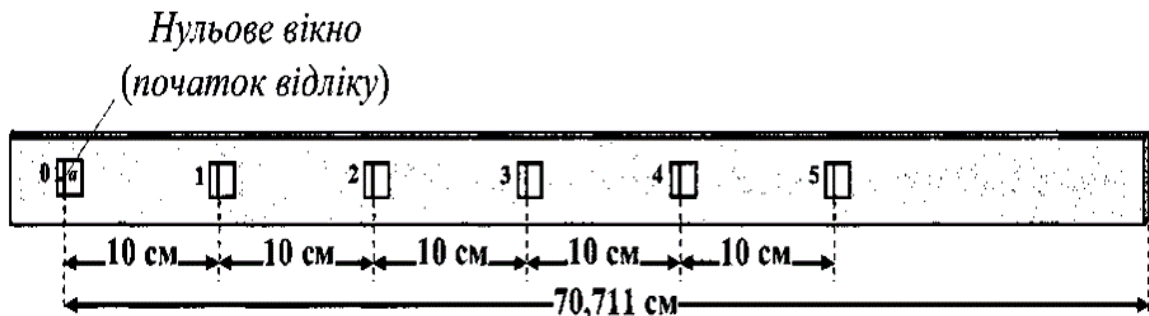


Рис. 10.7. Лінійка Ф.В. Дробішева

кінці в кожному вікні, верхній край та правий кінець лінійки скошені. На скошеній частині нульового вікна (посередині) вигравіювано штрих. Перетин скошеного краю нульового вікна з цим штрихом (точка *a*) і є початком відліку лінійки.

Скошений край нульового вікна лінійки є прямою лінією, а скошені краї вікон 1, 2, 3, 4, 5 та правого кінця лінійки є дугами радіусами 10 см, 20 см, 30 см, 40 см, 50 см та 70,744 см відповідно з центром кіл у точці *a*. Такою лінійкою можна побудувати і сітку квадратів із розмірами 30х40 см.

Опишемо послідовність побудови координатної сітки 50х50 см.

Лінійку кладуть паралельно до нижнього краю (рис. 10.8, а) аркуша креслярського паперу, і на відстані приблизно 5 см від нього прокреслюють вздовж скошеного верхнього краю лінійки добре загостреним олівцем (середньої твердості) лінію. Потім лінійку накладають на цю лінію (рис. 10.8, б)

так, щоб лінію було видно посередині віконцець лінійки, а скошений край нульового вікна був на відстані приблизно 5 см від лівого краю паперу та прокреслюють олівцем вздовж скошених країв віконцець лінійки шість штрихів. Отримують на прокресленій лінії дві крайні точки майбутньої координатної сітки (ліву і праву), відстань між якими 50 см. Позначимо їх: ліву – 1, а праву – 2.

Повертають лінійку на  $90^\circ$  (можна використати косинець) і встановлюють точку початку відліку (точка *a* на лінійці) на перетині лівого штриха з прокресленою лінією (рис. 10.8, в). Прокреслюють вздовж скошених країв вікон лінійки шість штрихів.

Далі встановлюють початок відліку лінійки перпендикулярно до прокресленої на папері лінії так, щоб точка початку відліку на лінійці збігалась з перетином правого крайнього штриха з прокресленою на папері лінією (рис. 10.2.8, д). Прокреслюють вздовж скошених країв вікон лінійки шість штрихів.

Щоб отримати ще дві верхні крайні точки координатної сітки, лінійку укладають по діагоналі (рис. 10. 2.8, д) так, щоб початок відліку лінійки опинився у точці перетину правого крайнього штриха з прокресленою на аркуші лінії (точка 2), а скошений край кінця лінійки – на верхньому лівому прокресленому на папері штриху. Прокреслюють по скошеному краю кінця лінійки лінію (точка 3).

У результаті отримують три вершини квадрата координатної сітки розміром 50 см.

Для побудови четвертої точки лінійку укладають по діагоналі

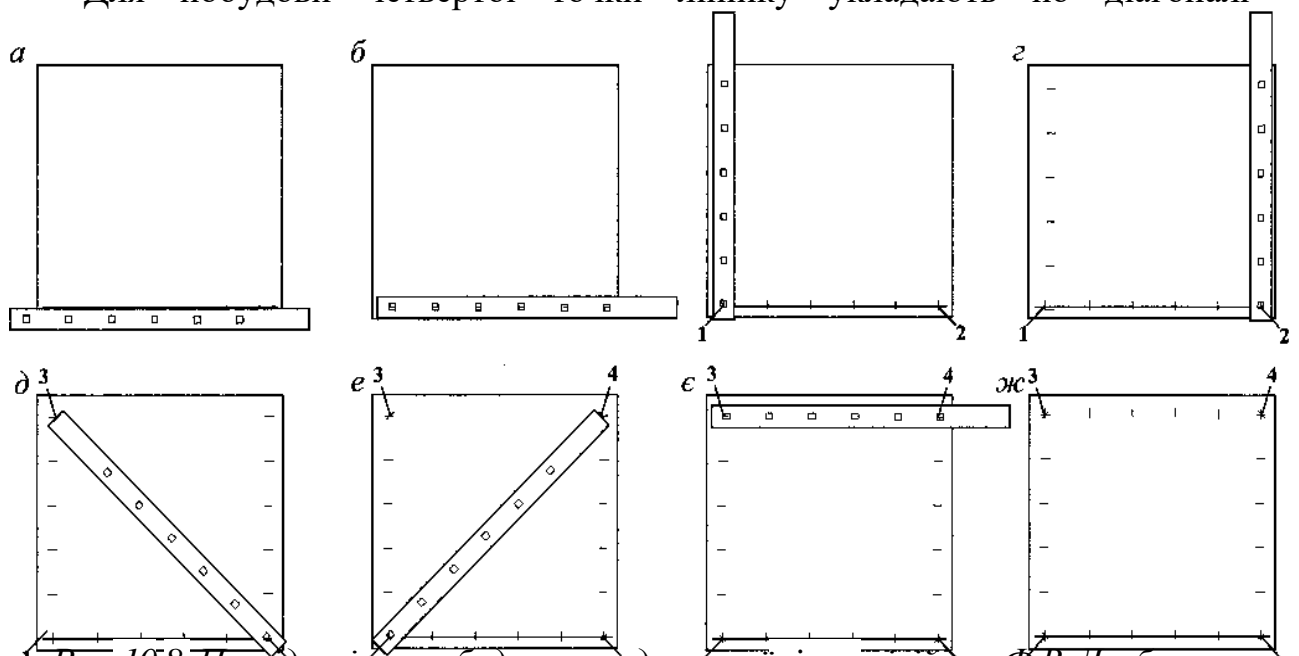


Рис. 10.8. Послідовність побудови координатної сітки лінійкою Ф.В. Дробишева

(рис.10.2.8, e) так, щоб точка початку відліку лінійки розташувалася у точці 1, а скошений край кінця лінійки – на верхньому правому штриху. Прокреслюють по скошеному краю кінця лінійки лінію (точка 4).

Далі встановлюють початок відліку лінійки перпендикулярно до прокресленої на папері лінії так, щоб точка початку відліку на лінійці збігалась з перетином правого крайнього штриха з прокресленою на папері лінією (рис. 10.8, д). Прокреслюють вздовж скошених країв вікон лінійки шість штрихів.

Щоб отримати ще дві верхні крайні точки координатної сітки, лінійку укладають по діагоналі (рис. 10.8, д) так, щоб початок відліку лінійки опинився у точці перетину правого крайнього штриха з прокресленою на аркуші лінії (точка 2), а скошений край кінця лінійки – на верхньому лівому прокресленому на папері штриху. Прокреслюють по скошеному краю кінця лінійки лінію (точка 3).

У результаті отримують три вершини квадрата координатної сітки розміром 50 см.

Для побудови четвертої точки лінійку укладають по діагоналі (рис. 10.8, е) так, щоб точка початку відліку лінійки розташувалася у точці 1, а скошений край кінця лінійки – на верхньому правому штриху. Прокреслюють по скошеному краю кінця лінійки лінію (точка 4).

Контролюють правильність побудови точок 3 та 4, тобто віддаль між точками 3 і 4 повинна дорівнювати 50 см. Для цього лінійку кладуть так, щоб точка початку відліку (рис. 10.8, е) було у точці 3, а горизонтальний штрих у точці 4 на середині скошеного краю останнього (5) вікна лінійки. По скошених краях вікон лінійки прокреслюють штрихи. Якщо прокреслений штрих по скошеному краю останнього вікна лінійки (рис. 10.8, е) проходить через точку 4 або утворює з лініями побудови трикутник, найдовша сторона якого не перевищує 0,2 мм, то побудову координатної сітки виконано правильно і за положення точки 4 приймають центр утвореного трикутника. Якщо ж умова не виконується, тоді побудову координатної сітки повторюють.

Штрихи побудови з'єднують прямими лініями. Викресливши квадрати координатної сітки, перевіряють також правильність побудови по довжинах діагоналей кожного із квадратів. Для цього порівнюють діагоналі окремих квадратів з розхилом циркуля, що дорівнює довжині діагоналі  $\sqrt{200} = 14,12$  см. Відхилення також не повинні перевищувати 0,2 мм.

Сітку квадратів оцифровують, тобто показують, яким віддалям від початку координат відповідають горизонтальні та вертикальні лінії сітки. У випадку довільної системи координат координатна сітка має оцифровування, що відповідає зменшеній (відповідно до масштабу карти) прямокутній системі координат.

Для того, щоб визначити якість побудови координатної сітки, виконують перевірку її побудови:

1) циркулем-вимірником вимірюють сторони квадратів, їхні довжини повинні дорівнювати 10 см;

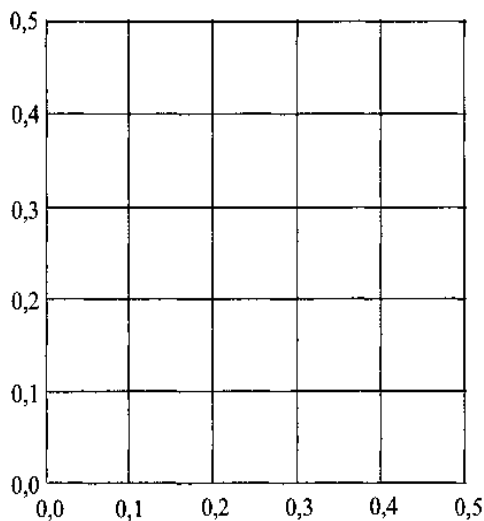
2) циркулем-вимірником вимірюють діагональ будь-якого квадрата і, прикладаючи циркуль-вимірник до діагоналей інших квадратів координатної

сітки, перевіряють, чи всі вони мають однакову довжину. Розходження довжин (діагоналей чи сторін квадратів) не повинні перевищувати 0,2 мм.

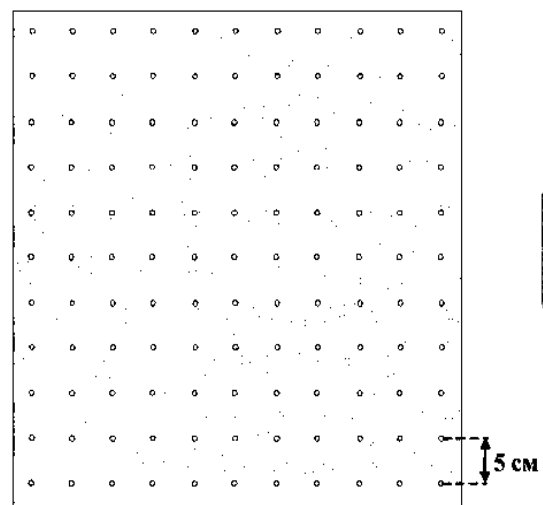
Якщо умова не виконується, знову будують координатну сітку. Дуже важливо під час побудови олівець, яким викреслюється координатна сітка, тримати весь час перпендикулярно до паперу. Вістря олівця краще загострювати "лопаткою".

Лінії координатної сітки оцифровують згідно з координатами пунктів, які потрібно нанести на карту певного масштабу карти та номенклатури.

Наприклад, складаючи карту в масштабі 1:1 000, координатну сітку (рис. 10.9) підписують через 100 м, крайні лінії координатної сітки підписують числом, кратним 0,5 км (тобто 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 і т д км). Розроблені й інші методи побудови координатної сітки. Найпростіший та найпоширеніший – з використанням шаблонів на тонких металевих плас-



*Рис. 10.9. Координатна сітка для побудови плану масштабу 1:1 000*



*Рис. 10.10. Шаблон і пристрій для побудови сітки квадратів розміром 5×5 та 10×10 см*

тинах з бронзи або алюмінію (рис. 10.10), на яких пробито круглі отвори так, що між центрами отворів є сторони квадратів координатної сітки. До шаблону додається спеціальний пристрій, вістря висувної голки якого примусово збігається з центром пробитого на планшеті отвору. Наклавши на папір планшет, за допомогою цього пристрою наколюють центри отворів планшета на папір. Залишається тільки з'єднати отвори на папері прямими лініями.

Ще досконалішим приладом для побудови координатної сітки є координатографи рис. 10.11, в яких є дві взаємно перпендикулярні лінійки з поділками 0,2 мм, одна з яких може рухатися вздовж осі X. На цій рухомій лінійки з такими ж поділками вздовж осі Y розташована голка, яка, переміщаючись, може наколювати на папері точки у вершинах квадратів. Координатографами можна не тільки будувати сітки квадратів, але й наносити на план точки з відомими координатами. Координатографи можуть

будувати координатні сітки і наносити за значеннями координат точки на план автоматично за допомогою програм.

Складається з станини рис. 10.11, на якій наглухо прикріплена лінійка з розподілами, що представляє собою вісь абсцис  $XX$ .

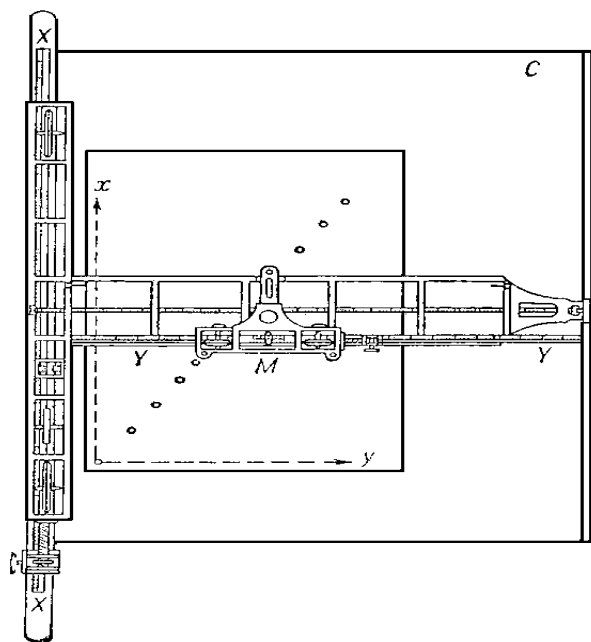


Рис. 10.11. Схема координатографа

Уздовж осі абсцис пересувається каретка, що несе на собі лінійку  $UU$ , відповідну осі ординат. По осі ординат рухається мала каретка, на якій укріплена голка для накола точок. Автоматичний електронний має додатково лічильно – вирішальний пристрій і пульт управління. Ця система забезпечує можливість за результатами обчислення прямокутних координат на лічильно – вирішальному пристрої наносити вузлові точки і автоматично викреслювати або гравірувати координатні лінії сітки.

### 10.2.7. Побудова плану горизонтального знімання

Перевіривши правильність побудови координатної сітки, наносять на план, що будується, вершини полігонів, діагональних ходів, усі інші точки ділянки, координати яких обчислені.

Нехай координати точок дано в умовній, довільній системі координат. Спочатку за значеннями координат встановлюють квадрат, у якому має міститися відповідна точка, а потім відкладають вздовж сторін квадрата не повні значення абсцис і ординат, а тільки значення різниць координат точки і відповідної лінії координатної сітки.

Наприклад, якщо для точки  $A$  (рис. 10.12)  $X = + 538,37$  м і  $Y = + 637,42$  м, а довжина сторони квадрата за заданого масштабу плану дорівнює 200 м, то на

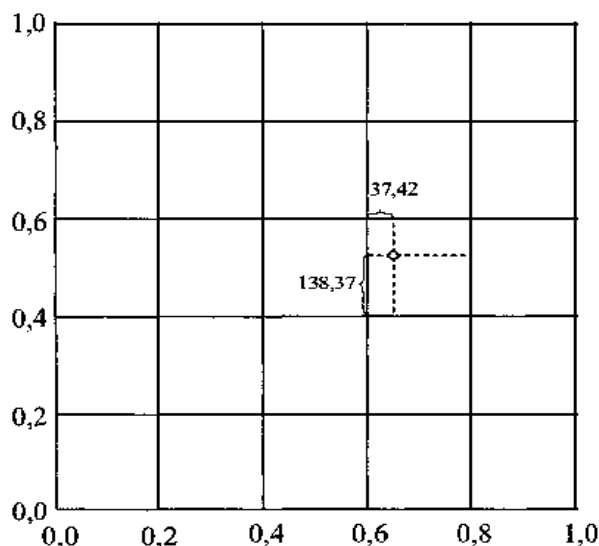


Рис. 10.12. Нанесення точки за координатами на план масштабу 1:2 000

сторонах відповідного квадрата потрібно буде відкласти вгору  $538,37 - 400 = 138,37$  м, а у правий бік –  $637,42 - 600 = 37,42$  м. З'єднавши паралельними до координатної сітки лініями нанесені на плані відповідні точки, отримаємо на їх перетині шукану точку *A*.

Можна зробити поіншому: спочатку відкласти на сторонах квадрата різницю ординат (тобто відрізок  $138,37$  м) та з'єднати ці дві точки, прокресливши лінію. На цій лінії, відклавши від лівої сторони квадрата у правий бік відстань  $37,42$  м, одержимо точку *A*.

Правильність нанесення кожної точки перевіряють, вимірюючи за допомогою циркуля-вимірника та поперечного масштабу віддаль між тільки що нанесеною і попередньою точками, та порівнюють цю довжину з довжиною горизонтальної проекції, що відповідає цій лінії, виміряній на місцевості. Розходження довжин не повинно перевищувати  $0,2$  мм у масштабі плану.

Після нанесення на план усіх точок ділянки, що мають відомі координати, починають наносити ситуацію, тобто за зарисами позначають контури і предмети місцевості, знімання яких виконувалось під час прокладання теодолітних ходів.

Способи нанесення точок ситуації на план застосовують залежно від способів виконання знімання, описаного в підр. 10.1.6.

Ситуація на план наноситься тими самими способами, якими виконувалось її знімання. Але в полі, знімаючи ситуацію, вимірюють горизонтальні кути теодолітом, лінії стрічкою (рулеткою), а під час нанесення ситуації на план горизонтальні кути будують за допомогою транспортира, а довжини ліній – за допомогою циркуля-вимірника та поперечного масштабу.

Усі предмети ситуації викреслюються на папері (плані) олівцем в умовних знаках заданого масштабу, а потім – тушшю [17]. Далі, зробивши необхідні надписи певними шрифтами та відповідними розмірами, отримують план ділянки місцевості

### 10.3. Вертикальна зйомка

Вона виконується з метою визначення перевищень  $h$  та висоти  $H$  точок земної поверхні (рис.10.13).

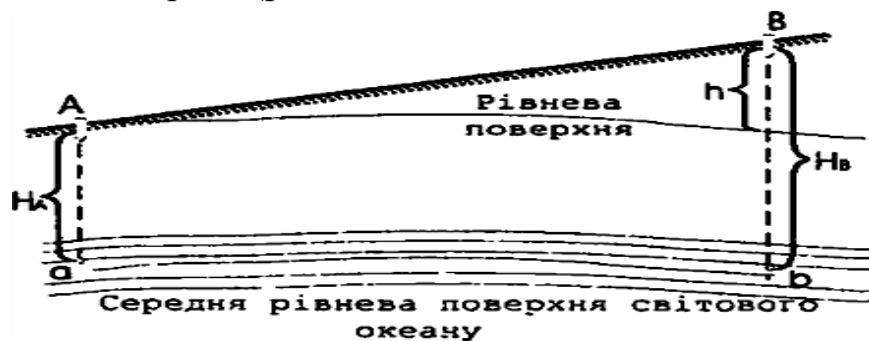


Рис. 10.13. Визначення перевищень

Перевищення  $h$  точок земної поверхні з метою наступного обчислення висот  $H$  відносно середньої рівневої поверхні визначають, в основному методом геометричного нівелювання див. 9.5.1. Для цього прокладають замкнуті або розімкнуті ходи геометричного нівелювання.

### 10.3.1. Замкнутий нівелірний хід

Такий хід (рис.10.14) прокладається способом послідовного геометричного нівелювання, який розглянуто 9.5.1, і спирається він на репер № 75 (Rp75) державного висотного обґрунтування. Алгебраїчна сума перевищень  $\Sigma h_{np} = h_1+h_2+h_3+\dots+h_6$  в такому ході теоретично повинна дорівнювати нулю, тобто  $\Sigma h_T = 0$ . В протилежному разі виникає фактична нев'язка в перевищеннях:

$$\Sigma h_{np} = \Sigma h_T, \quad (10.30)$$

де  $\Sigma h_{np}$  – алгебраїчна сума перевищень в ході.

Величина фактичної нев'язки повинна бути меншою або в крайньому разі рівною з величиною допустимої нев'язки  $fh_{\text{дон}} = 50 \text{ мм} \sqrt{L}$ . Де  $L$  – довжина ходу в кілометрах; 50 мм – величина коефіцієнта для технічного нівелювання.

Якщо  $fh_{np} \leq fh_{\text{дон}}$ , то практичну нев'язку  $fh_{np}$  – розподіляють з оберненим знаком порівну на всі виміряні перевищення  $h_i$ , тобто вводять поправки в перевищення:

$$\delta h = \frac{-fh_{\phi}}{n}, \quad (10.31)$$

де  $n$  – число перевищень.

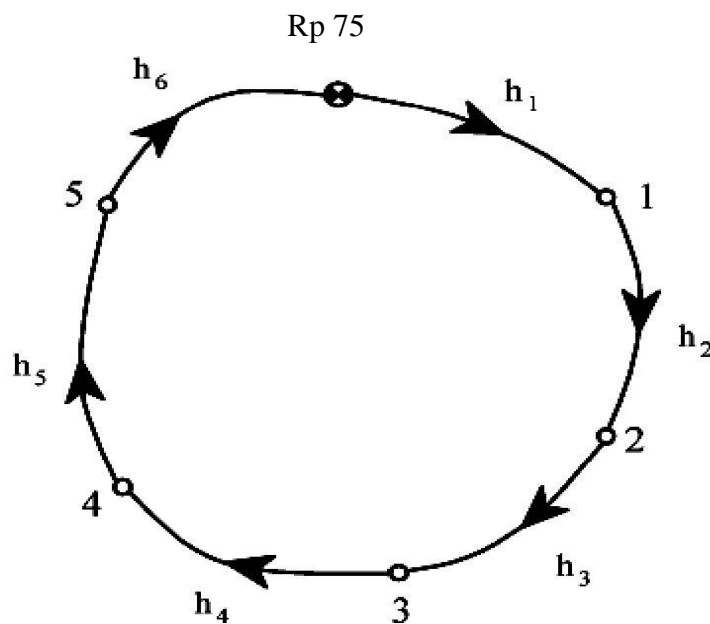


Рис. 10.14. Замкнутий нівелірний хід

Контроль введення поправок  $\Sigma\delta h \equiv -fh_{np}$ .

Після цього обчислюють виправлені перевищення  $h_{вип}$ , як алгебраїчну суму величини перевищення і поправки, тобто:

$$h_{вип} = h_{пр} + \delta h. \quad (10.32)$$

Алгебраїчна сума виправлених перевищень повинна рівнятися нулю, тобто

$$\Sigma h_{вип} \equiv 0.$$

Абсолютні відмітки точок 1, 2, 3, ... обчислюють послідовно як алгебраїчну суму відмітки і виправленого перевищення, тобто:

$$H_1 = H_{Rp17} + h_1;$$

$$H_2 = H_1 + h_2;$$

$$H_3 = H_2 + h_3;$$

.....

Контроль обчислення полягає в одержанні величини  $H$  тієї ж точки (в даному випадку Rp 75), від якої почали обчислення.

### 10.3.2. Розімкнутий нівелірний хід

Він, як правило, прокладається між двома реперами, на які спирається своїми кінцями (рис. 10.15).

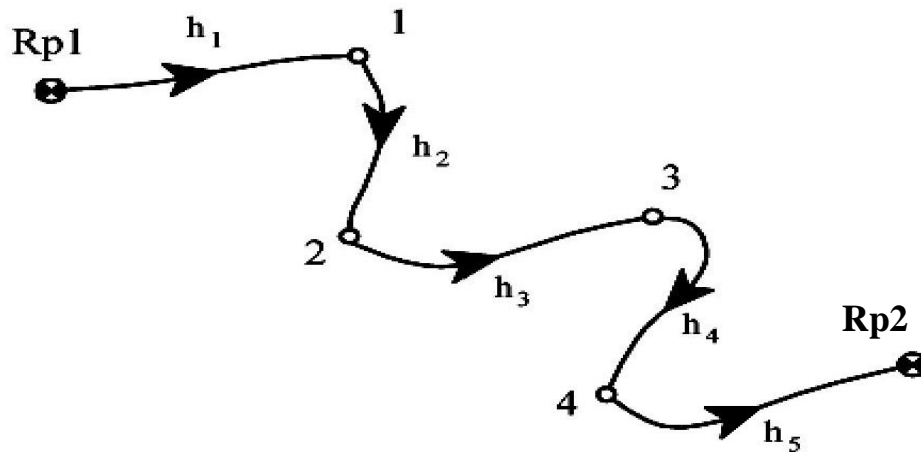


Рис. 10.15. Розімкнутий нівелірний хід

Перевищення  $h_1, h_2, h_3$ , визначаються із результатів вимірювань при прокладці ходу послідовного геометричного нівелювання між Rp1 і Rp 2, які мають абсолютні відмітки із державного нівелювання.

Алгебраїчна сума  $\Sigma h_{пр}$  визначених перевищень теоретично повинна дорівнювати різниці абсолютних відміток кінцевого і початкового реперів. У противному разі виникає фактична нев'язка в перевищеннях:



$$fh_{\phi} = \sum h_{np} - (H_k - H_n), \quad (10.33)$$

тут  $\sum h_{np} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots$  – практична сума визначених перевищень;  
 $H_k$  і  $H_n$  – абсолютні відмітки кінцевого і початкового реперів (на рис.10.15, це Rp1 і Rp2).

Одержана фактична нев'язка  $fh_{\phi}$  порівнюється з допустимою нев'язкою:

$$fh_{\text{дон}} = 50 \text{ мм} \sqrt{L}. \quad (10.34)$$

Якщо  $fh_{\phi} \leq fh_{\text{дон}}$ , то подальші обчислення виконуються аналогічно обчисленням, які виконувались за результатами вимірів в замкнутому ході.

Контролем обчислень відміток є одержання відмітки кінцевого репера.

## 10.4. Тахеометричне знімання

### 10.4.1. Суть тахеометричної зйомки

Тахеометрична зйомка є топографічною, т. е. контурно-висотну зйомку, в результаті якої отримують план місцевості зі змалюванням ситуації і рельєфу. Тахеометрична зйомка виконується самостійно для створення планів невеликих ділянок місцевості у великих масштабах (1:500 – 1:5 000) або у поєднанні з іншими видами робіт, коли виконання стереотопографічної або мензульної зйомок економічно недоцільно або технічно скрутно. Її застосування особливо вигідно для зйомки вузьких смуг місцевості при дослідженнях трас і автомобільних залізниць, ліній електропередач, трубопроводів і інших протяжних об'єктів.

Слово "тахеометрія" в перекладі з грецького означає "швидкий вимір", Швидкість вимірів при тахеометричній зйомці досягається тим, що положення точки місцевості, що знімається, в плані і по висоті визначається при одному наведенні труби приладу на рейку, встановлену в цій точці.

Тахеометрична зйомка виконується за допомогою технічних теодолітів або спеціальних приладів – тахеометрів.

При використанні технічних, теодолітів суть тахеометричної зйомки зводиться до визначення просторових полярних координат  $(\beta, \nu, S)$  точок місцевості і подальшого нанесення цих точок на план. При цьому горизонтальний кут  $\beta$  між початковим напрямом і напрямом на точку, що знімається, вимірюється за допомогою горизонтального круга, вертикальний кут  $\nu$  – вертикального круга теодоліта, а відстань до точки  $S$  – далекоміром. Таким чином, планове положення точок, що знімаються, визначається полярним способом (координатами  $\beta, d$ ), а перевищення точок – методом тригонометричного нівелювання, здійснюваного за допомогою похилого променя візування.

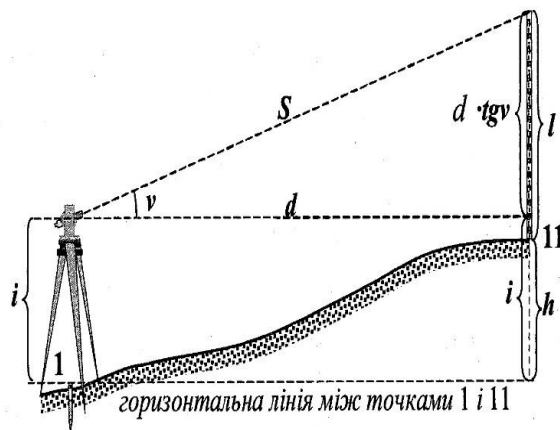


Рис. 10.16. Принцип тригонометричного нівелювання

Принцип тригонометричного нівелювання полягає в наступному. Нехай вимагається визначити перевищення  $h$  точки II над точкою I (рис. 10.16). Над точкою I встановлюється в робочим положенні теодоліт, а в точці II прямою – рейка. Вимірюють висоту приладу  $i$  і зоровою трубою теодоліта візують на верх рейки (віхи), що має довжину  $l$ . За допомогою вертикального круга вимірюють вертикальний кут  $v$ , а далекоміром – похилу відстань  $S$  або його горизонтальну проекцію  $d$ .

