

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»
Державний вищий навчальний заклад
«Національний лісотехнічний університет України»**

І.В. Калинич, Г.Г. Гриник, М.Р. Ничвид

ГЕОДЕЗІЯ

Підручник

**Львів – Ужгород
2021**

УДК 528(075)

К 17

Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. Геодезія: підручник. Львів-Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», ДВНЗ «НЛТУ України», 2021. 280 с.

ISBN 978-617-7825-45-5

Базовий підручник з однойменної дисципліни навчального плану. Написаний відповідно до вимог Державного освітнього стандарту. Представлено загальні відомості з геодезії, картографії та топографії; будови та призначення геодезичних приладів, методів геодезичних вимірювань, обчислень і оцінки точності їх результатів; інженерно-геодезичних робіт, що виконуються під час вишукування, проєктування і будівництва інженерних споруд. Наведено відомості з геодезичного забезпечення лісовпорядних робіт та техніку безпеки при їх виконанні.

Для студентів вищих навчальних закладів за спеціальностями 205 "Лісове господарство" та 206 "Садово-паркове господарство".

Рецензенти:

Перій С. С. – д.т.н., доцент, зав. кафедри геодезії Інституту геодезії НУ «Львівська політехніка»;

Рябчій В. В. – к.т.н., доцент, зав. кафедри геодезії НТУ «Дніпровська політехніка»;

Білоус А. М. – д. с.-г. н., професор, зав. кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів та природокористування

Рекомендовано до друку Вченою радою

ДВНЗ «НЛТУ України» (протокол №3 від 29 квітня 2021 р.)

Рекомендовано до друку Науково-методичною радою

ДВНЗ «НЛТУ України» (протокол №3 від 15 квітня 2021 р.)

Рекомендовано до друку Вченою радою

ДВНЗ «УжНУ» (протокол №6 від 27.05.2021 р.)

Рекомендовано до друку Редакційно-видавничою радою

ДВНЗ «УжНУ» (протокол №3 від 25.05.2021 р.)

ISBN 978-617-7825-45-5

© ДВНЗ «УжНУ», 2021

© ДВНЗ «НЛТУ України», 2021

© І.В. Калинич, Г.Г. Гриник,

М.Р. Ничвид, 2021

Зміст

ВСТУП.....	8
Тема 1. ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗІЇ. ЗВ'ЯЗОК ГЕОДЕЗІЇ З ІНШИМИ НАУКАМИ. РОЛЬ ГЕОДЕЗІЇ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ, НАЦІОНАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЦІ ТА ОБОРОНІ КРАЇНИ	9
1.1. Предмет геодезії.....	9
1.2. Зв'язок геодезії з іншими науками	10
1.3. Роль геодезії у наукових дослідженнях, національній економіці та обороні країни	12
1.4. Короткі відомості з історії розвитку геодезії	12
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 1	14
РОЗДІЛ ПЕРШИЙ. ТОПОГРАФІЧНІ КАРТИ І ПЛАНИ.....	15
Тема 2. ПОВЕРХНЯ, ФОРМА І РОЗМІРИ ЗЕМЛІ	15
2.1. Поняття про форму і розміри Землі	15
2.2. Основні лінії і площини земного еліпсоїда	19
2.3. Визначення положення точок на земній поверхні	19
2.4. Карта, план, профіль	21
2.5. Лісові карти та лісовпорядні планшети	26
2.5.1. Детальні карти, плани і лісовпорядні планшети.....	26
2.5.2. Схеми підприємств лісового господарства або районні схеми лісів	29
2.5.3. Оглядові карти лісів регіону або групи регіонів	30
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 2	32
Тема 3. ОСНОВНІ СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ГЕОДЕЗІЇ	33
3.1. Геодезична система координат	33
3.2. Астрономічна система координат	34
3.3. Сферична система координат.....	35
3.4. Полярна і біполярна системи координат	36
3.5. Система плоских прямокутних координат	38
3.6. Визначення геодезичних координат точок за картою	39
Питання і завдання для самоконтролю до Теми 3	41
Тема 4. ЗОНАЛЬНА СИСТЕМА ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ ГАУССА.....	43
4.1. Рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гаусса.....	43
4.2. Система плоских прямокутних координат Гаусса	44
4.3. Визначення географічних координат точок, заданих на карті.....	48
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 4.....	49

Тема 5. РОЗГРАФЛЕННЯ ТА НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ, ЛІСОВПОРЯДНИХ ПЛАНШЕТІВ І ПЛАНІВ.....	51
5.1. Розграфлення і номенклатура топографічних карт і планів різних масштабів	51
5.2. Особливості розграфлення і позначення планів лісонасаджень і лісовпорядних планшетів	56
5.3. Визначення географічних координат кутів рамки аркуша топографічної карти.....	56
5.4. Визначення номенклатури аркушів карт за географічними координатами об'єктів	57
5.5. Визначення номенклатури суміжних аркушів карти.....	59
5.6. Цифрова номенклатура карт.....	61
Питання і завдання для самоконтролю до Теми 5	61
Тема 6. МАСШТАБИ ТОПОГРАФІЧНИХ І ЛІСОВИХ КАРТ	63
6.1. Масштаби топографічних карт.....	63
6.2. Поперечний масштаб	65
6.3. Перехідний лінійний масштаб.....	66
6.4. Масштаб кроків (лінійний масштаб кроків)	67
6.5. Точність масштабу	68
6.6. Визначення невідомого масштабу карти	69
6.7. Особливості масштабів географічних карт	70
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 6	70
Тема 7. ВИМІР ВІДСТАНЕЙ І ПЛОЩ ЗА ТОПОГРАФІЧНИМИ КАРТАМИ	71
7.1. Техніка вимірювання та відкладання відстаней на карті.....	71
7.1.1. Вимірювання відстаней міліметровою лінійкою	71
7.1.2. Вимірювання відстаней циркулем-вимірником	71
7.1.3. Вимірювання відстаней курвіметром	73
7.1.4. Перерахунок горизонтального прокладання у похилу лінію.....	74
7.2. Вимір площ за картами	75
7.2.1. Вимірювання площі ділянки з прямолінійними межами	75
7.2.2. Вимірювання площі ділянки з криволінійним контуром.....	76
7.2.3. Вимірювання площі ділянки зі складною конфігурацією.....	76
7.2.4. Обчислення площі багатокутника за координатами його вершин (аналітичний спосіб).....	79
7.3. Окомірні вимірювання на карті.....	81
Питання і завдання для самоконтролю до Теми 7	81

РОЗДІЛ ДРУГИЙ. МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ 83

Тема 8. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ВИКОНАННЯ І ОРГАНІЗАЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ 83	83
8.1. Основні принципи організації геодезичних робіт.....	83
8.2. Опорні геодезичні мережі.....	84
8.3. Традиційні методи побудови планових опорних геодезичних мереж.....	85
8.4. Загальні принципи визначення координат за допомогою спутникових навігаційних систем.....	87
8.5. Стан державної геодезичної мережі України.....	93
8.6. Сучасна програма побудови державної геодезичної мережі України.....	96
8.7. Геодезичні мережі згущення і знімальні мережі.....	100
8.8. Закріплення пунктів геодезичних мереж.....	101
8.9. Загальні відомості про знімання місцевості.....	104
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 8.....	105
Тема 9. ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ..... 107	107
9.1. Класифікація теодолітів.....	107
9.2. Перевірки теодолітів серії Т30.....	111
9.3. Способи вимірювання горизонтального кута.....	118
9.4. Вимірювання кутів нахилу.....	121
9.5. Джерела похибок кутових вимірювань.....	123
9.6. Бусольне знімання.....	125
9.6.1. Будова та повірки бусолі.....	125
9.6.2. Методика здійснення бусольного знімання.....	131
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 9.....	137
Тема 10. ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ..... 138	138
10.1. Мірні стрічки і рулетки.....	138
10.2. Вимірювання довжин ліній стрічками.....	139
10.3. Приведення до горизонту довжини похилої лінії.....	142
10.4. Джерела похибок лінійних вимірювань.....	145
10.5. Оптичні віддалеміри.....	147
10.6. Електрооптичні способи вимірювання віддалей.....	149
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 10.....	156
Тема 11. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕВИЩЕНЬ..... 157	157
11.1. Види нівелювання.....	157
11.2. Геометричне нівелювання.....	158
11.3. Нівеліри. Типи нівелірів.....	160
11.4. Нівелірні рейки.....	162
11.5. Перевірки нівеліра.....	165

11.6. Методика технічного нівелювання	168
11.7. Джерела похибок геометричного нівелювання	171
11.8. Тригонометричне нівелювання	175
11.9. Вплив кривизни Землі та рефракції на результати нівелювання ...	178
11.10. Геометричне нівелювання	179
11.10.1. Обчислення в журналі технічного нівелювання	180
11.10.2. Розрахунок горизонтальних колових кривих.....	183
11.10.3. Побудова поздовжнього профілю	184
11.10.4. Проектування на профілі	188
11.10.5. Викреслення поперечних профілів	191
11.10.6. Оформлення профілів.....	191
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 11	191

РОЗДІЛ ТРЕТІЙ. ГЕОДЕЗИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИКОНАННЯ ЗНІМАНЬ

192

Тема 12. ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ОБРОБКА МЕРЕЖ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ЗНІМАЛЬНОЇ ОСНОВИ.....

192

12.1. Зміст та організація обробки геодезичних вимірювань	192
12.2. Пряма і зворотна геодезичні задачі.....	194
12.3. Обробка теодолітного ходу	196
12.4. Зрівнювання висотних мереж знімальноїоснови	204
12.5. Особливості зрівнювання діагональних теодолітних ходів	210
12.6. Розв'язування кутових і лінійних геодезичних засічок.....	211
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 12	217

Тема 13. ТЕОДОЛІТНЕ ЗНІМАННЯ.....

219

13.1. Сутність теодолітного знімання і вимоги до її виконання	219
13.2. Елементи ситуації, які підлягають зніманню	221
13.3. Методи виконання теодолітного знімання	222
13.4. Камеральна обробка теодолітного знімання	231
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 13	235

Тема 14. ТАХЕОМЕТРИЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

236

14.1. Суть та сфера застосування тахеометричного знімання.....	236
14.2 Основні формули тахеометричного знімання	237
14.3. Прилади тахеометричного знімання	240
14.4. Робота на станції тахеометричного знімання.....	244
14.5 Складання плану тахеометричного знімання	246
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 14	249

Тема 15. ОКОМІРНЕ ЗНІМАННЯ ТА БАРОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

250

15.1. Суть окомірного знімання	250
15.2. Інструменти і прилади для окомірного знімання	250

15.3. Визначення віддалей під час окомірного знімання.....	251
15.4. Методика виконання окомірного знімання	252
15.5. Загальні основи барометричного нівелювання	254
15.6. Прилади для барометричного нівелювання.....	255
15.7. Головні способи виконання барометричного нівелювання.....	259
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 15	261
Тема 16. ОРГАНІЗАЦІЯ ЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЛІСОВПОРЯДКУВАННІ	262
16.1. Основні положення і нормативи	262
16.2. Складання проекту квартальної і візирної мережі	264
16.3. Забезпечення матеріалами аерофотознімання та вимоги до них ...	266
16.4. Знімально-геодезичні роботи	266
16.5. Порубка та проміри меж квартальної візирної мережі	267
16.6. Оформлення території лісовпорядними знаками	269
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 16	269
Тема 17. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ.....	271
17.1 Правила поводження з геодезичними приладами.....	271
17.2. Техніка безпеки під час геодезичних робіт	273
17.3. Перша медична допомога при нещасних випадках	275
17.4 Роль геодезії у заходах з охорони навколишнього середовища	276
Питання та завдання для самоконтролю до Теми 17	277
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	278

ВСТУП

Під час вивчення цієї дисципліни ви познайомитеся з методами, технологією і технічними засобами, розробленими геодезичною наукою, які застосовуються при зйомках на місцевості, навчитеся самостійно виконувати горизонтальну знімання лісових площ і використовувати плани і топографічні карти в лісогосподарській діяльності. Для успішного вирішення багатьох лісогосподарських завдань поряд зі знаннями з лісівництва, таксації, механізації, відтворення лісів і лісорозведення, економіці і організації лісового господарства потрібні і геодезичні знання. Проведення лісовпорядкування, відновлення меж землекористувань, відведення ділянок під лісогосподарські заходи, будівництво лісових доріг, полезахисне лісорозведення, меліорація земель, охорона лісу від пожеж і т.д. вимагають від фахівця вміння користуватися картами, планами, виконувати геодезичні розрахунки, здійснювати перенесення в природу проектів і проводити знімання лісових площ. У результаті освоєння навчальної дисципліни студент повинен

вміти:

- читати топографічні та лісові карти (плани), виконувати на них вимірювання та викреслювати їх фрагменти;
- застосовувати геодезичні прилади та інструменти;
- вести обчислювальну і графічну обробку польових вимірів;
- проектувати і переносити в природу ділянки заданої площі;

знати:

- призначення та зміст топографічних і лісових карт (планів);
- призначення та будову геодезичних приладів;
- організацію і технологію геодезичних робіт;
- основні відомості з теорії похибок.

Кінцева мета вивчення геодезії – отримати практичні навички у вирішенні геодезичних завдань лісового та садово-паркового господарства. Тому програмою з дисципліни, крім лекцій, передбачені лабораторні роботи і польова практика. На заняттях студенти повинні виробити вміння і навички з вимірювання на місцевості, з обробки результатів вимірювань, із складання геодезичних креслень та вирішення спеціальних завдань. На лабораторних роботах і польовій практиці студентам надана можливість виконати ті заняття, які пов'язані із застосуванням геодезичних приладів і використанням топографічних карт. Частина теоретичних питань і лабораторних завдань студентам належить виконати самостійно. Контроль над засвоєнням пройденого матеріалу буде здійснюватися на лабораторних заняттях, у процесі виконання письмових модульних робіт і комп'ютерного тестування.

ТЕМА 1. ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗІЇ. ЗВ'ЯЗОК ГЕОДЕЗІЇ З ІНШИМИ НАУКАМИ. РОЛЬ ГЕОДЕЗІЇ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ, НАЦІОНАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЦІ ТА ОБОРОНІ КРАЇНИ

- 1.1. Предмет геодезії.
- 1.2. Зв'язок геодезії з іншими науками.
- 1.3. Роль геодезії в наукових дослідженнях, народному господарстві та обороні країни.
- 1.4. Короткі відомості з історії розвитку геодезії.

1.1. Предмет геодезії

Геодезія – одна з найдавніших наук. Слово "геодезія" утворено з двох слів – "земля" і "поділяю", а сама наука виникла як результат практичної діяльності людини із встановлення меж земельних ділянок, будівництва зрошувальних каналів, осушенню земель. Геодезія – наука про вимірювання, вироблених для визначення форми і розмірів Землі, зображення її поверхні на картах і планах, створення координатних систем, рішення різноманітних економіко-господарських, екологічних, наукових та інших проблем. Сучасна геодезія – багатогранна наука, яка вирішує складні наукові і практичні завдання. Науковими завданнями геодезії є:

- визначення форми і розмірів Землі, її зовнішнього гравітаційного поля і їх змін у часі;
- встановлення систем координат;
- проведення геодинамічних досліджень (визначення горизонтальних і вертикальних деформацій земної кори, рухів земних полюсів, переміщень берегових ліній морів і океанів і ін.).

Науково-технічні завдання геодезії в узагальненому вигляді зводяться до:

- визначення положення точок в обраній системі координат;
- складання карт і планів місцевості різного призначення;
- забезпечення топографо-геодезичними даними потреб оборони країни;
- виконання геодезичних вимірювань для цілей проектування і будівництва, землекористування, кадастру, дослідження природних ресурсів та ін.

Геодезія у процесі свого розвитку розділилася на ряд наукових дисциплін: вищу геодезію, топографію, фотограмметрію, картографію, супутникову геодезію, морську геодезію, інженерну геодезію.

Вища геодезія вивчає форму і розміри Землі, рух її кори і визначає:

- вид і розміри Землі (як планети);
- зовнішнє гравітаційне поле Землі (значення і напрям сили тяжіння у земному просторі і на поверхні);
- взаємне розташування значно віддалених один від одного геодезичних пунктів;
- точність зображення пунктів на площині у проекції з урахуванням спотворень через кривизни земної поверхні.

Топографія – наука, що вивчає земну поверхню (елементи її фізичної поверхні і розташовані на ній об'єкти діяльності людини) в геометричному

відношенні. Метою цього вивчення є створення топографічних карт – докладного зображення місцевості (ділянок земної поверхні) на площині. До числа основних наукових і практичних завдань, що вирішуються топографією слід віднести розробку і вдосконалення методів створення топографічних карт, способів зображення на них земної поверхні, способів і правил використання карт у рішенні наукових і практичних завдань.

Вища геодезія вивчає фігуру та гравітаційне поле Землі, а також займається визначенням координат окремих точок земної поверхні в єдиній системі.

Фотограмметрія вирішує завдання вимірів за аерофото- і космічними знімками для різних цілей, у тому числі для отримання карт і планів, обмірів будівель і споруд і т.п.

Супутникова геодезія (космічна). В її завдання входить розгляд теорії і методів використання супутників Землі для вирішення різних практичних задач геодезії.

Морська геодезія – галузь геодезії, пов'язана з вирішенням наукових і прикладних геодезичних задач на морі. Головним науковим завданням залишається визначення форми земної поверхні і гравітаційного поля в океанах і морях.

Прикладні завдання пов'язані з практичними роботами на морі, які вимагають геодезичного забезпечення: наприклад, розвідка та експлуатація природних ресурсів, будівництво гідротехнічних споруд та інше. Найважливішим завданням такого забезпечення є геодезична прив'язка і картографування, супроводжуване зйомками.

Картографія – це наука про картографічне відображенні земної поверхні, про методи створення карт і їх використання. Створення карт базується на використанні та узагальненні різних геодезичних і топографічних матеріалів.

Інженерна геодезія вивчає методи, техніку і організацію геодезичних робіт, пов'язаних з проведенням різних інженерних завдань (будівництво, меліорація, рекультивация).

При виконанні лісової знімання використовують методи, технологію та технічні засоби, що розробляються геодезією. А також технічні прийоми, зумовлені особливостями вимірювань в лісі, та деякі спеціальні прилади. Геодезія та прикладна геодезія у своєму розвитку спираються на досягнення інших наук.

1.2. Зв'язок геодезії з іншими науками

Астрономія, яка вивчає Землю як одне з небесних тіл, що впливають на рух інших небесних тіл, забезпечує геодезію необхідними вихідними даними.

Методи вирішення наукових і практичних завдань геодезії ґрунтуються на законах математики та фізики. На основі математики проводиться обробка результатів вимірювань, що дозволяє отримувати з найбільшою вірогідністю значення шуканих величин. Завдання вивчення фігури Землі і її гравітаційного

поля вирішується на основі законів механіки.

Відомості з фізики, особливо її розділів – оптики, електроніки та радіотехніки, необхідні для розробки геодезичних приладів і правильної їх експлуатації. Геодезія пов'язана з географією, геологією, геофізикою, геоморфологією та іншими науками.

Географія вивчає природні умови, в яких існує людське суспільство, розміщення виробництва і умови його розвитку. Знання географії забезпечує правильне трактування елементів ландшафту, який включає у себе рельєф, природний покрив земної поверхні (рослинність, гранту, моря, озера, річки і т. д.) та результати діяльності людини (населені пункти, дороги, засоби зв'язку, підприємства і т. д.).

Геологія вивчає будову, мінеральний склад і розвиток Землі. Геоморфологія, наука про походження і розвиток рельєфу земної поверхні, необхідна геодезії для правильного зображення форм рельєфу на планах і картах. Без знання розмірів і форми Землі неможливо створення топографічних карт і вирішення багатьох практичних завдань на земній поверхні. Геодезичні вимірювання забезпечують дотримання геометричних форм та елементів проекту спорудження у відношенні як його розташування на місцевості, так і зовнішньої і внутрішньої конфігурації. Навіть після закінчення будівництва виконуються спеціальні геодезичні вимірювання, що мають на меті перевірку стійкості споруди та виявлення можливих деформацій у часі під дією різних сил і причин. Застосування фотознімків у геодезії вимагає знання фотографії. На сьогодні у зв'язку з широким використанням цифрового і електронного картографування, геоінформаційних та глобальних навігаційних систем, дистанційного зондування Землі аерокосмічними засобами дедалі більшого значення для геодезії набувають досягнення інформатики, автоматичної електроніки. Геодезія має величезне наукове і практичне значення у різних сферах народного господарства. Дослідження навколоземного і космічного простору вимагає детального вивчення зовнішнього гравітаційного поля Землі і розподілу мас в її тілі, тому роль геодезії в рішенні задач космічних досліджень надзвичайно велика. Геодезичні вимірювання широко використовуються у сучасних наукових дослідженнях з вивчення внутрішньої будови Землі і процесів, що відбуваються на її поверхні та в надрах. З їх допомогою фіксуються величини вертикальних і горизонтальних тектонічних рухів земної кори, зміни берегових ліній морів і океанів, коливання рівнів останніх і т. п.

Для забезпечення безперервного зростання продуктивних сил країни важливим є вивчення її території в топографічному відношенні, яке здійснюють за допомогою карт і планів, що створюються за результатами геодезичних робіт. Карти є основою для відображення результатів наукових досліджень і практичної діяльності в геології, географії, геофізиці та інших науках. Карти різного призначення і змісту є засобом пізнання природи і життя на Землі, джерелом різноманітних відомостей про світ.

1.3. Роль геодезії у наукових дослідженнях, національній економіці та обороні країни

Геодезія відіграє важливу роль у вирішенні багатьох завдань господарства країни: при дослідженнях, проектуванні і будівництві різних споруд, при розвідці і розробці родовищ корисних копалин, при плануванні, озелененні та благоустрої населених пунктів, земле- та лісовпорядкування, осушення і зрошення земель, при спостереженнях за деформаціями споруд і т.д.

Велике значення мають результати топографо-геодезичних робіт у сільському господарстві. Плани, карти профілі та цифрові моделі місцевості використовуються для відводу земельних ділянок, уточнення і зміни меж землекористувань, внутрішньогосподарської організації територій сільськогосподарських підприємств, проведення ґрунтових, геоботанічних та інших обстежень і вишукувань, проектування та винесення в натуру проектів, технологічний супровід тваринницьких комплексів і вирішення інших завдань.

Найважливіша роль відведена геодезії у складанні та веденні державного земельного кадастру, дані якого служать для раціонального використання земель та їх охорони, регулювання земельних відносин, планування сільськогосподарського виробництва, обґрунтування розмірів плати за землю, оцінки господарської діяльності, а також здійснення інших заходів, пов'язаних з використанням земель.

Виключне значення має геодезія для оборони країни. Будівництво оборонних споруд, стрільба по невидимих цілях, використання військової ракетної техніки, планування військових операцій і багато інших військових справ вимагають геодезичних даних, карт і планів.

1.4. Короткі відомості з історії розвитку геодезії

Геодезія зародилась в глибоку давнину. Вона виникла у зв'язку потребою виконувати ті чи інші вимірювання на землі. Слово "геодезія" перекладається з давньогрецької мови як "поділ землі". Розширення економічних зв'язків між країнами, розвиток морських і сухопутних подорожей призвели до створення географічних карт, вивчення форми і розмірів Землі. В усі часи історії людства завдання визначення фігури Землі було складною науково-технічною проблемою, вона привертала увагу провідних вчених людства, а її вирішення вимагало використання передових технологій. Думку про подібність фігури Землі до кулі висловив давньогрецький філософ Піфагор Самоський (580 – 500 р. до н. е.). У його вченні стверджувалось, що Земля має форму подібну до кулі та обертається навколо своєї осі, викликаючи видимий добовий рух зірок, і обертається навколо Сонця протягом року. По суті була висунута ідея геліоцентричної системи Світу, яка була науково обґрунтована Коперником через дві тисячі років.

Проблемою визначення форми і розмірів Землі займалися такі давньогрецькі філософи і вчені, як Аристотель, Архімед, Ератосфен та інші. У цей період був створений перший у світі глобус (150 р. до н. е.), з'явилися

поняття географічних координат (широта і довгота).

Другий період (XV-XVII ст.) Початок другого періоду розвитку геодезії відноситься до епохи видатних наукових і географічних відкриттів. Свої відкриття тоді здійснили Колумб (1451 – 1506 рр.), Васко Да Гама (1460 – 1524 рр.), Магелан (1480 – 1521 рр.), Кук (1728 – 1779 рр.), Беринг (1681 – 1741 рр.). У геодезії в цей час відбувається ряд дивовижних відкриттів. Так у 1609 р. Галілей винайшов зорову трубу. Французький астроном Пікар (1620 – 1682 рр.) уперше застосував метод тріангуляції при вимірюванні дуги меридіану від Парижа до Ам'єна. Довжина одного градуса меридіана виявилась рівною 111.21 км, що всього на 0,03 км більше прийнятої в теперішній час. Пікар уперше використав прилади з сіткою ниток. Саме Пікар уперше висловив ідею про те, що Земля не є подібною до кулі, а трохи стиснена в напрямку полюсів. У 1687 р. вийшла монументальна праця Ньютона "Математичні основи натуральної філософії", в якій на підставі відкритого ним закону всесвітнього тяжіння вчений доводить наявність полярного стиснення Землі. Ньютон не тільки встановив стиснення фігури Землі вздовж осі обертання, але і теоретично визначив його величину.

Третій період (XVIII – перша половина XX ст.) Третій період розвитку геодезії характеризується тим, що головною науковою задачею геодезії стає визначення розмірів земного еліпсоїду. У цей час вчені-геодезисти прийшли до висновку, що згладжена до рівня Світового океану фігура Землі не є простою геометричною фігурою, тобто виникло поняття геоїд. XVIII ст. є визначним для геодезії Росії. У цьому столітті не тільки почали виконувати в широких масштабах різноманітні геодезичні роботи, але й сформувалася геодезична освіта і елементи її методології, з'явилися перші фундаментальні підручники з геодезії і геодезична термінологія, геодезія остаточно сформувалась у Росії як наука. У 1715 р. розпочаті перші інструментальні знімання території Російської імперії. У 1725 р. споряджена перша експедиція Вітуса Беринга для дослідження сходу країни. Слід відзначити велику працю М. В. Ломоносова, особливо з того часу, як він став керувати Географічним Департаментом Академії наук. З 1757 р. до 1765 р. Ломоносов запровадив російськомовне написання назв на картах. Він є автором ідеї картографічної генералізації і систематичного оновлення географічних карт (через 20 років). До початку XIX ст. були накопичені значні матеріали геодезичних і астрономічних спостережень, тому виникла проблема обробки результатів вимірювань. Метод вирішення цієї проблеми був запропонований незалежно німецьким математиком, астрономом і геодезистом Карлом Фрідріхом Гаусом і видатним французьким математиком Андрієн-Марі Лежандром. Цей метод, названий методом найменших квадратів, знаходить широке застосування при опрацюванні геодезичних мереж. У Росії метод найменших квадратів у геодезії і астрономії на практиці застосували відомі астрономи і геодезисти Струве, Цингер, Гедеонов та інші. Сучасний період (друга половина XX ст. – теперішній час). Початок сучасного періоду розвитку геодезії співпадає із запуском перших штучних супутників Землі, поява яких відкрила нові можливості для вирішення наукових і практичних задач геодезії. Яскравий

приклад - поява систем глобального позиціонування GPS. У цей же час з'явилися електронні обчислювальні машини, електронні вимірювальні прилади і геоінформаційні системи. Цей період ознаменувався основоположними працями видатного радянського вченого-геодезиста Молоденського М.С. (1909 – 1991 рр.), який довів неможливість точного визначення фігури геоїда тільки за вимірюваннями на земній поверхні і розробив теорію та методи визначення фігури фізичної поверхні Землі.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 1

1. Дайте визначення "геодезія".
2. Які наукові завдання вирішує геодезія?
3. Які науково-технічні завдання вирішує геодезія?
4. Які наукові дисципліни входять до складу геодезії? Дайте коротку характеристику кожної дисципліни.
5. Який зв'язок геодезії з іншими науками?
6. Яка роль геодезії в наукових дослідженнях, народному господарстві та обороні країни?
7. Хто висловив думку про подібність фігури Землі до кулі?
8. Коли виникло поняття геоїд?
9. Хто запровадив російськомовне написання назв на картах?
10. Чим характеризується третій період розвитку геодезії

РОЗДІЛ ПЕРШИЙ. ТОПОГРАФІЧНІ КАРТИ І ПЛАНИ

ТЕМА 2. ПОВЕРХНЯ, ФОРМА І РОЗМІРИ ЗЕМЛІ

- 2.1. Поняття про форму і розміри Землі
- 2.2. Основні лінії та площини земного еліпсоїда
- 2.3. Визначення положення точок на земній поверхні
- 2.4. Карта, план, профіль
- 2.5. Лісові карти та лісовпорядні планшети.

2.1. Поняття про форму і розміри Землі

Ще в VI ст. до нашої ери Піфагор вважав, що Земля має круглу форму. Через 200 років Аристотель довів це, посилаючись на те, що під час місячних затемнень тінь Землі завжди кругла. Ще через 100 років Ератосфен, знаючи відстань від Олександрії до Сієни і використовуючи гномон біля Олександрійської бібліотеки під час положення Сонця над Сієною у зеніті, зумів виміряти довжину земного меридіана і обчислити радіус Землі. Те, що форма Землі повинна відрізнятись від кулі, вперше показав Ньютон.

Відомо, що планета сформувалася під дією двох сил – сили взаємного тяжіння її частинок і відцентрової сили, що виникає через обертання планети навколо своєї осі. Сила тяжіння є рівнодіюча цих двох сил. Ступінь стиснення залежить від кутової швидкості обертання: чим швидше обертається тіло, тим більше воно сплющується біля полюсів.



Рис. 2.1. Обертання Землі

Поняття фігури Землі може трактуватися по-різному залежно від того, які вимоги пред'являються до точності рішення тих чи інших завдань. В одних випадках Землю можна прийняти за площину, в інших – за кулю, ще в інших – за двовісний еліпсоїд обертання з малим полярним стисненням або тривісний еліпсоїд.

Суша становить приблизно одну третину від всієї поверхні Землі. Вона височіє над рівнем моря у середньому на 900-950 м. У порівнянні з радіусом

Землі ($R = 6371$ км) це дуже мала величина. Оскільки більшу частину поверхні Землі займають моря і океани, то за форму Землі можна прийняти рівневу поверхню, яка збігається з незбуреною поверхнею Світового океану і подумки продовжену під материками. За пропозицією німецького вченого Лістинга цю фігуру назвали *геоїдом*. Фігура, обмежена рівневою поверхнею, що збігається з поверхнею води Світового океану у спокійному стані, подумки продовжена під материками, називається *геоїдом*. Під Світовим океаном розуміють поверхні морів і океанів, пов'язані між собою. Поверхня геоїда в усіх точках перпендикулярна прямовисній лінії. Фігура геоїда залежить від розподілу мас і густин у тілі Землі. Вона не має точного математичного вираження і є практично невизначеною, у зв'язку з чим у геодезичних вимірах замість геоїда використовується його наближення – *квазігеоїд*. *Квазігеоїд*, на відміну від геоїда, однозначно визначається за результатами вимірювань, збігається з геоїдом на території Світового океану і дуже близький до геоїда на суші, відхиляючись лише на кілька сантиметрів на рівнинній місцевості і не більше ніж на 2 метри у високих горах. Для вивчення фігури нашої планети спочатку визначають форму і розміри деякої моделі, поверхня якої є порівняно добре вивченою в геометричному відношенні і найбільш повно характеризує форму і розміри Землі. Потім, приймаючи цю умовну фігуру за вихідну, визначають щодо неї висоти точок. Для вирішення багатьох завдань геодезії за модель Землі прийнятий *еліпсоїд обертання* (сфероїд).