Як випливає з схеми рис. 10.16,

$$h + l = h' + i,$$

звідси

$$h = h' + i - l.$$

Оскільки

$$h' = d \cdot \operatorname{tg} v,$$

тоді

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - l \quad (10.35)$$

При  $i = l$ , т. е. при візуванні на висоту приладу, відмічену на рейці або віхи, формула (10.35) набере вигляду

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v. \quad (10.36)$$

Висоту точки II можна визначити за формулою

$$H_{II} = H_I + h,$$

де  $H_I$  – висота точки, над якою встановлено тахеометр ( висота станції ).

При вимірі відстаней нитяним далекоміром (9.4.9) перевищення між точками буде

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v = L \cos^2 v \cdot \operatorname{tg} v = L \sin v \cos v = \frac{L}{2} \sin 2v$$

або в загальному випадку

$$h = \frac{L}{2} \sin 2\nu + i - l, \quad (10.37)$$

де  $L$  – далекомірна відстань.

Значення  $d$  і  $h$  обчислюються за допомогою мікрокалькуляторів. При використанні спеціальних тахеометрів горизонтальні проложения і перевищення виходять автоматично шляхом узяття відліків по рейці.

Переваги тахеометричної зйомки в порівнянні з іншими видами топографічних зйомок полягають в тому, що вона може виконуватися за несприятливих погодних умов; крім того, камеральные роботи можуть виконуватися іншим виконавцем услід за виробництвом польових вимірів, що дозволяє скоротити терміни складання плану місцевості, що знімається.

Основним недоліком тахеометричної зйомки є те, що складання плану місцевості виконується в камеральних умовах на основі тільки результатів польових вимірів і замальовок; при цьому не можна своєчасно виявити допущені промахи шляхом звірення плану з місцевістю.

#### 10.4.2. Прилади які застосовуються при тахеометричній зйомці

Як відзначалося вище, для виробництва тахеометричної зйомки можуть служити технічні теодоліти 2Т30М, 2Т30, 4Т30П, Т15 та ін., що мають горизонтальний і вертикальний круги і нитяний далекомір. Перед початком зйомки виконують перевірки приладу. Для зручності обчислень вертикальних кутів МО вертикального круга наводиться до нуля; коливання МО в процесі роботи не повинні перевищувати  $\pm 1'$ . При роботі з теодолітами застосовують далекомірні рейки або шашкові нівелірні рейки.

Зараз при тахеометричній зйомці усе більш широке застосування знаходять тахеометри, які поділяють на три основні групи: кругові, номограмні та електронні.

До кругових тахеометрів належать технічні теодоліти які розглянуті вище.

Номограмні тахеометри мають додатковий вертикальний круг знанесени на ньому номограмами, які дають змогу вимірювати безпосередньо горизонтальні проекції ліній і перевищення.

Широко застосовуються такі номограмні тахеометри, як: ТН (ТаН, 2ТаН), Dalta-020В, Dalta-010В.

ТЭ – тахеометр електронний; є приладом, що поєднує в собі кутомірний пристрій зі светодалекоміром. Результати вимірів реєструються на перфострічці або на світловому табло. Він призначений для виміру відстаней до 2 км з середньою квадратичною погрішністю не більше 2 см, а також для вимірів горизонтальних і вертикальних кутів з середніми квадратичними погрішностями 3" та 5" соответственно.

До електронних тахеометрів відносяться LEICA TS06 (Росія), TRIMBLE S32 (США), АГА (Швеція), Opton (Германія), Leica – Geosystems (Швейцарія), серії Sokkia, TOPCON (Японія) та ін.

### 10.4.3. Будова номограмного тахеометра

Вертикальний круг номограмного тахеометра з градусними поділками жорстко скріплений з віссю обертання зорової труби й обертається разом з нею. Додатковий вертикальний круг закріплений нерухомо відносно колонки, на якій кріпиться вісь обертання труби. На цьому крузі нанесені номограми (криві лінії) віддалей та перевищень.

На (рис. 10.17) наведена принципова оптична схема номограмного тахеометра, на якій показано пунктирною лінією проходження сонячного променя від рейки до ока спостерігача.

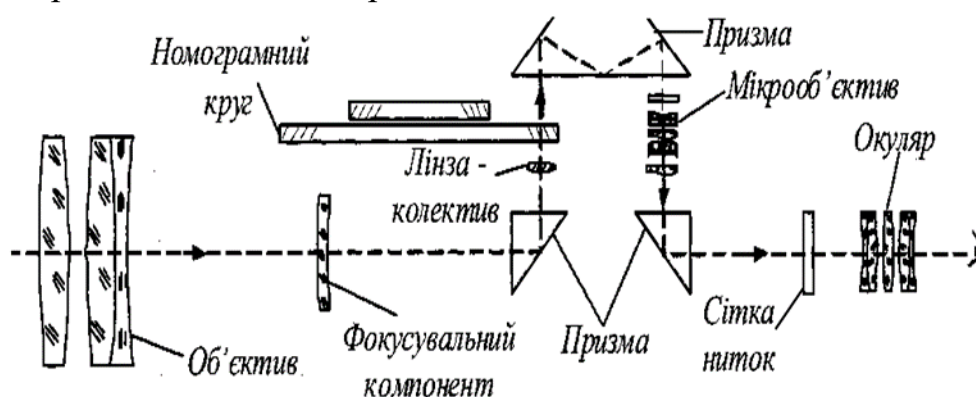


Рис. 10.17. Оптична схема тахеометра з номограмою

Промінь, що надходить від рейки через об'єктив та фокусну лінзу, заломлюється призмою і проходить через край нерухомого скляного круга, на якому нанесені криві діаграми віддалей та перевищень. Далі через призми

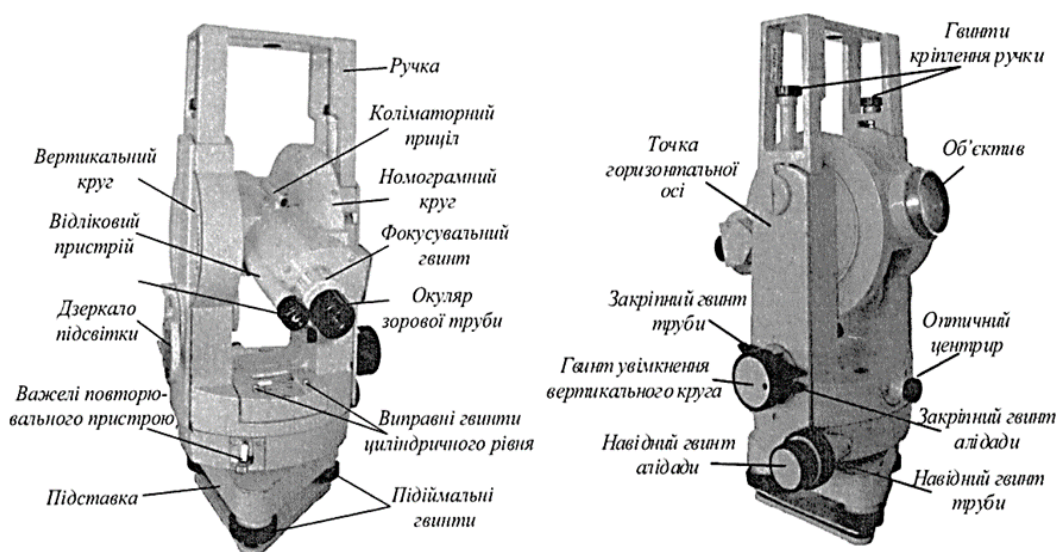


Рис. 10.18. Тахеометр Delta-010B

та мікрооб'єктів зображення рейки та кривих номограм потрапляє призми та мікрооб'єктів зображення рейки та кривих номограм потрапляє на площину сітки ниток, яке спостерігач бачить в окулярі зорової труби.

Для тахеометричного знімання найчастіше застосовують номограмний тахеометр Delta-010В (рис. 10.18). Цифри в назві тахеометра – це середня квадратична похибка визначення горизонтальної проекції віддалі в сантиметрах.

Основою тахеометра Delta-010В є повторювальний теодоліт.

Зорова труба дає пряме зображення, має закріплювальний і навідний гвинти й коліматорний приціл. Чітке зображення спостережуваного предмета у зоровій трубці встановлюють фокусувальним гвинтом, а сітки ниток – діоптрійним кільцем.

Тахеометр має горизонтальний, вертикальний круги з нанесеними градусними поділками від  $0^\circ$  до  $359^\circ$  та номограмний круг. У робочий стан тахеометр устанавлюють трьома підймальними гвинтами підставки спочатку приблизно за допомогою сферичного рівня, а точно за допомогою циліндричного рівня.

Щоб скріпити горизонтальний круг з алідадою, потрібно натиснути донизу важіль скріплювального пристрою. Тоді алідада й лімб обертаються разом. Для роз'єднання горизонтального круга й алідади треба натиснути на клямку, після чого важіль скріплювального пристрою підніметься. У такому положенні важеля алідада може обертатися, а горизонтальний круг залишається нерухомим.

Для підсвічування кругів є дзеркало. Зображення горизонтального й вертикального кругів оптична система передає у поле зору шкалового мікроскопа. Найменша ціна поділки шкали відлікового мікроскопа  $1'$ . Отже, відлічувати круги можна з точністю  $0,1'$ .

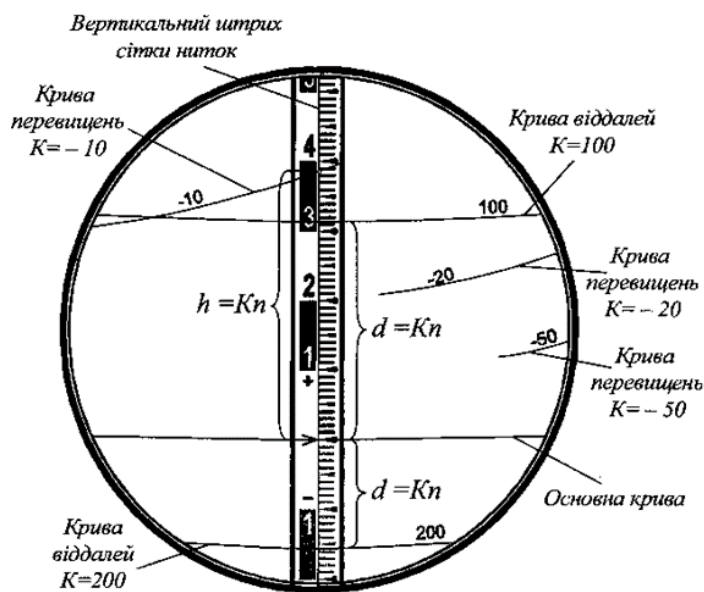


Рис. 10.19. Поле зору труби тахеометра Delta-010В

Якщо при крузі ліворуч

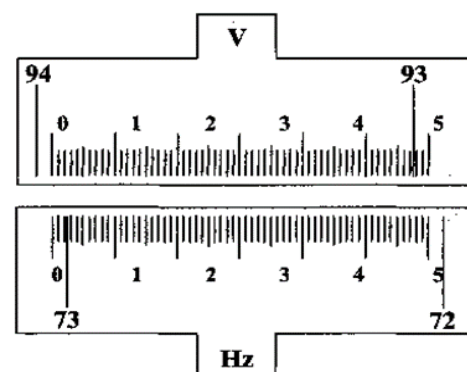


Рис. 10.20. Поле зору відлікового мікроскопа тахеометра Delta-010В.

Відліки:

горизонтального круга  $73^\circ 02,3'$

вертикального круга  $93^\circ 57,5'$

(КЛ), візирна вісь горизонтальна, а вісь обертання приладу прямовисна, то відлік вертикального круга приблизно дорівнює  $90^\circ$ , а при крузі праворуч (КП) –  $270^\circ$ .

На рис.10.19 зображено поле зору зорової труби тахеометра Delta-010В для круга ліворуч.

Номограма тахеометра Delta-010В має основну криву, криві для вимірювання перевищень (із коефіцієнтами  $\pm 10$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 50$  і  $\pm 100$ ) і дві криві для вимірювання горизонтальних проєкцій з коефіцієнтами 100 і 200.

Для вимірювання перевищення та горизонтальної проєкції зорову трубу наводять вертикальним штрихом сітки ниток на середину тахеометричної рейки, а основною кривою – на висоту приладу, відкладену на рейці. Для вимірювання перевищення та горизонтальної проєкції зорову трубу наводять вертикальним штрихом сітки ниток на середину тахеометричної рейки, а основною кривою – на висоту приладу, відкладену на рейці.

Відлічують кількість сантиметрів від перетину основної кривої з вертикальним штрихом сітки ниток до перетину його з номограмною кривою з коефіцієнтом  $K$ . На (рис. 10.19) перевищення  $h = K n = -10 \times 38,7 \text{ см} = -387,0 \text{ см} = 3,87 \text{ м}$ , а горизонтальна проєкція  $d = K n = 100 \times 31,3 \text{ см} = -3130 \text{ см} = 31,3 \text{ м}$  або  $d = K n = 200 \times 15,6 \text{ см} = -3120 \text{ см} = 31,2 \text{ м}$ .

Вертикальний та горизонтальний круги відлічують за допомогою шкалового мікроскопа, окуляр якого розміщений поряд з окуляром зорової труби. Одночасно видно горизонтальний і вертикальний круги (рис. 10.20).

#### 10.4.4. Будова електронного тахеометра Leica TC 403L

Сьогодні в геодезичній практиці все ширше застосовують не оптичні, а

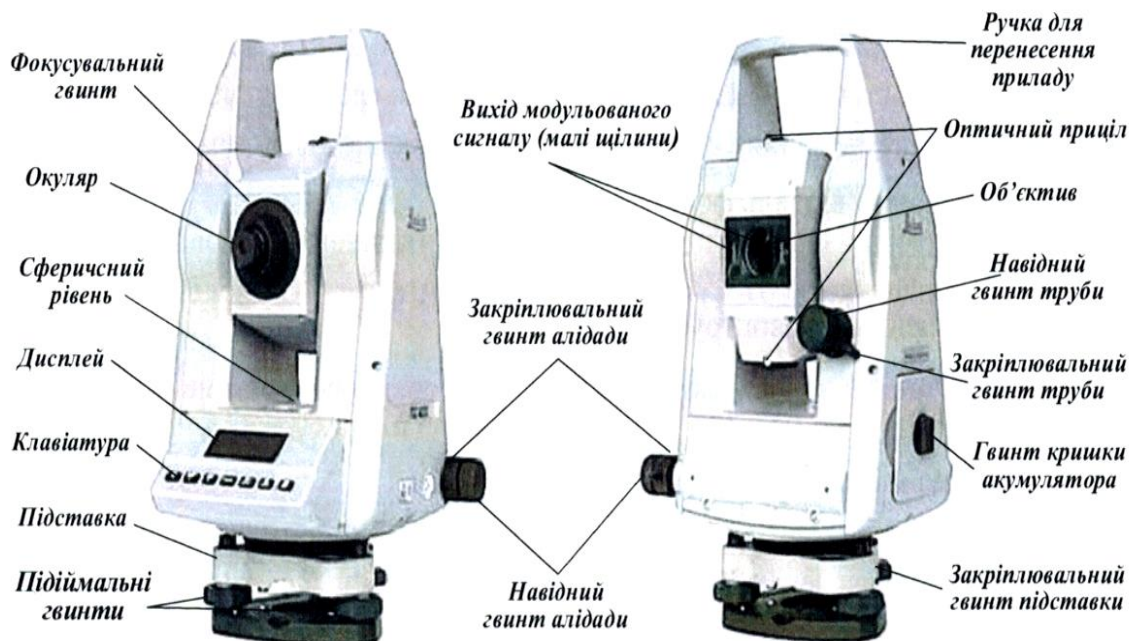


Рис. 10.21. Загальний вигляд електронного тахеометра Leica TC 403L

електронні тахеометри. Ці прилади призначені для оптимізації виробничих процесів, зменшення непродуктивних витрат та поліпшення якості робіт.

Відомі світові фірми Sokkia (Японія), Leica (Швейцарія) виробляють різні серії електронних тахеометрів, які використовуються як для знімальних робіт, так і для розв'язання інженерних задач. Внутрішні програми тахеометрів дають змогу виконувати знімання і орієнтування, обернені засічки, обчислення площ, здійснювати розмічувальні роботи в будівництві.

На рис. 10.21 показано загальний вигляд та основні частини електронного тахеометра Leica TC 403L, а на рис.10.22 – написи на клавіатурі.



Рис. 10.22. Написи та зображення на клавіатурі

Комплект електронного тахеометра складається зі штатива, акумулятора, зарядного пристрою, відбивачів, штанги зі сферичним рівнем для встановлення відбивача над точкою, ключів, ниткового виска, ламаного окуляра.


Основні технічні характеристики електронного тахеометра Leica TC403L:

- оптимальні значення вимірювання віддалі (залежать від погоди та кількості призм на відбивачі) –  $800 \div 2000$  м;
- середня квадратична похибка вимірювання лінії (рівняння регресії):
  - у режимі "точно"  $m_D = 3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} D \text{ мм}$ ;
  - у режимі "стеження"  $m_D = 10 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} D \text{ мм}$ ;
- час вимірювань
  - у режимі "точно" – 4 с,
  - у режимі "стеження" – 0,5 с;
- найкоротша віддаль фокусування – 2 м;
- поле зору труби –  $1,5^\circ$ ;
- збільшення зорової труби –  $28\times$ ;
- ціна поділки
  - сферичного рівня – 4' ,
  - електронного рівня – 5" ;
- якщо висота приладу 1,5 м, максимальне відхилення центра лазерної точки від центра круга, який вона описує під час обертання алідадної частини, –  $\leq 0,5$  мм;
- компенсатор вертикального круга рідинний,
  - діапазон дії – 5' ;
  - точність компенсування – 2" ;
- екран - кристалічний (4 рядки з 16 символів);
- внутрішня пам'ять – 1300 масивів даних для вимірів або 1800 точок із координатами.

Запас живлення від акумулятора GEB70 (12В/2.0А): вимірювання кутів – 30 годин, у режимі вимірювання кутів та лінії – 12 годин, а від акумулятора GEB77 (12В/0.6А) – відповідно 10 та 5 годин.

### 10.4.5. Керування тахеометром Leica TC 403L

Перш ніж увімкнути електронний тахеометр за допомогою трьох підймальних гвинтів, бульбашку сферичного рівня переміщують на середину. Якщо цього не зроблено, то після вмикання приладу лунає звуковий сигнал, а на дисплеї висвітиться повідомлення ERROR 58 Tilt.

Вмикають та вимикають прилад за допомогою кнопки  після ввімкнення прилад виконує автоматичне тестування і на дисплеї з'явиться зображення одного із шаблонів, наведених на рис.10.23.

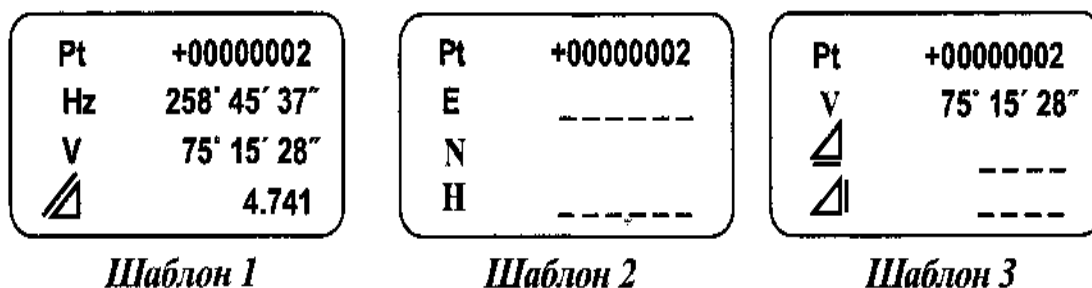


Рис. 10.23. Шаблиони вимірювань

У шаблонах Pt – номер спостережуваної точки. Залежно від вибраного шаблону на дисплеї після вимірювань отримують значення:

- у шаблоні 1 – горизонтального кута Hz, вертикального кута V, похилої лінії  $\triangle$ ;
- у шаблоні 2 – ординати E, абсциси N, висоти H точки спостереження;
- у шаблоні 3 – вертикального кута V, горизонтальної проекції  $\triangle$ , перевищення  $\triangle$ .

Далі тахеометром керують за допомогою кнопок клавіатури та меню: “MENU” і “CONFIG MENU” (рис. 10.24).

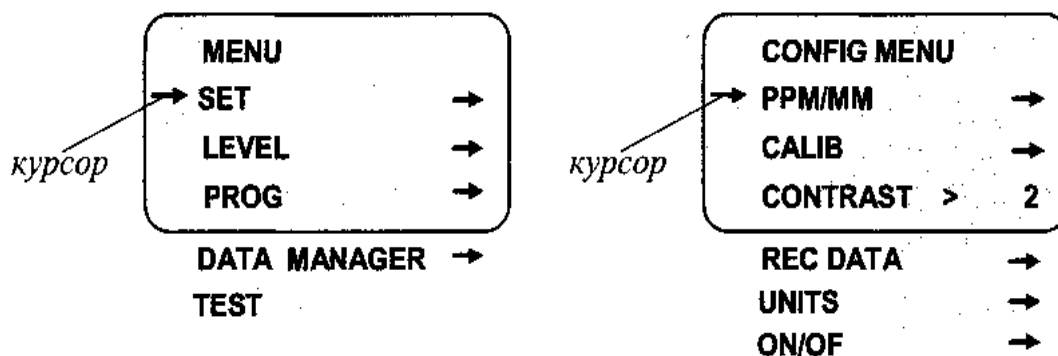


Рис. 10.24. Зображення на екрані “MENU” і “CONFIG MENU”



Для виклику на екран “MENU” необхідно натиснути клавішу MENU , а для виклику “CONFIG MENU” – натиснути клавішу MENU і втримувати її приблизно 2 с до появи звукового сигналу.

У “MENU” є такі підменю: “SET” ,“LEVEL”, “PROG”, “DATA MANAGER”, “TEST”;

“CONFIG MENU” має підменю: “PPM/MM”, “CALIB”, “CONTRAS” , “REC DATA”, “UNITS”, “ON/OF”.

На вибране підменю вказує курсор, який переміщують до підменю клавішами DIST (вверх) або ALL (вниз).

Щоб увійти у вибране підменю, тобто викликати його зображення на дисплей, потрібно клавішами DIST або ALL підвести до нього курсор і натиснути клавішу REG.

У “CONFIG MENU” вводять величини, які використовуватимуться під час роботи, у підменю – функції “MENU” .

#### 10. 4.6. Тахеометричні рейки

Для виконання тахеометричного знімання можна використовувати нівелірні рейки. Вище розглянуто приклад застосування нівелірних рейок

(рис. 9.3). Однак нівелірні рейки мають сантиметрові поділки і під час вимірювання віддалей, більших за 150 – 200 м, їх погано видно. Краще, коли на рейці нанесено поділки різної величини – по два, п'ять, десять і більше сантиметрів. Нівелірні рейки важкі. Тахеометричні рейки легші, тому що вони не обов'язково повинні бути двосторонніми, тобто дерев'яні бруски можуть мати менший поперечний переріз (не 10 см × 4 см, а 5–6 см × 2–3 см).

Тахеометричні рейки мають півметрові, дециметрові та сантиметрові поділки (рис.10.25). Під час вимірювання ліній нижні частини рейки часто не видно через складність рельєфу та рослинність. Тому використовують розсувні рейки, які складаються з двох брусків: нижня частина - це підставка, довжина якої близько 2 м, із сантиметровими поділками. По ній пересувається рейка завдовжки 3 – 4 м. Її нижній зріз (п'ятку) можна закріпити скобою на висоті приладу  $i$  (зазвичай  $i = 1,5 \div 1,7$  м).

Фірма "Карл Цейс" виготовляє рейки,

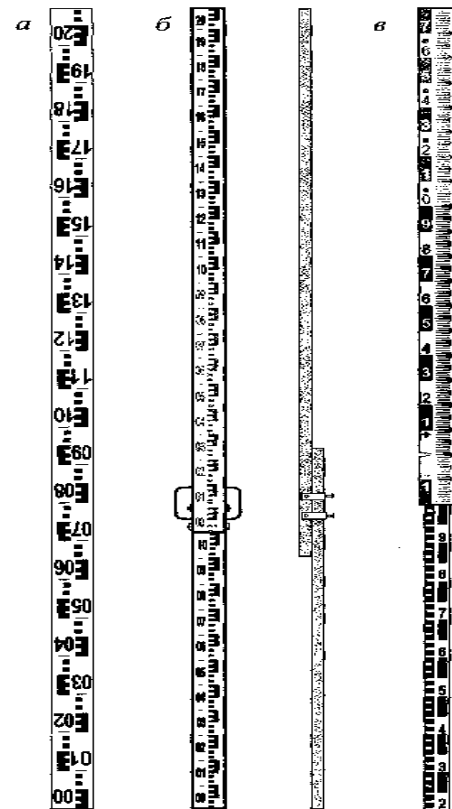


Рис. 10.25. Рейки, які використовують для тахеометричного знімання

в яких підставку можна вставити всередину основної рейки. Цей принцип використовують також для виготовлення розсувних рейок з метровими секціями, що вставляються поступово – верхня в середню, середня в нижню, і в складеному вигляді мають довжину близько 1 м. В робочому стані секції рейки жорстко скршлені пружинними фіксаторами. Такі рейки часто виготовляють з дюралюмінію. Вони легкі та зручні в транспортуванні.

Використання тахеометричних рейок спрощує обчислення перевищень. Якщо зорову трубу навести на висоту приладу, тобто  $l = i$ , то формула тригонометричного нівелювання набуває вигляду

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu. \quad (10.38)$$

## 10.5. Виконання тахеометричного знімання поверхні

### 10.5.1. Геодезична мережа тахеометричної зйомки

Тахеометрична зйомка на гірських підприємствах виконується для отримання детальних планів поверхні шахти або кар'єру, при дослідженні трас дорожніх споруд, геологічному картированні і т. п., а також при визначенні об'ємів корисної копалини на складах і відвалів неправильної форми.

Польовим роботам при тахеометричній зйомці передують складання проекту, що включає підбір необхідних картографічних матеріалів, каталогів пунктів планово-висотного обґрунтування і вибір способу створення знімальної мережі залежно від об'єкту зйомки, її масштабу і наявних приладів. Польові роботи при тахеометричній зйомці включають рекогносцирування місцевості, створення мережі знімального обґрунтування і зйомку ситуації і рельєфу.

*Рекогносцирування місцевості.* Створення мережі знімального обґрунтування. Рекогносцирування включає знайомство з місцевістю в районі майбутньої зйомки, відшукування пунктів планово-висотного обґрунтування і вибір місця для закріплення точок знімальної мережі. Ці точки слід розташовувати по можливості на височинах з хорошим оглядом місцевості з урахуванням забезпечення взаємної видимості між суміжними точками.

Густина точок знімальної мережі залежить від масштабу зйомки, складності рельєфу, забудованої або залісної території, що знімається. Кількість точок знімальної мережі на  $1 \text{ км}^2$  незабудованих територій для планів масштабу 1:1 000 повинно бути не менше 16, 1:2 000 – 12, 1:5 000 – 4; на незабудованих територіях при зйомці в масштабі 1:500 і на забудованих територіях щільність точок знімальної мережі визначається рекогносцируванням.

Планово-висотну основу тахеометричної зйомки складають пункти державної геодезичної опорної мережі (ДГО), мереж згущування і знімальної мережі. Знімальна геодезична мережа створюється у вигляді теодолітно – нівелірних ходів при зйомці рельєфу з перерізом до 1 м, теодолітно –

нівелірних ходів при зйомці рельєфу з перерізом до 1 м, теодолітно – висотних і тахеометричних ходів – при зйомці рельєфу з перерізом через 2 м і більше.

Таблиця. 10.5

**Допустимі параметри тахеометричних ходів**

Масштаб знімання	Із використанням ниткових віддалемірів, оптичних тахеометрів і теодолітів			Із використанням електронних тахеометрів і оптичних теодолітів зі світловіддалемірними насадками		
	Максимальна			Максимальна		
	Довжина ходу, м	Довжина лінії, м	Кількість ліній у ході	Довжина ходу, м	Довжина лінії, м	Кількість ліній у ході
1:5000	1200	300	6	10000	1000	50
1:2000	600	200	5	5000	700	30
1:1000	300	150	3	3000	500	25
1:500	200	100	2	2000	350	20

*Примітка.* Під час знімання в масштабі 1:500 заборонено вимірювати довжини ліній в тахеометричних ходах нитковими віддалемірами.

У *теодолітно – нівелірних ходах* сторони вимірюються мірною стрічкою або оптичними далекомірами, що відповідають по точності, або тахеометрами, горизонтальні кути – технічними теодолітами, а перевищення точок ходу – методом геометричного нівелювання.

У *теодолітно – висотних ходах* довжини сторін і горизонтальні кути вимірюються так само, як і у попередньому випадку; перевищення ж точок ходу визначаються методом тригонометричного нівелювання.

Тахеометричні ходи служать для згущування знімальної мережі. Тому до початку тахеометричних робіт пункти опорної геодезичної мережі і знімального обґрунтування мають бути доведені до щільності, що забезпечує можливість прокладення тахеометричних ходів з дотриманням вимог інструкції [6] (таблиця. 10.5).

*Тахеометричні ходи* відрізняються від теодолітно – висотних тим, що сторони в них вимірюються зазвичай за допомогою нитяного далекоміра. Точки тахеометричних ходів закріплюються так само, як і в теодолітних ходах. Тахеометричні ходи прокладають між пунктами опорної геодезичної мережі і знімального обґрунтування, координати яких відомі з точніших вимірів. Прив'язка цих ходів до опорних пунктів виконується в звичайному порядку.

**10.5.2. Основні вимоги до виконання тахеометричного знімання**

Нижче подано вимоги Інструкції до створення топографічних карт методом тахеометричного знімання [6]. Висота перерізу рельєфу на топографічних картах установлюється відповідно до табл. 10.6.

Таблиця 10.6

Характеристика рельєфу та кути нахилу	Масштаби знімання		
	1:5 000	1:2 000	1:1 000, 1:500
	Висота перерізу рельєфу, м		
Рівнинний, $\nu < 2^\circ$	(0,5) 1,0	0,5 (1,0)	0,5
Погорбкований, $\nu < 4^\circ$	(1,0) 2,0	0,5* 1,0	0,5
Горбистий, $\nu < 6^\circ$	2,0 (5,0)	(1,0) 2,0	0,5 1,0*
Гірський, $\nu > 6^\circ$	2,0* 5,0	2,0	1

**Примітка.** Висоти перерізу рельєфу, значення яких відмічені зірочкою, на топографічних планах населених пунктів не використовуються. На топографічних планах населених пунктів можливе застосування висот перерізу рельєфу, значення яких наведені в дужках, але в обмежених випадках, що передбачено технічним проектом або програмою.