Рис. 2.2. Фізична поверхня Землі (вид з космосу)

Напрямок прямовисної лінії і напрям нормалі (перпендикуляра) до поверхні еліпсоїда в точках земної поверхні не збігаються і утворюють кут ϵ , який називається *відхиленням прямовисної лінії*. Це пов'язане з тим, що щільність мас у тілі Землі неоднакова і вискова лінія відхиляється у сторону більш щільних мас. У середньому його величина становить 3-4", а в місцях аномалій сягає десятків секунд. Реальний рівень моря в різних регіонах Землі відхиляється більше ніж на 100 метрів від ідеального еліпсоїда.

Для визначення розмірів земного еліпсоїда на суші проводилися спеціальні градусні вимірювання (визначалося відстань по дузі меридіана у 1°). Протягом півтора століття (з 1800 до 1940 рр.) були отримані різні розміри земного еліпсоїда (еліпсоїди Деламбера (Д'аламбера), Бесселя, Хейфорда,

Кларка, Красовського і ін.).

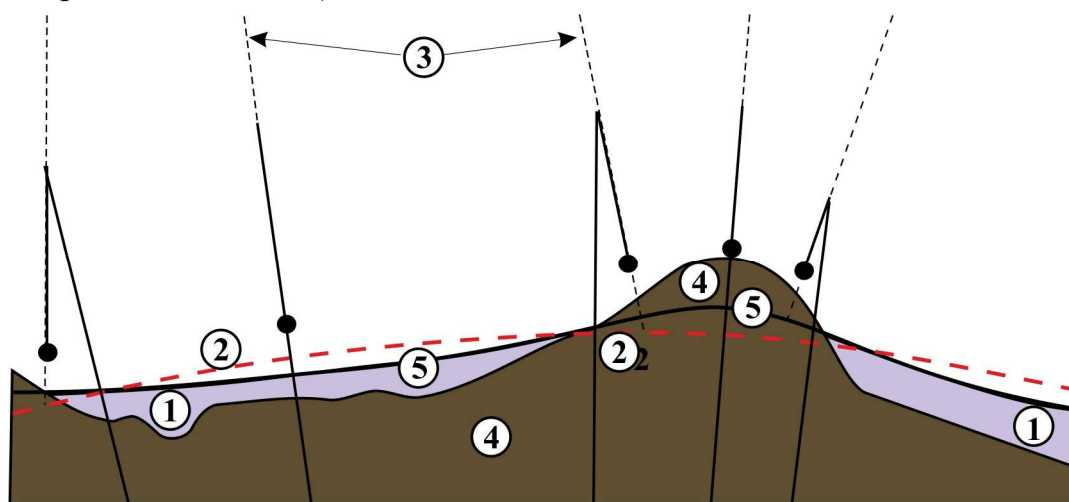


Рис. 2.3. Співвідношення поверхонь геоїда і земного еліпсоїда:
1) світовий океан; 2) земний еліпсоїд; 3) стрімкі лінії; 4) тіло Землі; 5) геоїд

Еліпсоїд Деламбера має тільки історичне значення як основа для встановлення метричної системи мір (на поверхні еліпсоїда Деламбера відстань 1 метр дорівнює одній десятимільйонній відстані від полюса до екватора). Еліпсоїд Кларка використовується у США, країнах Латинської Америки, Центральної Америки та інших країнах. У Європі використовується еліпсоїд Хейфорда. Він же був рекомендований у якості міжнародного, проте параметри зазначеного еліпсоїда отримані за вимірюваннями, виконаними тільки на території США, і, крім того, містять великі помилки.

До 1942 року в нашій країні застосовувався еліпсоїд Бесселя. У 1946 р. розміри земного еліпсоїда Красовського були затверджені для геодезичних робіт на території Радянського Союзу і діють до сьогоднішнього часу на території України.

Таблиця 2.1

Розміри земного еліпсоїда за Красовським

Мала піввісь (полярний радіус)	6356863,019 м
Велика піввісь (екваторіальний радіус)	6378245,000 м
Середній радіус Землі, прийнятої за кулю	6371100,000 м
Полярне стиснення (відношення різниці піввісь до великої півосі)	1 / 298,3
Площа поверхні Землі	510083058 км
Довжина меридіана	40008550 м
Довжина екватора	40075696 м
Довжина дуги 1 ° по меридіану на широті 0 °	110,6 км
Довжина дуги 1 ° по меридіану на широті 45 °	111,1 км
Довжина дуги 1 ° по меридіану на широті 90 °	111,7 км

Еліпсоїд, який використовується певною державою або відокремленою групою держав для виконання геодезичних робіт і проектування на його поверхню точок фізичної поверхні Землі, називають *референц-еліпсоїдом*. Референц-еліпсоїд служить допоміжною математичною поверхнею, до якої

приводять результати геодезичних вимірювань на земній поверхні. Найбільш вдала математична модель Землі для нашої території у вигляді референц-еліпсоїда була запропонована проф. Ф. Н. Красовським. На цьому еліпсоїді заснована геодезична система координат Пулково -1942 (СК-42), яка використовувалася в Україні для створення топографічних карт з 1946 до 2007 року.

При введенні Пулковської системи координат і Балтійської системи висот Рада Міністрів СРСР доручила Генеральному Штабу Збройних Сил СРСР та Головному управлінню геодезії і картографії при Раді Міністрів СРСР переобчислити в єдину систему координат і висот триангуляційної та нівелірної мережі, виконаної до 1946 року, і зобов'язала їх завершити цю роботу у 5-річний термін. Контроль за перевиданням топографічних карт було покладено на Генеральний Штаб Збройних Сил СРСР, а морських карт на Головний Штаб військово-морських сил.

1 січня 2007 року на території України введена УСК-2000 – Українська система координат замість СК-42. Практичною цінністю нової системи координат є можливість ефективного використання глобальних навігаційних супутникових систем у топографо-геодезичному виробництві, які мають цілий ряд переваг у порівнянні з традиційними методами.

Система координат 1963 року (СК-63) була похідною від попередньої державної системи координат 1942 року і мала певні параметри зв'язку з нею. Для забезпечення секретності у СК-63 були штучно спотворені реальні дані. З появою потужної обчислювальної техніки для високоточного визначення параметрів зв'язку між різними координатними системами ця система координат втратила свій сенс на початку 80-х років. Слід зауважити, що СК-63 була скасована рішенням Ради Міністрів СРСР у березні 1989 року. Але згодом, з огляду на великі обсяги накопичених геопросторових даних і картографічних матеріалів (включаючи результати виконання землепорядних робіт часів СРСР), термін її використання був продовжений до того часу, поки всі дані не будуть переведені у діючу державну систему координат.

Для супутникової навігації використовується тривимірна система координат WGS 84 (англ. *World Geodetic System 1984*). На відміну від локальних систем, є єдиною системою для всієї планети. WGS 84 визначає координати відносно центру мас Землі, похибка становить менше 2 см. У WGS 84 нульовим меридіаном вважається *IERS Reference Meridian*. Він розташований у 5,31 "на схід від Гринвіцького меридіана. За основу взято сфероїд з великим радіусом – 6 378 137 м (екваторіальний) і меншим – 6 356 752,3142 м (полярний). Відрізняється від геоїда менш ніж на 200 м.

Особливості будови фігури Землі повністю враховуються при математичній обробці високоточних геодезичних вимірювань і створенні державних геодезичних опорних мереж. Зважаючи на невелике стиснення (відношення різниці великої екваторіальної півосі (a) земного еліпсоїда і малої полярної півосі (b) до великої півосі $[a - b] / b \approx 1 : 300$) при вирішенні багатьох

завдань за фігуру Землі з достатньою для практичних цілей точністю можна прийняти сферу, рівновелику за обсягом земному еліпсоїду. Радіус такої сфери для еліпсоїда Красовського $R = 6371,11$ км.

2.2. Основні лінії і площини земного еліпсоїда

Сукупність умов, які визначають положення точки на прямій, площині, кривій поверхні, у просторі, називають системою координат.

Щоб визначити положення точок на земній поверхні, на ній умовно проводять лінії – паралелі і меридіани (рис. 2.4).

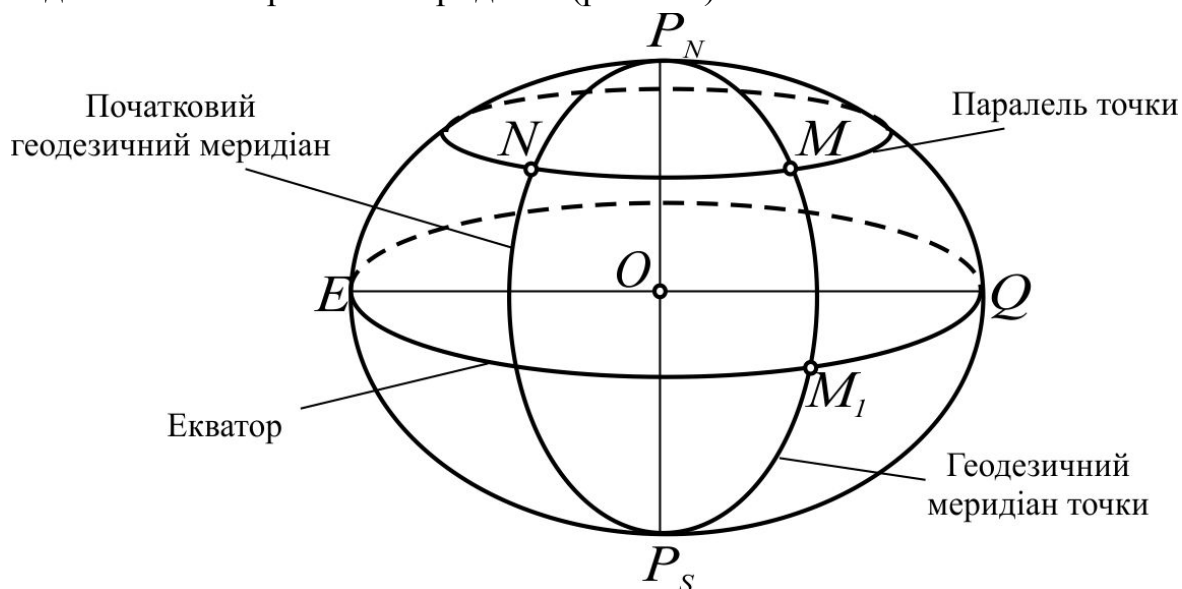


Рис. 2.4. Основні лінії та площини еліпсоїда

Меридіаном називають умовну лінію, утворену на поверхні Землі січною площиною, яка проходить через вісь $P_N P_S$ обертання Землі.

Паралеллю називають умовну лінію, утворену на поверхні Землі січною площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі. Паралель, утворену січною площиною, що проходить через центр Землі, називають екватором.

Меридіан, який проходить через вісь головного телескопа Гринвіцької астрономічної обсерваторії, приймають за початковий.

2.3. Визначення положення точок на земній поверхні

Щоб визначити положення точок на земній поверхні, на ній умовно проводять лінії – паралелі й меридіани, які утворять систему географічних координат (рис. 2.4).

Меридіан – уявна лінія, утворена січною площиною, що проходить через вісь $P_N P_S$ обертання Землі.

Паралель – уявна лінія, утворена на поверхні Землі січною площиною, перпендикулярною осі обертання Землі. Паралель, утворена площиною, що проходить через центр Землі – екватор.

Один з меридіанів, наприклад, меридіан $P_N N P_S$, приймають за початковий. Тоді положення меридіана точки M визначається двограним

кутом між меридіанною площиною, що проходить через цю точку, і площиною початкового меридіана.

Двогранний кут, утворений площиною початкового меридіана і площиною меридіана, який проходить через задану точку фізичної поверхні Землі, називають довготою точки і позначають літерою λ .

Положення паралелі точки M визначається кутом між радіусом OM земної кулі й площиною екватора. Кут, утворений площиною екватора і радіусом Землі, який проходить через задану точку фізичної поверхні Землі, називають широтою даної точки і позначають літерою φ .

Довготу точки M можна виміряти також дугою MM_1 паралелі, а широту тієї ж точки – дугою MM_1 меридіана. Довгота λ та широта φ називаються географічними координатами цієї точки.

Початковим меридіаном на поверхні Землі прийнято вважати меридіан, що проходить через центр меридіанного залу найстарішої в Європі астрономічної обсерваторії в Гринвічі, поблизу Лондона. Довготи відраховують до сходу й заходу від початкового меридіана в межах $0 \dots 180^\circ$ і позначають, наприклад, так: 62° с. д. (східної довготи) або 124° з. д. (західної довготи) від Гринвіча; широти – $0 \dots 90^\circ$ до півночі й півдня від екватора, наприклад, 56° пн. ш. (північної широти) або пд. ш. (південної широти).

Положення будь-якої точки на поверхні Землі можна визначити за допомогою астрономічних спостережень (астрономічні координати), обчислити за результатами геодезичних вимірів на місцевості або за спостереженням супутників (геодезичні, координати).

Якщо геодезичні роботи ведуть на невеликій ділянці, що дозволяє не брати до уваги сферичність поверхні Землі, для визначення положення точки використовують систему плоских прямокутних координат (рис. 4.2). Систему утворюють дві взаємно перпендикулярні лінії (осі), що лежать у горизонтальній площині, причому вісь абсцис x , як правило, сполучають із меридіаном якої-небудь точки. Точка O – початок координат. Додатній напрямок осі X – на північ від екватора, осі Y – на схід від меридіана. Осі абсцис й ординат утворюють координатні чверті I...IV, які нумерують за ходом годинної стрілки; північно-східна чверть вважається першою.

Наприклад, положення точки A визначається координатами $x_A y_A$. Залежно від чверті, в якій розташована точка, перед координатами ставлять знак "+" або "-".

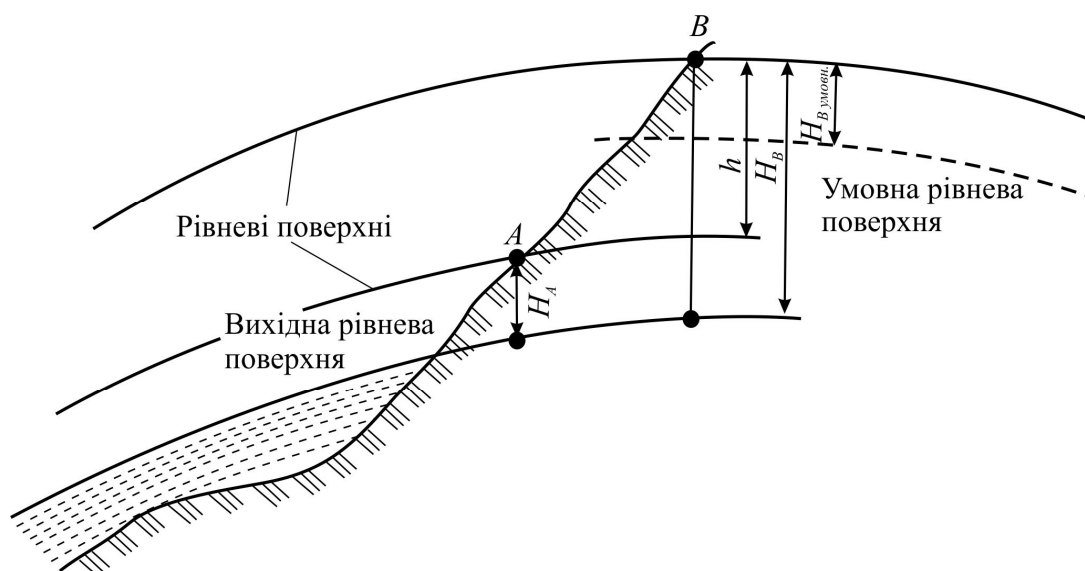


Рис. 2.5. Абсолютні, умовні й відносні висоти

Для повної характеристики положення точки на поверхні Землі необхідно знати ще третю координату – висоту. Висотою точки називається відстань по прямовисному напрямку від цієї точки до рівневої поверхні. Числове значення висоти точки називається її відміткою (позначкою).

Висоти (рис. 2.5) бувають абсолютні, умовні й відносні. Абсолютні висоти, наприклад, H_A , H_B , відраховують від вихідної рівневої поверхні – середнього рівня океану або моря (у Росії – це нуль Кронштадтського футштока – горизонтальна риска на мідній пластині, прикріпленій до підвалини моста через обвідний канал у м. Кронштадт).

Умовною висотою, наприклад, $H_{B \text{ умовн.}}$, називається прямовисна відстань від точки земної поверхні до умовної рівневої поверхні – будь-якої точки, прийнятої за вихідну (нульову).

Відносною висотою або перевищенням h точки називається висота її над іншою точкою земної поверхні (наприклад, точки B над точкою A).

2.4. Карта, план, профіль

Карта – це побудоване у картографічній проекції зменшене, узагальнене зображення поверхні Землі, іншого небесного тіла або позаземного простору, що показує розташовані на ній об'єкти або явища у певній системі умовних знаків. *Географічна карта* – зображення земної поверхні, що містить координатну сітку з умовними знаками на площині у зменшеному вигляді, яке відображає розміщення, стан і зв'язок різних природних і суспільних явищ, їх зміни в часі, розвиток і переміщення. Географічні карти поділяються на такі категорії:

За територіальним охопленням

- карти світу;
- карти материків;
- карти країн і регіонів

За масштабом

- великомасштабні (починаючи з 1: 200000 і крупніше);
- середньомасштабні (від 1: 200000 і до 1: 1000000 включно);
- дрібномасштабні (дрібніше 1: 1000000). Різні за масштабом карти мають різну точність і детальність зображення, ступінь генералізації і різне призначення.

За призначенням

- науково-довідкові – призначені для виконання наукових досліджень і отримання максимально повної інформації;
- культурно-освітні – призначені для популяризації знань, ідей;
- навчальні – використовуються в якості наочних посібників для вивчення географії, історії, геології, лісового і садово-паркового господарства, інших дисциплін;
- технічні – відображають об'єкти та умови, необхідні для вирішення будь-яких технічних завдань;
- туристичні – можуть містити населені пункти, орієнтири, визначні пам'ятки,
- маршрути пересування, місця відпочинку, ночівель та інших послуг, у залежності від призначення за видами туризму;
- навігаційні (дорожні) і ін.

За змістом

- Загальногеографічні (фізичні) карти – зображують всі географічні явища, в тому числі рельєф, гідрографію, рослинно-грунтовий покрив, населені пункти, господарські об'єкти, комунікації, межі і т. д.
- Тематичні карти – показують розташування, взаємозв'язок і динаміку природних явищ, населення, економіки, соціальну сферу. Їх можна розділити на дві групи: карти природних явищ і карти суспільних явищ.

Кarti природних явищ охоплюють усі компоненти природного середовища і їх комбінації. У цю групу входять карти геологічні, геофізичні, карти рельєфу земної поверхні і дна Світового океану, метеорологічні і кліматичні, океанографічні, ботанічні, гідрологічні, ґрунтові, карти корисних копалин, карти фізико-географічних ландшафтів, фізико-географічного районування і т. д.

Суспільно-політичні карти включають карти населення, економічні, політичні, історичні, соціально-географічні, причому кожна з підкатегорій у свою чергу може містити власну структуру поділу. Так економічні карти включають також карти промисловості (як загальні, так і галузеві), сільського господарства, рибної промисловості, транспорту і зв'язку.

Топографічна карта – детальна великомасштабна загальногеографічна карта, яка відображає розміщення та властивості основних природних і соціально-економічних об'єктів, що дає можливість визначити їх планове і висотне положення. Топографічні карти створюються, головним чином, на основі:

- обробки аерофотознімків території;
 - шляхом безпосередніх вимірювань і знімань об'єктів місцевості;
 - картографічними методами з уже наявними планами і картами великих масштабів.
- Як і будь-яка інша географічна карта, топографічна є зменшеним,

узагальненим і образно-знаковим зображенням місцевості. Її створюють за певними математичними законами. Ці закони зводять до мінімуму спотворення, які неминуче виникають при перенесенні поверхні земного еліпсоїда на площину, і разом з тим забезпечують максимальну її точність. Вивчення і складання карт вимагає аналітичного підходу, поділ карт на складові її елементи, вміння розуміти сенс, значення і функції кожного елемента і бачити зв'язок між ними.

Елементи карти – це його складові частини, які включають:

- картографічне зображення;
- математичну основу;
- легенду;
- допоміжне обладнання;
- додаткові дані.

Головним елементом будь-якої географічної карти є картографічне зображення – сукупність відомостей про природні або соціально-економічні об'єкти і явища, їх розміщення, властивості, зв'язок, розвиток і т.д. На топографічних картах зображують водні об'єкти, рельєф, рослинний покрив, ґрунти, населені пункти, шляхи сполучення і засоби зв'язку, деякі об'єкти промисловості, сільського господарства, культури і т.д.



Рис. 2.6. Аерофотознімок і топографічна карта місцевості

Математична основа встановлює правила побудови на площині сферичної поверхні Землі. Від неї залежать геометричні складові об'єктів: довжина, ширина, площа, форма, відстань між об'єктами, напрямки і т.д. Саме математична основа забезпечує однозначність і безперервність зображення, а головне – його розмірність. Математичні елементи карти визначають математичний зв'язок між зображуваною поверхнею і картою. Математичні елементи включають:

- а) масштаб карти;
- б) картографічну сітку;
- в) рамку карти;
- г) опорні пункти.

Масштаби поділяються на такі види: *числовий, графічний (лінійний) і пояснювальний підпис (іменованій масштаб)*. Від масштабу карти залежить

ступінь подробиць, з якої можна нанести картографічне зображення. Більш детально масштаби карт будуть розглянуті в наступних лекціях.

Картографічна сітка являє собою зображення градусної сітки Землі на карті. Вид сітки залежить від того, в якій проекції складена карта. На топографічних картах масштабів 1: 1 000 000 і 1: 500 000 меридіани мають вигляд прямих ліній, що сходяться у певній точці, а паралелі – дуги ексцентричних кіл. На топографічних картах крупнішого масштабу завдають тільки дві паралелі і два меридіани (рамка), що обмежують картографічне зображення.

Замість картографічної сітки на великомасштабних топографічних картах наносять координатну (кілометрову) сітку, яка має математичний зв'язок з градусною сіткою Землі.

Рамкою карти називають одну або кілька ліній, що обмежують карту. До опорних пунктів відносяться: астрономічні пункти, тригонометричні пункти або пункти тріангуляції, пункти полігонометрії і марки нівелювання. Опорні пункти служать геодезичною основою для знімання і складання топографічних карт.

Топографічні карти широко застосовують при інвентаризації, охороні, вирощуванні, експлуатації та відновленні лісів. За ними вивчають фізико-географічні властивості покритих лісом територій, складають проекти лісовпорядкування, планують розміщення лісозаготівельних підприємств, вибирають і проектують шляхи транспортування деревини, ведуть лісо- та агролісомеліоративні вишукування, організують протипожежні заходи. Карти використовують в якості топографо-геодезичної основи планово-картографічних матеріалів лісовпорядкування. Для вирішення кожної конкретної задачі необхідні карти найбільш підходящого масштабу, що забезпечує досить точне і детальне вивчення місцевості. Лісовпорядні роботи I і II розрядів проектують на картах масштабів 1:10 000 і 1:25 000, а III – 1:25 000 – 1: 100 000. За цими же картками складають плани аеротаксаційних робіт відповідної точності і потім відображають їх результати. При вишукуваннях і проектуванні лісогосподарських і лісовозних доріг використовують карти масштабів 1:10 000 – 1: 100 000. Попереднє вивчення місцевості при проектуванні робіт з лісо- та агролісомеліорації, поліпшенню стану сплавних річок здійснюють за картками масштабів 1:25 000 і 1:50 000, а детальне проектування таких робіт - 1:10 000 і 1: 5 000. Топографічні карти масштабів 1: 100 000 – 1: 1 000 000 використовують при організації та проведенні протипожежної авіаційної охорони лісів, а також при економічних розрахунках, пов'язаних з плануванням лісового господарства і лісової промисловості в масштабах лісопромислового комплексу, області, краю.

Фотокарти, в тому числі ортофотокарти, відрізняються від звичайних карт великою наочністю і об'єктивністю. Вони добре передають відмінності в густоті лісу, тому можуть бути використані для орієнтування в лісі, найбільш точного перенесення результатів таксації з аерознімка на планшет. Дрібномасштабні фотокарти можна використовувати спільно з космічними знімками для точного і швидкого визначення місць виникнення лісових пожеж.

Топографічний план (від лат. Planum площину) – зображення місцевості на площині, у великому масштабі без урахування кривизни земної поверхні. Топографічний план має всі ознаки топографічної карти. Розмір площі, яку

можна зобразити на плані, не виходячи за межі заданої точності, визначається формулами:

- план без знімання рельєфу: $r = \sqrt{3R^2\Delta l}$;
- план зі зніманням рельєфу: $r = \sqrt{2R\Delta h}$;

де R – радіус земної кулі – 6371 км; Δl і Δh – задана точність точок опорної мережі по горизонтальному прокладання і по висоті; r – радіус кола, в межах якого забезпечується задана точність.

Ортогональну проекцію невеликих ділянок місцевості (до 20×20 км) на рівневу поверхню можна вважати плоскою, нехтуючи кривизною Землі. Зменшене зображення такої проекції на папері буде без спотворень, викликаних кривизною Землі, і співвідносне з ділянками місцевості. При геодезичних роботах, що вимагають визначення висот з точністю 5 см, уже для відстаней $S = 1000$ м необхідно враховувати кривизну Землі. Якщо ж точність вимірювань вища, наприклад 5 мм, то облік кривизни Землі слід починати приблизно для відстаней $S = 250 - 300$ м.

За змістом розрізняють основні і спеціалізовані топографічні плани. Перші являють собою загальногеографічні плани універсального призначення, розраховані на комплексне задоволення головних вимог багатьох галузей народного господарства. Їх зміст дуже докладний – передбачено використання понад 400 умовних позначень і близько 700 скорочень пояснювальних підписів і якісних характеристик.

Спеціалізовані плани створюються для вирішення конкретних завдань окремої галузі народного господарства. При виготовленні топографічних планів допускається: нанесення додаткової інформації у порівнянні з передбаченою для основних топографічних планів; зниження або підвищення вимог до точності зображення всіх або частини контурів та рельєфу місцевості; відмова від якоїсь частини змісту, передбаченого для основних топографічних планів; застосування нестандартних перетинів рельєфу. Технічні вимоги до спеціалізованих топографічних планів вказано у відомчих інструкціях. Якщо на плані зображена тільки ситуація (без рельєфу), його називають контурним.

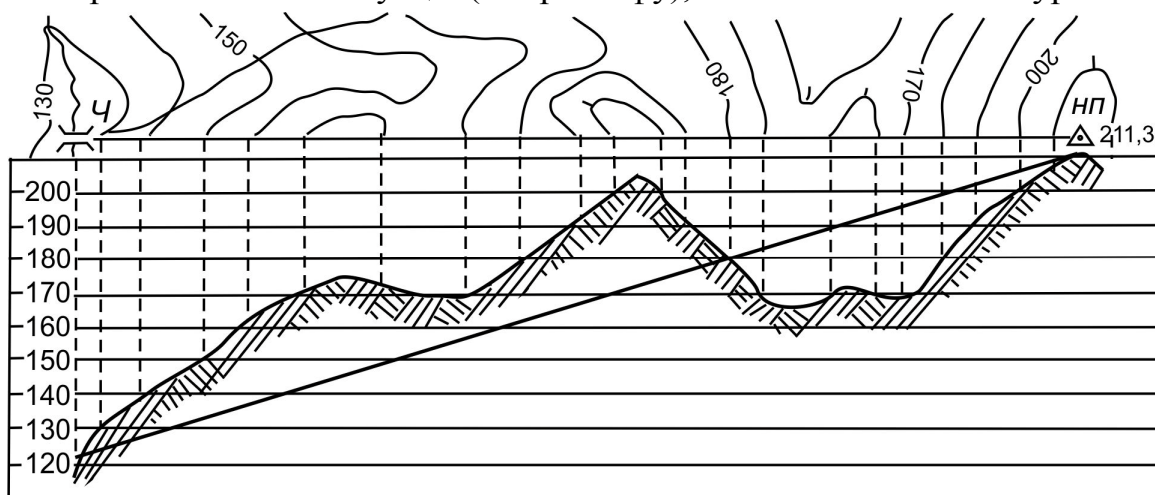


Рис. 2.7. Профіль місцевості

Профіль місцевості – це вертикальний розріз рельєфу місцевості по нанесеній на карту траєкторії. Найпростіші профілі будуються по прямій траєкторії і є вертикальною проекцією поверхні ніби розрізаною вздовж цієї лінії ножем. Насправді профіль можна будувати вздовж лінії, що має довільну

форму.

2.5. Лісові карти та лісовпорядні планшети

У порівнянні з загально географічними лісові карти містять більш повну і докладну інформацію про ліс як природне явище та об'єкти економіки. За ним визначають умови користування лісом, проектують лісівничі, лісовідновлювальні та лісомеліоративні заходи, захист лісу від шкідників, протипожежну охорону, а також вирішують багато інших лісогосподарських і лісопромислових завдань.

Лісові карти – планово-картографічні матеріали, що відображають просторове розміщення лісових масивів і адміністративно-господарський поділ лісового фонду за лісокористувачами з нанесенням квартальної мережі і забарвленням контурів за породами, які переважають, та віковими групами. Карти лісів показують біологічні та економічні особливості лісів у певній системі умовних знаків, вони знаходять широке застосування при виявленні ресурсів, оцінці продуктивності, охорони, захисту лісу і т. д.

Існуючі в Україні лісові карти можна об'єднати в чотири основні групи:

- *детальні*, що відображають інформацію про мінімальні господарські лісові одиниці – *виділи (підвиділи)*;
- *схеми державних підприємств лісового господарства або лісів району*;
- *оглядові в масштабі регіону або групи регіонів*;
- *оглядові карти лісів України*.

Чим більший масштаб карти – тим детальнішу інформацію вона може відображати; однак чим дрібніший масштаб карти – тим більшу територію вона може охоплювати. Чим більшу територію охоплює карта, тобто, чим дрібніший її масштаб, тим вищий ступінь узагальнення інформації, яку вона відображає.

2.5.1. Детальні карти, плани і лісовпорядні планшети

Детальна карта лісу включає у себе планшети і плани насаджень; останні можуть містити як загальну інформацію про стан лісів, так і фарбуватися відповідно до різної тематичної інформації.

План насаджень – це схема лісів цілого лісництва, яка складена з об'єднаних планшетів з цього лісництва. Плани насаджень містять ті ж самі кордони виділів і їх характеристики, що й планшети. Крім того, плани насаджень зазвичай забарвлюються: колір кожного виділу відповідає переважаючій деревині, а інтенсивність кольору – групі віку (зазвичай виділяються молодняки, середньовікові, пристигаючі і стиглі та перестійні). Додатково при лісовпорядкуванні можуть виготовлятися плани насаджень, що несуть спеціальне навантаження: найчастіше пофарбовані за призначеними лісовпорядкуванням господарським заходам, з обмежень на ведення лісового господарства, по ягідникам або запасам лікарської і технічної сировини і т.д. Плани насаджень мають менший масштаб, ніж планшети (1:25 000 при першому і другому розрядах лісовпорядкування, і 1:50 000 при третьому).