Середні похибки в положенні на карті предметів і контурів місцевості з чіткими обрисами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0,5 мм, а в гірських та залісених районах 0,7 мм. На територіях із капітальною та багатоповерховою забудовою середні похибки у взаємному положенні на карті найближчих контурів (капітальних споруд, будинків та інше) мають бути не більшими за 0,4 мм. Для переходу від середніх похибок  $\Delta$  до середніх квадратичних похибок  $m$  застосовують коефіцієнт 1,25, тобто  $m = 1,25 \Delta$ .

Середні похибки знятого рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не повинні перевищувати за висотою:

- 1/4 висоти перерізу рельєфу для кутів нахилу місцевості до  $2^\circ$ ;
- 1/3 для кутів нахилу місцевості від  $2^\circ$  до  $6^\circ$  для карт масштабів 1:5 000, 1:2 000 та до  $10^\circ$  для карт масштабів 1:1 000 та 1:500.

У залісеній місцевості ці допуски збільшуються у 2,5 раза.

Віддалі від точок тахеометричних ходів (знімальних станцій) до пікетів і віддалі між пікетами із застосуванням ниткових віддалемірів не мають перевищувати величин, поданих в Інструкції [15] (див. табл. 10.7). Якщо визначають положення нечітких або другорядних контурів, віддалі можна збільшувати у 1,5 раза.

Віддалі від точок тахеометричних ходів до пікетів і віддалі між пікетами із використанням електронних тахеометрів та оптичних теодолітів із світловіддалемірними насадками не повинні перевищувати значень, наведених у табл. 10.8.

Таблиця 10.7

Масштаб знімання	Переріз рельєсу, м	Максимальна віддаль між пікетами, м	Максимальна віддаль від приладу до рейки під час знімання рельєфу, м	Максимальна віддаль від приладу до рейки під час знімання контурів, м
1:5 000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150
1:2 000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
	2,0	50	250	100
1:1 000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
1:500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Під час виконання тахеометричного знімання контролюють стабільність орієнтування приладу, результати перевірки записують у журнал або реєструють у терміналі цифрових даних електронних тахеометрів.

Допускається змінювати напрямок орієнтування не більш ніж на 1,5' під час знімання оптичними тахеометрами та технічними теодолітами і 20" під час знімання електронними тахеометрами та точними теодолітами зі світло-віддалемірними насадками.

Таблиця 10.8

Масштаб знімання	Переріз рельєфу, м	Максимальна віддаль між пікетами, м	Максимальна віддаль від приладу до рейки під час знімання рельєфу, м	Максимальна віддаль від приладу до рейки під час знімання контурів, м
1:5 000	0,5	60	1 000	1 000
	1,0	80	1 000	1 000
	2,0	100	1 000	1 000
	5,0	120	1 000	1 000
1:2 000	0,5	40	750	750
	1,0	40	750	750
	2,0	50	750	750
1:1 000	0,5	20	600	600
	1,0	30	600	600
1:500	0,5	15	500	500
	1,0	15	500	500

На топографічних картах масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 з надійною точністю і детальністю залежно від масштабу карти зображають:

- пункту триангуляції, полігонометрії, трилатерації, ґрунтові та стінні репери і пункти знімальної основи;
  - будинки й будівлі, їхні характеристики згідно з умовними знаками;
  - промислові об'єкти;
  - залізничні, шосейні та ґрунтові дороги і споруди біля них;
  - гідрографію (річки, струмки, озера, канали, ставки, колодязі, криниці, джерела, водосховища тощо);
  - об'єкти гідротехнічні та водного транспорту; об'єкти водопостачання;
  - рельєф місцевості;
  - рослинність;
  - ґрунти і мікроформи земної поверхні;
  - державний кордон, адміністративні межі;
  - власні назви населених пунктів, вулиць, залізничних станцій, пристаней, озер, річок, перевалів, долин, ярів та інших географічних об'єктів.
- Знімання виконують на:

- ділянках господарсько-цінних угідь, площа яких на карті становить  $\geq 20 \text{ мм}^2$ ;
- будь-яких інших ділянках, площею в масштабі карти  $\geq 20 \text{ мм}^2$ , що розташовані на ділянці господарсько-цінних угідь;
- ділянки, що не мають господарського значення і площа яких в масштабі карти становить  $\geq 50 \text{ мм}^2$ .

Під час знімання лісу визначають породу, середню висоту дерев, їхній середній діаметр на висоті 1,5 м, середні віддалі між деревами в різних частинах ділянки, контури рідколісся, зрубів, згарищ, сільськогосподарських угідь, розташованих у лісі.

Якщо на карті ширина річок, струмків, каналів на карті зобразиться  $\geq 3 \text{ мм}$ , то знімання виконують на двох берегах, а до 3 мм – тільки на одному, вказуючи напрям течії та вимірюючи її швидкість.

Вигини обрисів об'єкта, якщо в масштабі карти вони менші за 0,5 мм, спрямляються.

Переносні та тимчасові споруди (ятки, кіоски, намети тощо) у масштабах 1:2 000 – 1:500 не знімають.

### 10. 5.3. Прокладання тахеометричного ходу

Розглянемо послідовність роботи на окремій станції тахеометричного ходу.

Нехай тахеометричний хід (рис. 10.26) прокладають від пункту полігонометрії 5. На рисунку пункти 4, 5 і 6 є пунктами ДГМ і мережі згущення відповідно. Їхні координати та висоти відомі. Пункти тахеометричного ходу закріплено на місцевості (на рис.10.26 показаний лише пункт тахеометричного ходу 1).

Тахеометричний хід прокладає бригада, в яку входять: виконавець робіт (який виконує вимірювання тахеометром); помічник, який записує результати спостережень в журнал тахеометричного ходу і виконує обчислення на станції та двох реєчників.

Над пунктом 5 встановлюють тахеометр так, щоб його вісь була прямовисною і проходила через центр пункту. Тобто тахеометр нівелюють і центрують. Послідовність виконання цих дій детально описано в розділі II для теодолітів.

Тахеометри можна центрувати нитковим виском, оптичним центриром і за допомогою зорової труби.

Після цього тахеометр орієнтують, тобто:

- діоптрійним кільцем окуляра зорової труби добиваються чіткого зображення сітки ниток, а діоптрійним кільцем відлікового пристрою чіткого зображення штрихів лімба і шкали (відлікового індексу);

- повертаючи алідаду, знаходять таке її положення, коли відлік горизонтального круга дорівнюватиме  $0^{\circ} 00,0'$ ;

- закріплюють алідаду; відкріплюють закріпний гвинт лімба (горизонтального круга) і наводять зорову трубу (спочатку приблизно) за допомогою оптичного візира на візирну ціль, встановлену на сусідньому пункті;

- закріплюють лімб;

- фокусувальним гвинтом зорової труби добиваються чіткого зображення візирної цілі і за допомогою навідного гвинта лімба та зорової труби вертикальний штрих сітки ниток наводять точно на візирну ціль.

У результаті в пункті 5 тахеометр зцентрований над пунктом, знівельований і відлік горизонтального круга дорівнює  $0^{\circ}00,0'$  коли зорова труба наведена на сусідній пункт, тобто прилад приведений в робоче положення.

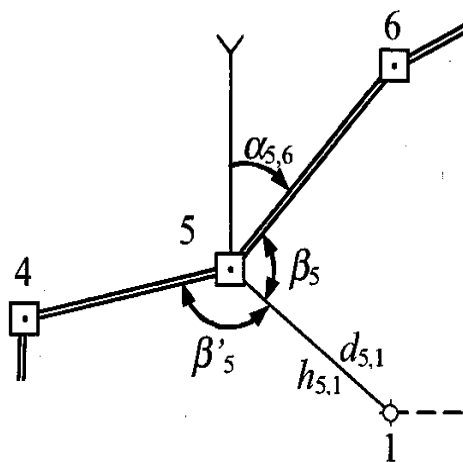


Рис. 10. 26. Вимірювання на станції тахеометричного ходу

На пунктах 6 і 1 встановлюють візирні цілі (віхи, вимірні шпильки або марки) із точністю 3 мм згідно з Інструкцією [5]. Віхи і вимірні шпильки ставлять вістрям на центр знака й утримують їх прямовисно. Візирні марки закріплюють на штативі й центрують так само, як і тахеометр. Зауважимо, що чим коротші сторони кута, тим ретельніше треба центрувати візирні цілі над центрами пунктів.

Горизонтальні кути в тахеометричних ходах вимірюють одним повним прийомом, віддалі на станції вимірюють нитковим віддалеміром або горизонтальні прокладення – номограмними чи електронними тахеометрами і кути нахилу визначають

оптичними тахеометрами або перевищення – номограмними чи електронними тахеометрами.

Вимірюючи горизонтальний кут  $\beta_5$ , відліки записують в колонку 3 журналу (див. табл.10.9). Обчислюють значення горизонтального кута за двох положень вертикального круга. Якщо розходження між ними не перевищує подвійної точності відлікового пристрою горизонтального круга, то обчислюють середнє значення кута, виміряного повним прийомом. У наведеному прикладі горизонтальний кут лівий по ходу і його значення  $\beta_5 = 82^\circ 39,8'$ .

Потім вимірюють лінію  $S_{5-1}$  та її кут нахилу при двох положеннях вертикального круга. Ці вимірювання виконують у такій послідовності:

1) рулеткою або рейкою вимірюють висоту приладу ( $i = 1,26$  м) від осі обертання зорової труби до торця кілка з точністю до 1 см і позначають її значення на рейках;

2) встановлюють рейки на сусідніх пунктах ходу так, щоб осі рейок були вертикальними і проходили через центри пункта. У наведеному прикладі віддаль від пункту 5 до пункт 6 та кут її нахилу не вимірюють, оскільки їхні координати та висоти відомі;

3) при КП спрямовують трубу на рейку, встановлену на пункті 1 так, щоб середній горизонтальний штрих сітки ниток розміщувався біля позначки висоти приладу. Навідним гвинтом зорової труби точно наводять на висоту приладу. Закріплюють горизонтальний круг і відлічують вертикальний круг (відлік  $1^\circ 28,0'$ ). Якщо не видно позначки висоти приладу, тоді наводять на висоту 2 або 2,5 м. У такому разі висоту наведення записують у журнал в колонці "примітка";

4) для вимірювання віддалі зручно спрямовувати нижню віддалемірну нитку на ближню дециметрову поділку рейки.

Ці відліки записують у колонки 4 та 2 журналу відповідно.

З виконаних дій складається один півприйом.

Після цього трубу переводять через зеніт і вимірювання повторюють для вертикального круга КП у викладеній вище послідовності.

У журналі обчислюють:

Після цього трубу переводять через зеніт і вимірювання повторюють для вертикального круга КП у викладеній вище послідовності.

У журналі обчислюють:

- значення місця нуля (МО) вертикального круга за даними відліків вертикального круга на попередній та наступний пункта ходу. Якщо розходження між ними не перевищує подвоєної точності відліку вертикального круга, то обчислюють значення кутів нахилу  $v_i$ ;

- середнє значення з віддалей, отриманих у першому і другому півприйомах, якщо розходження між ними не більше за 1:200 віддалі.



## Сторінка журналу тахеометричного знімання

Дата 27.07.2017 р. Погода:, ясно Вітер: слабкий  
 Спостерігач І. Гриценко Зображення: чітке Записував і обчислив: Т. Серова

№ станції і пікетів	Відліки			Кут нахилу $v$	Горизонтальна проекція $d = K \cdot n \cdot \cos^2 v$	Перевищення $h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - l, \text{ м}$	Висота $H = H_{cm} + h, \text{ м}$	Примітка
	Рейки $n, \text{ см}$	горизонтального круга	вертикального круга					
Назва станції 5; Коефіцієнт віддалеміра $K = 100$ ; Висота приладу $i = 1,26 \text{ м}$ ; Орієнтовано на станцію 6; $MO_{сер} = + 0^\circ 00,5'$ ; $H_{cm} = 245,17 \text{ м}$ .								
КЛ								
1	127,4	$82^\circ 39,5'$	$-1^\circ 27,0'$	$+1^\circ 27,5'$	127,32	+3,24	248,41	
6		$0^\circ 00,0'$						
Величина гор. кута		$82^\circ 39,5'$						
КП								
1	127,5	$267^\circ 10,5'$	$+1^\circ 28,0'$	$+1^\circ 27,5'$	127,41	+3,24	248,41	
6		$184^\circ 30,5'$						
Величина гор. кута		$82^\circ 40,0'$						
Сер. знач. гор. кута		$82^\circ 39,8'$						
КЛ								
1								

Допустиме розходження між виміряними віддальми при  $КЛ$  та  $КП$  можна знайти за формулою

$$\Delta = \frac{S_{сер}}{200}.$$

Якщо є можливість, то ще в полі обчислюють середні довжини сторін ходу, їхні горизонтальні проекції  $d_i$  та перевищення  $h_i$  між пунктами ходу.

Прокладання тахеометричного ходу номограмними тахеометрами аналогічне до прокладання тахеометричного ходу круговими тахеометрами. Відмінність полягає лише в тому, що номограмними тахеометрами на станції тахеометричного ходу вимірюють відразу горизонтальні проекції віддалей та перевищення між віссю обертання труби і висотою наведення головної номограмної кривої.

Існують певні технічні особливості прокладання тахеометричного ходу електронними тахеометрами, а саме:

1. Прилад центрують за допомогою лазерного центрира.

2. Вибирають та встановлюють відповідний шаблон вимірювань, тобто набір величин, які будуть вимірювати.

3. Вибирають одиниці вимірювання.

4. Визначають та вводять в пам'ять приладу значення колімаційної похибки.

5. Знаходять та вводять в пам'ять приладу величину місця нуля (МО), місця зеніту (MZ).

6. Орієнтують прилад у заданому напрямку.

7. Вводять в пам'ять тахеометра висоту  $h_i$  приладу та висоту  $h_r$  відбивача.

8. Вводять у пам'ять тахеометра поправку в довжину лінії за вплив зовнішнього середовища (зі зміною тиску та температури повітря значення атмосферної поправки треба коректувати у пам'яті приладу).

Послідовність прокладання тахеометричного ходу електронними тахеометрами аналогічна вищеописаній методиці для оптичних тахеометрів. Відмінність полягає в автоматичній реєстрації відліків і у тому, що в електронних тахеометрах можна враховувати деякі поправки в результати вимірювань.

#### 10. 5.4. Приведення значення місця нуля (МО) до нуля

Якщо значення місця нуля МО дорівнює нулю і тахеометр приведений в робочий стан, тоді відліки при  $KL$  будуть кутами нахилу.

Коли значення місця нуля велике і незручне для обчислень, тоді необхідно змінити його і зменшити до нуля.

Відлік місця нуля (МО) можна змінити, якщо:

1) змінити положення осі циліндричного рівня на алідаді вертикального круга;

2) змінити положення візирної осі зорової труби або їхнє взаємне розташування.

Якщо тахеометр має циліндричний рівень при алідаді вертикального круга, то змінюють положення осі циліндричного рівня вертикальними виправними гвинтами рівня. Якщо ж тахеометр не має циліндричного рівня при алідаді вертикального круга, то  $МО$  приводить до нуля за допомогою вертикальних виправних гвинтів сітки ниток, тобто змінюють положення візирної осі зорової труби.

Існують два способи приведення  $МО$  до нуля і для тахеометрів з циліндричним рівнем при алідаді вертикального круга і без рівня. Розглянемо другий метод.

***Тахеометр без циліндричного рівня при алідаді вертикального круга.***

*Перший спосіб:*

1. Визначають кут нахилу  $v$  на довільну точку місцевості. Завжди доцільно вибрати спостережувану точку місцевості, розміщену вище від осі обертання зорової труби тахеометра.

2. При *КЛ* наводять зорову трубу на цю саму точку місцевості. Підіймальним гвинтом, що розташований поближе до напрямку на спостережувану точку, бульбашку циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга переміщують на середину, а навідним гвинтом зорової труби встановлюють відлік на вертикальному крузі, який дорівнює значенню кута нахилу. Тоді горизонтальна нитка сітки ниток зміститься із спостережуваної точки.

3. Вертикальними виправними гвинтами сітки ниток переміщують сітку ниток так, щоб її горизонтальна нитка проектувалася на спостережувану точку місцевості.

*Другий спосіб:*

1. Знаходять значення місця нуля (*МО*).

2. Вертикально встановивши вісь обертання тахеометра, повертають зорову трубу у вертикальній площині, спочатку від руки, а потім її навідним гвинтом, встановлюють на вертикальному крузі відлік, який дорівнює значенню *МО*. У такому разі візирна вісь зорової труби буде в горизонтальній площині. На вертикальній площині, наприклад, на стіні будинку позначають точку, на яку проектується центр сітки ниток.

3. Навідним гвинтом зорової труби встановлюють на вертикальному крузі відлік  $0^{\circ}00'$ . Тоді центр сітки ниток зміститься із позначеної на стіні точки.

4. За допомогою вертикальних виправних гвинтів сітки ниток переміщують центр сітки ниток на цю точку.

Після виправлень ще раз визначають місце нуля (*МО*). Якщо необхідно, його виправляють ще раз.

Нагадаємо, що значення місця нуля повинно бути постійним і близьким до нуля. Про постійність місця нуля тахеометра роблять висновок за результатами його визначень протягом декількох днів спостережень.

### **10.5.5. Зйомка ситуації і рельєфу**

Після виробництва вимірів на станції по створенню знімального обґрунтування приступають до зйомки ситуації і рельєфу.

Тахеометрична зйомка місцевості може виконуватися технічними теодолітами або спеціальними тахеометрами. По можливості рекомендується використати для зйомки електронні чи номограмні тахеометри, що дозволяють безпосередньо вимірювати горизонтальні проложения ліній і перевищення точок. Це звільняє виконавця від виміру вертикальних кутів і обчислень, що істотно підвищує продуктивність праці.

Зйомка ситуації і рельєфу може виконуватися одночасно з прокладанням тахеометричних ходів або після того, як ходи прокладені. У першому випадку на кожній станції спочатку роблять усі виміри, пов'язані з прокладанням ходів знімального обґрунтування, а потім виконують зйомку ситуації і рельєфу.

Зйомка місцевих предметів, контурів і рельєфу місцевості робиться, як правило, полярним способом; у виняткових випадках (при зйомці

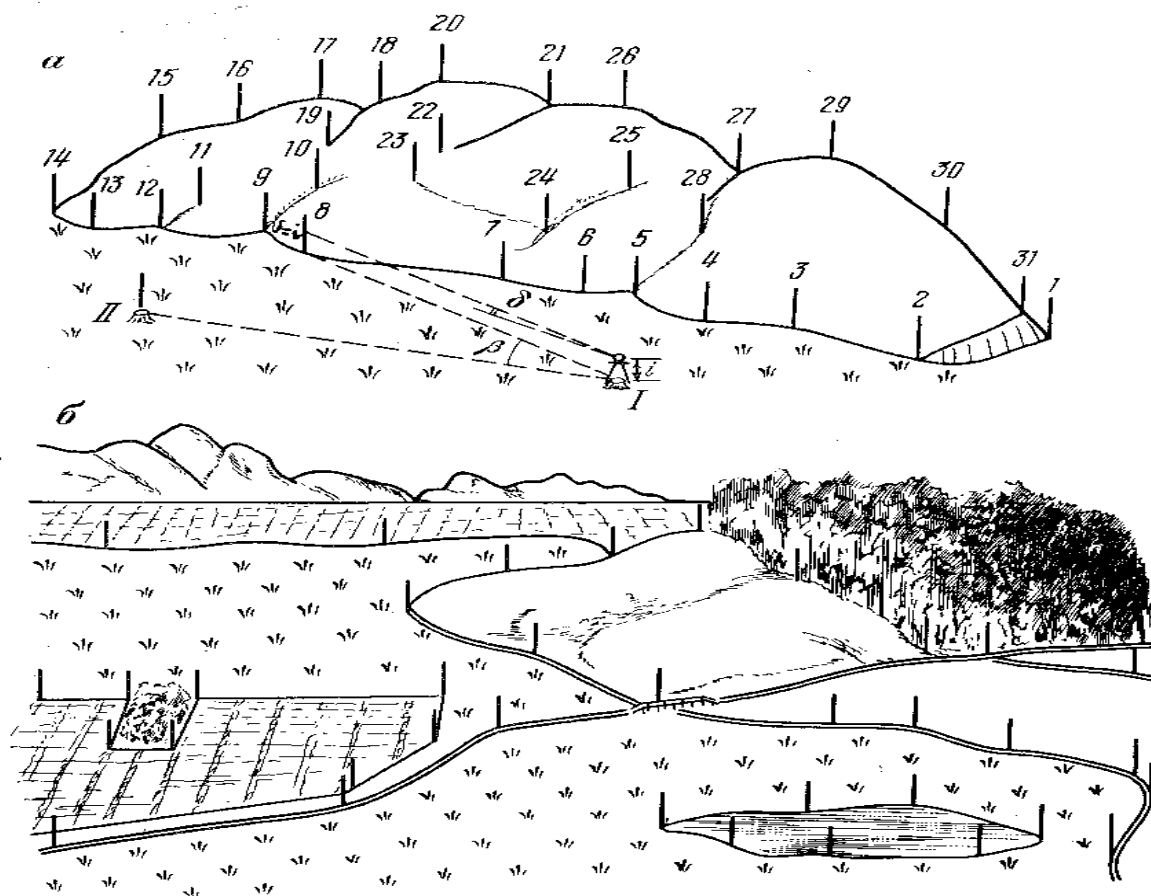


Рис. 10.27. Рейкові точки:  
а - висотні; б – контурні

недоступних місцевих предметів) застосовується спосіб кутових зарубок. Перевищення точок місцевості визначають тригонометричним нівелюванням; у рівнинній місцевості перевищення можна визначати горизонтальним променем, користуючись теодолітом як нівеліром, т. е. встановивши візирну вісь труби теодоліта в горизонтальне положення. Горизонтальні і вертикальні кути вимірюють при одному положенні зорової труби приладу, полярні відстані – нитяним далекоміром.

Навколо кожної станції намічають рейкові (пикетні) точки, необхідна кількість яких залежить від характеру рельєфу, складності ситуації і масштабу зйомки. Рейкові точки вибирають на характерних точках рельєфу – на вершинах і підшвах пагорбів, на дні і бровках улоговин і ярів, по лініях вододілів і водозливів, на перегибах скатів і сідловині, а також в характерних точках контурів і у місцевих предметів. Чим більше масштаб зйомки, менше прийнята висота перерізу рельєфу і складніше характер місцевості, що знімається, тим більшим має бути число рейкових точок. Допустимі відстані між рейковими точками і від приладу до рейки залежать від масштабу зйомки і висоти перерізу рельєфу; згідно Інструкції [5] вони не повинні перевищувати величин, приведених в табл. 10.7.

На рис.10.27 показаний приклад вибору положення висотних і контурних рейкових точок [10, 11].

Для зображення рельєфу встановлюють рейку на усіх точках перегинів місцевості по характерних лініях рельєфу з таким розрахунком, щоб скат між сусідніми рейковими точками можна було вважати рівномірним, допускаючи коливання в межах не більше половини висоти перерізу рельєфу горизонталями. Так, для того, щоб зображувати рельєф пагорба (рис. 10.27, а), реечник повинен послідовно встановити рейку в наступних точках: 1 – 9, 12, 13, 14 – для визначення підосви пагорба, 15, 16, 17, 30, 31 – перегинів скатів, 20, 26,

29 – вершини пагорба, 21, 27 – сідловини, 10, 11, 19, 22, 28 – напрямів ліній тальвегов, лощин і т. п. В межах ділянки місцевості, що знімається, мають бути зняті усі об'єкти ситуації, що виражаються в заданому масштабі плану. При виборі контурних точок (рис. 10.27, б) слід мати на увазі, що вигини контурів, що знімаються, менше 0,5 мм в масштабі плану випрямляються; ділянки сільськогосподарських угідь і контури рослинного покриву площею до 10 мм<sup>2</sup> на плані не показуються.

#### **10.5.6. Послідовність роботи на станції під час тахеометричного знімання**

Тахеометричне знімання виконує бригада, яка складається з 3 – 4 осіб.

Послідовність роботи на окремій станції така [9]:

Тахеометр центрують над центром пункту знімальної основи, горизонтують (нівелюють) та орієнтують при *КЛ* на задній пункт ходу.

1. Вимірюють рулеткою (або рейкою) висоту приладу *i*. Його значення записують в журнал та відкладають на рейках. У журналі вказують дату, погоду, прізвище спостерігача та його помічника.

Пікети, розміщені на мостах, роздоріжжях, рогах будівель тощо, є одночасно контурними і висотними.

Одночасно з набором пікетів ведуть абрис. Від його якості залежить достовірність відображення на плані або карті контурів та рельєфу місцевості. На абрисі показують опорні геодезичні пункти, пікети, об'єкти, характерні точки та лінії рельєфу місцевості, напрями схилів, а деколи схематично горизонталі стрілками позначають напрямки між пікетними точками, між якими необхідно інтерполювати горизонталі. Напрямок стрілок вказує на пониження рельєфу.

На абрисі біля пунктів планово-висотної основи й пікетів вказують їхні номери. У нумерації пікетів спочатку вказують номер станції, а поруч номер пікету для неї. Наприклад, 5.01, де 5 – номер станції, 01 – номер пікету.

На абрисі не викреслюють масштабних умовних знаків, а лише записують їх назви, наприклад, рілля, лука, фруктовий сад тощо.

На абрисі вказують назви населених пунктів, річок, водойм, ширину річок, доріг, глибину каналів та інші відомості, потрібні для складання карти.

Пікетні точки повинні рівномірно покривати поверхню знімання і їхня густота має відповідати вимогам Інструкції [5] (див. табл. 10.7 і 10.8). Їх кількість залежить від складності ділянки знімання, мікрорельєфу тощо.

На рис.10.28 наведено приклад абрису з нескладною ситуацією та рельєфом. На цій ділянці є польова дорога, яка є межею між луками та ріллям.

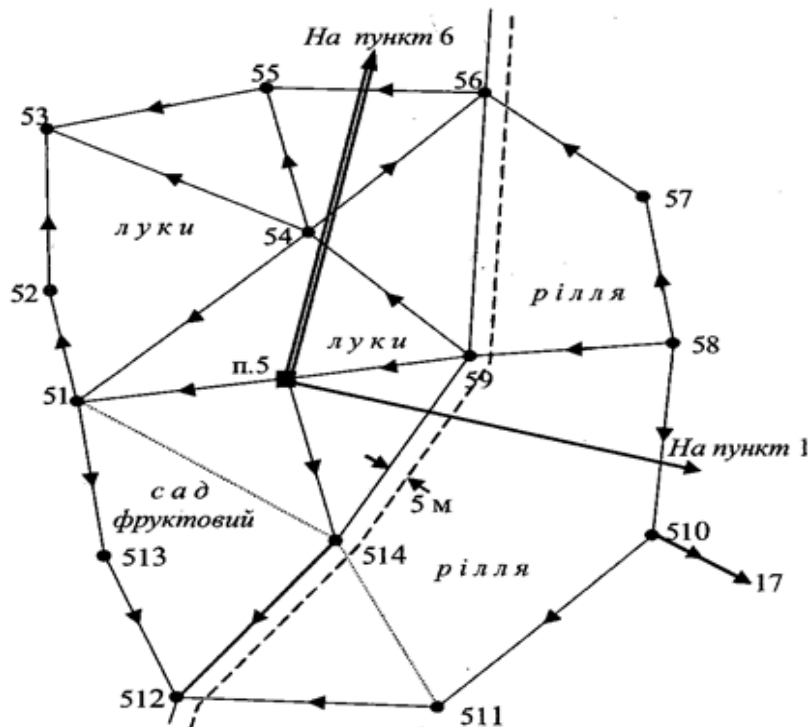


Рис. 10.28. Абрис на ст.5 тахеометричного знімання

Тахеометричне знімання можна виконувати як під час прокладання тахеометричного ходу, так і окремо, тобто тоді, коли хід вже прокладено. У такому разі треба визначити місце нуля на станції. Для цього центр сітки ниток наводять на добре видну точку при крузі праворуч і ліворуч відлічують вертикальний круг. Відліки записують у журнал тахеометричного знімання.

Обчислюють місце нуля  $MO$  і записують його в журнал. Для контролю знаходять за трьома формулами значення кута нахилу (див. підрозд. 9.2.3).

*Примітка.* Якщо знімання виконують разом із прокладанням ходу, то використовують значення  $MO$ , обчислене під час вимірювання вертикаль – них кутів на сусідні точки ходу

При крузі ліворуч перевіряють орієнтування на пункт 6 (відлік горизонтального круга має дорівнювати  $0^{\circ}00,0'$ ) і записують у журналі "орієнтовано на станцію 6" (див. табл.10.10).

Після цього виконують знімання пікетних точок:

- встановлюють прямовисно рейку на вибраний пікет;
- записують у графу 1 журналу і на абрисі номер пікету. У графі "Примітка" зазначають, де встановлено рейку;

- спрямовують сітку ниток на цю рейку так, щоб вертикальна нитка потрапляла на середину поділок рейки, а середня горизонтальна нитка була близько до відліку висоти приладу;
- спрямовують віддалемірний штрих сітки ниток на початок вимірюють віддаль і записують її значення у графу 2 журналу;
- віддаль і записують її значення у графу 2 журналу;
- спрямовують середню горизонтальну нитку на відкладену на рейці висоту приладу, відлічують горизонтальний та вертикальний круг і відліки записують у колонки 3 і 4 журналу відповідно.

Таблиця 10.10

**Сторінка журналу тахеометричного знімання**

Дата 29.07.2010 р.