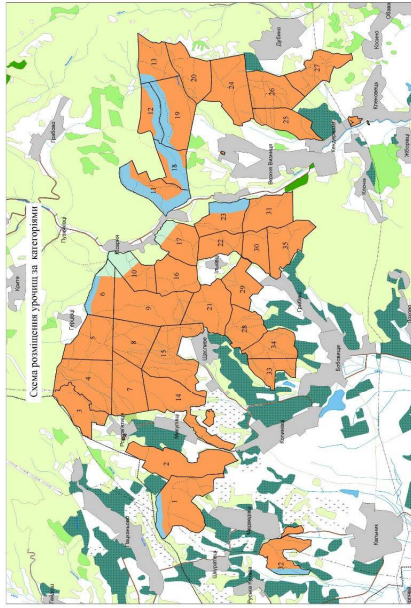
Лісовпорядний планшет – це первинний картографічний документ, який

складається за результатами знімання і таксації лісу. Він являє собою план групи лісових кварталів. Разом з іншими документами таксації планшет використовують для детальної інвентаризації лісового фонду. У лісництві він служить точним графічним документом, на якому фіксують всі зміни в лісовому фонді в результаті лісосічних, лісовідновлювальних і інших робіт. За матеріалами планшетів складають плани лісництв та плани лісонасаджень лісництв, лісогосподарських ділянок і обходів. Вони дають наочне уявлення про просторове розміщення лісового фонду, про породи, які переважають, продуктивність і вік насаджень. Залежно від розряду лісовпорядкування планшети і плани, складені на їх основі, мають різну ступінь деталізації відповідно до встановлених (створюються в масштабі 1:10 000 (по I, II розрядів лісовпорядкування) та 1:25 000 (по III розряду)). Картографічною основою для лісовпорядного планшета служать топографічні карти масштабу, схожого з масштабом лісовпорядного планшета. Як геодезичну основу використовують дані геодезичних вимірювань землеустрою та матеріали топографічних знімків. На рамках лісовпорядного планшета проставлені виходи кілометрової сітки прямокутної системи координат. Лісовпорядні планшети виготовляють відповідно до вимог лісовпорядної інструкції та до змісту лісотаксаційних навантажень як самих лісовпорядних планшетів, так і інших карт. Виділи (ділянки лісу) на лісовпорядному планшеті не фарбують, але облямівкою відповідного забарвлення відзначають їх суміжні кордони, а також внутрішні контури різних нелісових ділянок.

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ЗАКАРПАТСЬКЕ ОБЛАСНЕ УПРАВЛІННЯ ЛІСОВОГО ТА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

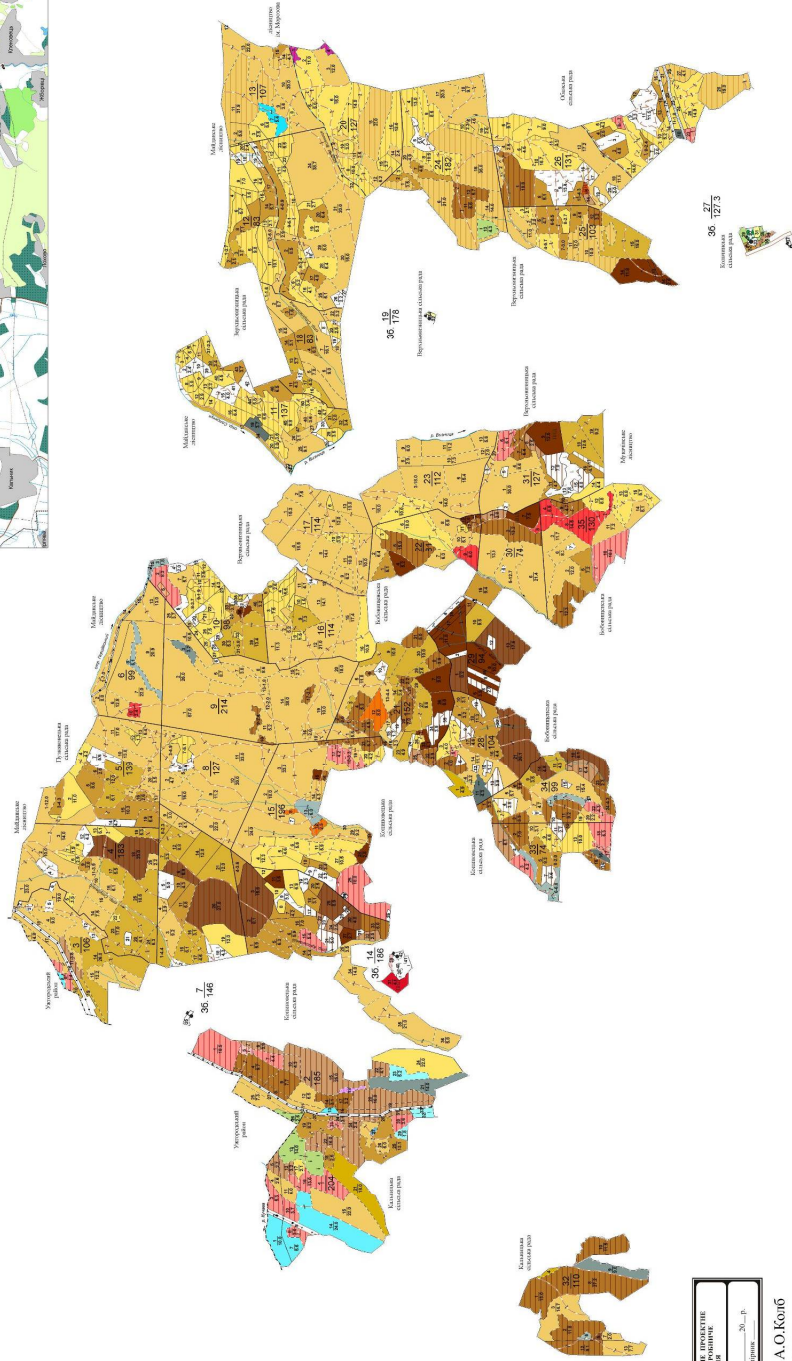
ПЛАН ЛІСОНАСАДЖЕНЬ ДП "МУКАЧІВСЬКИЙ ЛІСОСПІ" КЛЕНОВЕЦЬКЕ ЛІСНИЦТВО

Закарпатська область
Загальна площа 4526,3 га
Лісопорядкування 2010 року
Масштаб 1 : 25000



УМОВНИ ПОЗНАЧЕННЯ

ПОВИЩ	ПОСВЯТ	ПІДРОСЛИНА	ВІК	ВІСЬ	ПІДРОСЛИНА	ВІК	ВІСЬ	ПІДРОСЛИНА	ВІК	ВІСЬ
Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси
Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси
Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси
Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси	Лісові ресурси



УКРАЇНСЬКЕ ДЕРЖАВНЕ ПРОЄКТНЕ
ЛІСНИЦЬКЕ ПІДПРИЄМСТВО
ОБЛАСНЕ УПРАВЛІННЯ
ЛІСОВОГО ТА МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ДЛЯ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Начальник експедиції А.О.Колб
Головний інженер М.І.Войчик
Начальник партії А.В.Дабіца
Інженер М.І.Соловчук
Технік

Рис. 2.8. План лісонасаджень Кленовецького лісництва ДП "Мукачівське лісове господарство"
(<http://www.lisproekt.gov.ua/klenovetske-lisnitsvo>)

Оформлений видавничий екземпляр лісовпорядного планшета містить:

- межі планшетних рамок, адміністративних районів та суміжних господарств;
- кварталні просіки, межі кварталів, таксаційних виділів, особливо захисних ділянок (ОЗД), смуги відчуження магістральних транспортних шляхів;
- лісовозні і лісогосподарські дороги;
- річки, струмки, меліоративні канали, озера;
- назви річок, озер і великих струмків, бровки ярів;
- номери кварталів, виділів і їх площі; категорії захищеності лісів;
- умовні позначення адмінбудівель підприємств лісового господарства, лісництв.

На лісовпорядному планшеті, що відображає гірські умови, всі лісові ділянки з ерозійними процесами показують умовними знаками. Крім того, в разі необхідності наносять горизонталі за даними відміток висот над рівнем моря. Номери кварталів на лісовпорядному планшеті позначають в центрі великими цифрами. Під номером проставляють площу лісового кварталу в цілих гектарах. Номери виділів (ділянок лісу) позначають арабськими цифрами. На кожному виділі (ділянці лісу) вказують у вигляді дробу показники, ідентичні показникам у таксаційному описі: в чисельнику, праворуч від номера – клас віку, у знаменнику – площа і правіше – клас бонітету. Внутрішня ситуація лісовпорядного планшета обрамляється планшетною рамкою у вигляді суцільної лінії від 0,5-1,0 см (з лівого і правого боків) до 3,0-4,0 см (у верхній і нижній частині) від краю аркуша. Над планшетною рамкою вказують номер лісовпорядного планшета, найменування адміністративного району, державного підприємства лісового господарства, лісництва, рік виконання робіт. Під планшетною рамкою поміщають чисельний і графічний масштаб, загальну площу планшетного полігону, назву лісовпорядного підприємства та прізвища виконавців, вказують технологію виготовлення лісовпорядного планшета.

2.5.2. Схеми підприємств лісового господарства або районні схеми лісів

Карта-схема державного підприємства лісового господарства (ДПЛГ), на відміну від плану насаджень, уже не містить наочної інформації. При першому і другому розрядах лісовпорядкування складаються схеми ДПЛГ масштабу 1: 100 000, а при третьому розряді – від 1: 100 000 до 1: 300 000. У реальності іноді зустрічаються і інші масштаби залежно від розміру конкретного державного підприємства лісового господарства.

Карти-схеми ДПЛГ містять кордони і номери кварталів, межі і назви лісництв, а також різну тематичну інформацію – породний склад (так звані "укрупнені виділи", об'єднані в групи відповідно до масштабу карти, розфарбовані в ті ж кольори і відтінки, що й плани насаджень), протипожежні заходи, кордони обходів, орендні ділянки, межі груп і категорій захищеності лісів і т.д. Як правило, карта-схема ДПЛГ відображає господарські кордони лісів

одного відомства (ДПЛГ), в той час як ліси інших відомств (наприклад, аграрних ДПЛГ) можуть відображатися лише схематично або зовсім не відображатися.

Особливий різновид схем ДПЛГ представляють так звані "лісопожежні карти" – карти лісів конкретного району (або ДПЛГ з суміжними землями), що відображають всю інформацію, необхідну для планування і організації протипожежних заходів. Як правило, такі карти фарбуються за так званими "класами пожежної небезпеки лісів". Такі карти значно зручніші для оцінки ситуації з лісами в межах того чи іншого адміністративного утворення. Вони створюються не при стандартному лісовпорядкуванні, а додатково, за спеціальним замовленням органів лісового господарства.

2.5.3. Оглядові карти лісів регіону або групи регіонів

Стандарти виготовлення оглядових карт лісів регіону або групи регіонів не регулюються лісовпорядною інструкцією і виготовлення подібних карт не є обов'язковим елементом проведення стандартного лісовпорядкування. Тому, по-перше, такі карти є не в усіх регіонах і, по-друге, вони можуть дуже відрізнитися одна від одної за якістю і нанесеною інформацією. Оглядові карти лісів регіону можуть містити квартальну мережу (тобто кордони та номери всіх кварталів і лісництв), а можуть її і не містити. Найбільший інтерес становлять карти, що відображають квартальну мережу: до неї, як правило, можна прив'язати всю решту господарської інформації – кордони особливих природних територій, які охороняються, орендних ділянок, груп лісів і т.д., а також відобразити основні кількісні характеристики лісу, усереднені за кварталами.

В окремих випадках узагальнені карти лісів того чи іншого регіону або навіть групи регіонів можуть виготовлятися без нанесення квартальної мережі та інших господарських кордонів. Зазвичай такі карти відображають різну тематичну інформацію – породний склад, типи лісу, зімкнутість деревного покриву і т.д. Як правило, такі карти створюють різні наукові і науково-виробничі об'єднання або громадські організації та розробляються для певної інформаційної мети, тому будь-яких чітких стандартів і правил їх створення не існує.

Оглядові карти лісів України. Оглядові карти лісів усієї країни через їх масштаб уже не можуть відображати не тільки наочної, але і поквартальної інформації і навіть здебільшого інформації в масштабі лісництва. Масштаб таких карт має на увазі високий ступінь генералізації (узагальнення) даних про характеристики лісів і ту структуру лісів, яка є важливою в межах конкретного лісництва, ДПЛГ або орендної ділянки, на таких картах просто не видно (рис. 2.9).

Залежно від цільового призначення і змісту карти лісів умовно ділять на:

- біологічні карти (продуктивності лісів, типів лісу, поширення деревних порід, фенологічні і інші);
- економічні (лісогосподарські, лісоексплуатаційні, лісопромислові та інші).

До *карт продуктивності* лісів відноситься карта-схема насаджень, що відображає різноманітність деревостанів за переважанням порід і групами віку.

На *картах типів лісу* показується розміщення різних біогеоценозів на території об'єкта. На *картах поширення деревних порід* наведено їх ареали. Терміни настання окремих фенофаз у житті лісів (розпускання листя, цвітіння, дозрівання насіння, опадання листя) характеризуються ізолініями на фенологічних картах.

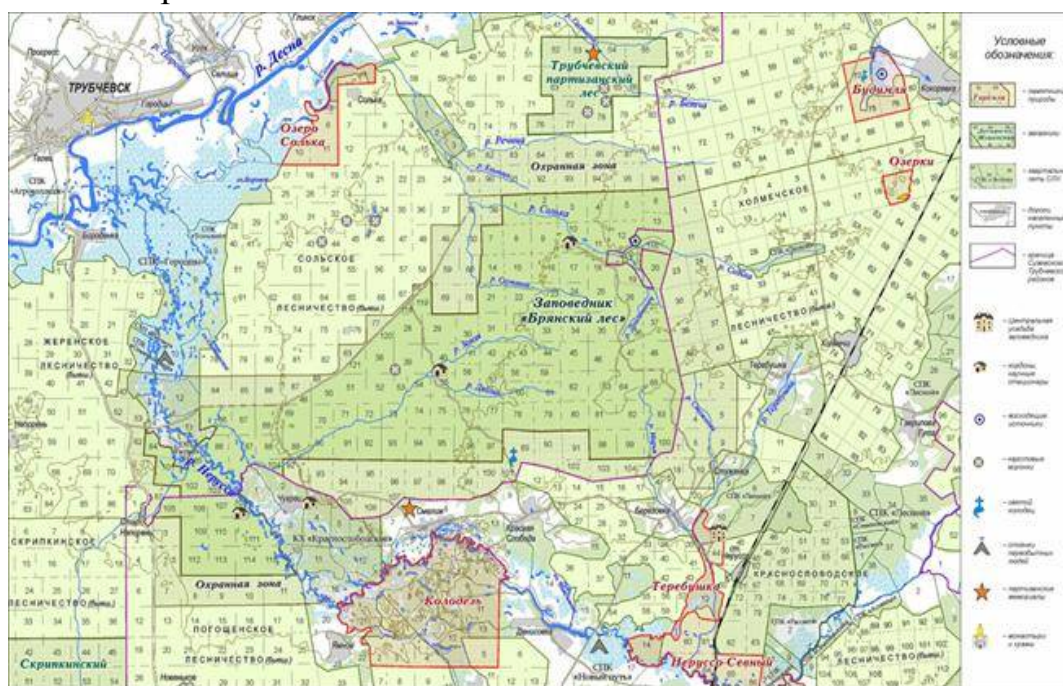


Рис. 2.9. Оглядова карта регіону із зазначенням кварталної мережі і лісництв



Рис. 2.10. Оглядова карта лісів України

Лісопатологічні карти показують площі лісів, пошкоджених шкідниками і хворобами, видовий склад шкідників, ступінь їх концентрації та пошкодження. До *лісогосподарських карт* відноситься оглядовий план запроектованих заходів, що дає територіальне розміщення запроектованих на ревізійний період лісогосподарських, лісокультурних та інших робіт, і карта-

схема протипожежних заходів для вирішення завдань з охорони лісів від пожеж.