Погода: ясно

Вітер: слабкий

Спостерігав І. Гриценко

Зображення: чітке

Записував і обчислив: Т. Серова

№ станцій і пікетів	Відліки			Кут нахилу $\nu$	Горизонтальна проекція $d = K \cdot n \cdot \cos^2 \nu$	Перевіщення $h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - l$ , м	Висота $H = H_{\text{ст}} + h$ , м	Примітка
	рейки $n$ , см	горизонтального круга	вертикального круга					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Назва станцій 5; Коефіцієнт віддалеміра $K=100$ ; Висота приладу $i = 1,26$ м; Орієнтовано на станцію 6; $MO_{\text{сер}} = + 0^{\circ}00,5'$ ; $H_{\text{ст}} = 245,17$ м.								
КП								
6			$-1^{\circ}43,0'$	$+1^{\circ}43,5'$				
Величина гор. кута								
КЛ								
6		$0^{\circ}00,0'$	$+1^{\circ}44,0'$	$+1^{\circ}43,5'$				
Величина гор. кута								
Сер. знач. гор. кута								
КЛ								
51	47,2	$262^{\circ}40'$	$-2^{\circ} 44'$					
52	54,3	$285^{\circ}53'$	$-3^{\circ} 51'$					$l = 2.0$ м
53	86,5	$307^{\circ}22'$	$-4^{\circ} 38'$					рельєф
Ст. Б		$0^{\circ} 01'$						

Якщо неможливо навести горизонтальний штрих сітки ниток на висоту приладу, відкладену на рейці (наприклад, ця поділлка закрита рослинністю, забудовами, огорожами тощо), середній горизонтальний штрих сітки ниток наводять на іншу ділянку рейки, як правило, ад відліки 2 м чи 2,5 м на рейці. Утакому разі у журналі навпроти пікету у колонці "Примітка" записують висоту наведення.

Якщо середній горизонтальний штрих сітки ниток наводять на верх рейки або коли неможливо відлічити рейку за одним із віддалемірних штрихів, то рейку відлічують за середнім горизонтальним штрихом і одним із віддалемірних штрихів. У такому разі віддаль від приладу до пікету обчислюють, використовуючи коефіцієнт віддалеміра  $K = 200$ .

Тахеометричне знімання номограмним та електронним тахеометрами виконують в такій самій послідовності, як і круговим тахеометром. Відмінність лише у тому, що ці тахеометри дають змогу відразу отримати горизонтальні проєкції ліній та перевищення і значно спрощують процес вимірювання і опрацювання польових результатів. Зауважимо, що абрис ведеться завжди, навіть коли знімання виконують електронним тахеометром.

#### 10.5.7. Камеральна обробка результатів тахеометричної зйомки

Камеральні роботи при тахеометричній зйомці включають: 1) перевірку польових журналів вимірів; 2) обчислення планових і висотних координат ( $x$ ,  $y$ ,  $H$ ) точок тахеометричних ходів; 3) обчислення відміток рейкових точок на кожній станції; 4) складання топографічного плану місцевості.

Перевірка записів і обчислень в польових журналах робиться в дві руки (спостерігачем і його помічником). При цьому наново обчислюють горизонтальні і вертикальні кути, горизонтальні проложения, прямі, зворотні і середні перевищення точок тахеометричних ходів. Виявлені погрішності усуваються шляхом відповідних виправлень.

Розглянемо, як опрацювають сторінки тахеометричного журналу (табл.10.11). Знімання місцевості виконували з пункту 5, координати та висота якого відомі [9]:

1. На станції 1 обчислюють значення місця нуля ( $MO$ ) за відліками вертикального круга, навівши зорову трубу при  $KП$  та  $КЛ$  на рейки, встановлені на станціях 6 та 1, за формулою

$$MO = \frac{КЛ_6 + КЛ_1 + КП_6 + КП_1}{4}. \quad (10.39)$$

У такому разі цьому висота приладу дорівнює висоті наведення Для станції 5 (див табл. 10.11) місце нуля дорівнює

$$MO = \frac{3^{\circ}19,5' + 2^{\circ}36,0' - 3^{\circ}17,5' - 2^{\circ}34,0'}{4} = +0^{\circ}01,0'.$$

2. Обчислюють кути нахилу напрямків на точку 6 та 1 тахеометричного ходу за відліками при  $КЛ$  та  $КП$  за формулами



$$v_i = KL_i - MO, \quad (10.40)$$

$$v_i = MO - KP_i. \quad (10.41)$$

І для контролю за формулою

$$v_i = \frac{KL_i - KP_i}{2}, \quad (10.42)$$

де  $i$  – номер точки, на яку виконували спостереження.

Їхні числові значення записують у колонку 5 табл. 10.11.

3. Визначають горизонтальні проекції від точки спостережень до пікетних точок за формулою

$$d = K \cdot n \cdot \cos^2 v, \quad (10.43)$$

де  $K$  – коефіцієнт ниткового віддалеміра ( $K = 100$ ),  $n$  – віддаль частки шкали рейки, що розміщена між віддалемірними штрихами сітки ниток. Якщо значення  $S$  відлічують в сантиметрах, то значення  $d$  відлічують в сантиметрах, то значення вимірної відстані  $S' = K \cdot n$  буде виражене в метрах. Тобто

$$d = S' \cdot \cos^2 v. \quad (10.44)$$

Значення горизонтальних проекцій вимірних віддалей записують у колонку 6 табл. 10.11.

4. Обчислюють перевищення між станцією і пікетними точками за однією з формул

$$h_i = 0.5 S' \sin 2v, \quad (10.45)$$

$$h_i = d \cdot \operatorname{tg} v \quad (10.46)$$

Висоти пікетних точок (пікетів) знаходять за формулою

$$H_{PKi} = H_{cm} + h_e, \quad (10.47)$$

де  $H_{PKi}$  – висота пікетної точки;  $H_{cm}$  – висота станції, з якої виконували знімання;  $h_e$  – вимірне перевищення між станцією та пікетною точкою.

Якщо під час вимірювань наводилися горизонтальною ниткою сітки ниток на висоту, то висоту такого пікету визначають за формулою

$$H_{PKi} = H_{cm} + h_e + i - l. \quad (10.48)$$

На цьому закінчуються обчислювальні роботи під час тахеометричного знімання.

Таблиця 10.11

## Журнал тахеометричного знімання

Дата  
ВимірювавПогода: сонячно, слабкий вітер  
Записував і обчислив

№ станцій і пікетів	Відліки			Кут нахилу, $\nu$	Горизонтальна проекція $d = K \cdot n \cdot \cos^2 \nu$	Перевищення $h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - l$	Висота $H = H_{\text{ст}} + h$	Примітка
	рейки $n$ , см	горизонтального круга	вертикального круга					
Назва станції: 5; Коефіцієнт віддалеміра: $K = 100$ ; Висота приладу: $i = 1,34$ м; Орієнтування лімба на станцію: 6; Місце нуля: $MO = +0^\circ 01,0'$ ; $H_{\text{ст}} = 222,34$ м.								
КП								
1			$-2^\circ 34,0'$					
6			$-3^\circ 17,5'$					
Величина гор. кута								
КЛ								
1			$+2^\circ 36,0'$					
6		$0^\circ 00,0'$	$+3^\circ 19,5'$					
Величина гор. кута								
Сер. кут								
КЛ								
11	122,4	$47^\circ 32'$	$-0^\circ 32'$	$-0^\circ 33'$	172,0	-1,65	220,69	
12	106,7	$71^\circ 42'$	$-0^\circ 52'$	$-0^\circ 53'$	106,0	-1,63	219,05	$l = 3$ м
13	101,2	$112^\circ 32'$	$-2^\circ 51'$	$-2^\circ 52'$				
14	122,0	$133^\circ 06'$	$-4^\circ 46'$	$-4^\circ 47'$				
15	113,1	$163^\circ 28'$	$-3^\circ 20'$	$-3^\circ 21'$				
16	70,2	$146^\circ 08'$	$-1^\circ 31'$	$-1^\circ 32'$				
17	44,6	$71^\circ 40'$	$-0^\circ 48'$	$-0^\circ 49'$				
18	91,2	$34^\circ 15'$	$-2^\circ 21'$	$-2^\circ 22'$				
19	80,7	$350^\circ 03'$	$+3^\circ 16'$	$+3^\circ 15'$				
110	76,5	$193^\circ 50'$	$+2^\circ 16'$	$+2^\circ 15'$				
Ст.6		0 01						

### 10.5.8. Складання топографічного плану

Після закінчення обчислювальних робіт переходять до складання плану зйомки. Для цього на аркуші креслярського паперу за допомогою лінійки Дробишева або масштабної лінійки і циркуля-вимірника розбивають координатну сітку із сторонами 10 x 10 см. Лінії сітки по осях координат оцифровують залежно від масштабу зйомки. По координатах наносять на план пункти геодезичних мереж, точки тахеометричних ходів і перевіряють правильність нанесення точок знімального обґрунтування по відстанях між ними.

Нанесення на план рейкових точок робиться полярним способом за допомогою кругового транспортира і масштабної лінійки чи тахеографа.

Центр транспортира сполучають зі станцією знімання. Нульову поділку орієнтують на вихідний напрямок. Відраховують вимірний при зніманні горизонтальний кут між вихідною лінією і напрямком на точку тахеометричного знімання (рис. 10.29) і вздовж отриманого напрямку в масштабі плану відкладають горизонтальне прокладення  $d$  за допомогою лінійки. Таким чином отримують положення шуканої точки. Підписують її номер і відмітку.

При нанесенні ситуації, знятої способом перпендикулярів, від лінії знімальної основи відкладають відстані  $X$  та  $Y$  до кожної точки у масштабі плану. Перпендикуляри будують прямокутними трикутниками.

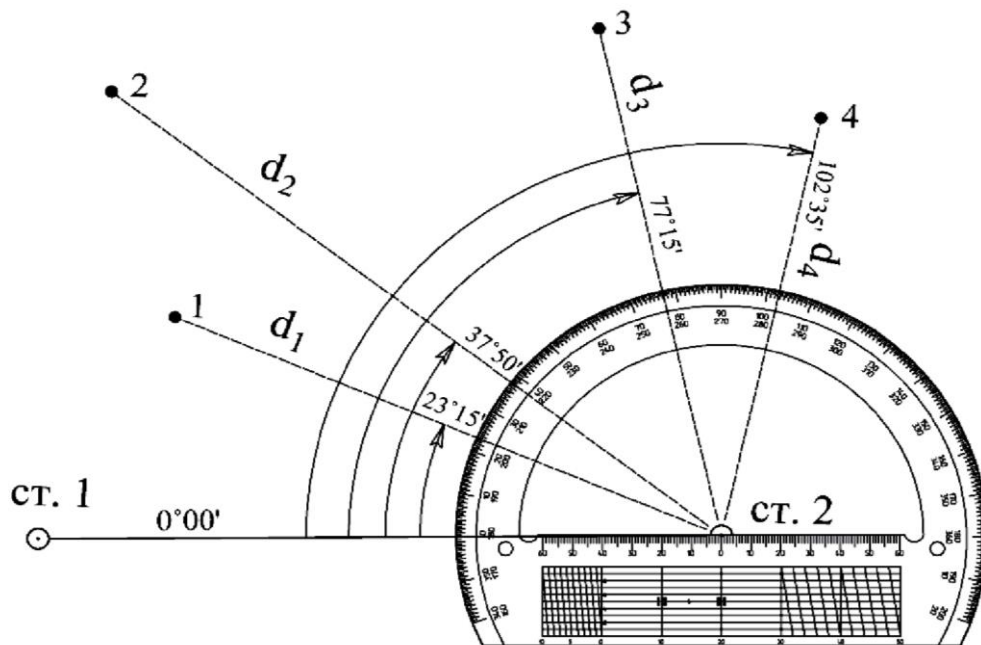


Рис. 10.29 Нанесення точок тахеометричної зйомки за допомогою транспортира

За способом кутових засічок на плані транспортиром будують вимірні кути від лінії знімальної основи і на перетині отриманих напрямків знаходять положення шуканої точки.

За способом лінійних засічок циркулем роблять засічку довжинами вимірних ліній у масштабі плану і на перетині отримують шукану точку.

За способом створів у масштабі плану відкладають за створом лінії вимірні відрізки.

Тахеограф (рис. 10.30) є круговим транспортиром з лінійкою з прозорого матеріалу (целулоїду), по колу якого нанесені поділки через 30', причому оцифрування ділень виконане проти ходу годинникової стрілки. Уздовж нульового радіусу розташована міліметрова шкала лінійки з початковим штрихом в центрі круга, в якому закріплена голка.

Для нанесення рейкової точки центр круга тахеографа поєднують з точкою станції на плані. Потім поворотом диска поєднують початковий напрям на плані з відліком, рівним полярному куту на знімальну точку; по лінійці відкладають в масштабі плану відповідну полярну відстань і наколюють точку. Біля нанесених на план рейкових точок підписують їх номери і відмітки.

Згідно з абрисом і примітками в польових журналах викреслюють контури і предмети місцевості. По відмітках рейкових точок, користуючись методом графічної інтерполяції (див. розділ 5.5), проводять горизонталі; при цьому інтерполяцію виконують тільки по напрямках, відмічених на абрисі стрілками.

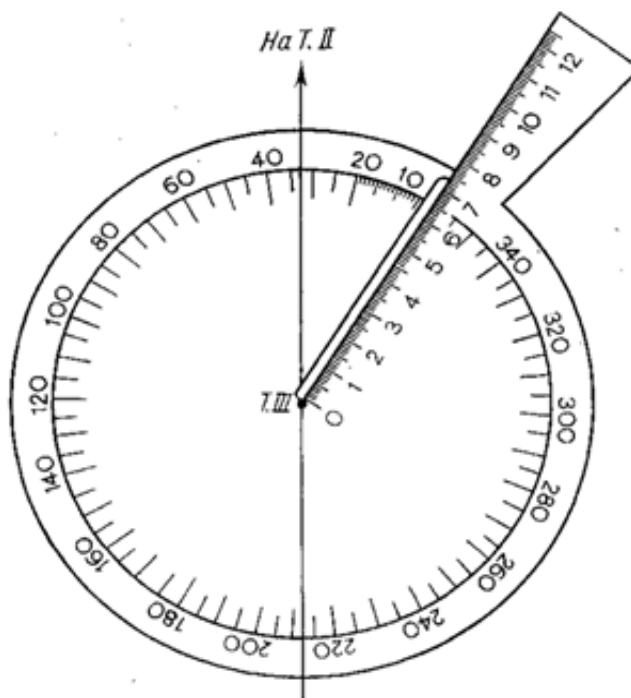


Рис. 10.30. Тахеограф

**Побудова горизонталей.** Визначають (інтерполюють) значення позначок горизонталей відповідно до позначок точок тахеометричного знімання і висоти перерізу рельєфу. Інтерполяцію виконують за допомогою палетки (прозорої плівки або кальки, на якій нанесені горизонтальні паралельні лінії). Лінії палетки підписують згідно з відмітками горизонталей.

Накладають палетку на точки плану і розвертають так, щоб вони знаходились на відповідних відмітках (рис. 10.31, а). На перетині ліній якою з'єднані точки з підписаними лініями палетки, отримують відмітки горизонталей. Таким чином визначають положення горизонталей між усіма

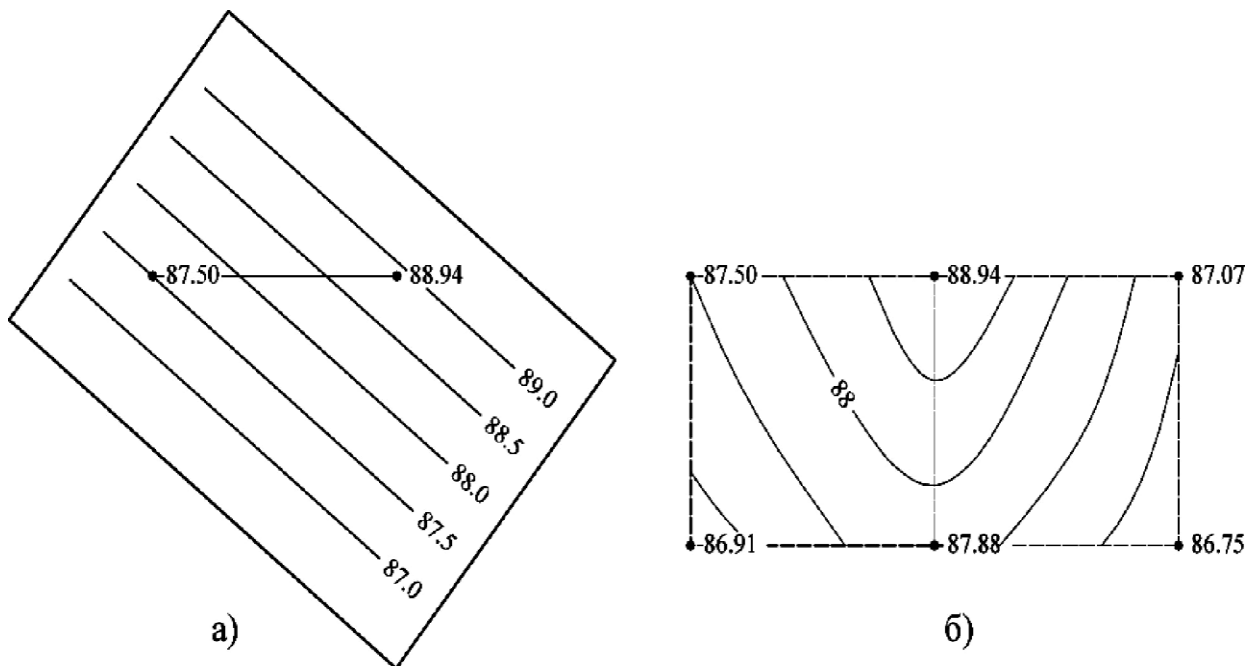


Рис. 10.30. Побудова горизонталей

а – інтерполяція за допомогою палетки; в – проведення горизонталей на плані

суміжними точками. Точки з однаковими відмітками з'єднують плавними кривими лініями – горизонталями (рис. 10.31, б).

Не слід проводити горизонталі через зображення будов (споруд), кар'єрів, ярів, водних об'єктів, доріг та ін. Для полегшення сприйняття рельєфу і визначення відміток точок на плані кожна п'ята (іноді четверта) горизонталь проводиться потовщеною; у розриві таких горизонталей підписуються їх відмітки основою цифр у бік пониження схилу.

Для полегшення сприйняття рельєфу і визначення відміток точок на плані кожна п'ята (іноді четверта) горизонталь проводиться потовщеною; у розриві таких горизонталей підписуються їх відмітки основою цифр у бік пониження схилу.

У ряді випадків для зображення дрібних, але важливих подробиць рельєфу проводять напівгоризонталі. На замкнених горизонталях і в місцях, де можуть виникнути утруднення в читанні рельєфу, перпендикулярно до

них ставлять так звані скат-штрихи. У характерних точок рельєфу (вершина пагорба, дно улоговини або сідловини, повороти і розгалуження ліній вододілів і тальвегов, урізання води річок, струмків і водойм і т. п.) на плані підписують їх відмітки.

Складений в олівці план зйомки звіряють з місцевістю і у разі потреби виконують контрольні виміри. Відкоригований план викреслюють тушшю відповідно до діючих умовних знаків [17].

### Питання для самоконтролю

1. Що називається теодолітною зйомкою місцевості?
2. Які види теодолітних ходів ви знаєте?
3. З яких етапів складається теодолітна зйомка?
4. Що таке рекогносцировка місцевості?
5. З чого складається державна геодезична мережа (ДГМ)?
6. Яким методом будуються знімальні мережі?
7. Чим закріплюються вершини теодолітних ходів на місцевості?
8. Що означає слово "спирається"?
9. У якій послідовності виконують знімання ділянки місцевості?
10. Які способи знімання ситуації ви знаєте?
11. З чого складаються камеральні роботи при теодолітній зйомці?
12. Що включають в себе обчислювальні роботи?
13. Назвіть послідовність обчислення результатів вимірювань у замкнутому теодолітному ході?
14. В замкнутому теодолітному ході з  $n=5$  вершин, сума виміряних кутів  $539^{\circ} 57,2''$ . Обчислити кутову нев'язку і порівняти її з допустимою?
15. В замкнутому теодолітному ході лінійні нев'язки склали:  $f_x=0,34$  м,  $f_y=0,26$  м. Обчислити абсолютну і відносну нев'язку, якщо периметр ходу  $785,85$  м? Зробити висновок?
16. Назвіть послідовність обчислення результатів вимірювань у розімкненому теодолітному ході?
17. В розімкненому теодолітному ході з  $n=6$  вершин, сума виміряних кутів  $984^{\circ} 30,5'$ . Обчислити кутову нев'язку якщо:  $\alpha_k=72^{\circ} 56,8'$ ,  $\alpha_n=178^{\circ} 24,1'$  (виміряні ліві по ходу кути) і порівняти її з допустимою?
18. В розімкненому теодолітному ході лінійні нев'язки склали:  $f_x=0,36$  м,  $f_y=0,28$  м. Обчислити абсолютну і відносну нев'язку, якщо периметр ходу  $956,19$  м? Зробити висновок?
19. Як розподіляються поправки в виміряні кути і прирости координат?
20. Послідовність побудови координатної сітки?
21. Як наносяться точки теодолітного ходу за їх координатами?
22. Які приналежності необхідно мати для нанесення ситуації?

23. З якою метою виконується вертикальна зйомка?
24. Які ходи геометричного нівелювання ви знаєте?
25. Назвіть послідовність камеральної обробки замкнутого нівелірного ходу?
26. Назвіть послідовність камеральної обробки розімкнутого нівелірного хіду?
27. Що таке тахеометрична зйомка?
28. Яким чином визначаються планове та висотне положення точок при тахеометричній зйомці?
29. За якими формулами обчислюються перевищення і горизонтальне прокладання при тахеометричній зйомці?
30. Які прилади застосовуються при тахеометричній зйомці?
31. За допомогою чого наносяться точки тахеометричній зйомки на план?
32. Яким методом визначають положення горизонталей на плані?

## 11. ІНЖЕНЕРНО ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ

### 11.1. Завальні відомості про види та завдання інженерно-геодезичних вишукувань

Інженерні споруди прийнято поділяти на такі основні групи [9]:

1. Промислові та цивільні споруди.
2. Гідротехнічні споруди: гідроелектростанції, порти, канали.
3. Лінійні споруди: залізниці, автостради, трубопроводи, лінії електропередач, зв'язку тощо.

У вибраному місці будівництва, використовуючи результати інженерних вишукувань, розробляють проект геодезичних робіт, необхідних для будівництва споруди.

Переносять проект з карта чи плану на місцевість також геодезичними методами. У ході будівництва засобами геодезії контролюють відповідність проектним вимогам геометричних елементів споруди. Після завершення будівництва геодезичними методами фіксують допущені відхилення від проекту. В період експлуатації споруди також геодезичними методами визначають деформації споруди.

Основні стадії будівництва такі:

- 1) вишукування;
- 2) проектування;
- 3) будівництво;
- 4) експлуатація.

Відповідно виконують:

- а) інженерно-геодезичні вишукування;
- б) інженерно-геодезичне проектування;
- в) розмічування, встановлення конструкцій у проектне положення та в процесі будівництва;
- г) спостереження за деформаціями споруд та їхніх фундаментів під час будівництва та експлуатації.

Особливо важливе значення мають нівелірні роботи під час будівництва лінійних споруд (доріг, каналів, трубопроводів тощо), які мають значну довжину, але займають порівняно вузьку смугу земної поверхні.

Спочатку камерально, користуючись картами, вибирають декілька варіантів лінії майбутньої споруди, яка називається трасою. Підраховують за картами проектні обсяги робіт та їхню вартість. Вибирають економічно найвигідніший варіант. Польові інженерно-геодезичні вишукування ведуться тільки після затвердження варіанта проекту майбутньої споруди.

Комплекс геодезичних робіт, які виконують на місцевості, складається з таких дій:

- визначення положення на місцевості заданого напрямку та кута нахилу осі лінійної споруди;
- провішування і закріплення цієї осі дерев'яними стовпцями;
- вимірювання кутів повороту траси;



- розмічування пікетажу (як правило, стометрових відрізків траси);
- розмічування поперечників (ліній, перпендикулярних до осі траси);
- розмічування головних точок колових кривих і детальне винесення колових кривих на місцевість;
- знімання смуги місцевості завширшки декілька десятків метрів;
- нівелювання точок осі траси та поперечників;
- складання профілю траси та проектування на профілі проектної осі споруди. Маючи такий профіль, можна розпочинати будівництво лінійної споруди.

## 11.2. Камеральні і польові роботи при трасуванні лінійних споруд

### 11.2.1. 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* [12].

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 рівнинні 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. 11.1).

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. 11.1). Необхідність відхилення траси від прямої і призначення кута повороту повинні бути обґрунтовані.

2. Вершини кутів повороту вибирають напроти середини перешкоди з таким розрахунком, щоб траса огинала цю перешкоду.

3. Вершини кутів повороту вибирають напроти середини перешкоди з таким розрахунком, щоб траса огинала цю перешкоду.

4. Кути повороту прагнуть призначати по можливості не більше  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ , щоб помітно не подовжувати трасу.

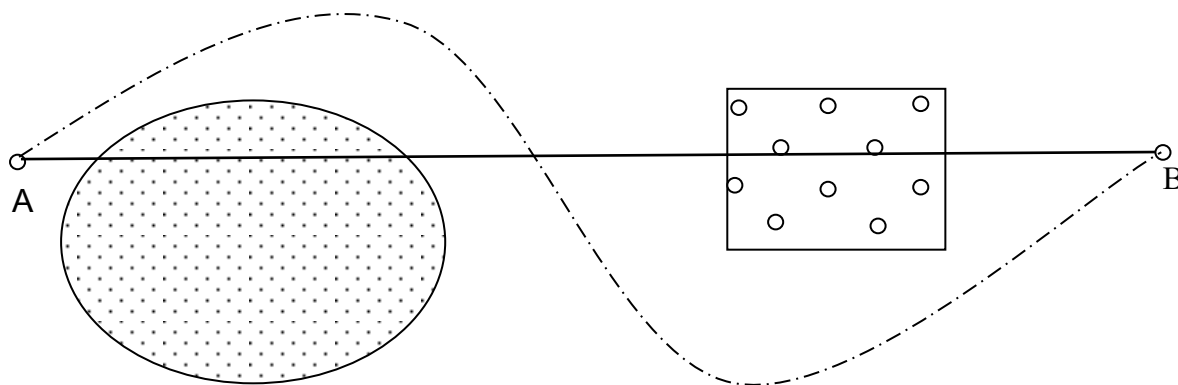


Рис. 11.1. До правила трасування

**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 проектують 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.

### 11.2.2. 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 [12].

Польове трасування починають з рекогностування місцевості. Трасування виконують невеликими ділянками в залежності від просування вишуквальних робіт.

Коли визначені в натурі положення сусідніх кутів повороту то встановлюють в створі ряд віх, обстежують визначений напрямом, особливо перешкоди через водотоки і яри, перетин існуючих магістралей і інші складні місця. Інколи доводиться дещо змішувати 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.

Під час проведення рекогностування місцевості, одночасно з'ясовують зручні місця для виконання відповідних вимірювань.

**Рекогностування** (від лат. *recognosco* – оглядати або обдивлятися) – геодезичних робіт. Уточняють місцезнаходження точок геодезичного обґрунтування, перевіряють взаємну видимість між сусідніми точками і умови для проведення вимірювань.

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. 11.2).

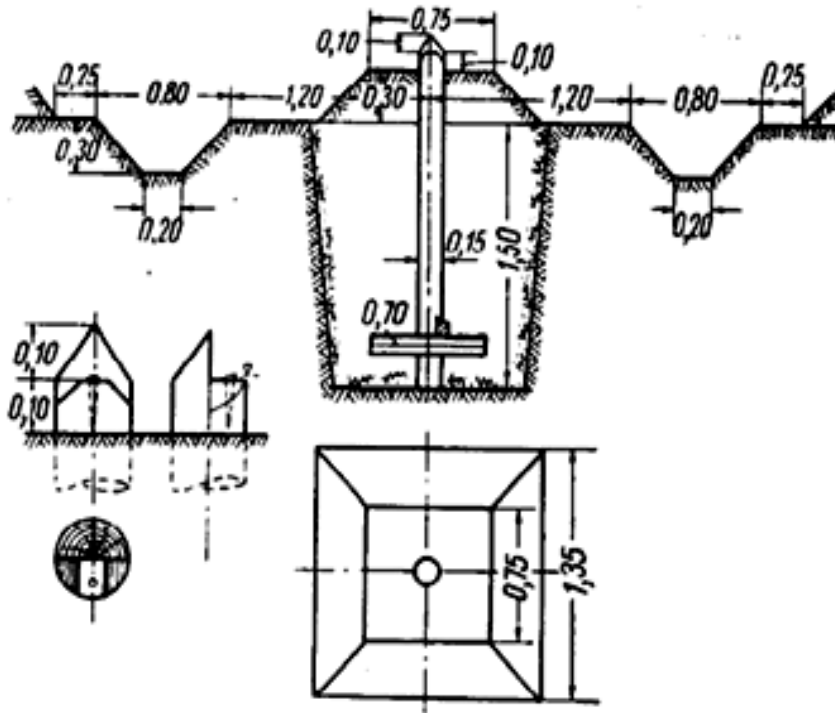


Рис. 11.2. Закріплення кутів повороту траси

В плановому відношенні точки прив'язують до місцевих предметів і на кожну точку складають абрис. При прив'язці віддалі вимірюють з точністю до 0.01 м. На абрисі точка 3 прив'язана до стовпа електромережі і житлового будинку № 34 (рис.11.3).

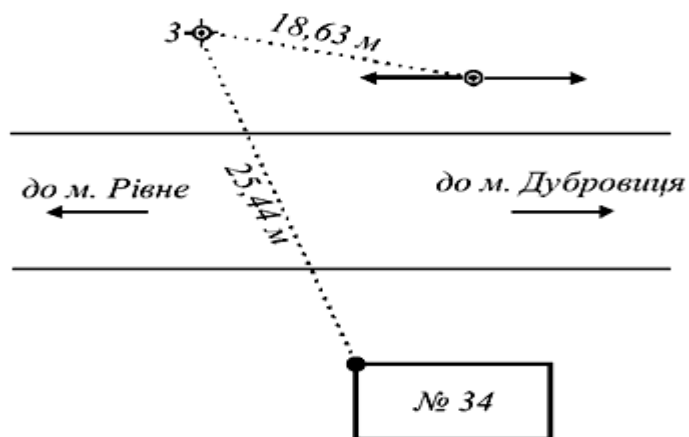


Рис. 11.3. Абрис прив'язки точки 3 до місцевих предметів

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. Одержат координати порівнюють з проектними координатами і визначають відхилення. Якщо ці відхилення не перевищують 2 м, то вважають що вісь закріплена місцевості вірно. Коли це відхилення більше 2 м, то вісь переносять в натуру заново.

**Кутові вимірювання.** При трасуванні часто вимірюють праві кути за ходом, одним прийомом з середньою квадратичною похибкою  $m_a = 0,5$ .

Кути повороту траси визначають, як доповнення до  $180^\circ$  правого кута за ходом, при повороті лінії вправо за формулою

$$\theta_{np} = 180^\circ - \beta_1. \quad (11.1)$$

При повороті лінії вліво кут повороту траси обчислюють за формулою

$$\theta_{лів} = \beta_2 - 180^\circ. \quad (11.2)$$

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 відхилятися 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 координата 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 стальною стрічкою, або світловіддалеміром.

### 11.2.3. Закріплення основних точок кругової кривої за її віссю

Найпростішим варіантом створення повороту траси є кругова крива, яка сполучає прямі відрізки осі споруди. 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. 11.4 видно, що основними елементами кривої є: кут повороту осі споруди  $\theta$ , радіус  $R$ , тангенс  $T$ , крива  $K$ , бісектриса  $B$  і домір  $D$  [3, 12].

На практиці кут повороту осі споруди  $\theta$  завжди визначають за формулою (11.1) або (11.2), 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 по-

рушити технічні умови кривої, часто радіус вибирають із таблиці наведеної в БНіП, де вказано його обґрунтування [3].

Розглядаючи трикутник ОАВ (рис. 11.4) і застосовуючи теорему синусів за формулою (11.4) виконуємо розрахунки.

$$T/\sin(\theta/2)=R/\cos(\theta/2)=(R+B)/\sin 90^\circ. \quad (11.3)$$

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 "Т", який обчислюється за формулою

$$T = R \operatorname{tg}(\theta/2). \quad (11.4)$$

Для визначення довжини кривої, яка з'єднає головні точки ПК і КК, теж використовують теорему синусів формули (11.5), тобто довжина кола відноситься до кількості градусів у колі, як крива до кута, на який вона опирається, тобто

$$2\pi R/360^\circ = K/\theta, \quad (11.5)$$

звідки

$$K = (\pi R \theta)/180^\circ \quad (11.6)$$

Віддаль від вершини повороту осі лінійної споруди за бісектрисою кута  $\beta$  до осі кривої позначають буквою "В" і називають бісектрисою та обчислюють за формулою

$$B = R[(1/\cos\theta/2) - 1]. \quad (11.7)$$

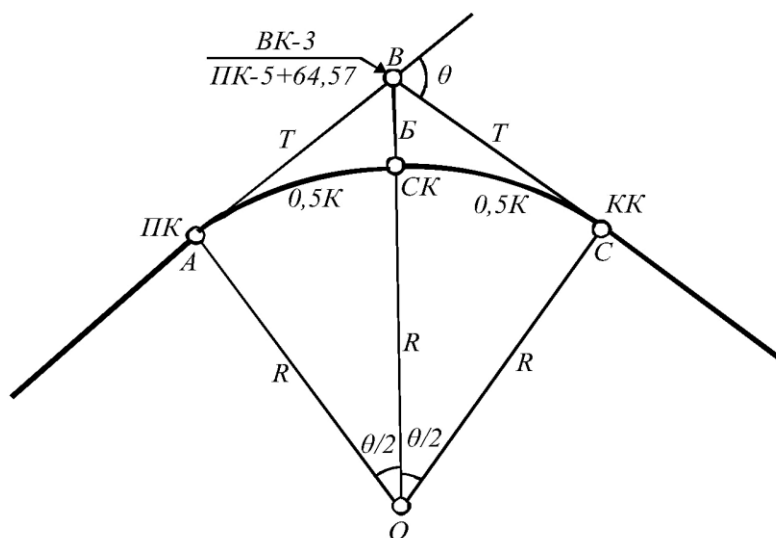


Рис. 11.4. Елементи кругової кривої

Різницю між двома тангенсами і кривою називають доміром позначають буквою “*D*” та обчислюють за формулою

$$D = 2T - K. \quad (11.8)$$

Визначені основні елементи кривої  $\theta$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $K$ ,  $B$ , і  $D$  записують в пікетажний журнал.

В більшості повороти лінійних споруд виконують за круговою кривою, яка сполучає прямі відрізки осі споруди. Основні її точки на місцевості закріплюють надійними знаками .

#### 11.2.4. Розмічування пікетажу по осі лінійної споруди

По осі лінійної споруди через 100 м закріплюють точки дерев'яними кілочками, які називають пікетами. Дії, які виконуються при закріпленні пікетів, називаються розмічуванням пікетажу (рис.11.5) [12].

Пікетаж – від французького слова *piquetage* – 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 м і дуже рідко 40, 20 і 10 м.

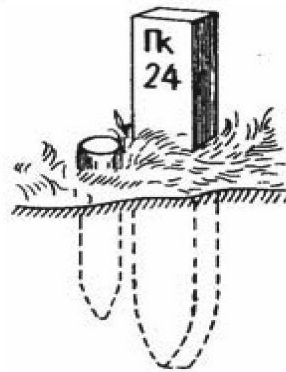


Рис.11.5. Закріплення пікету і сторожок

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 ПК0. Сам пікет закріплюють дерев'яним кілочком перерієм 2х2 см, який забивають врівень з землею. На відстані 5...10 см від пікету забивають другий кілочок висотою 15...20 см. На цьому кілочку олівцем підписують ПК0 і називають його сторожком. Після цього протягують стрічку вперед по осі споруди і від ПК0 відкладають віддаль рівну 100 м. Забивають один кілочок врівень з землею як пікет, а другий як сторожок, на якому підписують ПК1. 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 ПК8+73,44. Це означає, що точка знаходиться від ПК8 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.11.6 позначення вершини слід розуміти так. В чисельнику номер вершини кута 3 (ВК-3), а в знаменнику номер пікету 5 плюс віддаль від пікету 5 до вершини кута 64,50 м (ПК5+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.

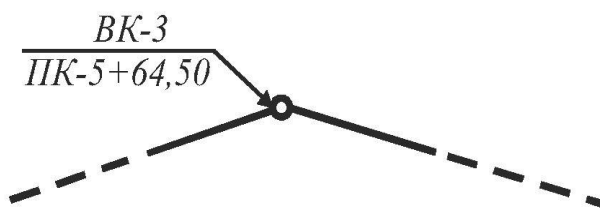


Рис. 11.6. Пікетажне позначення вершини повороту

Відомо, що розмічування пікетажу виконують за прямолінійними ланками осі споруди, а рахунок пікетажу – за круговою кривою (рис.11.4). Так як крива коротша від суми двох тангенсів на величину домірю ( $D$ ), то визначають пікетажне значення ( $KK$ ) за формулою

$$KK = BK + T - D \quad (11.9)$$

Приймаючи його за дійсне, продовжують розмічування пікетажу по осі споруди. Таким чином враховують поправку в довжину траси за кривизну кривої, яка дорівнює величині домірю.

Одночасно з розмічуванням пікетажу ведеться пікетажний журнал (рис. 11.7). 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. Межі угідь і ситуацію знімають за допомогою екера та рулетки способом перпендикулярів на віддалі 20 – 50 м по обидва боки від осі траси. Ситуацію у смугі 25 – 50 м в обидва боки від осі траси знімають окомірно.



Запис в пікетажному журналі ведеться знизу вверху, щоб права і ліва сторони журналу відповідали правому і лівому бокам 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.

На рис. 11.7 показана сторінка пікетажної книжки [9]. Посередині сторінок пікетажної книжки викреслюють пряму, яка зображає вісь траси. Сторінка починається з ПК0; у плюсовій точці ПК2+40 розмічений поперечник (ліворуч). Цифри, показані на рисунку без знака "+", відносяться до знімання ситуації не пов'язані з характерними точками рельєфу.

На ПК2 траса повертає праворуч. Кут повороту показують стрілкою та підписують: кут  $\alpha$  – в чисельнику, а величина кута  $\Theta = 20^{\circ}11'$  – в знаменнику (на рис. 11.7 не показано). У цих місцях книжки виписують також елементи кривих:  $\Theta$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $K$ ,  $B$ ,  $D$ . Зауважимо, що вісь траси далі не повертає, а зображається прямою лінією всередині сторінки. У бік повертання траси вказує тільки стрілка.

Пікетажну книжку викреслюють на міліметровому папері у масштабі 1:1000. Проте масштаб можна змінити залежно від ситуації.

На рівній місцевості з однорідною ситуацією застосовують дрібніший масштаб, у місцях зі складними ситуацією та рельєфом переходять до більшого.

Пікетаж розмічують по дотичних до кривої ліній (тангенсах), а під час будівництва лінійної споруди відстані обчислюють по кривій. Як відомо, довжина двох тангенсів  $2T$  більша за довжину кривої  $K$  на величину доміру, тобто  $D = 2T - K$ .

Отже, під час розмічування пікетажу потрібно враховувати величину доміру. Тому після повороту траси від вершини кута повороту відкладають

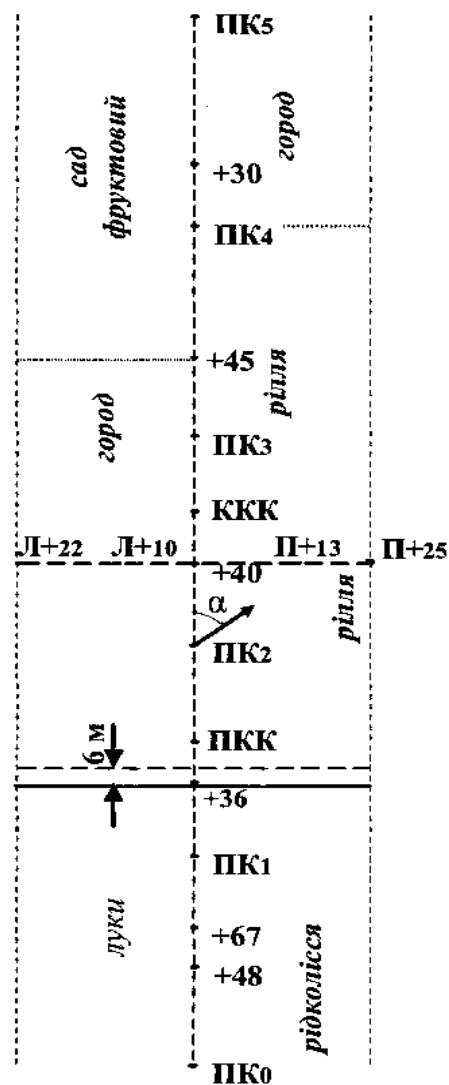


Рис.11.7. Пікетажний журнал

величину доміру і вважають, що ця точка має те саме пікетажне значення, що й вершина кута повороту траси. Далі продовжують розмічувати пікетаж звичайним способом.

Наведемо приклад. Нехай рис. 11.4 пікетажне значення точки  $B$  – вершини кута повороту траси ( $BK$ ) – ПК5+64.50 м, тобто на віддалі 564,50 м від початку траси. Кут повороту траси становить  $\Theta = 44^\circ 14'$ , а радіус повороту кривої  $R = 220$  м. Тоді, згідно з формулами (11.4), (11.6), (11.7), (11.8),  $T = 89,41$  м,  $K = 169,84$  м,  $B = 17,47$  м,  $D = 8,98$  м.

Віднімаючи від значення вершини кута повороту  $BK$  значення тангенса, отримаємо точку  $A$  – початок колової кривої ( $PK$ ). Додаючи до значення  $PK$  довжину кривої  $K=169,84$ м, знайдемо положення кінця колової кривої ( $KK$ ) – точку  $C$ . Цей розрахунок виконано по кривій. Розрахунки ведуть за такою схемою

$$\begin{array}{r} BK = \text{ПК5} + 64,50 \text{ м} \\ -T = \underline{\quad 89,41 \text{ м} \quad} \\ PK = \text{ПК4} + 75,09 \text{ м} \\ +K = \underline{\quad 169,84 \text{ м} \quad} \\ KK = \text{ПК6} + 44,93 \text{ м} \end{array}$$

Положення кінця колової кривої ( $KK$ ) можна для контролю розрахувати і вздовж ламаної кривої. Для цього до пікетного значення вершини кута

$$\begin{array}{r} BK = \text{ПК5} + 64,50 \text{ м} \\ + T = \underline{\quad 89,41 \text{ м} \quad} \\ \dots\dots\dots\text{ПК7} + 53,91 \text{ м} \\ - D = \underline{\quad 8,98 \text{ м} \quad} \\ KK = \text{ПК6} + 44,93 \text{ м} \end{array}$$

повороту траси ( $BK$ ) треба додати значення тангенса  $T$ , а від отриманої суми відняти значення доміру  $D$ .

Щоб визначити положення пікету ПК7, потрібно від кінця колової кривої  $KK$  (точка  $C$ ) відкласти за ходом траси віддаль  $100 - 44,93 = 55,07$  м і забита кілок з позначкою ПК7 на сторожку.

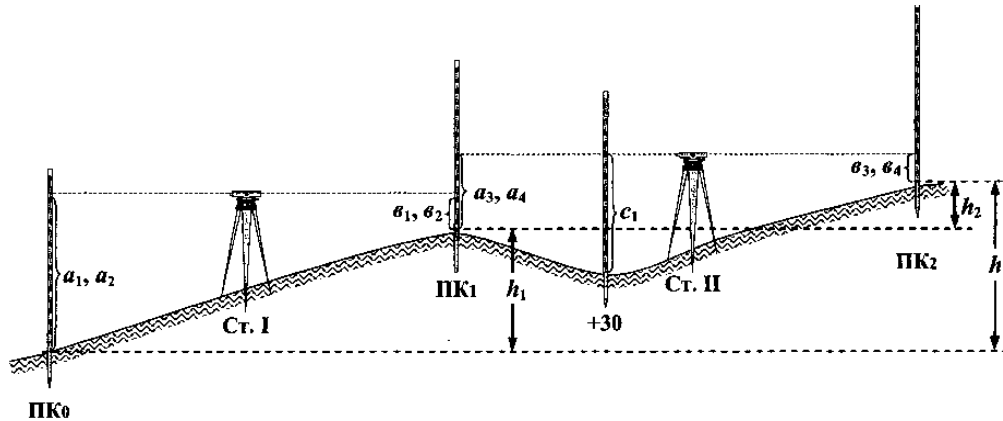
### 11.2.5. Послідовність работ и на станції технічного нівелювання оптичними нівелірами. Зв'язувальні, проміжні та іксові точки

Нівелювання траси між зв'язувальними точками виконують способом із середини. Нерівність плеч (віддалей від нівеліра до рейки) допускається 10 м. Нівелір може бути встановлений не в створі, тобто не на осі траси [9].

Зазвичай висоти початкової та кінцевої точок траси вже відомі, тому достатньо визначити перевищення між початковою та іншими точками, щоб знайти висоти усіх точок.

Нехай нівелір встановлено посередині між пікетами ПК0 та ПК1, на яких встановлено рейки (рис. 11.8). Знайдемо перевищення між цими точками.

Нівелювання на станції, якщо працюють нівеліром з циліндричним рівнем, виконують у такій послідовності:



*Рис. 11.8. Робота на станції нівелювання.  
Зв'язувальні та проміжні точки нівелювання*

1. За допомогою підймальних гвинтів і сферичного рівня добиваються, щоб вісь обертання нівеліра була приблизно прямовисною.

2. Наводять зорову трубу на задню рейку, встановлену на пікеті ПК0. Елеваційним гвинтом переміщують бульбашку циліндричного рівня у нуль-пункт, тобто зображення кінців бульбашки циліндричного рівня, які видно в полі зору зорової труби, приводять в контакт. Після цього середньою горизонтальною ниткою сітки ниток відлічують чорну шкалу рейки (відлік  $a_1$ ).

3. Наводять зорову трубу на передню рейку, розміщену на пікеті ПК1 і, встановивши за допомогою елеваційного гвинта бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт, відлічують середньою горизонтальною ниткою сітки ниток чорну шкалу передньої рейки (відлік  $b_1$ ).

Після цього повертають рейки червоними шкалами до нівеліра.

4. Труба наведена на передню рейку. Уточнюють положення бульбашки циліндричного рівня в нуль-пункті. Відлічують червону шкалу рейки  $b_2$ .

5. Трубу наводять на задню рейку. Виконують дії, вказані в пункті 2. Відлічують червону шкалу задньої рейки  $a_2$ .

Під час роботи нівелірами з компенсатором достатньо привести нівелір приблизно в робочий стан за допомогою сферичного рівня. Потім спрацьовує компенсатор. Послідовність відлічування шкал рейок не змінюється.

Усі чотири відліки записують у журнал (табл. 11.1).

У журналі числові значення відліків задньої і передньої рейок пронумеровані (1), (2), (3), (4). Номери відліків відповідають послідовності відлічування (1, 2 – чорних шкал, 3, 4 – червоних шкал рейок).

6. Обчислюють перевищення за відліками чорних та червоних шкал як  $h_1 = a_1 - v_1$  і  $h_2 = a_2 - v_2$ . Числові значення перевищень  $h_1$  та  $h_2$  відповідно +1288 та +1285.

7. Контроль роботи на станції.

Виконують два контролю:

1. Перевищення  $h_1$  та  $h_2$  повинні відрізнятись не більше ніж на 5 мм.

2. Різниці п'яток рейок (позначених у журналі цифрою (5) і (6)) можуть відрізнятись не більше ніж на 5 мм.

3. Знаходять середнє значення  $h_{сер} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ .  $h_{сер} = 1286,5$  мм.

Якщо два контролю виконано, то робота на станції закінчена, і переходять на наступну станцію. Передня рейка залишається на ПК1; нівелір

Таблиця 11.1

### Журнал технічного нівелювання

№ станції	Номери пікетів, плюсових точок	Відліки рейок, мм			Перевищення, мм			Горизонт приладу ГП	Висоти Н, м
		Задньої, $a_i$	Передньої, $v_i$	Проміжної $c_i$	Обчислені	Середні	Врівноважені		
I	ПКО	1911 (1) 6595 (4) 4684 (5)			+1288 (7) +1285 (8)	+0,5 +1286,5 (9)	+ 1287		215,230  216,517
	ПК1		0623 (2) 5310 (3) 4687 (6)						
II	ПК1	1437 6122 4685		2310	-189 -188	+0,5 -0188,5	-0188	217,954	216,517  215,644
	+30		1626 6310 4684						
	ПК2								216,456

переносять вперед, на станцію II; задню рейку переносять вперед по ходу траси і вона стає передньою відносно нівеліра (рис.11.8, станція II).

На станції II спостереження виконують так само, як і на станції I, і знаходять середнє перевищення між ПК1 та ПК2. Однак на всьому відрізку траси є характерні точки рельєфу, у яких змінюється кут нахилу поверхні. Їх між пікетами може бути декілька. Потрібно також визначити висоти цих плюсових точок. Для цього, закінчивши роботу на станції II (так само, як і на станції I), задаю рейку встановлюють на точку +30 м. Спостерігач відлічує нівеліром лише чорну шкалу рейки (відлік  $c = 2310$ ). Потім висоту цієї точки визначають через *горизонт приладу ГП*.

ГП на станції II дорівнює сумі висоти пікету 1  $H_{ПК1}$  і відліку  $a$  чорної шкали задньої рейки, тобто  $ГП = 216,517 + 1,437 = 217,954$  м.

Тоді висота  $H_{+30} = ГП - c = 217,954 - 2,310 = 215,644$  м.

Рейку на пікеті ПК1 відлічують чотири рази: два зі станції I (попередньої) та два зі станції II (наступної). Тому такі точки називаються *зв'язувальними*. У таких точках як ПК1 + 30, рейка відлічується лише один раз і тільки за чорною шкалою. Такі точки називаються *проміжними*.

Отже, під час розмічування пікетажу є *пікети* і *плюсові точки*, а під час нівелювання *зв'язувальні* та *проміжні* точки. Зв'язувальними точками не обов'язково мають бути пікети. Пікети також можуть бути проміжними точками, а плюсові – зв'язувальними. Нагадаємо, що оптимальна віддаль від нівеліра до рейки – 100 м. Інструкція [8] допускає, якщо зображення поділок рейки "спокійні", то довжина плеч може бути збільшена до 150 м. Тому для частини траси на рис. 11.8 можна виконати нівелювання з однієї станції (рис. 11.9).

На рис.11.9 показана одна станція. Однак, якщо продовжувати прокладати нівелірний хід, то точка ПК2 стане зв'язувальною.

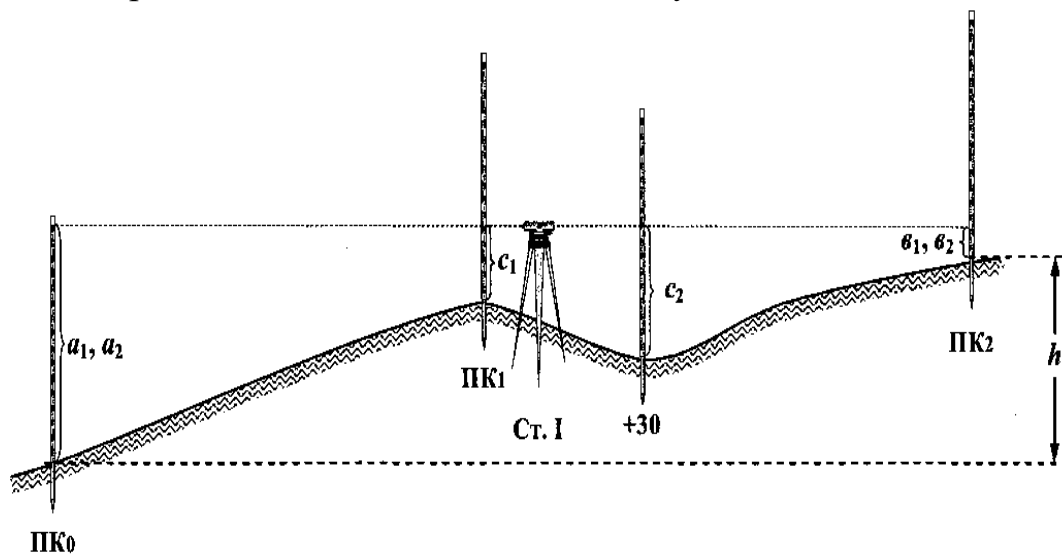


Рис.11.9. Нівелювання ділянки траси завдовжки 200 м з однієї станції

На рис. 11.9 ПК1 і плюсова точка ПК1+30 є проміжними.

Такий варіант нівелювання з довгими плечами економічно вигідніший, оскільки трасу можна пронівелювати меншою кількістю станцій і за короткий час.

Оскільки допускаються довжини плеч 150 м, можна запропонувати ще кращий варіант нівелювання. Якщо за ПК2 є плюсова точка (наприклад, ПК2+20), то можна передню рейку поставити на цю точку, нівелір перенести трохи вперед. Тоді зв'язувальною буде плюсова точка ПК2+20. Проміжними точками стануть ПК1, ПК1+30, ПК2. Але довгі плечі можуть бути тільки на рівнинній місцевості. В горбистій місцевості, а тим більше в гірській, нівелювати довгими плечами неможливо.

### 11.2.6. Послідовність роботи на станції технічного нівелювання електронними нівелірами Sprinter 200M

Технічне нівелювання електронним нівеліром ведеться в основному так само, як і оптичним. Але є деякі особливості [9].

1. У комплекті нівеліра є дві спеціальні рейки. На одному боці рейок нанесено сантиметрові поділки, як на звичайних рейках, а на іншому – кодові штрихи.

Нівеліром можна працювати як в оптичному, так і в електронному режимі. В електронному режимі використовують рейки зі штрихковою шкалою.

2. Нівелір має декілька режимів роботи. Потрібно вибрати режим нівелювання, тобто режим вимірювання перевищень. 3. В електронному і в звичайному режимах можна використовувати тільки шкалу, нанесену на одному боці рейки. Тому для контролю на станції потрібно змінити висоту нівеліра.

4. Нівелір в електронному режимі працює, коли довжина плечей не перевищує 80 м, тому станції нівелювання будуть приблизно посередині між усіма пікетами.

5. Електронний нівелір автоматично вимірює віддалі від нівеліра до рейки. У журналі нівелювання слід ввести додаткову графу і туди записувати довжини плечей, які надалі можна використати для контролю довжини траси. Крім того, це дає змогу об'єднати процес розмічування пікетажу з нівелюванням.

Перейдемо до послідовності роботи на станції. Підготувавши нівелір за допомогою сферичного рівня до роботи:

1. Наводять трубу на задню рейку. Добиваються чіткого зображення шкали рейки і вмикають прилад. Легко натискають клавішу ввімкнення/вимкнення вимірювань. На дисплеї відобразиться Meas (вимірювання) і через дві секунди з'являться результати вимірювань.

Зчитують з дисплея відлік рейки і записують в журнал. Зчитують віддаль до рейки і також записують в журнал.

2. Щоб уникнути похибки зчитування, ще раз зчитують відлік рейки та віддаль до рейки і ще раз записують у журнал.

2. Натиснувши клавішу ввімкнення/вимкнення вимірювань, закінчують вимірювання.

3. Наводять трубу на передню рейку. Знову легко натискають клавішу ввімкнення/вимкнення вимірювань і повторюють усі дії, вказані в пункті 1.

4. Щоб уникнути похибки, повторюють усі дії, вказані в пункті 2.

Перед переходом на наступну станцію вимикають нівелір.

Електронний нівелір може безпосередньо визначити не тільки перевищення, але й висоти точок. Для цього в пам'ять нівеліра вводять висоту початкового репера.

### 11.2.7. Опрацювання журналу поздовжнього технічного нівелювання. Обчислення висот зв'язувальних та проміжних точок

Опрацювання журналу (див. табл. 11.2) розпочинають з перевірки всіх обчислень у журналі [9].

Далі виконують посторінковий контроль. На кожній сторінці, де записано результати нівелювання на двох або більше станціях, обчислюють суми відліків задньої  $\Sigma Z$  та передньої  $\Sigma П$  рейок (колонки 3 і 4), суми знайдених  $\Sigma h_{обч}^+$  і  $\Sigma h_{обч}^-$  та середніх  $\Sigma h_{сер}^+$  і  $\Sigma h_{сер}^-$  перевищень (колонки 6, 7 і 8, 9 відповідно). Ці значення записують у журнал у відповідні колонки у рядку "посторінковий контроль". Вони мають відповідати умові

$$\Sigma Z - \Sigma П = \Sigma h_{обч}^+ - h_{обч}^- = 2(\Sigma h_{сер}^+ - h_{сер}^-) \quad (11.10)$$

У кінці ходу, аналогічно до посторінкового контролю, виконують контроль для ходу. Суму середніх перевищень  $\Sigma h_{сер}$  у ході називають практичною сумою перевищень  $\Sigma h_{пр}$ . Тобто  $\Sigma h_{сер} = \Sigma h_{пр}$ .

Теоретичну суму перевищень  $\Sigma h_m$  розраховують за формулою

$$\Sigma h_m = H_{кінц} - H_{поч} \quad (11.11)$$

де  $H_{поч}$ ,  $H_{кінц}$  – висоти початкової та кінцевої точок ходу відповідно. У журналі (табл. 11.2) – це висоти реперів  $Pn185$  та  $Pn186$ , тобто  $H_{Pn185}$  та  $H_{Pn186}$ . Їх значення відомі із нівелювання вищих класів.

Нев'язку в нівелірному ході обчислюють за формулою

$$f_h = \Sigma h_{сер} - \Sigma h_m. \quad (11.12)$$

Нев'язку  $f_h$  порівнюють із допустимою нев'язкою  $\partialоп.f_h$ .

Для технічного нівелювання її величину визначають за формулою

$$\partialоп.f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (11.13)$$

де  $L$  – довжина нівелірного ходу, км.

Якщо абсолютне значення нев'язки  $f_h$  у ході є меншим за значення допустимої нев'язки, то її розподіляють з протилежним знаком у середні перевищення у вигляді поправок, знайдених за формулою

$$\delta h_i = -\frac{f_h}{n}, \quad (11.14)$$

де  $n$  – кількість станцій нівелірного ходу.

Поправки  $\delta h$  заокруглюють до міліметрів так, щоб їхня сума дорівнювала величині нев'язки з протилежним знаком, і записують червоним кольором над значеннями середніх перевищень.

Значення виправлених перевищень обчислюють за формулою

$$h_{випр.i} = h_{сер.i} + \delta h_i. \quad (11.15)$$

*Контроль:* сума виправлених перевищень має дорівнювати теоретичній сумі перевищень у ході, тобто

$$\Sigma h_{випр} = \Sigma h_m. \quad (11.16)$$

Якщо рівність (11.16) виконується, то знаходять висоти зв'язувальних точок. Такими точками в наведеному прикладі є: ПК0+48, ПК1, ПК2.

Щоб знайти висоту наступної зв'язувальної точки, необхідно до висоти попередньої зв'язувальної точки додати значення виправленого перевищення між ними.

$$H_{i+1} = H_i + h_{\text{випр.}i}. \quad (11.17)$$

Контролем правильності обчислення висот зв'язувальних точок нівелірного ходу є значення висоти кінцевої точки ходу, тобто  $H_{Pn186}$ .

Висоти проміжних точок визначають через горизонт приладу  $ГП$ . **Горизонт приладу** – це висота горизонтальної візирної осі приладу над прийнятою рівневою поверхнею (умовною або абсолютною). Значення  $ГП$  обчислюють за формулами (11.18), (11.19) тільки для станцій, де спостерігали проміжні точки,

$$ГП_i = H_i + a_{\text{чорн.}i} \quad (11.18)$$

або

$$ГП_i = H_{i+1} + b_{\text{чорн.}i}, \quad (11.19)$$

де  $H_i, H_{i+1}$  – відповідно, висоти задньої та передньої зв'язувальних точок на станції, з якої спостерігали проміжну точку;  $a_{\text{чорн.}i}, b_{\text{чорн.}i}$  – відліки чорної шкали рейки (задньої й передньої відповідно) на цій станції.

Значення  $ГП_i$  знайдені за формулами (11.18) і (11.19) для станції, відрізнятимуться між собою на величину поправки  $\delta h_i$ , доданої у перевищення внаслідок зрівноваження. Тому  $ГП$  на станції визначають переважно за формулою (11.18).

Щоб знайти висоту проміжної точки, потрібно від горизонту приладу відняти відлік  $c_i$  чорної шкали рейки, що встановлена у цій проміжній точці, тобто

$$H_{\text{пром.}i} = ГП_i - c_i. \quad (11.20)$$

Висоти проміжних точок записують у відповідних рядках графі 13 журналу.