Лісоексплуатаційні карти (до них відноситься карта-схема лісосировинних баз) дають характеристику лісосировинних ресурсів для проектування і розміщення підприємств із заготівлі, обробки та переробки деревини, показують зони їх дії, схеми взаємозв'язків, а також порядок і терміни рубки деревостанів. *Лісотранспортні карти* відображають категорії, розміщення і стан шляхів транспорту, напрям вантажопотоків, можливі транспортні засоби. *Лісопромислові карти* показують розміщення і ресурси видів користування лісом (напр., ягідників, ліків і технічної сировини). При розробці прогнозів розвитку лісового господарства складаються карти *цільових лісів* – карти лісів майбутнього. Масштаб карти лісів визначається метою її розробки і площею регіону. Карти територій ДПЛГ з метою використання їх для регулювання господарської діяльності створюються частіше в масштабі 1:10 000 – 1: 2 500, *оглядові матеріали* – 1: 100 000 – 1: 250 000; *карти лісів за областями* для визначення генералізованих показників розробляються в масштабі 1: 100 000 – 1: 500 000. На більші регіони масштаб карти лісів зменшується до 1: 2 500 000.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 2

1. У чому сутність ортогональної проекції?
2. Дайте визначення абсолютної і відносної висоти точки.
3. Яка система висот прийнята в Україні?
4. Що таке відмітка точки?
5. Як розрахувати перевищення точки, якщо відомі відмітки точок?
6. Що таке горизонтальне прокладання?
7. Дайте визначення "карта", "географічна карта", "топографічна карта".
8. Як класифікують карти?
9. З яких елементів складається карта? Дайте коротку характеристику кожному елементу.
10. Дайте визначення "топографічний план".
11. Як класифікують топографічні плани?
12. Що таке профіль місцевості?
13. Дайте визначення "лісова карта".
14. Як класифікують лісові карти?
15. Для яких цілей використовуються дані про форму і розміри Землі?
16. За якими ознаками у давнину визначили, що Земля має кулясту форму?
17. Яку фігуру називають геоїдом?
18. Яку фігуру називають еліпсоїдом?
19. Яку фігуру називають референц-еліпсоїдом?
20. Які елементи і розміри еліпсоїда Красовського?
21. Назвіть основні лінії і площини земного еліпсоїда.
22. Які методи використовуються для визначення фігури і розмірів Землі?

ТЕМА 3. ОСНОВНІ СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ГЕОДЕЗІЇ

- 3.1. Геодезична система координат.
- 3.2. Астрономічна система координат.
- 3.3. Сферична система координат.
- 3.4. Полярна і біполярна система координат.
- 3.5. Система плоских прямокутних координат.
- 3.6. Визначення геодезичних координат точок по карті.

Координати – це величини, що визначають положення будь-якої точки на поверхні або у просторі щодо прийнятої системи координат.

Система координат встановлює початкові (вихідні) точки поверхні або лінії відліку необхідних величин – початок відліку координат, одиниці їх обчислення. У топографії та геодезії найбільше застосування отримали системи географічних, прямокутних і полярних координат.

Система географічних координат застосовується для визначення положення точок Землі на еліпсоїді або кулі. Вихідними площинами в цій системі є площина початкового меридіана та екватора, а координатами – кутові величини: довгота і широта точки. З попередньої теми відомо, що меридіан – це лінія перетину еліпсоїда площиною, яка проходить через цю точку, і полярну вісь обертання Землі. Паралеллю називають лінію перетину еліпсоїда площиною, що проходить через цю точку і перпендикулярну до земної осі PP' . Паралель, що проходить через центр еліпсоїда, називається екватором. Географічні координати можуть бути отримані на підставі астрономічних спостережень або геодезичних вимірювань. У першому випадку їх називають астрономічними, а в другому – геодезичними. При астрономічних спостереженнях проектування точок на поверхню здійснюється висковими лініями, при геодезичних вимірах – нормаллями, тому величини астрономічних і геодезичних географічних координат дещо відрізняються. До систем координат, які найчастіше застосовують у геодезії, відносяться геодезична, астрономічна, сферична, плоска прямокутна, полярна і біполярна.

3.1. Геодезична система координат

Геодезичними координатами називаються кутові величини (широту і довготу), що визначають положення точок (об'єктів) на поверхні земного еліпсоїда (референц – еліпсоїда) щодо площини екватора і початкового меридіана.

Геодезичною широтою (B) називається кут, між площиною екватора і нормаллю до поверхні земного еліпсоїда, що проходить через цю точку.

Відлік геодезичних широт ведеться від 0° до 90° на північ і на південь від екватора. Геодезичні широти Північної півкулі називаються північними і мають знак "+", а Південної – південними і мають знак "-". Геодезична широта вимірюється центральним кутом у площині меридіана. Геодезична широта (в градусах) показує, наскільки ця точка на земному еліпсоїді розташована на північ або на південь від площини екватора. Геодезична широта для точок, що

розташовані на екваторі, дорівнює 0° , а для точок, розташованих на полюсах, $\pm 90^\circ$.

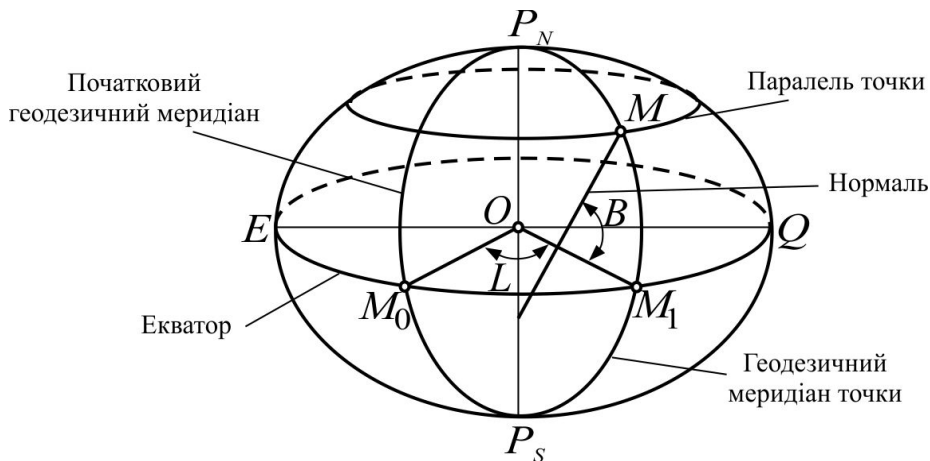


Рис. 3.1. Геодезична система координат

Геодезичною довготою (L) називається двограний кут, укладений між площиною початкового меридіана і площиною геодезичного меридіана, що проходить через певну точку. За старих часів в окремих державах за початковий приймали меридіан, що проходить через свою головну обсерваторію. На сьогодні в Україні і в більшості країн світу для однаковості у визначенні довгот домовились початковим вважати Гринвіцький меридіан, що проходить через астрономічну обсерваторію в Гринвічі (поблизу Лондона). Від цього меридіана ведеться відлік так званого міжнародного Гринвіцького часу.

Геодезична довгота вимірюється центральним кутом у площині екватора або паралелі, або дугою екватора від початкового (Гринвіцького) меридіана до меридіана, що проходить через дану точку (M), в межах від 0 до 180° на схід або на захід. Геодезичні довготи для точок, розташованих на схід від меридіана Гринвіча до 180° , називаються східними і вважаються додатними, а на захід – західними і вважаються негативними. Східна довгота позначається буквами (с.д.) або знаком "+", західна довгота – буквами (з.д.) або знаком "-".

Геодезична система координат, віднесена до еліпсоїда Красовського, була розроблена у 1942-1943 рр., тому вона отримала назву системи координат 1942 року. Разом з нею була прийнята Балтійська система висот, за якою ведеться відлік абсолютних висот щодо нуля Кронштадтського футштока (футшок – спеціальна рейка з поділками).

3.2. Астрономічна система координат

Астрономічні координати визначають положення точки на поверхні геоїда. Їх можна отримати шляхом астрономічних вимірів за допомогою геодезичних інструментів або шляхом математичної обробки результатів геодезичних вимірювань. *Астрономічної широтою* (φ) називається кут, укладений між площиною земного екватора і напрямом прямовисної лінії у даній точці. Астрономічна широта вимірюється від 0 до 90° на північ і на південь від екватора. У Північній півкулі астрономічні широти називаються північними, а у Південній – південними. Прямовисна лінія у загальному випадку не збігається з напрямком нормалі до поверхні земного еліпсоїда.

Оскільки різні за щільністю маси в тілі Землі розподілені нерівномірно, то відхилення прямої лінії (сили тяжіння) від нормалі різне в різних точках Землі. Так, наприклад, у районі Кавказу відхилення прямої лінії від нормалей досягають 35", а різниця відхилень прямої лінії на протилежних берегах озера Байкал досягає 40". У середньому величина відхилень дорівнює 4 - 5" (рис. 3.2).

Астрономічною довготою (λ) називається двограний кут, укладений між площиною початкового астрономічного меридіана і площиною астрономічного меридіана, що проходить через дану точку.

Оскільки площина астрономічного меридіана проходить через прямої лінії у даній точці на поверхні Землі, а площину геодезичного меридіана проходить через нормаль до поверхні еліпсоїда, отже, площини астрономічного і геодезичного меридіанів не збігаються. У результаті цього геодезична широта, довгота і геодезичний азимут у даній точці відрізняються від астрономічної широти, довготи і астрономічного (істинного) азимута. Ці розбіжності будуть збільшуватися там, де спостерігаються великі відхилення прямої лінії від нормалі, а також у тих точках геоїда, де його поверхня більш віддалена від поверхні еліпсоїда.

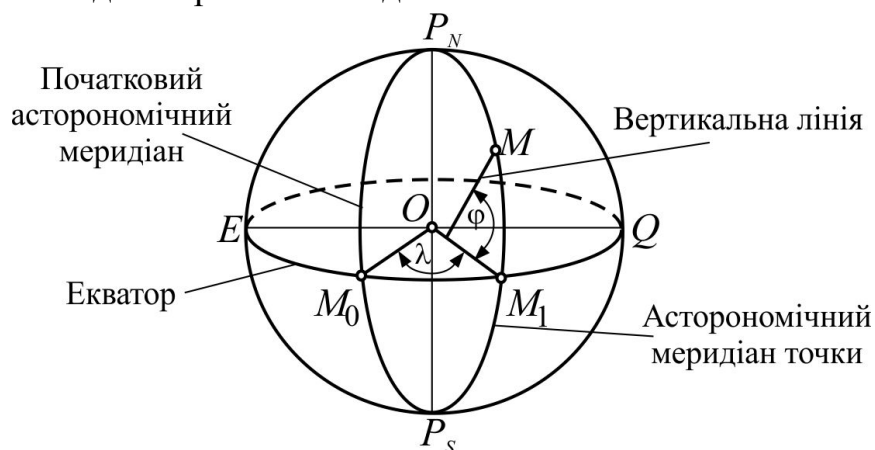


Рис. 3.2. Астрономічна система координат

Геодезична і астрономічна системи координат розрізняються як дві окремі системи при визначенні місця розташування об'єктів з точністю до 1" (в лінійній величині до 20-30 м). Знаючи астрономічні координати, можна обчислити геодезичні координати шляхом введення поправок на ухилення прямої лінії від нормалей, що визначається астрономо-геодезичним методом або за спеціальними гравіметричними картами.

3.3. Сферична система координат

При вирішенні ряду геодезичних задач і складанні карт дрібних масштабів Землю приймають за сферу. Положення точок місцевості на сфері визначається сферичними координатами: сферичної широтою і сферичної довготою.

Сферичними координатами називаються кутові величини (широта і довгота), що визначають положення точок місцевості на поверхні земної сфери щодо площини екватора та початкового меридіана (рис. 3.2).

Сферичної широтою (ϕ) називається кут, укладений між площиною

екватора і напрямом з центру земної сфери на дану точку. Сферична широта вимірюється центральним кутом або дугою меридіана в тих же межах, що і геодезична широта – від 0 до 90° на північ і на південь від екватора. Сферичні широти у Північній півкулі називаються північними і позначаються знаком "+", а у Південній – південними і позначаються знаком "-".

Сферичною довготою (λ) називається двогранний кут, утворений між площиною початкового меридіана і площиною меридіана, що проходить через дану точку. Сферична довгота вимірюється центральним кутом у площині екватора або у площині паралелі, або дугою екватора чи дугою паралелі від початкового (Гринвіцького) меридіана до меридіана, що проходить через дану точку в межах від 0 до 180° на схід і на захід.

Сферичні довготи для точок, розташованих на схід від Гринвіцького меридіана до 180° , називаються східними і вважаються додатними, а на захід – західними і вважаються негативними. При вирішенні деяких практичних завдань сферична довгота відлічується від 0 до 360° тільки на схід від Гринвіцького меридіана.

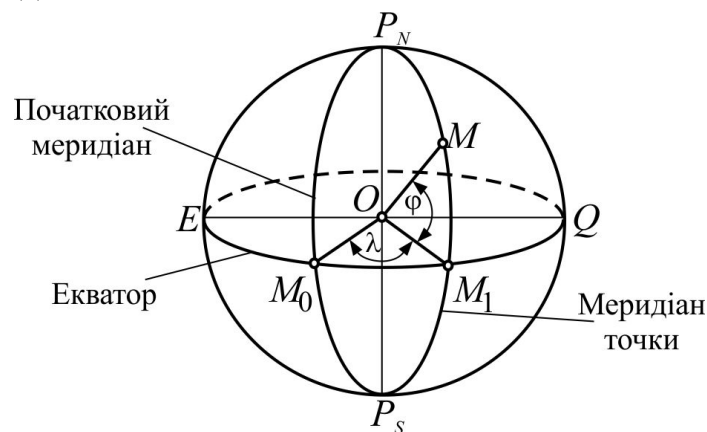


Рис. 3.3. Сферична система координат

Усі обчислення, пов'язані з автоматизованим визначенням координат, кутів і відстаней, вирішуються на поверхні земної сфери з використанням формул сферичної тригонометрії, тому поверхня земного еліпсоїда проектується на поверхню сфери.

На практиці часто користуються сферою радіусом $R = 6371$ км, поверхня якої дорівнює поверхні еліпсоїда. При цьому максимальні похибки у визначенні відстаней досягають $0,5\%$ і кутів не більше $0,4^\circ$.

Довжина дуги великого кола на сфері у 1 секунду, яка дорівнює 1852 м, називається морської милею. Вищеназвані похибки не дозволяють реалізувати точність сучасних засобів автоматизованого визначення координат. Тому у сучасних обчислюваннях застосовуються формули з урахуванням стиснення Землі. При цьому максимальні спотворення відстаней складають $0,08\%$ – $0,17\%$, а спотворення кутів практично відсутні.

3.4. Полярна і біполярна системи координат

Полярними координатами називаються кутова і лінійна величини, що визначають положення точки на площині відносно початку координат, який прийнято за полюс, і полярної осі. Місцезнаходження будь-якої точки

визначається кутом положення, який відраховано від полярної осі до напрямку на визначену точку, та відстанню від полюса до цієї точки (рис. 3.4).

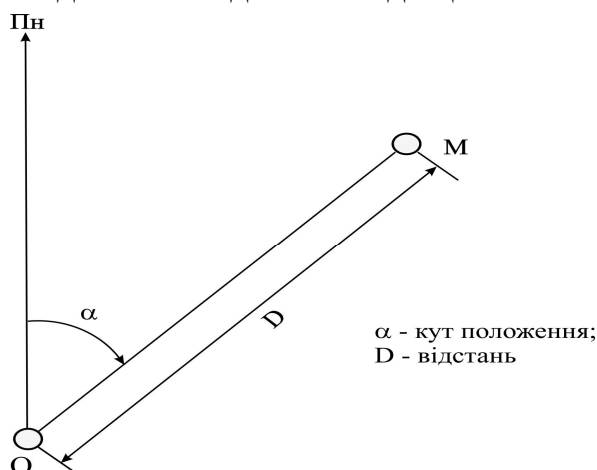


Рис. 3.4. Полярна система координат

За полярну вісь можуть бути прийняті істинний або магнітний меридіан, вертикальна лінія сітки і напрямок на будь-який орієнтир.

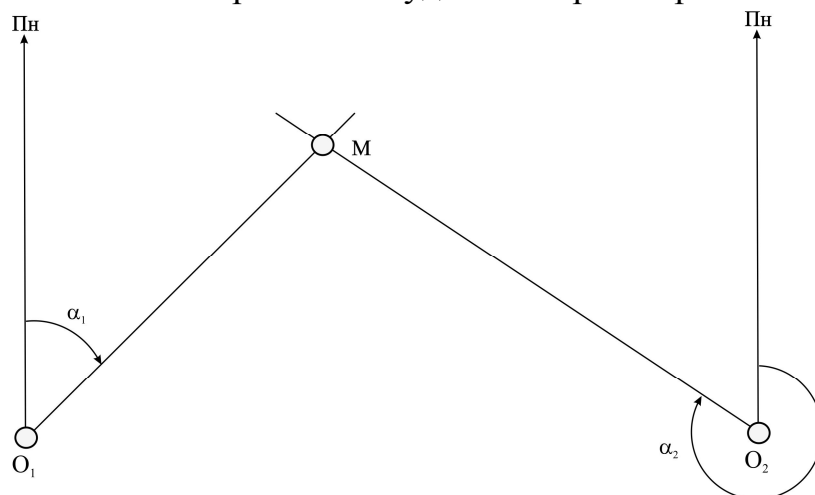


Рис. 3.5. Визначення місця точки за двома дирекційними кутами

При роботі на місцевості за полярну вісь приймають північний напрямок магнітного меридіана або напрямок на який-небудь орієнтир з точки стояння.

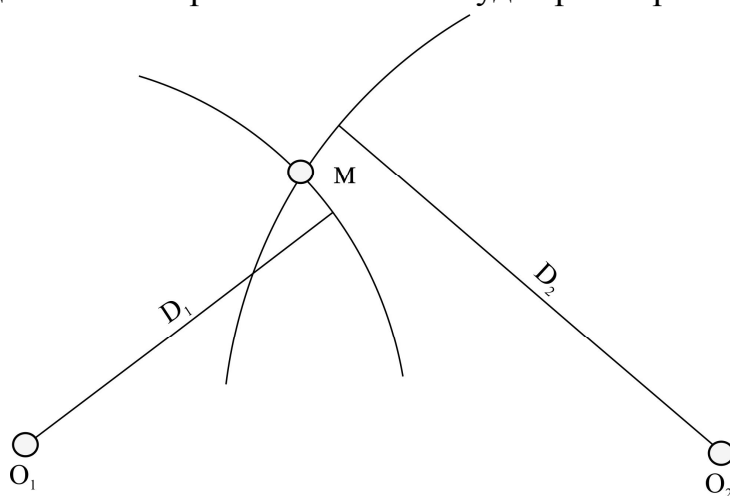


Рис. 3.6. Визначення місця точки за двома відстанями

Біполярними координатами називаються дві кутові або дві лінійні величини, що визначають місце розташування точки на площині щодо двох вихідних точок (полюсів). Положення будь-якої точки на карті або на місцевості визначається двома координатами. Цими координатами можуть бути два кути положення або дві відстані від полюсів до обумовленої точки (рис. 3.5, 3.6).

3.5. Система плоских прямокутних координат

Плоскими прямокутними геодезичними координатами (прямокутними координатами) називаються лінійні величини – абсциса і ордината, які визначають положення точки на площині щодо вихідних напрямків.

Вихідними напрямками служать дві взаємно перпендикулярні лінії (рис. 3.7) з початком відліку в точці їх перетину (0). Пряма XX є віссю абсцис, а пряма YY , перпендикулярна до осі абсцис – віссю ординат. У такій системі положення будь-якої точки на площині визначається найкоротшою відстанню до неї від осей координат. Так положення точки A визначається довжиною перпендикулярів x_A і y_A . Відрізок x_A називається абсцисою точки A , а y_A – ординатою. Підписуються абсциси і ординати в лінійній мірі (зазвичай у метрах).

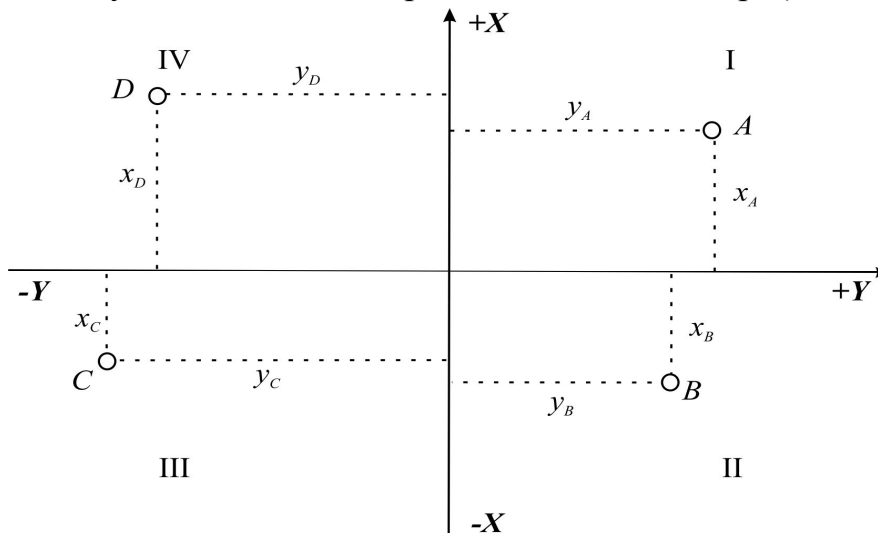


Рис. 3.7. Система плоских прямокутних координат

У геодезії і топографії прийнята права система прямокутних координат: це відрізняє її від лівої системи координат, що використовується в математиці. Чверті системи координат (назва яких визначається прийнятими позначеннями країн світу), нумеруються за ходом годинникової стрілки. У такій системі спрощується вимірювання кутів орієнтування. Абсциси точок, розташованих вгору від початку координат, вважаються додатними, а вниз від неї – від'ємними. Ординати точок, розташованих вправо від початку координат, вважаються додатними, а ліворуч від неї – від'ємними (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Знаки ординат точок

Четверті		Координати	
		X	Y
I	Північний схід (Пн.Сх)	+	+
II	Південний схід (Пд.Сх)	-	+
III	Південний захід (Пд.Зх)	-	-
IV	Північний Захід (Пн.Зх)	+	-

У державній системі координат за вісь ординат приймають лінію екватора, за вісь абсцис – напрямком меридіана, який називається осьовим (він збігається з напрямком однієї з осей системи прямокутних координат). При проведенні робіт на значних за площею територіях осьовими вибирають кілька меридіанів.

3.6. Визначення геодезичних координат точок за картою

Топографічні карти друкуються окремими аркушами, розміри яких встановлені для кожного масштабу. Бічними рамками аркушів служать меридіани, а верхньою і нижньою рамками – паралелі (рис. 3.9). Отже, географічні координати можна визначити за бічними рамками топографічної карти. На всіх картах верхня рамка завжди повернута на північ.

Географічну широту і довготу підписують у кутах кожного аркуша карти. На картах Західної півкулі у північно-західному куті рамки кожного аркуша правіше значення довготи меридіана поміщають напис: "На захід від Гринвіча".

На картах масштабів 1: 25 000 – 1: 200 000 сторони рамок розділені на відрізки, що дорівнюють 1' (одній мінуті, рис. 3.8). Ці відрізки відтінені через один і розділені крапками (крім карти масштабу 1: 200 000) на частини по 10" (десять секунд). На кожному аркуші карти масштабів 1: 50 000 і 1:100 000 показують, крім того, перетин середнього меридіана і середньої паралелі з оцифруванням у градусах і хвилинах, а по внутрішній рамці – виходи мінутних поділок штрихами довжиною 2-3 мм. Це дозволяє при необхідності прокреслювати паралелі і меридіани на карті, яка склеєна з декількох аркушів.

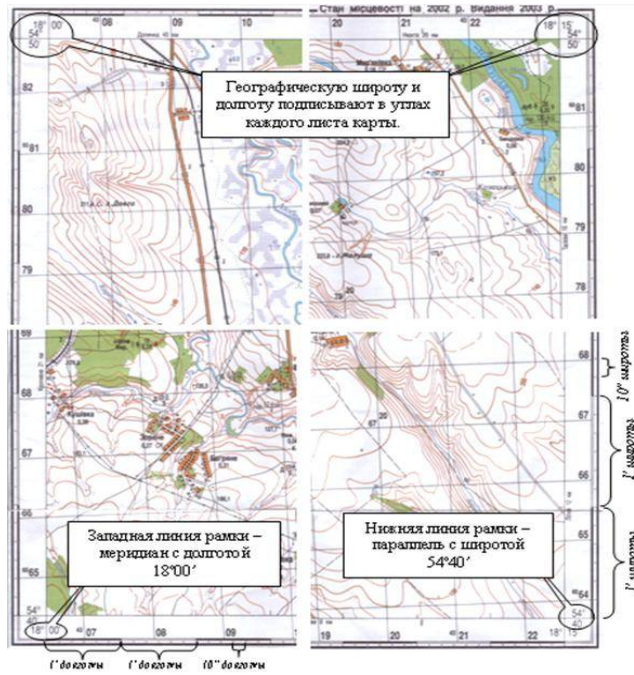


Рис. 3.8. Бічні рамки карти

При складанні карт масштабів 1: 500 000 і 1: 1 000 000 на них наносять картографічну сітку паралелей і меридіанів. Паралелі проводять відповідно через 20' і 40' (хвилин), а меридіани – через 30' і 1°.

Географічні координати точки визначають від найближчої паралелі і від найближчого меридіана, широта і довгота яких відомі. Наприклад, для карти масштабу 1: 50 000 "Загоряни" найближчими паралелями будуть паралелі з широтами 54°40' і 54°50', а найближчими меридіанами будуть меридіани з довготами 18°00' і 18°15' (рис. 3.8).

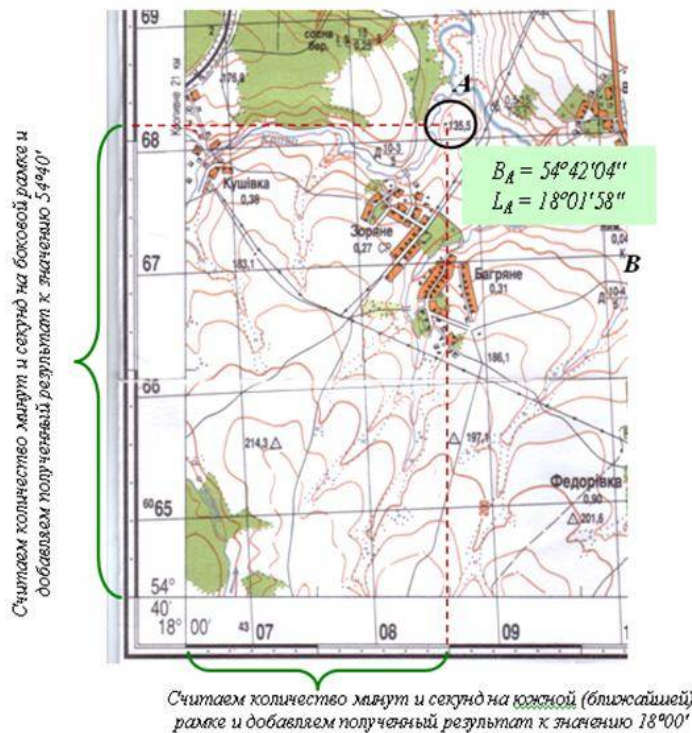


Рис. 3.9. Визначення географічних координат

Для визначення широти заданої точки необхідно:

- одну ніжку циркуля-вимірювача встановити на задану точку, іншу - по найкоротшій відстані встановити на найближчу паралель (для нашої карти $54^{\circ}40'$);
- не змінюючи розхилу циркуля-вимірювача, встановити його на бічну рамку з хвилинними і секундними розподілами, одна ніжка повинна бути на південній паралелі (для нашої карти $54^{\circ}40'$), а інша – між 10-секундними точками на рамці;
- порахувати кількість мінут і секунд від південної паралелі до другої ніжки циркуля-вимірювача;
- додати отриманий результат до південної широти (для нашої карти $54^{\circ}40'$).

Для визначення довготи заданої точки необхідно:

- одну ніжку циркуля-вимірювача встановити на задану точку, іншу ніжку по найкоротшій відстані встановити на найближчий меридіан (для нашої карти $18^{\circ}00'$);
- не змінюючи розхил циркуля-вимірювача, встановити його на найближчу горизонтальну рамку з хвилинними і секундними поділами (для нашої карти нижню рамку), одна ніжка повинна бути на найближчому меридіані (для нашої карти $18^{\circ}00'$), а інша – між 10-секундними точками на горизонтальній рамці;
- порахувати кількість хвилин і секунд від західного (лівого) меридіана до другої ніжки циркуля-вимірювача;
- додати отриманий результат до довготи західного меридіана (для нашої карти $18^{\circ}00'$).

Зверніть увагу на те, що цей спосіб визначення довготи заданої точки для карт масштабу 1:50 000 і дрібніше має похибку за рахунок сходження меридіанів, що обмежують топографічну карту зі сходу і заходу. Північна сторона рамки буде коротша, ніж південна. Отже, розбіжності між вимірами довготи на північній і південній рамці можуть відрізнятись на кілька секунд.

Щоб домогтися високої точності в результатах вимірювань необхідно визначити довготу і по південній і по північній стороні рамки, а потім провести інтерполяцію. Для підвищення точності визначення географічних координат можна використати графічний метод. Для цього необхідно з'єднати прямими лініями найближчі до точки однойменні десятисекундні поділки по широті на південь від точки і по довготі на захід від неї. Потім визначити розміри відрізків за широтою та довготою від прокреслених ліній до положення точки і підсумувати їх відповідно з широтою і довготою прокреслених ліній. Точність географічних координат за картами масштабів 1: 25 000 – 1: 200 000 становить 2 " і 10 " відповідно.

Питання і завдання для самоконтролю до Теми 3

1. Які площини у системі географічних координат є вихідними?

2. Дайте визначення "геодезичні координати", "геодезична широта", "геодезична довгота".
3. У яких межах вимірюється геодезична широта і геодезична довгота?
4. Чому дорівнює геодезична широта точок, розташованих на екваторі і на південному полюсі?
5. Дайте визначення "астрономічні координати", "астрономічна широта", "астрономічна довгота".
6. Дайте визначення "сферичні координати", "сферична широта", "сферична довгота".
7. Що таке морська миля і яка її довжина?
8. Які координати називають полярними?
9. Якими величинами визначають положення точки у полярній системі координат?
10. Якими величинами визначають положення точки в біполярній системі координат?
11. Якими величинами визначають положення точки у плоскій прямокутній системі координат?
12. Які знаки мають плоскі прямокутні координати X і Y в I, II, III і IV чвертях?

ТЕМА 4. ЗОНАЛЬНА СИСТЕМА ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ ГАУССА

- 4.1. Рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гаусса.
- 4.2. Система плоских прямокутних координат Гаусса.
- 4.3. Визначення географічних координат точок заданих за картою.

4.1. Рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гаусса

Для зменшення неминучих спотворень, що виникають при зображенні значних територій на площині вдаються до картографування територій по частинах. При створенні топографічних карт (крім карти в масштабі 1: 1 000 000) в Україні та ряді інших країн застосовується рівнокутна поперечна циліндрична проекція Гаусса-Крюгера.

Карл Фрідріх (1777-1855) Гаусс у 1825 р. розробив теорію відображення поверхні еліпсоїда обертання на площині із збереженням подібності в нескінченно малих частинах. У 1912 р А. Крюгер вивів робочі формули цієї проекції.