Таблиця 11.2

## Журнал технічного нівелювання

Дата \_\_\_\_\_ Розпочато \_\_\_\_\_ Спостерігав \_\_\_\_\_  
 Погода \_\_\_\_\_ Закінчено \_\_\_\_\_ Записував \_\_\_\_\_

№ станції	№ пікетів	Відліки з рейок, мм			Перевіщення, мм						Горизонт приладу (ГП), м	Висоти точок $H_i$ , м
		задньої (а)	передньої (в)	проміжної (с)	обчислені		середні		виправлені			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	$P_n 185$	2615									260,750	<u>258,956</u>
	75 м	<u>7298</u>										
	ПК0	4683	0471	1795	2144		-1		2143			
	+48				2143		2144,0					258,955
II	+48	2421										260,278
		<u>7106</u>										
	+67	4685	0533	0371	1888		1887,0					
	ПК1		<u>5220</u>		1886							
III	ПК1	0635										
		<u>5321</u>										
	+36	4686	2015	0915		1380		1379,0				
	ПК2		<u>6692</u>			1378						
IV	ПК2	0457										259,100
		<u>5144</u>										
	+40	4687	2135	2834		1678		1677,0				
	ПК3		<u>6820</u>			1676						
	36 м		4685	2735								
	$P_n 186$											
Посторіжковий контроль		$\sum a$	$\sum b$		$\sum h_{обв}^+$	$\sum h_{обв}^-$	$\sum h_{ср}^+$	$\sum h_{ср}^-$	$\sum h$	$\sum h$		
					$2 \sum h$	$2 \sum h$						

### 11.2.8. Детальне розмічування на місцевості кругової кривої

При будівництві лінійної споруди вісь кривої на місцевості закріплюють дерев'яними кілочками, на віддалі один від одного 5...20 м. Віддаль між кілочками на осі кривої може бути будь-якою. Коли віддалі 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 [3, 12].

Способів детального розмічування осі кривої існує багато.

Найбільш поширеними є наступні:

- а) спосіб прямокутних координат;
- б) спосіб продовження хорд;
- в) спосіб кутів.

#### *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.11.10). 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

$$\varphi = \frac{180^\circ \times k}{\pi R}, \quad (11.21)$$

де  $\pi = 3,14$ .

Прямокутні координати точок обчислюють за формулами

$$\begin{aligned} X_1 &= R \sin\varphi; & Y_1 &= 2R \sin^2\varphi/2 \\ X_2 &= R \sin 2\varphi; & Y_2 &= 2R \sin^2\varphi; \\ X_3 &= R \sin 3\varphi; & Y_3 &= 2R \sin^2 3\varphi/2. \end{aligned} \quad (11.22)$$

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 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

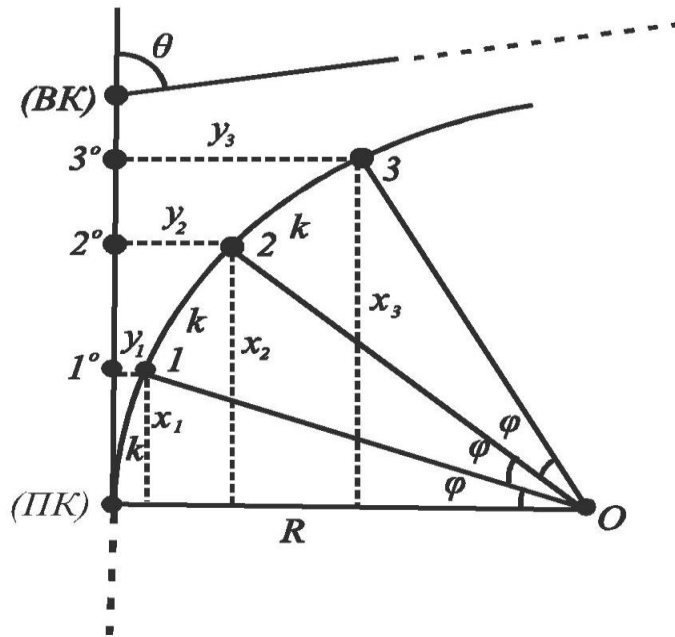


Рис. 11.10. Спосіб прямокутних координат

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  $PK$  (початок кривої). Другу половину кривої розмічують, коли за початок прямокутних координат прийнятий  $KK$  (кінець кривої). Якщо простежити за закріпленими точками намісцевості за вище наведеною методикою, то ми побачимо як проходить вісь кривої, яка є основою для виконання подальшого розмічування лінійної споруди.

### 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  $l$  та обчислюють центральний кут  $\varphi$  при відомому радіусу  $R$  (рис. 11.11).

Кут  $\varphi$  обчислюють на основі теореми косінусів. В трикутнику  $O(PK)I$  відомі три сторони, тоді кут  $\varphi$  обчислюють за формулою

$$\cos\varphi = (2R^2 - l^2)/2R^2. \quad (11.23)$$

Звідки

$$\varphi = \arccos[(2R^2 - l^2)/2R^2] \quad (11.24)$$



точки 1 відкладають віддаль  $l$  так, щоб кінець її перетнувся з візирною віссю труби і фіксують точку 2 і т. д.

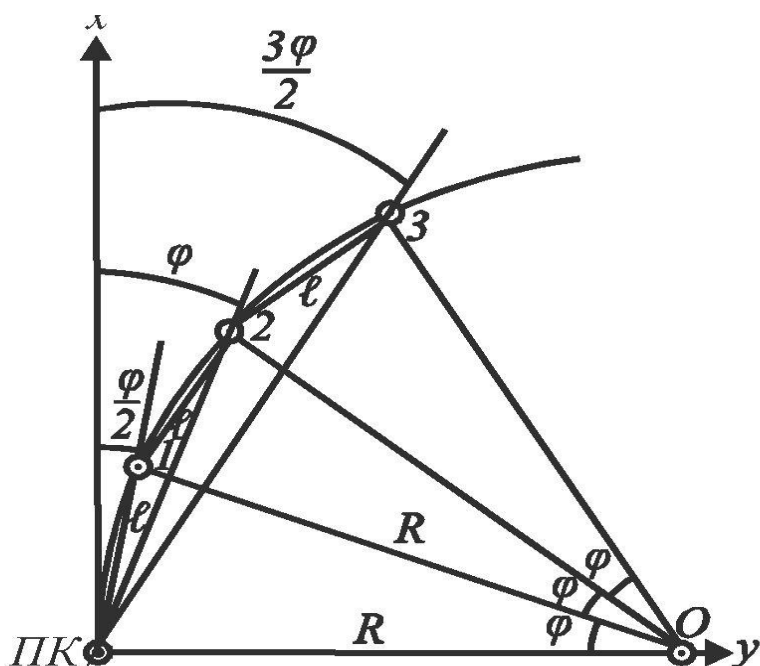


Рис. 11.12. Спосіб кутів

Точки 1, 2 і 3 можна винести в натуру прямою кутвою 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  $O$ .

### 11.2.9. Перенесення пікету на криву

У виробничих умовах часто трапляються випадки, коли під час розмічування пікетажу точка повного пікету розташована на тангенсі кривої [3, 12]. 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 ПК9 (рис. 11.13). Довжину кривої обчислюють за виразом  $k = \text{ПК9} - (\text{ПК8} + 74,36) = 25,64$  м.

Центральний кут  $\varphi$  розраховують за формулою (11.21). За кутом  $\varphi$  і відомим радіусом  $R$  обчислюють прямокутні координата ПК9 на кривій за формулою (11.22).

Якщо в точці ПК9 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  $k=25,64\text{м}$ ). Для того щоб довжина кривої відповідала віддалі від ПК до ПК9, необхідно від ПК9 відкласти назад за напрямком до ПК величину  $(k-x)$  і в отриманій

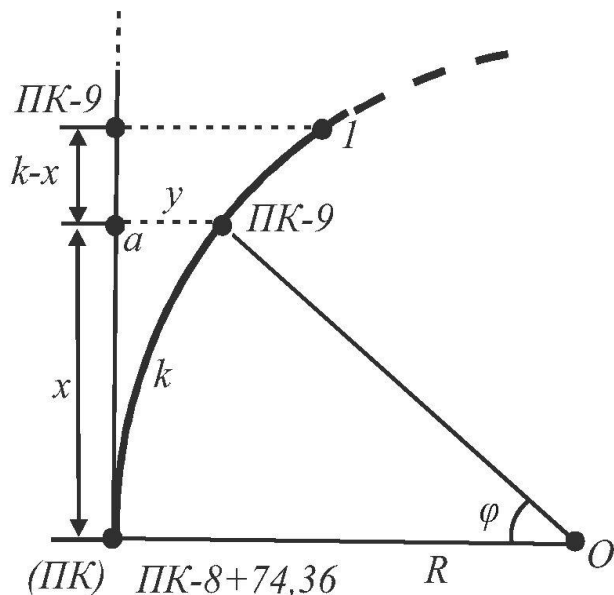


Рис. 11.13. Перенесення пікету на криву

точці  $a$  встановити перпендикуляр та за ним відкласти віддаль  $y$  і закріпити точку. Ця точка має назву ПК9 і розташована на осі кривої.

Підчас нівелювання визначають висоту ПК9 і складений профіль буде відповідати висотам точок, розташованих на осі лінійної споруди.

### 11.2.10. 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 [12]. 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. 11.14).

Позначення точки складається із початкової літери відповідної сторони при руці по осі споруди вперед, наприклад, вправо "П" або вліво "Л", та віддалі по перпендикуляру від осі до характерней точки рельєфу.

Якщо маємо позначення плюсової точки П10 чи Л20, то це значить, що перша характерна точка рельєфу на поперечнику знаходиться від осі споруди

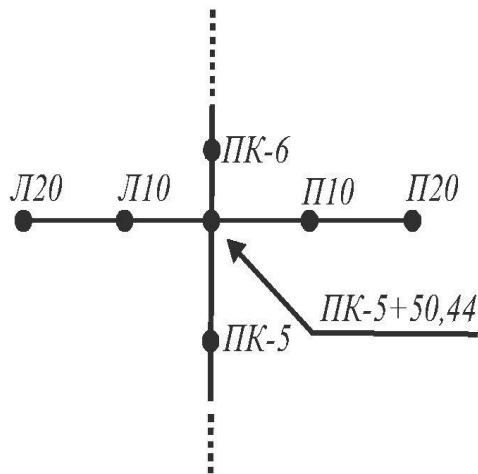


Рис. 11.14. Поперечник на осі споруди

на перпендикулярі 10 м праворуч, а друга – 20м ліворуч.

Місце знаходження поперечника характеризується пікетажним значенням. Наприклад, на рис. 11.14 поперечник має значення ПК5+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.

### 11.2.11. Побудова профілю траси. Основі вимоги до проведення проектної лінії

Профіль траси (див. рис. 11.15) будують на міліметровому папері здебільшого в масштабах: горизонтальний – 1:2 000, вертикальний – 1:200. Спочатку олівцем викреслюють сітку профілю за розмірами, наведеними в табл. 11.3 [9, 11].

Заповнення сітки профілю починають із графі 4, фіксуючи у масштабі 1:2 000 положення пікетів та плюсових точок вертикальними рисками.

Номери пікетів вписують у графу 5 за їх зростанням.

Таблиця 11.3

#### Назви та розміри граф сітки профілю

Номер графи	Назва графи	Ширина графи, см
1	Ухили та віддалі	1,0
2	Проектні висоти	1,5
3	Висоти землі	1,5
4	Пікети та віддалі	1,0
5	Прямі та криві	3,0
6	План траси	2,0

Верхню лінію графі 1 приймають за лінію умовного горизонту. Висоту умовного горизонту вибирають такою, щоб найнижча точка профілю була розташована вище від лінії умовного горизонту на 4-5 см. Від умовного горизонту в масштабі 1:200 відкладають висоти  $H_i$  пікетних і плюсових точок. Відмічають їх точками та прокреслюють від них перпендикуляри до лінії умовного горизонту. Усі нанесені точки послідовно з'єднують, в результаті отримуючи лінію профілю поверхні землі.

### **Побудова проеквної лінії**

Під час будівництва лінійних інженерних споруд для ефективнішої їх експлуатації потрібно виконати земляні роботи, пов'язані з перетворенням (згладжуванням) рельєфу місцевості. Для цього на окремих ділянках профілю траси проектують прямі відрізки відповідних ухилів. Ухили проектують з урахуванням технічних умов на експлуатацію лінійних інженерних споруд, їхнього характеру та особливостей рельєфу місцевості.

### **Основні вимоги до побудови проеквної лінії:**

1) ухили на окремих ділянках траси не повинні перевищувати допустимих, а точки зміни ухилів мають збігатися з пікетними або плюсовими точками профілю;

2) об'єм земляних робіт на окремих ділянках траси повинні бути приблизно однакові, тобто треба, щоб виконувався баланс земляних робіт, а загальний їхній об'єм на трасі відповідав умові:

$$V_{\text{насіпу}} \approx V_{\text{виймки}} = \min; \quad (11.27)$$

3) між спусками та підйомами на трасі необхідно проектувати горизонтальні ділянки, довжина яких не менша за 100 м.

Проектування на профілі починають із вибору проектних висот на кінцях вибраних відрізків. Висоти цих точок беруть графічно безпосередньо з профілю з точністю до 0,1 м (0,5 мм на профілі) й обчислюють попередньо ухил проеквної лінії відрізка за формулою

$$i = \frac{h}{d}, \quad (11.28)$$

де  $h$  – перевищення між кінцями вибраного відрізка траси;  $d$  – його довжина.

Проектний ухил визначають до тисячної частки (промиле).

*Приклад.* [9] Нехай висоти (зняті з профілю) кінців запроєктованого відрізка між ПК2 та ПК4 завдовжки  $d=200$  м становлять  $H_{\text{ПК2}} = 248,60$ ,  $H_{\text{ПК4}} = 246,30$ . Тоді перевищення буде  $h' = H_{\text{ПК4}} - H_{\text{ПК2}} = -2,30$  м. Розрахуємо ухил  $i$  на цьому відрізку  $d$ :

$$i = \frac{-2,30}{200} = -0,0115.$$





Для зручності й точності розрахунків одержаний ухил змінимо так, щоб його значення передавалось цілою тисячною, тобто заокруглимо до парного значення ( $i = -0,012$ ). Тоді перевищення між кінцями запроектованого відрізка за такого ухилу повинно бути

$$h = i \cdot d = -0,012 \times 200 = -2,40 \text{ м.}$$

Для цього змінимо одну із проектних висот (як правило, передню) на  $-0,10$  м. Отже, проектна висота  $H_{ПК4}$  буде не 246,30 м, а 246,20 м.

Аналогічно визначають висоти кінців усіх проектних відрізків та обчислюють їхні ухили.

У графі 1 профільної сітки позначають вертикальними прямими точки зміни напрямку та величини ухилів. В утворених прямокутниках проводять прямі, нахил яких залежить від знака ухилу. Над ними вписують значення ухилу в тисячних частках, а під ними довжину траси, на якій діє цей ухил.

Маючи проектні висоти кінців проектного відрізка, знаходять проектні висоти усіх точок профілю на цьому відрізку траси за формулою

$$H_{\text{пр}i} = H_{\text{пр.поч}} + d_i i, \quad (11.29)$$

де  $H_{\text{пр.поч}}$  – проектна висота початку відрізка з ухилом  $i$ ;  $d_i$  – відстань від початку відрізка до точки, висоту якої обчислюють. Проектні висоти записують у графу 2 над відповідними точками траси. Для відрізків із нульовим ухилом проектні висоти записують тільки на їх кінцях.

### 11.2.12. Червоні та чорні висоти, точки нульових робіт, робочі висоти.

#### Визначення горизонтальних віддалей до точок нульових робіт

На профілях висоти пікетів та плюсових точок, числові значення яких називаються позначками, прийнято вписувати на профілі чорним кольором. Тому ці числові значення висот називаються **чорними висотами**, на відміну від висот проектної лінії. Висоти проектної лінії називають **червоними висотами** [9].

Проектну лінію наносять на профіль згідно з ухилом, що вибрав проєктант, який не повинен перевищувати допустимий ухил  $i_{\text{дон}}$ . Якщо проектна, тобто червона висота початкової точки траси задана (відома), то червону висоту наступної проектної точки знаходять за формулою (11.29), тобто висота наступної точки проектної лінії дорівнює висоті попередньої точки плюс добуток горизонтальної віддалі між цими точками на проектний ухил на цьому відрізку траси. За цією формулою можна обчислити червоні висоти усіх точок проектної лінії траси.

Різниці між червоною та чорною висотами у пікетних та плюсових точках профілю називають **робочими висотами**. Вони показують глибину виїмки або висоту насипу ґрунту у пікетних та плюсових точках. Їх записують на профілі червоним кольором. Робочі висоти, що відповідають насипу, пишуть над проектною лінією, а ті, що відповідають виїмці, – під проектною лінією.

Точки, де лінія профілю траси перетинається з проектною лінією (рис.11.15), називаються **точками нульових робіт**. Тобто в таких точках земляних робіт не виконують. Ці точки виникають тільки в результаті проведення проектної лінії на профілі. На місцевості вони не позначені. Проте під час будівництва лінійної споруди потрібно знати положення таких точок на місцевості, тобто відстань до точки нульових робіт (точки  $O$ ) від найближчих точок профілю, закріплених на місцевості (пікетних, плюсових), а також висоту точки нульових робіт.

Нехай на місцевості (рис.11.16) закріплені точки  $A$  і  $B$  профілю, висоти яких відомі з нівелювання, а також відомі висоти проектної лінії у цих точках (тобто висоти точок  $C$  і  $D$ ). Знаючи висоти точок, можна знайти перевищення  $a$  і  $b$ .

З подібності трикутників  $AOC$  і  $DOB$  можемо записати пропорцію

$$\frac{x}{a} = \frac{y}{b}.$$

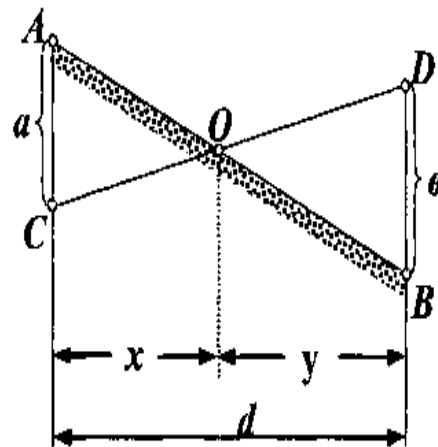


Рис.11.16. Визначення відстаней до точки нульових робіт

Звідси  $x = y \frac{a}{b}$ . Але згідно з рис. 11.16

$$y = d - x. \quad (11.30)$$

Тоді  $x = (d - x) \cdot \frac{a}{b}$ . Розкривши дужки та згрупувавши подібні члени, отримаємо

$$x = d \frac{a}{a + b}. \quad (11.31)$$

Аналогічно можна знайти відстань  $y$  від точки нульових робіт до точки  $B$  за формулою

$$y = d \frac{b}{a + b}. \quad (11.32)$$

У формулах взято абсолютні значення перевищень  $a$  і  $b$ .

Проконтролювати правильність обчислень відстаней  $x$  та  $y$  можна за формулою

$$d = x + y. \quad (11.33)$$

Знаючи відстані  $x$  або  $y$ , ухил  $i$  проектної лінії на цьому відрізку та проектні висоти точок  $C$  і  $D$ , можна за формулою (11.29) знайти висоту точки нульових робіт.

Віддалі  $x$  та  $y$  та висоти точок нульових робіт записують на профілі синім кольором.

### 11.3. Нівелювання поверхні

#### 11.3.1. Розмічування сітки квадратів

Нівелювання поверхні – один із видів топографічного знімання, яке виконують на місцевості із слабовираженим рельєфом для складання великомасштабних планів. Нівелювання поверхні дає змогу точніше визначити висоти точок поверхні [9].

Під час нівелювання значних площ, у місцях майбутньої забудови міст, аеродромів та аеропортів тощо нівелювання площ зазвичай виконують у вершинах квадратів. У цьому разі точки, що нівелюють, розподілені рівномірно на всій площі. Їх закріплюють на місцевості у вершинах квадратів. Довжини сторін квадратів залежать від рельєфу та масштабу плану.

Для розмічування квадрата потрібно побудувати спочатку зовнішній полігон – великий квадрат або прямокутник. Для цього на місцевості закріплюють точку 1 та напрямок 1-А (рис. 11.17), вздовж якого від точки 1

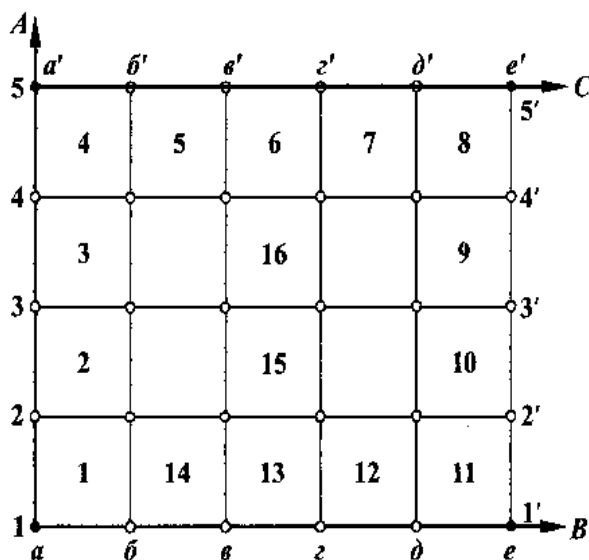


Рис. 11.17. Схема закріплення вершин квадратів та послідовність їх нівелювання

відкладають сталевую стрічкою довжини сторін квадратів і закріплюють точки 2, 3, 4, 5. Потім над точками 1 та 5 послідовно встановлюють теодоліт, відкладають від напрямку 1–5 прямі кути і будують перпендикуляри до лінії 1–В (напрямки 1–В і 5–С відповідно). Потім на цих перпендикулярах відкладають стрічкою довжини сторін квадратів від точок 1 і 5 і отримують точки б, в, г, д, е, та точки б', в', г', д', е' відповідно.

Для контролю вимірюють лінію e-e' яка має дорівнювати лінії 1–5. Допускається розходження, не більше за 1:2000. Якщо ця умова не виконується, уточнюють розмічування

квадратів. Якщо ж умова виконується, то вершини великого квадрата (прямокутника) закріплюють ґрунтовими реперами, а всі інші вершини квадратів – кілочками. Вершини квадратів всередині великого квадрата (прямокутника) можна розмічувати промірами з віхи на віху в створах 2–2', 3–3', 4–4'. Контроль розмічування виконують за перпендикулярними створами (б–б', в–в', г–г', д–д'). Так, наприклад, правильність розташування точки 3в в створі лінії 3-3', можна проконтролювати: ця точка також повинна міститися у створі в-в'.

Тому розмічування вершин квадратів розташованих всередині зовнішнього квадрата (прямокутника), доцільно виконувати одночасно двома теодолітами, а стрічкою лише контролювати розмічування.

Поряд з кілочком, яким закріплена вершина квадрата, забивають кілок-сторожок, на якому роблять надпис, що позначає назви ліній, на перетині яких розміщена ця точка. Наприклад, 2в, 4д і т. д. Ці надписи і є назвами вершин квадратів.

Одночасно з побудовою квадрата та закріпленням їхніх вершин виконують знімання ситуації (переважно методом перпендикулярів). Отримані результати записують на абрисі.

### 11.3.2. Виконання нівелювання поверхні

Залежно від довжин сторін квадратів, рельєфу, розмірів ділянки можна виділити такі способи нівелювання вершин квадратів [9]:

I. Якщо сторони квадратів великі (наприклад 200 м), то потрібно виконувати послідовне нівелювання окремими нівелірними ходами (рис. 11.18). Спочатку прокладають зімкнутий нівелірний хід між точками 1а, 5а, 5е, 1е, 1а. Потім, наприклад, прокладають ходи вздовж ліній 1б-5б, 1в-5в, 1г-5г, 1д-5д. Завдяки такому нівелюванню усі вершини квадратів будуть

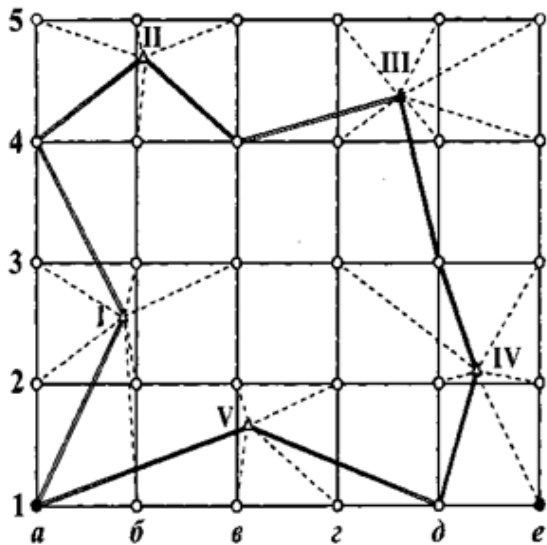


Рис. 11.18. Схема нівелювання вершин квадратів (4а, 4в, 3д, 1д – зв'язувальні інші – проміжні)

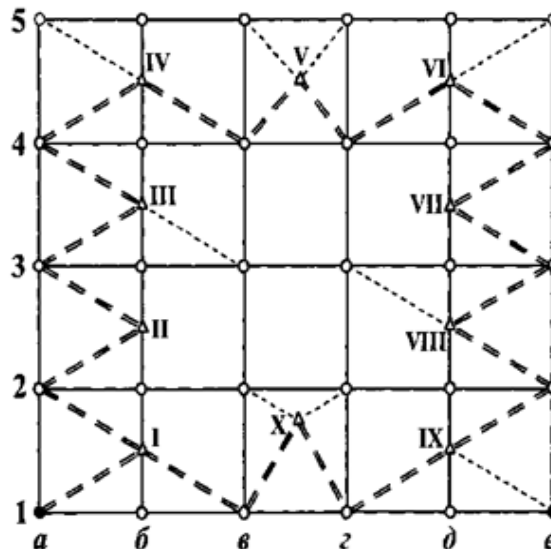


Рис. 11.19. Нівелювання вершин квадратів. Частина вершин – зв'язувальні точки, інші – проміжні

зв'язувальними. Під час опрацювання результатів нівелювання мережу нівелірних ходів врівноважують.

II. Якщо довжини сторін квадратів 50 – 100 м, тоді нівелювання вершин квадратів виконують у такий спосіб: прокладають зімкнутий нівелірний хід так, щоб його зв'язувальними точками були деякі вершини квадратів, а інші були проміжними точками. Важливо, щоб усі вершини квадратів були

занівельованими. Схема розташування станцій такого нівелювання вершин квадратів показана на рис. 11.19.

Кількість станцій та зв'язувальних точок залежно від довжин сторін квадратів та рельєфу може змінюватися. Так, на рис. 11.18, показано нівелірний хід з п'яти станцій, а на рис. 11.19 – з десяти.

III. Нівелір встановлюють всередині кожного зовнішнього квадрата поверхні, яка нівелюється. Реечник встановлює рейку у чотирьох вершинах квадрата. Рейки відлічують тільки за чорною шкалою.

Під час нівелювання поверхні окремими квадратами (рис. 11.20) журнал не ведуть. Відліки записують на схемі всередині квадратів, біля вершин. У квадратах, вершини яких пронівельовані із сусідніх квадратів, нівелювання не виконують (на рис. 11.20 – це чотири квадрата). Завдяки такому нівелюванню можна контролювати відліки рейок: на спільній для двох квадратів стороні суми діагонально протилежних відліків повинні бути рівні.

Нехай відліки рейок, взяті з першої станції у вершинах квадратів  $2a$  і  $2б$ , дорівнюють  $a_1$  і  $b_1$ , а відліки рейок у цих вершинах квадратів, взяті з другої станції –  $a_2$  і  $b_2$ . Перевищення між вершинами квадратів  $2a$  і  $2б$  отримаємо двічі

$$\left. \begin{aligned} h &= a_1 - b_1 \\ h &= a_2 - b_2 \end{aligned} \right\} \quad (11.34)$$

Тому

$$a_1 - b_1 = a_2 - b_2, \quad (11.35)$$

або

$$a_1 + b_2 = a_2 + b_1. \quad (11.36)$$

У разі нівелювання окремими квадратами кількість станцій зростає порівняно з попередніми способами, зате відлічують тільки чорні шкали рейок, збільшується кількість точок, на яких можна контролювати відліки.

IV. На малих площах з квадратами, сторони яких – 5...10 м, нівелювання може виконуватися з однієї станції.

З нівеліром встають приблизно посередині ділянки. Рейки почергово встановлюють в усіх вершинах квадратів і відлічують тільки їхню чорну шкалу. Журнал нівелювання у такому разі не ведуть. Відліки записують на схемі нівелювання. Висоти усіх вершин квадратів обчислюють через горизонт приладу ( $ГП$ ). Для цього достатньо мати висоту хоча б однієї вершини квадратів, наприклад, точки  $1a - H_{1a}$ .

Нехай відліки в точках  $1a$ ,  $1б$ ,  $1в$  дорівнюють  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  відповідно. Тоді

$$ГП = H_{1a} + a_1. \quad (11.37)$$

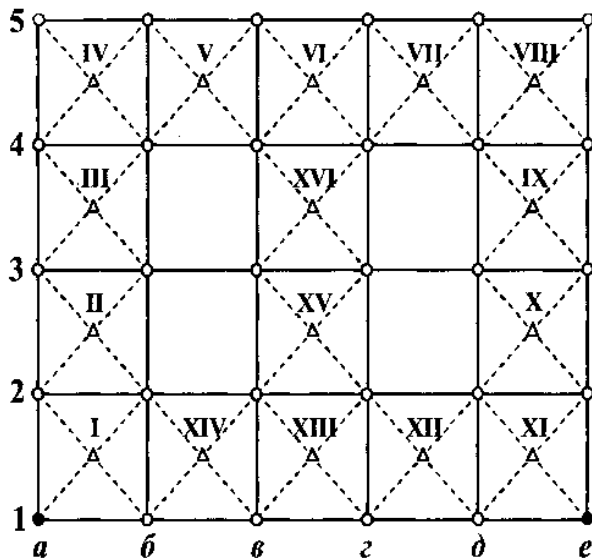


Рис. 11.20. Нівелювання вершин квадратів. Нівелір встановлюють всередині квадратів

Відповідно висоти точок  $H_{1б}$ ,  $H_{1в}$  будуть  $H_{1б} = ГП - a_2$ ,  $H_{1в} = ГП - a_3$ .

Зазначимо, що такий спосіб нівелювання вершин квадратів – безконтрольний. Якщо ж необхідний контроль, тоді слід відлічувати чорну та червону шкали рейки у кожній вершині квадратів. При цьому різниці відліків червоної і чорної шкал рейки у кожній точці мають бути постійними величинами і змінюватися можуть в межах точності вимірювань, тобто не більше за 5 мм.

### 11.3.3. Складання плану нівелювання поверхні

План (карту) поверхні за результатами нівелювання вершин квадратів складають на аркуші креслярського паперу. Спочатку в заданому масштабі, згідно з польовою схемою будують сітку квадратів, наносять плюсові точки і біля кожної точки і вершини квадратів з журналу виписують їхню висоту, заокруглену до 0,01 м [10, 11].

По сторонах квадратів і також по діагоналях квадратів, але тільки тих, що вказані на схемі стрілками, інтерполюють (одним із способів, описаних у розділі. 6.5) горизонталі. Виконавши інтерполювання вздовж сторін одного - двох квадратів, через позначені точки прокреслюють горизонталі і так поступово наносять горизонталі на усьому плані (карті).

Згідно із абрисами наносять на план (карту) ситуацію.

Побудову плану перевіряють. Після коректування та укладки горизонталей план викреслюють наступними кольорами: сітку квадратів - синім; горизонталі, їхні висоти та бергштрихи – коричневим; усі інші підписи - чорним. Рельєф і ситуацію на карті викреслюють згідно з "Умовними знаками для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 " [17].

### 11.4. Складання проекту вертикального планування будівельного майданчика

Перетворення природного рельєфу на території будівельного майданчика в поверхню, що задовольняє технічним вимогам цієї споруди, називається *вертикальним плануванням*. Проект вертикального планування

є складовою частиною генплану будівництва; у його розробці важливе місце займають геодезичні розрахунки [10].

Залежно від умов експлуатації сооружний, що зводяться, розрізняють випадки вертикального планування під горизонтальний або похилий майданчик. Основою для складання проекту вертикального планування служать топографічні плани місцевості в масштабах 1:1000 – 1:500, отримані в результаті нівелювання поверхні по квадратах (див розділ 11.3).

**Вертикальне планування під горизонтальний майданчик.** Даний випадок вертикального планування зазвичай передбачає дотримання нульового балансу земляних робіт, т. е. рівність об'ємів ґрунту по виїмці і насипу. Для вирішення завдання використовують фактичні відмітки вершин квадратів (рис. 11.21, а).

Умова нульового балансу земляних робіт забезпечується створенням горизонтального майданчика з проектною відміткою

$$H_{\text{ПР}} = \frac{\sum H_I + 2\sum H_{II} + 3\sum H_{III} + 4\sum H_{IV}}{4n}, \quad (11.38)$$

де  $\sum H_I$  – сума фактичних відміток, що входять в один квадрат ( $H_1, H_5, H_{16}, H_{23}$ );  $\sum H_{II}$ ,  $\sum H_{III}$ ,  $\sum H_{IV}$  – відповідно суми відміток вершин, загальних для двох ( $H_2, H_3, H_4, H_{10}, \dots$ ), трьох ( $H_{18}$ ) і чотирьох ( $H_7, H_8, H_9, \dots$ ) квадратів;  $n$  – число квадратів.

По проектній відмітці  $H_{\text{ПР}}$  і значенням фактичних відміток вершин розраховують робочі відмітки:

$$h_1^{\text{роб}} = H_{\text{ПР}} - H_1; \quad h_2^{\text{роб}} = H_{\text{ПР}} - H_2; \quad h_n^{\text{роб}} = H_{\text{ПР}} - H_n. \quad (11.39)$$

Робочі відмітки з їх знаками ( $h^+$  – насипання,  $h^-$  – виїмка ґрунту) виписують на сторожках, забитих у вершинах квадратів.

Обсяги земляних робіт підраховують для насипу і виїмки роздільно у відомості. В цілому квадраті, що не перетинається лінією нульових робіт, обсяг земляних робіт обчислюють за формулою:

$$V = d^2 \frac{\sum a}{4},$$

де  $d$  – довжина сторони квадрата,  $\sum a$  – сума робочих відміток його вершин.

Квадрати, що перетинаються лінією нульових робіт, розчленовують на елементарні фігури (зазвичай трикутники).

Обсяг земляної призми, основою якої є трикутник, обчислюють за формулою:

$$V = S \frac{\sum a}{3},$$

де  $S$  – площа трикутника,  $\sum a$  – сума робочих відміток його вершин.

Контролем правильності обчислень служить рівність суми площ для всіх фігур загальної площі запланованої ділянки  $S_{\text{заг}}$ , а також рівність (баланс)



обсягів насипу  $\Sigma V_H$  і виїмки  $\Sigma V_B$ . Похибка  $\Delta V = |\Sigma V_H| - |\Sigma V_B|$  не повинна перевищувати 2% від загального обсягу  $|\Sigma V_H| + |\Sigma V_B|$  земляних робіт.

На картограмі під номером кожної фігури вказується обсяг земляних робіт в ній з округленням до цілих куб.м.

Насипи фарбують червоним, виїмки – жовтим кольором.

### Контроль правильності обчислень

$$S_{\text{общ}} = \Sigma S_H + \Sigma S_B =$$

$$\Delta V = |\Sigma V_H| - |\Sigma V_B| = \frac{|\Delta V|}{|\Sigma V_H| + |\Sigma V_B|} \cdot 100\% \leq 2\%$$

Коефіцієнт планування, тобто обсяг земляних робіт, що припадає на одиницю площі  $K_n = V / S_p$ , де  $V$  – загальний обсяг земляних робіт, м<sup>3</sup>;  $S_p$  – площа рекультивованої ділянки, м<sup>2</sup>.

При  $K_n < 1$  земляні роботи, як правило, виконуються бульдозером, при  $K_n > 1$  – екскаватором.

**Вертикальне планування під похилий майданчик.** Проектування майданчиків по заданому ухилу роблять при вертикальному плануванні внутрішньоквартальних територій, при облаштуванні похилих майданчиків під технологічне обладнання і т. п. Початковими даними є чорні відмітки вершин квадратів, проектна відмітка опорної точки  $M$  (рис. 11.21, б) і проектні ухили по взаємно перпендикулярних сторонах квадратів  $i_1$  та  $i_2$ . Розрахунки і побудови ведуться на робочому кресленні, на якому нанесена сітка квадратів в масштабі 1 :500.

Зв'язок між проектними відмітками точок похилої проектної площини і опорної точки  $M$  в загальному випадку встановлюється по формулі

$$H_n = H_M + i_1 S_1 + i_2 S_2, \quad (11.40)$$

де  $S_1, S_2$  – відстані по сторонах квадратів від опорної до шуканої точки.

Практично спочатку обчислюють проектні перевищення по сторонах квадрата

$$h_1 = i_1 d; h_2 = i_2 d, \quad (11.41)$$

де  $d$  – довжина сторони квадрата.

Далі по відмітці опорної точки  $M$  і розрахованим перевищенням знаходять проектні відмітки вершин квадратів по контуру сітки, а потім вершин квадратів усередині корпусу. Така послідовність забезпечує надійний контроль обчислень.

По значеннях проектних і фактичних відміток вершин обчислюють їх робочі відмітки, які виписують на кресленні біля відповідних вершин квадратів (рис. 11.21, в). Квадрати сітки, що мають у своїх вершинах робочі

відмітки одного знаку, називаються *однорідними*, а різних знаків – *перехідними або змішаними*.

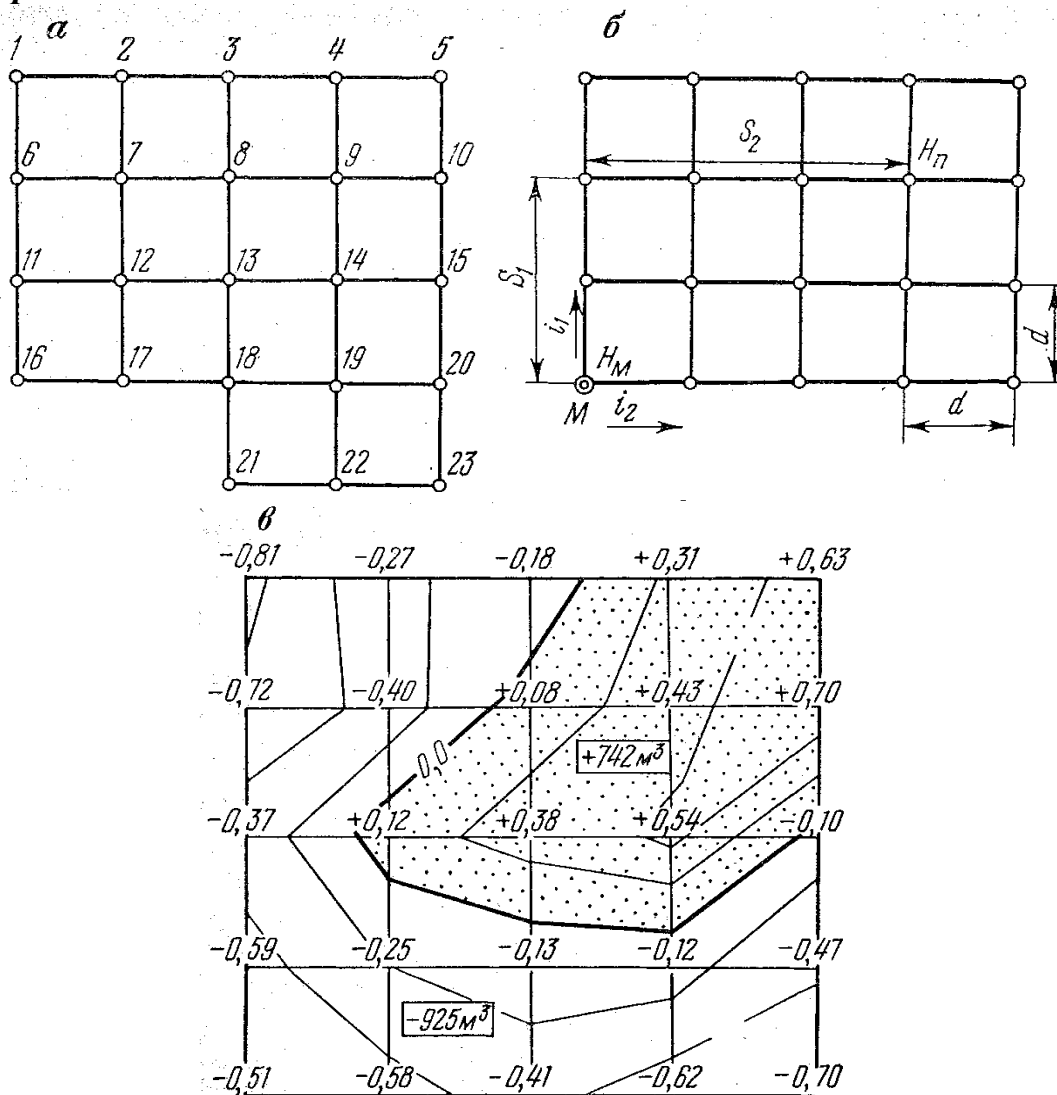


Рис. 11.21. Вертикальне планування будівельного майданчика

За допомогою графічної інтерполяції робочих відміток по сторонах квадратів будують ізолінії робочих відміток (ізобари) з висотою перерізу  $0,1-0,5$  м. Лінія нульових робіт, що розмежовує насипи від виїмок, на кресленні виділяється. Надалі перед початком земляних робіт робочі відмітки зі своїми знаками виписують на сторожках у відповідних вершинах квадратів. Лінія нульових робіт виноситься на місцевості по сторонах квадратів і позначається поруч кілочком.

Обсяги земляних робіт підраховують на підставі робочих відміток вершин квадратів роздільно по виїмці і насипу ґрунту. Залежно від характеру рельєфу місцевості і необхідної точності підрахунок обсягів здійснюють способами середнього арифметичного, призм, паралельних перетинів та ін.

При складанні проекту вертикального планування на основі нівелювання поверхні за квадратами зазвичай використовують спосіб призм. При

цьому об'єми насипу та виїмки прирівнюють до обсягів призм з основою у вигляді трикутників, квадратів або трапецій і висотою, що дорівнює середній робочій позначці фігури.

В однорідних квадратах обсяг чотиригранної призми визначається за формулою:

$$V_{кв} = \frac{s}{4} \sum_1^3 h^{pab},$$

де  $s$  – площа підстави призми (квадрата).

У змішаних квадратах, які перетинає лінія нульових робіт, частини квадратів зазвичай ділять на трикутники і обсяг кожної тригранної призми знаходять як:

$$V_{тр} = \frac{s}{3} \sum_1^3 h^{pab}.$$

При цьому в підрахунку середньої робочої позначки в число точок включають і нульові точки.

Остаточним графічним документом вертикального планування є картограма земляних робіт (див. рис. 3.6, в), на якій вказуються фактичні, проектні та робочі позначки вершин, положення лінії нульових робіт і значення обсягів насипу і виїмки ґрунту за однорідними квадратами і окремими частинами перехідних квадратів.

Після підрахунку обсягів для окремих геометричних фігур обчислюють загальні обсяги насипу та виїмки і зводять баланс земляних робіт, тобто визначають надлишок або нестачу ґрунту при вертикальному плануванні майданчика. Для наочності на плані площі насипів і виїмок розфарбовують різними кольорами.

## 11.5. Елементи геодезичних разбівочних робіт

Геодезичні разбівочні роботи складаються з побудови на місцевості проектних кутів, відстаней, точок з проектними відмітками, ліній і площин з проектними ухілами.

### 11.5.1. Побудова проектного кута.

Побудова на місцевості горизонтальних кутів заданої величини може бути виконана теодолітом двома способами [10, 11]:

1) з точністю, рівній точності теодоліта; 2) з точністю, що перевищує точність теодоліта (спосіб підвищеної точності)

1-й спосіб (рис. 11.22, а).

Проектний кут  $\beta$  двічі відкладають від початкового напрямку за допомогою теодоліта при  $KL$  і  $KП$ , відмічаючи на місцевості точки  $C_1$  і  $C_2$ . Внаслідок приладових погрешностей ці точки зазвичай не співпадають. Розділивши відстань  $C_1C_2$  навпіл, закріплюють на місцевості точку  $C$ .

Відкладений кут  $ABC = \beta$  відрізнятиметься від проектного його значення не більше ніж на величину точності теодоліта.

2-й спосіб (рис. 11.22,б). За допомогою теодоліта відкладають на місцевості при одному положенні труби значення кута і закріплюють отриманий напрям точкою  $C_0$ . Потім 2-3 повними прийомами або повтореннями вимірюють кут  $BAC_0$  і набувають його значення з підвищеною точністю.

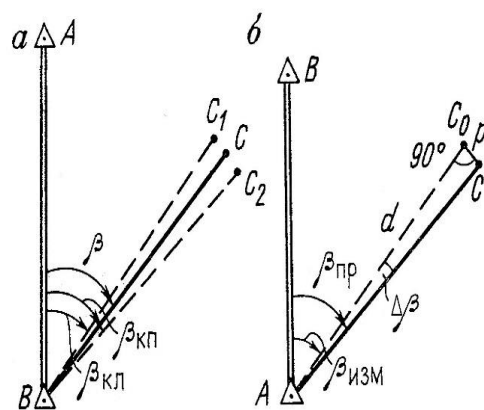


Рис. 11.22. Побудова проектного кута

Знаючи величину проектного кута  $\beta_{пр}$ , знаходять різницю

$$\Delta\beta = \beta_{пр} - \beta_{вим}, \quad (11.42)$$

Вимірявши відстань  $AC_0 = d$ , обчислюють лінійне зміщення

$$p = \frac{\Delta\beta''}{\rho''} d. \quad (11.43)$$

Величину  $p$  відкладають по перпендикуляру до лінії  $AC_0$  і закріплюють точку  $C$ . Отриманий кут  $BAC$  для контролю вимірюють тим же числом прийомів, що і кут  $BAC_0$ .

### 11.5.2. Побудова лінії проектної довжини.

Для побудови на місцевості проектної лінії від вихідної точки в заданому напрямі слід відкласти відстань  $D$ , горизонтальне проложення  $d$  якого рівно проектному [10]. Тому в проектну відстань вводять поправки за нахил місцевості, температуру вимірів і компарування, т. е.

$$D = d + \Delta_H + \Delta_t + \Delta_K = D_0 + \Delta_t + \Delta_K, \quad (11.44)$$

де  $D_0$  – довжина похилої проектної лінії.

Поправка за нахил лінії завжди вводиться зі знаком "плюс". Якщо на плані по горизонталях або нівеляцією на місцевості визначено перевищення кінців лінії  $h$ , то поправка за нахил визначиться по формулі

$$\Delta_H = \frac{h^2}{2d}. \quad (11.45)$$

Поправка за температуру

$$\Delta_t = \alpha D_0 (t - t_0), \quad (11.46)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу мірного приладу (для сталі,  $\alpha = 0,000012$ );  $t, t_0$  – відповідно, температура мірного приладу при вимірах і при компаруванні.

Поправка за компарування

$$\Delta_k = \frac{D_0}{l} \Delta l_k, \quad (11.47)$$

де  $l$  – довжина мірного приладу;  $\Delta l_k$  – поправка за компарування на довжину мірного приладу.

Слід пам'ятати, що при відкладанні проектної довжини на місцевості усі поправки мають знаки, зворотні знакам поправок при вимірах довжин. Для розбиття ліній з точністю 1:2000 – 1:3000 застосовують сталеві мірні стрічки, 1:3000 – 1:10 000 – шкалові стрічки і рулетки, 1:10 000 – 1:50 000 – інварні стрічки і дроти або світлодалекоміри.

### 11.5.3. Винесення на місцевість точки з проектною відміткою.

Це завдання є найбільш поширеним при висотному розбитті і здійснюється за допомогою нівеліра і рейки [10].

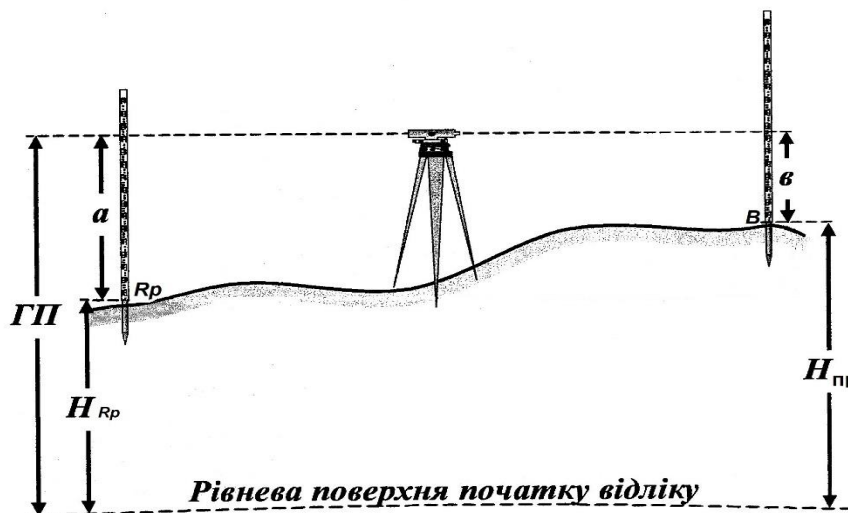


Рис. 11.23. Схема винесення точки з проектною відміткою

Нехай вимагається в точці  $B$  місцевості (рис. 11.23) забити кілочок так, щоб його торець був на проектній відмітці  $H_{пр}$ . Нівелір встановлюють посередині між репером  $R_p$  і точкою  $B$ . По рейці, встановленій на реперові, беруть відлік,  $a$  і обчислюють горизонт приладу

$$ГП = H_{Rp} + a. \quad (11.48)$$

Потім обчислюють шуканий відлік  $v$  по рейці, встановленій в точці  $B$ ,

$$v = ГП - H_{пр}. \quad (11.49)$$

Тоді, спостерігаючи в нівелір за рейкою в точці  $B$ , забивають кілочок до тих пір, поки відлік по рейці не стане рівним шуканому відліку  $v$ . Для контролю правильності винесення проектної відмітки виміри повторюють. При цьому точність нівелювання повинна відповідати точності виконуваного розбиття.

#### 11.5.4. Побудова лінії з проектним ухилом.

Рішення даною задачі може бути виконано за допомогою нівеліра або теодоліта [10].

Нехай з точки  $A$  у напрямі  $AB$  вимагається розбити лінію завдовжки  $d$  із заданим ухилом  $i_{пр}$  (рис.11.24, а).

Відклавши на місцевості проектну відстань  $d$ , відмічають кілочком точку  $B$  і обчислюють її проектну відмітку

$$H_B = H_A + i_{пр}d. \quad (11.50)$$

$$ГП = H_A + a. \quad (11.51)$$

Потім обчислюють відлік по рейці, який повинен відповідати проектному положенню торця кілочка в точці  $B$ ,

$$v = ГП - H_B = H_A + a - H_B \quad (11.52)$$

і виносять відмітку точки  $B$ . Лінія, що сполучає торці кілочків в точках  $A$  і  $B$ , і буде лінією із заданим ухилом.

При розбитті на місцевості ліній зі значними ухилами  $i_{пр}$  або кутами нахилу  $\nu_{пр}$  використовують теодоліт (рис.11.24, б). Для цього в точці  $A$  встановлюють теодоліт, вимірюють його висоту  $i_T$  і відмічають її на рейці. Від точки  $A$  відкладають похилу відстань  $D = d/\cos\nu_{пр}$  і відмічають отриману точку  $B$  кілочком.

Заздалегідь визначивши  $MO$  вертикального круга, обчислюють відлік при  $KL$  або  $KП$ , що відповідає проектному куту нахилу  $\nu_{пр}$ , і встановлюють на вертикальному крузі теодоліта. Потім на кілочок в точці  $B$  ставлять рейку і кілочок забивають до тих пір, поки відлік по рейці не стане рівним висоті теодоліта  $i_T$ . При великих довжинах ліній із заданим ухилом в створі лінії розбивають ряд проміжних точок. Для точного визначення по висоте положення проміжних точок використовують нівелір.

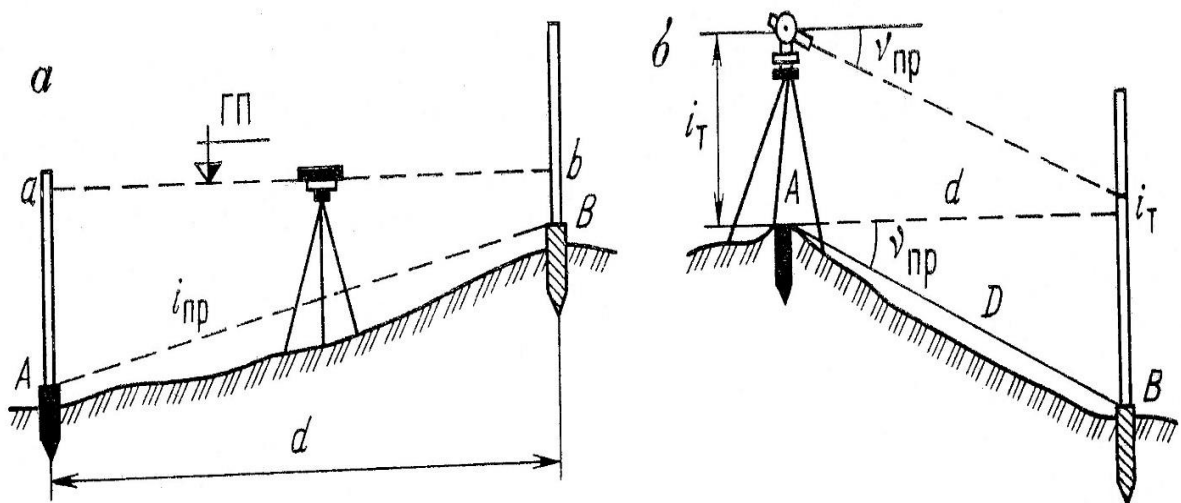


Рис. 11.24. Схема побудови лінії з проектним ухилом:  
а – з допомогою нівеліра; б – з допомогою теодоліта.



$$\beta_A = \alpha_{A-Ц} - \alpha_{A-B}; \quad \beta_B = \alpha_{B-Ц} - \alpha_{B-D},$$

$$d_{A-Ц} = \frac{Y_{Ц} - Y_A}{\sin \alpha_{A-Ц}} = \frac{X_{Ц} - X_A}{\cos \alpha_{A-Ц}}; \quad d_{B-Ц} = \frac{Y_{Ц} - Y_B}{\sin \alpha_{B-Ц}} = \frac{X_{Ц} - X_B}{\cos \alpha_{B-Ц}}.$$

На місцевості визначають місцеположення центра стовбура з допомогою теодоліта і сталеві мірної стрічки, причому, при відкладанні  $d_{AЦ}$  і  $d_{BЦ}$  враховують похил лінії  $АЦ$  і  $ВЦ$ , вводячи відповідні поправки за похил цих ліній.

### 11.5.6. Перенесення абсолютної відмітки точки на дно будівельного котловану

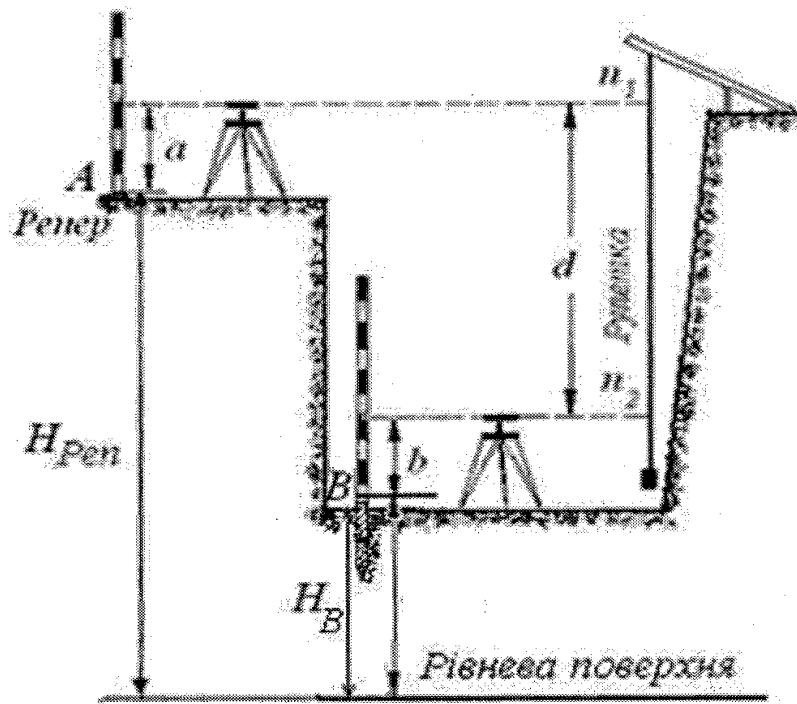


Рис. 11.26. Схема перенесення абсолютної відмітки

Для перенесення абсолютної відмітки точки треба мати поблизу котловану закріплений на місцевості пункт з відомою абсолютною відміткою (репер, марку) (рис.11.26) [1].

У даному випадку відмітку переносять на точку  $B$  з допомогою двох нівелірів, двох рейок і рулетки. На репер (Рр  $A$ ) і на кілок, забитий у дно котловану, точка  $B$ , ставлять рейки. Приблизно на рівних відстанях від рейок установлюють нівеліри і беруть відліки  $a$  і  $b$  на



укосину  $u$  підвишують рулетку нулем догори і з вантажем  $P$  вниз, та водночас визначають по рулетці відстань  $d$ , як різницю між відліками  $n_2$  і  $n_1$  за рулеткою. Тоді абсолютна відмітка точки  $B$  у котловані:

$$H_B = H_{Rp} + a - d - b, \quad (11.51)$$

де  $H_{Rp}$  – абсолютна відмітка репера;  $a$  і  $b$  відліки по рейках;  $d = n_2 - n_1$ .

Користуючись такою методикою можна при перенесенні проектних відміток на дно будівельного котловану або шахтного стовбура, або високої частини споруди (на верхні поверхи споруд) і т.ін.

Якщо на високі частини споруди формула (11.51) prime вигляд:

$$H_B = H_{Rp} + a + d - b. \quad (11.52)$$

## Питання для самоконтролю

1. Який комплекс геодезичних робіт виконують на місцевості під час будівництва лінійних споруд?
2. Що називається трасуванням і як воно поділяється?
3. За якими параметрами розрізняють трасування?
4. Яких правил трасування дотримуються в рівнинних районах?
5. Яких правил трасування дотримуються в гірських умовах?
6. Які інженерні споруди називаються лінійними?
7. Які точки по осі лінійної споруди закріплюють на місцевості?
8. Назвіть основні точки кривої, ніж вони закріплюються на місцевості?
9. Що таке пікет?
10. За якими формулами обчислюються головні точки кривої?
11. Що ведеться одночасно з розмічуванням пікетажу і що там показується?
12. Послідовність робіт и на станції технічного нівелювання оптичними нівелірами.
13. В якій послідовності виконують нівелювання на станції?
14. Що таке зв'язувальні та проміжні точки?
15. Назвіть послідовність опрацювання журналу поздовжнього технічного нівелювання?
16. Що називається горизонтом приладу і за якою формулою він обчислюється?
17. Які способи детального розмічування осі кривої ви знаєте?
18. Для чого по осі лінійної споруди розмічають поперечники?
19. В яких масштабах будують профіль траси?
20. Що таке червоні та чорні висоти, точки нульових робіт, робочі висоти?
21. Як визначити відстані до точок нульових робіт?
22. Для яких цілей виконують нівелювання по квадратах?
23. Які способи нівелювання вершин квадратів ви знаєте?
24. Що називається вертикальним плануванням?
25. За якими формулами обчислюються проектна та робоча відмітки?
26. Що таке картограма земляних робіт і для яких цілей вона потрібна?
27. З чого складаються геодезичні разбівочні роботи?
28. Якими способами можна побудувати проектний кут на місцевості з допомогою теодоліта?
29. Як винести на місцевості точки з проектною відміткою?
30. Як на місцевості побудувати лінію з проектним ухилом?
31. Як перенести центр стовбура з проекту в натуру?
32. Як перенести абсолютну відмітку точки на дно будівельного котловану або високої частини споруди?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бандурка В.І. Геодезія. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999.
2. Ващенко В.І., Літинський В.О., Перій С.С. Геодезичні прилади та приладдя. – Львів, 2003.
3. Ганьшин В.Н., Хренов Л.С. Таблицы для разбивки круговых кривых и переходных кривых. – М.: Недра, 1985.
4. ДСТУ 2756-94. Геодезія. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994.
5. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. – Київ, 1999.
6. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. М., Недра, 1966.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990.
8. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Ч. II. Електронні геодезичні прилади. – Львів, 2000.
9. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія. Частина II: підручник для вузів. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2008.
10. Поклад Г.Г. Геодезія: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988
11. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезія: Учеб. Пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Академический Проект; Парадигма, 2011. – 538 с.
12. Романчук С.В., В.П. Кирилюк., М.В. Шемякін Р69 Геодезія. Навчальний посібник. – К. Центр учбової літератури, 2008. – 296с.
13. Російсько – український тлумачний словник основних термінів та понять з геодезії / Укл. Новицький В.В. – Харків : ХІІМГ, 1993.
14. Рябчій В.А., Рябчій В.В. Теорія похибок вимірювань: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 166 с.
15. Топографо – геодезична та картографічна діяльність (законодавчі та нормативні акти). Частина I. Головне управління геодезії, картографії та кадастру. – Київ: 2000.
16. Таблицы координат Гаусса-Крюгера и таблицы размеров рамок и площадей трапеций топографических съёмок. – М., Недра, 1963.
17. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000 – 1:500 2001.
18. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Тревого І.С. Геодезичні прилади. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2009.

## **ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК**



## **ДОДАТКИ**

### 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..... $\rho^1=3437,74677078$
4. Число секунд в радіані..... $\rho^2=206264,806247$
5. Радіус земної кулі, поверхня якої  
дорівнює поверхні еліпса, км..... $R=6371,116$   
 $\rho^0=360/2\pi$ ;  $\rho^1=60 \cdot 360/2\pi$ ;  $\rho^2=60 \cdot 360 \cdot 60/2\pi$ ;  $\sin 1' = 1/\rho^1$ .

### Температурні коефіцієнти

- Сталь загартована .....  $\alpha=0,0000125$ ;  
Сталь .....  $\alpha=0,0000111$ ;  
Інвар .....  $\alpha=0,000004$ .

### Алгебраїчні тотожності

$$\begin{aligned} a^2 - b^2 &= (a-b)(a+b); & (a+b)^2 &= a^2 + 2ab + b^2; \\ (a+b)^2 &= (a+b)(a+b); & (a-b)^2 &= a^2 - 2ab + b^2. \\ ax^2 + bx + c &= 0; & x &= (b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a; \\ x^2 + px + q &= 0; & x &= -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}; \end{aligned}$$

$$\lg(a+b) = \lg a + \lg b; \quad \lg\left(\frac{a}{b}\right) = \lg a - \lg b; \quad \lg a^n = n \lg a;$$

### 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**

$$F = \pi R^2 = \pi \frac{D^2}{4},$$

**8. Площа сектора**

$$F = \frac{1}{2} R \times l = \frac{\pi R^2 \alpha}{360^\circ};$$

де  $R$  – радіус;  $D$  – діаметр;  $l$  – довжина дуги сектора;  $\alpha$  – центральний кут, який опирається на довжину дуги.

**9. Об'єм піраміди**  
(правильної і неправильної)

$$V = \frac{1}{3} F \times h$$

**10. Об'єм зрізаної піраміди**

$$V = \frac{1}{3} (F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2}) \times h,$$

де  $F$  – площа основи,  $h$  – висота.

**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

$$\begin{aligned} \operatorname{tga} &= \sin a / \cos a; \operatorname{ctga} = \cos a / \sin a; \operatorname{seca} = 1 / \cos a \\ \operatorname{coseca} &= 1 / \sin a; \sin^2 a + \cos^2 a = 1. \end{aligned}$$

### Функції суми і різниці кутів

$$\begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta; \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \alpha \cdot \sin \beta; \end{aligned}$$

$A$	$\sin A$	$\cos A$	$\operatorname{tg} A$	$\operatorname{ctg} A$	$\operatorname{sec} A$	$\operatorname{cosec} A$
$0^\circ$	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	$-\alpha$	$90^\circ - \alpha$	$90^\circ + \alpha$	$180^\circ - \alpha$
$\sin$	$-\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\sin \alpha$
$\cos$	$+\cos \alpha$	$+\sin \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$
$\operatorname{tg}$	$-\operatorname{tga}$	$+\operatorname{ctga}$	$-\operatorname{ctga}$	$-\operatorname{tga}$
$\operatorname{ctg}$	$-\operatorname{ctga}$	$+\operatorname{tga}$	$-\operatorname{tga}$	$-\operatorname{ctga}$

Функції	$180^\circ + \alpha$	$270^\circ - \alpha$	$270^\circ + \alpha$	$360^\circ - \alpha$	$360^\circ + \alpha$
$\sin$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$+\sin \alpha$
$\cos$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$+\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\cos \alpha$
$\operatorname{tg}$	$+\operatorname{tga}$	$+\operatorname{ctga}$	$-\operatorname{ctga}$	$-\operatorname{tga}$	$+\operatorname{tga}$
$\operatorname{ctg}$	$+\operatorname{ctga}$	$+\operatorname{tga}$	$-\operatorname{tga}$	$-\operatorname{ctga}$	$+\operatorname{ctga}$

### 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

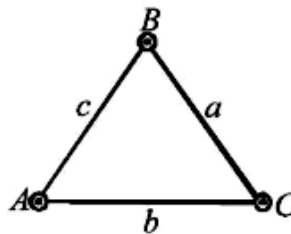
### Рішення довільного трикутника

$$a/\sin A = b/\sin B = c/\sin C = 2R$$

(теорема синусів)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \times \cos A$$

(теорема косинусів)



Площа круга  $P = \pi R^2 = \pi D^2/4$ ,  
де -  $R$  – радіус;  $D$  – діаметр.




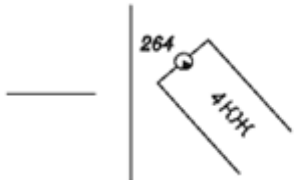


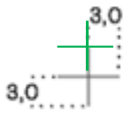
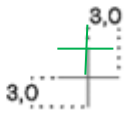
Довжина кола  $L = 2 \pi R$ .

## ГЕОДЕЗИЧНІ ПУНКТИ

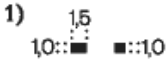



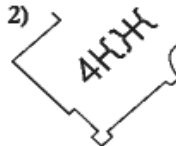
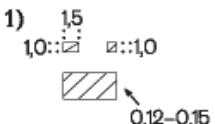


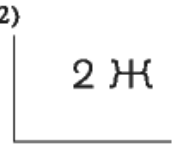
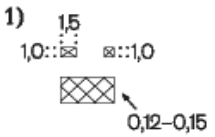


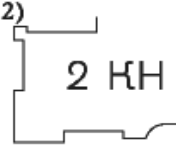

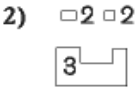
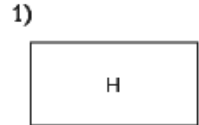
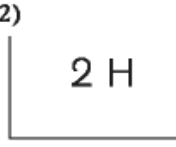



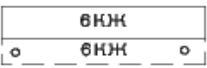
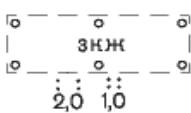
№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
1	Пункти державної геодезичної мережі (в чисельнику дробу - позначка центру, в знаменнику - позначка землі; ліворуч від знака - назва пункту) (* [21-24])		
2	Пункти державної геодезичної мережі [21-25]: 1) на курганах (цифри ліворуч - висоти курганів в метрах)		
	2) на скелях останцях (цифри ліворуч - висоти останців у метрах)		
	3) на будівлях (цифри та букви - характеристики будівель)		

(\* 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 решти в чисельнику дробу - позначка центру, в знаменнику - позначка землі, знизу - висота останця в метрах, ліворуч - номер пункту)	1)	1)
*	3) у стінах будівель	2)	2)
		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)	<p>3,5  <math>\frac{285}{1187,11}</math></p> <p>5)  <math>\frac{278}{1152,38}</math></p>	<p>5)  <math>\frac{278}{1152,38}</math></p>
*	6) репери та марки стіни	<p>6) </p>	<p>6) </p>
*	7) репери тимчасові	<p></p>	<p>7) тимч. <math>\frac{15 \oplus \frac{617,96}{2,0}}{617,5}</math></p>
11	Перетин ліній координатної сітки [44]	<p></p>	<p></p>

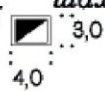











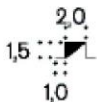

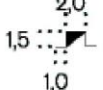

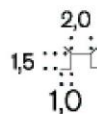

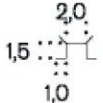



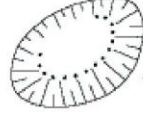
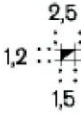
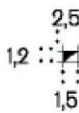
## БУДІВЛІ, БУДИНКИ ТА ЇХ ЧАСТИНИ

№	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) </p> <p>2) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p></p>
13	<p>Будівлі житлові невогнестійкі (дерев'яні, саманні, глинобитні) [45-54]:</p> <p>1) одноповерхові</p> <p>2) багатоповерхові</p>	<p>1) </p> <p>2) </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) </p> <p>2) </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) </p> <p>2) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p>
16	<p>Будівлі з різноповерховими частинами [52-54]</p>	<p></p>	<p></p>
17	<p>Будинки з колонами замість частини або всього першого поверху [55]</p>	<p></p>	<p></p> <p></p>

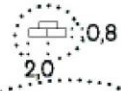
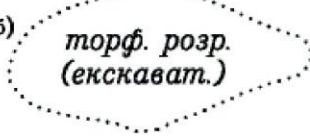
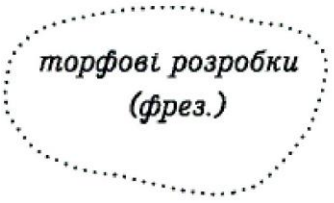
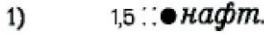


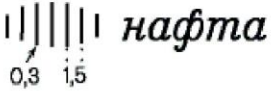
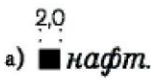
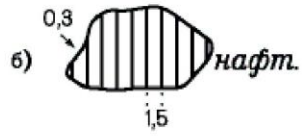
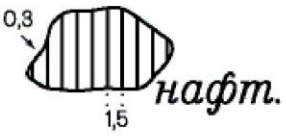






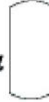

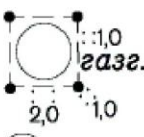


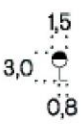
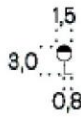
# ОБ'ЄКТИ ПРОМИСЛОВІ, КОМУНАЛЬНІ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

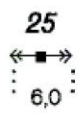
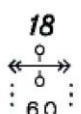
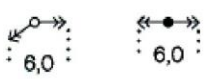
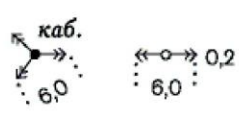
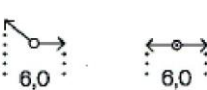
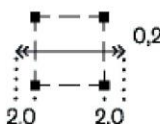
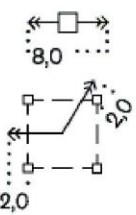
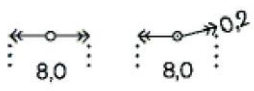
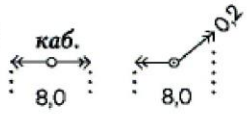
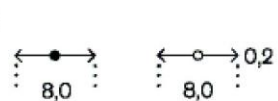
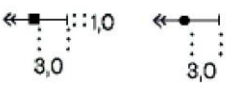
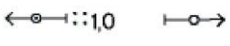
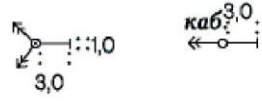

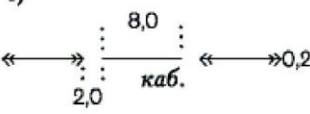
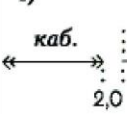
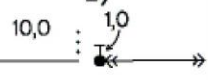
№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
60	<p>Будівлі виробничого призначення (заводів, фабрик, електростанцій, млинів, котельень тощо) з трубами (цифри - висоти труб у метрах) [104-105]:</p> <p>1) з трубами, що є орієнтирами</p> <p>2) з трубами, що не є орієнтирами (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>		



№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
65 *	Устя основних шахтних стовбурів [113-117]: 1) прямокутного профілю 2) круглого профілю Спеціалізація шахт, матеріал копрів та їх висота в метрах	1) коп.М 56  шах. вуг. 2) коп.ЗБ 51  шах. вуг.	1)  коп.мет. шах. вуг. 2) коп.ЗБ  шах. вуг.
66	Устя допоміжних шахтних стовбурів та експлуатаційних шурфів [113-117]: 1) прямокутного профілю 2) круглого профілю	1) коп.ЗБ  шах. вуг. 2) 2,0  шурф	1)  шурф 2) шах. вуг.  коп.мет.
67	Устя недіючих шахтних стовбурів та експлуатаційних шурфів [113-117]: 1) прямокутного профілю 2) круглого профілю	1)  шах. 2) 2,0  шурф	1)  шурф 2) коп.мет.  шах.
68	Устя діючих штолень [113-116]	 шт.  шт.	 шт.  шт.
69	Устя недіючих штолень [113-116]	 шт.  шт.	 шт.  шт.
70	Устя обвалених шахтних стовбурів, шурфів, штолень (цифри - глибини ям в метрах) [118]	4,6  шурф 3,8  шах.	 шах. 4,8
71 *	Устя розвідувальних (пошукових) геологічних шурфів (у чисельнику дробу - номер шурфа, в знаменнику - позначка землі біля шурфа) [119]	2,5  350,2 1,2	2,5  32 1,2 350,2




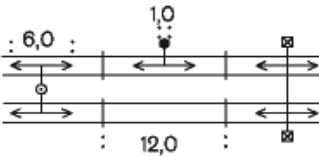
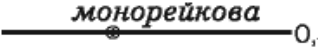
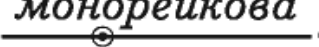


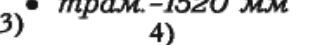
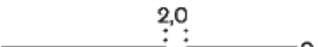

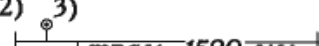
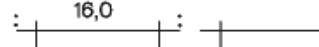

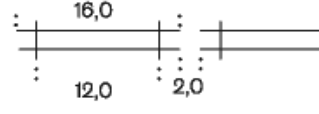
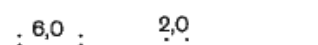
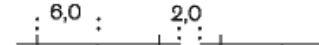
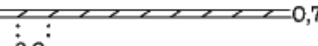
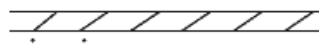


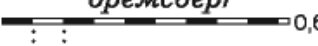

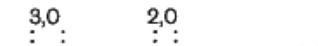
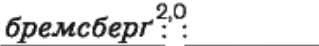
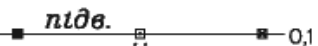

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
72 *	<p>Лінійні об'єкти геологорозвідувального призначення [120,121]:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) лінії розвідувальних геологічних шурфів</li> <li>2) лінії розвідувальних геологічних свердловин</li> <li>3) канали геологічні</li> <li>4) валики уздовж геологічних каналів</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>1) свердловини глибокого буріння</li> <li>2) свердловини глибиною менше 500м</li> <li>3) свердловини заглушені</li> </ol>		
74	Свердловини, розташовані куццем [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
77	Торфорозробки з розподілом за способом добування [131]	а)  б) 	
78	Колодязі нафтові [132]: 1) діючі 2) недіючі	1)  <i>нафт.</i> 2)  <i>н(недіюч.)</i>	
79	Виходи нафти [133]	а)  <i>нафт.</i> б)  <i>нафта</i> <small>0,3 1,5</small>	
80	Басейни та ями нафтові, мазутні тощо [134]	а)  <i>нафт.</i> б)  <i>нафт.</i>	 <i>нафт.</i>
81 *	Баки та цистерни для пального, кислот, хімічних добрив, газгольдери (цифри - висоти опор в метрах) [135-137]	    <i>бак кисл.</i>  <i>цист. хім. добр.</i>	 <i>нафта</i>  <i>цист.</i>  <i>цист.</i>  <i>газг.</i>  <i>бак кисл.</i>  <i>цист. хім. добр.</i>
82	Бензоколонки, колонки дизельного пального, заправні станції [138]	 <small>0,8</small>	 <small>0,8</small>

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
95	<p>Лінії електропередачі (ЛЕП) на забудованій території [154-162]:</p> <p>1) ЛЕП високої напруги на металевих фермах (цифри - висоти ферм в метрах)</p> <p>2) ЛЕП високої напруги на дерев'яних фермах (цифри - висоти ферм в метрах)</p> <p>3) ЛЕП високої напруги на стовпах</p> <p>4) кабельна повітряна ЛЕП високої напруги на стовпах</p> <p>5) ЛЕП низької напруги на стовпах</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p>
96	<p>Місця переходу від повітряних ЛЕП до кабельних підземних ЛЕП [163]</p>	<p></p> <p></p>	<p></p> <p></p>
97	<p>Електрокабелі підземні [164-169]:</p> <p>1) високої напруги (закладені в траншеї)</p> <p>2) кабельні стовпчики-сторожки</p>	<p>1) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p>

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
	<p>3) низької напруги (закладені в траншеї)</p> <p>4) позначки землі і залягання кабеля</p> <p>5) катодного захисту та контури заземлення</p> <p>6) високої та низької напруги в блоках (цифри - кількість прокладок у блоці)</p>	<p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>	<p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>
*	<p>7) високої та низької напруги в каналах; матеріал каналу, колодязі оглядові, їх номери та позначки (цифри в розрізі знака - кількість прокладок, індекси ww - висока напруга, w - низька)</p>	<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]:		
*	<p>1) високої напруги, на поверхні дна</p> <p>2) низької напруги, на поверхні дна</p> <p>3) високої та низької напруги, прокладені під дном або перекритті наносами (цифри біля стрілки - глибина від поверхні дна в метрах)</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </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]		
136	Залізниця електрофікована, опори контактної мережі [213,214]		
137	Залізниця монорейкова [213,215]		
138 *	1) Залізниця вузькоколійні [213,216] 2) Колії трамвайні [217] 3) Опори контактної мережі [217] 4) Призначення колії та її ширина	1)  2)  3)  4) 	1)  2) 3)  4) 
139	Залізниця нормальної колії, що споруджуються [218]		
140	Залізниця вузькоколійні та трамвайні колії, що споруджуються [218]		
141	Полотно розібраних залізниць [219]		
142	Ділянки залізниць зі значними ухилами (0,020 і більше) [219]		
143	Фунікулери та бремсберги [220]		
144	Фунікулери та бремсберги, що споруджуються [220]		
145	Дороги підвісні, їх опорні стовпи та ферми [221]		

## 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
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		






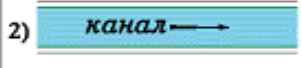



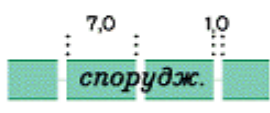
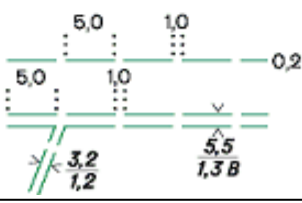
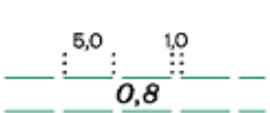
№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
187	Лотки для спуску лісу та інших матеріалів [273]		
188	Селеспуски через дороги та канали [274]		
189	Стежки [275,276]: 1) в'ючні 2) пішохідні 3) ділянки на штучних карнизах та їх характеристики (чисельник - найменша ширина в метрах, знаменник - довжина в метрах)		
190	Прогони для худоби [277]: 1) огорожені (цифри - ширина в метрах) 2) без огорожі		

## ГІДРОГРАФІЯ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ
		1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500
191	Лінії берегові постійні та визначені [278-280]	
192	Лінії берегові невизначені (водотоків і водойм по болотах, низинних узбережжях, у суцільних заростях очерету тощо) [280]	
193	Позначки урізів води [281,282]: 1) за фактичними визначеннями з датою вимірів 2) приведені до середнього меженого рівня 3) комбіновані	
194	Лінії берегові непостійні (водотоків та водойм сезонно-пересихаючих і сезонно-водних) [280]  * Позначки висот непостійних берегових ліній [283]	

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
213	Річки та струмки [305]:  1) ширина яких не виражається в масштабі плану  2) ширина яких виражається в масштабі плану		
214 *	Характеристики водотоків [306-308]:  1) напрям і швидкість течії (м/с)  2) ширина в метрах  3) глибина в метрах та ґрунт дна при поєднанні характеристик - ширина в чисельнику, глибина та ґрунт - у знаменнику)		
215	Русла річок і струмків з чергуванням постійно-водних і пересихаючих ділянок [309]		
216	Русла річок і струмків зі зникаючими ділянками (підземними, що розливаються по болотах тощо) [310]		

## ОБ'ЄКТИ ГІДРОТЕХНІЧНІ, ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ВОДОПОСТАЧАННЯ

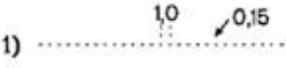
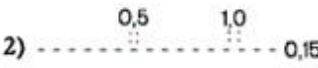
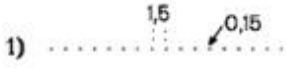
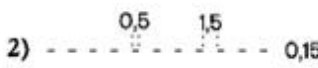
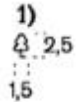

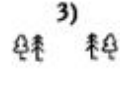
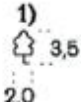


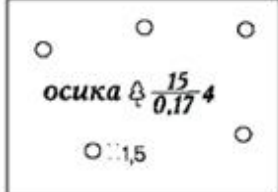
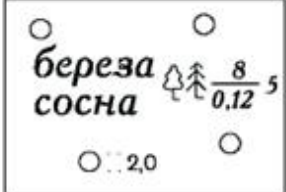
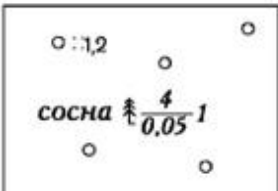
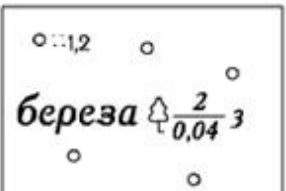
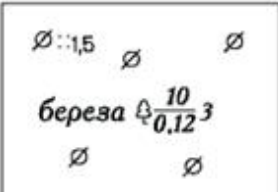
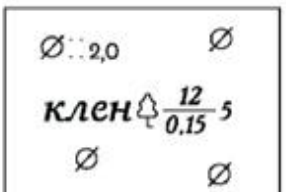
№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
224	Канали, каналізовані ділянки річок і канави [322-324]: 1) наземні 2) наземні бетоновані	 <p>1)</p> <p style="text-align: center;"><i>бет.</i></p>  <p>2)</p> <p style="text-align: center;"><i>бет. канал</i></p>	 <p>1)</p> <p style="text-align: center;"><i>бет.</i></p>  <p>2)</p> <p style="text-align: center;"><i>канал</i></p>
225	Канали підземні дренажна підземна мережа [325]		
226 *	Характеристики каналів та канав. У чисельнику дробу - ширина по верху і по дну в метрах, в знаменнику - глибина в метрах; одинарна характеристика - глибина в метрах [326-329]	$\frac{3,1-0,8}{1,4}$ $\frac{2,6}{1,5}$	<p style="text-align: center;">1,4</p>
227	Канали, що споруджуються [330]	 <p style="text-align: center;"><i>спорудж.</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>спорудж.</i></p>
228	Канави сухі та їх характеристики. У чисельнику дробу - ширина, в знаменнику - глибина в метрах; одинарна характеристика - глибина в метрах. Буква - характеристика дна (в канавах шиоше 5 м) [331]		

## РЕЛЬЄФ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ
		1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500
307	<p>Горизонталі [424-433]:</p> <p>1) горизонталі потовщені (через заданий інтервал основного перерізу)</p> <p>2) горизонталі основні</p> <p>3) горизонталі додаткові (напівгоризонталі - на половині висоти основного перерізу)</p> <p>4) горизонталі допоміжні (на довільній висоті)</p> <p>5) горизонталі для зображення нависаючих схилів</p> <p>6) покажчики напрямку схилів (бергштрихи)</p> <p>7) підписи горизонталей</p>	
308	<p>Позначки висотні [434]:</p> <p>1) вище нуля Кронштадтського футштока</p> <p>2) нижче нуля Кронштадтського футштока</p>	
309	<p>Перевали, їх висотні позначки і місяці дії [435]</p>	
310	<p>Обриви земляні (цифри - глибини в метрах) [436]</p>	

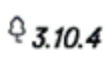








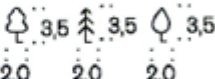
















№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ
		1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500
316	Вирви карстові і псевдо-карстові (цифри - глибини в метрах) [442]	
317 *	1) Западини (блюдця) [443] 2) Вимоки [443] 3) Плями розвіювання [443]	
318	Ями (цифри - висоти в метрах) [444]	
319	Кургани (цифри - висоти в метрах) [445]	
320	Природні горби-орієнтири, що не виражаються горизонталями (цифри - висоти в метрах) [446]	
321	Окремі камені-орієнтири (цифри - висоти в метрах) [447]	
322 *	Вали із камення [448]	

## РОСЛИННІСТЬ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
333	<p>Контури рослинності, сільськогосподарських угідь тощо [463-465]:</p> <p>1) при ручному нанесенні</p> <p>2) при автоматизованому нанесенні</p>	<p>1) </p> <p>2) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p>
<b>Деревна рослинність</b>			
334	<p>Характеристики лісових деревостоїв [466]:</p> <p>За складом:</p> <p>1) листяні</p> <p>2) хвойні</p> <p>3) змішані</p> <p>За метричними даними: в чисельнику дробу - середня висота в метрах; у знаменнику - середня товщина стовбурів в метрах; праворуч - середня відстань між деревами в метрах</p>	<p>1)  2)  3) </p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{18}{0,22}^5</math></p>	<p>1)  2)  3) </p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{12}{0,15}^3</math></p>
335	Ліси високостовбурні [467]	<p></p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{15}{0,17}^4</math></p>	<p></p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{8}{0,12}^5</math></p>
336	Ліси пригнічені низькорослі [468]	<p></p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{4}{0,05}^1</math></p>	<p></p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{2}{0,04}^3</math></p>
337	Криволісся [469]	<p></p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{10}{0,12}^3</math></p>	<p></p> <p style="text-align: center;"><math>\frac{12}{0,15}^5</math></p>

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
338	Поросль лісу (окрема цифра або чисельник дробу - середня висота в метрах, знаменник - середня товщина стовбурів в метрах) [470]		
339	1) Лісопосадки молоді (цифра - середня висота в метрах) [465,471]		
	2) Розсадники лісових і декоративних порід [472]		
340	Просіки в лісі [473]:		
	1) шириною 5 мм і більше в масштабі плану		
	2) шириною від 1 до 5 мм в масштабі плану		
3) шириною від 0,5 до 1 мм в масштабі плану (цифра - ширина в метрах)			



№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
354	Характеристики вузьких смуг деревних насаджень, що визначаються при зйомці для меліорації земель (цифри: <i>перша</i> - середня висота дерев в метрах, <i>друга</i> - загальна ширина смуги в метрах, <i>третья</i> - кількість рядів дерев) [486]		
355	Дерева, що стоять окремо, орієнтирного або культурно-історичного значення [487]: 1) листяні 2) хвойні 3) фруктові	<p>1)  2.5 1.5</p> <p>2)  2.5 1.5</p> <p>3)  2.5 1.5</p>	<p>1)  3.5 2.0</p> <p>2)  3.5 2.0</p> <p>3)  3.5 2.0</p>
356	Дерева, що стоять окремо, але не мають орієнтирного або культурно-історичного значення [487]		
357	Породи дерев (позначення при подеревній зйомці) [488]:		
	1) широколисті (дуб, бук, клен, граб, липа, ясен, в'яз тощо)		1) 
	2) дрібнолисті (береза, верба, осика, вільха, тополя тощо)		2) 
	3) фруктові		3) 
	4) пальми		4) 
	5) ялини та смереки		5) 
	6) сосни та кедри		6) 
	7) модрина		7) 
	8) кипариси		8) 

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ
		1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500
<b>Трав'яна та мохова рослинність</b>		
365	Трав'яна лугова рослинність (різнотрав'я) [497,498]	
366	Рослинність високотрав'яна (чий, зонтичні висотою 1 м і більше) [497,499]	
367	Рослинність трав'яна вологолюбна (осока, пухівка тощо) [497,500]	
368	Зарості очерету [497,501]	
369	Мочарі, що не виражаються в масштабі плану [497,502]	
370	Рослинність трав'яна степова (ковила, типчак тощо) [497,503]	
371	Рослинність мохова [504]	

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
<p>Водяна рослинність зображується умовними знаками №№ 204-208 на блакитному фоні (див. таблиці 48, 49)</p> <p><b>Культурна рослинність</b></p>			
372	Сади фруктові (включаючи цитрусові) (цифра - середня висота в метрах) [465,505-507]		
373	Ягідники [505,508]		
374	Виноградники [505]		
375	Сади фруктові з ягідниками [465,505,509]		

## ОГОРОЖІ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
398	1) Огорожі кам'яні та залізобетонні висотою 1 м і більше, мури історичні [531-533] 2) Огорожі шиферні на кам'яному, бетонному або цегляному фундаменті [531-533]	1)	1)
		2)	2)
399	Огорожі кам'яні та залізобетонні висотою менше 1 м, огорожі глинобитні, ворота в огорожах [531-533]		
400	Огорожі металеві [531,532, 534]: 1) висотою 1 м і більше, з воротами 2) висотою менше 1 м 3) на кам'яному, бетонному або цегляному фундаменті	1)	1)
		2)	2)
		Зображуються ум. зн. №400 (1) або (2)	3)
401	Огорожі дерев'яні, ворота в огорожах [531,534]: 1) суцільні, штахетні тощо 2) на кам'яному, бетонному або цегляному фундаменті 3) з капітальними опорами	1)	1)
		2)	2)
		3)	3)
402	Огорожі дротяні [531,535]: 1) з колючого дроту 2) з гладкого дроту 3) з дротяної сітки (вольери) 4) дротяні "електропастухи"	1)	1)
		2)	2)
		Зображуються ум. зн. №401 (1)-(3)	3)
		4)	4)
403	Загорожі, плоти та трельяжі [531,535]	Зображуються ум. зн. №401 (1) або (2)	