Утворюється проекція перенесенням поверхні еліпсоїда на бічну поверхню еліптичного циліндра, вісь якого перпендикулярна осі обертання Землі.

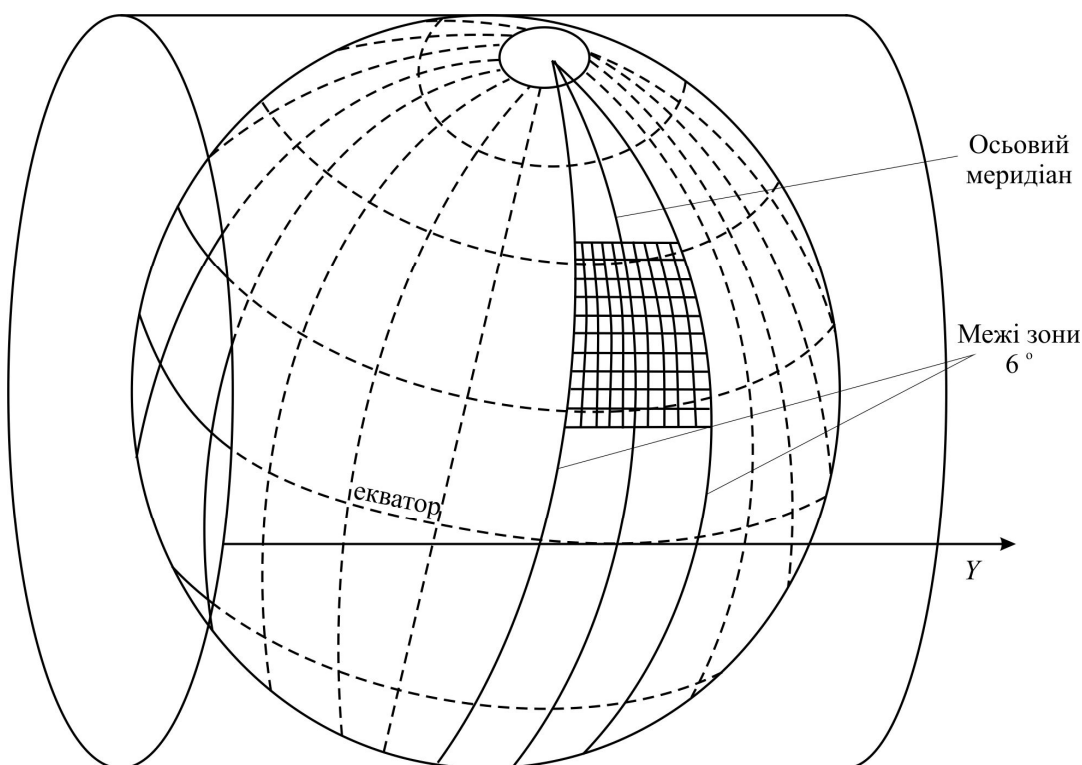


Рис. 4.1. Проекція Гаусса

Отже, проекція Гаусса складається з урахуванням стиснення Землі. На один циліндр переноситься вузька смуга земної поверхні, що займає по довготі 6° .

Циліндр торкається глобуса по середньому меридіану зони. Кожна зона відповідає колонці аркушів карти масштабу 1: 1 000 000 в міжнародній розграфці, тобто кожна зона обмежується меридіанами, кратними 6° довготи. Зони нумеруються від Гринвіцького меридіана на схід. Перша зона

розташована між меридіанами 0 і 6 °. Усього зон – 60.

Поверхня глобуса на бічну поверхню циліндра переноситься із збереженням рівності кутів на місцевості і на карті. Отже, проекція Гаусса рівнокутна. Спотворення довжин будуть зростати в міру віддалення від екватора і дотичного меридіана.

У кожній зоні осьовий меридіан (як дотичний меридіан) зображується прямою лінією в натуральну величину. Решта меридіанів зони зображуються кривими лініями, причому кривизна їх збільшується в міру віддалення від осьового меридіана.

На глобусі всі меридіани мають однакову довжину. Отже, всі меридіани у зоні, крім середнього, витягнуті у порівнянні з відповідними меридіанами на глобусі. Екватор зображається прямою лінією, а решта паралелей – кривими. Всі паралелі, в тому числі і екватор, розтягнуті пропорційно розтягуванню меридіанів.

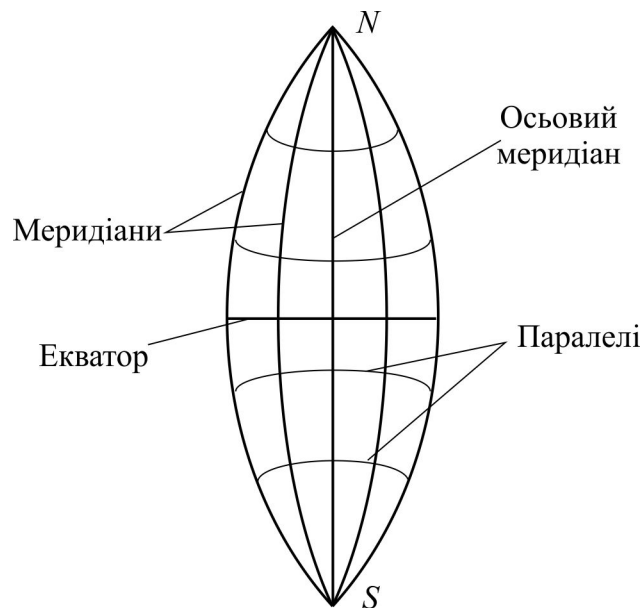


Рис. 4.2. Схематичне зображення зони Гаусса на площині

У проекції Гаусса максимальні спотворення довжин на екваторі на межі кожної зони рівні 0,137 % (137 м на 100 км відстані).

При вирішенні багатьох завдань геодезії такими спотвореннями нехтують і проекцію вважають не тільки рівнокутною, але і рівнопроміжковою, і рівновеликою, оскільки практично відсутні спотворення кутів, відстаней і площ. Карти цієї проекції приймають за план.

Кожна зона Гаусса за меридіанами і паралелями ділиться на окремі листи карт. Рамками аркушів карт є меридіани і паралелі.

У проекції Гаусса складаються топографічні карти масштабу 1: 500 000 і більше.

На картах масштабу 1: 500 000 нанесена сітка геодезичних координат, а на рамках цієї карти вказано виходи кілометрової сітки.

На картах масштабу 1: 200 000 і більше нанесена кілометрова сітка системи прямокутних координат Гаусса.

4.2. Система плоских прямокутних координат Гаусса

На топографічних картах масштабу 1: 500 000 і більше крім геодезичної

сітки наноситься прямокутна координатна сітка. Приймаючи осьовий (середній) меридіан у кожній зоні за вісь X (абсцис), екватор – за вісь Y (ординат), а їх перетин за початок координат, отримуємо систему плоских прямокутних координат Гаусса для даної зони.

У топографії та геодезії орієнтування проводиться по півночі з відрахуванням кутів за ходом годинникової стрілки. Тому для збереження знаків тригонометричних функцій положення осей координат у зоні Гаусса повернуто на 90° щодо осей, прийнятих у декартовій системі прямокутних координат. За позитивний напрямок осей прийняті: для осі X – напрямок на північ, для осі Y – на схід. Положення точки A у координатній зоні визначається її відстанню x_A і y_A від осей координат. На території України всі абсциси (відстані від екватора) позитивні. Що стосується ординат, то вони у кожній зоні могли б бути як додатними, так і від’ємними. Для зручності роботи з картами значення ординати Y осьового меридіана кожної зони приймають рівним 500 км , ніби початок координат винесли на захід за межі зони.

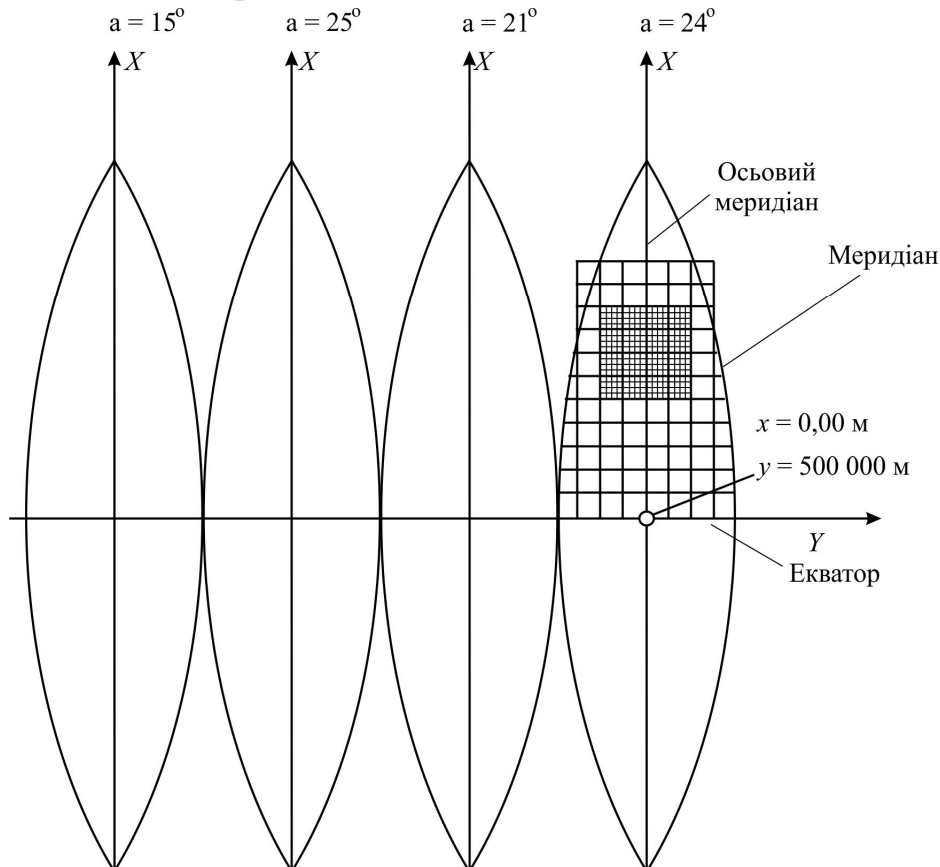


Рис. 4.3. Система плоских прямокутних координат Гаусса

Щоб за координатами точки можна було визначити, до якої зони вона відноситься, оскільки у кожній зоні числові значення ординат повторюються, до значення ординати Y зліва приписується номер зони. Наприклад, координати точки $x = 6\,346\,650\text{ м}$, $Y = 4\,522\,800\text{ м}$ означають, що точка розташована на північ від екватора на відстані $6\,346\,650\text{ м}$ і на схід від осьового меридіана 4-ї зони на відстані $22\,800\text{ м}$ ($522\,800\text{ м} - 500\,000\text{ м} = 22\,800\text{ м}$).

Інший приклад. Координати $x = 5\,862\,300\text{ м}$, $y = 15\,323\,500\text{ м}$. Це означає, що точка розташована у $5\,862\,300\text{ м}$ на північ від екватора і у $176\,500\text{ м}$ на захід від осьового меридіана 15-ї зони ($500\,000\text{ м} - 323\,500\text{ м} =$

176 500 м).

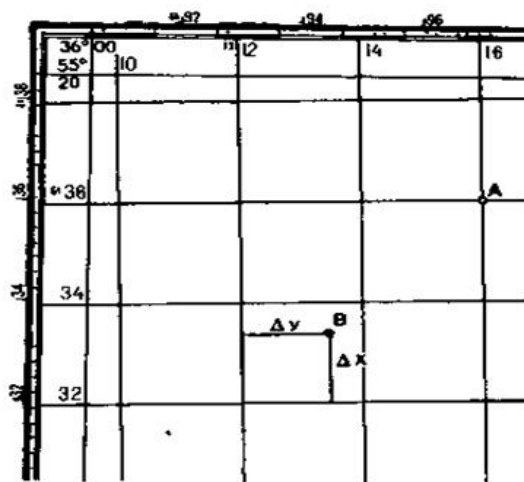
Щоб спростити визначення прямокутних координат, на площині (на карті) паралельно координатним осям (осьового меридіану і екватору) проводять прямі лінії через ціле число кілометрів, тому прямокутну координатну сітку часто називають *кілометровою*, а її лінії – *кілометровими*.

Усі лінії кілометрової сітки на картах підписують цифрами, причому лінії, найближчі до кутів рамки аркуша карти, підписують повним числом кілометрів, решта скорочено – тільки останніми двома цифрами, маючи на увазі інші цифри. Таким чином підпис 6081 зверху горизонтальною кілометровою лінією означає, що вона проходить у 6081 км на північ від екватора, а підпис 4322 біля розташованої праворуч вертикальної кілометрової лінії означає, що ця лінія знаходиться у 4-й зоні і проходить у 178 км на захід від осьового меридіана зони ($500 \text{ км} - 322 \text{ км} = 178 \text{ км}$).

За допомогою кілометрової сітки можна швидко знаходити координати об'єктів, наносити точки за координатами, вказувати місце розташування об'єктів на карті. Прямокутні координати точки, через яку на карті проходять лінії кілометрової сітки, отримують відразу, прочитавши підписи координатних ліній на рамках карти.



Рис. 4.4. Підписи ліній прямокутної координатної сітки



$$x_A = 6\,136\,000 \quad x_B = 6\,133\,28$$

$$y_A = 7\,316\,000 \quad y_B = 7\,313\,450$$

Рис. 4.5. Підписи ліній прямокутної координатної сітки на аркуші карти масштабу 1: 100 000 і визначення прямокутних координат точок

Координати точок, що лежать усередині клітин сітки, визначають за координатами найближчих до точки ліній сітки і приростів координат точок відносно цих ліній. Прирости координат Δx і Δy вимірюють за допомогою циркуля-вимірювача і лінійного масштабу карти, підсумовують з координатами кілометрових ліній.

Прирости координат можуть бути виміряні за допомогою координатомера – невеликого кутника з двома перпендикулярними сторонами. По внутрішніх ребрах лінійок нанесені шкали, довжини яких дорівнюють довжині сторони координатних клітин карти даного масштабу.

Горизонтальна шкала поєднується з нижньою лінією квадрата (в якому знаходиться точка), а вертикальна шкала повинна проходити через дану точку. За шкалами визначають відстані від точки до кілометрових ліній (рис. 4.6.)

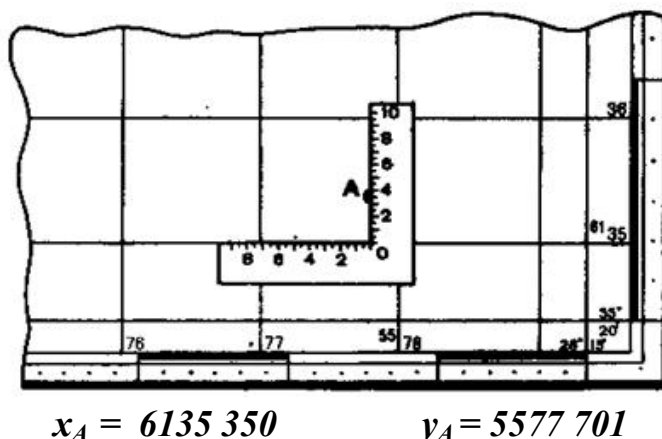


Рис. 4.6. Вимірювання прямокутних координат точок за допомогою координатомера

Щоб нанести на карту точку за заданими прямокутним координатам, діють так: за значенням абсциси X , беручи до уваги тільки ціле число кілометрів, знаходять горизонтальну координатну лінію, на північ від якої буде знаходитися точка. За значенням ординати Y аналогічним чином визначають вертикальну координатну лінію, на схід від якої буде розташована шукана точка, і знаходять потрібний квадрат. Відкладають вимірником за лінійним масштабом решту частки кілометрів (прирости координат): по обох горизонтальних сторонах квадрата на схід – *приріст ординати* Δy , а по обох вертикальних лініях на північ – *приріст абсциси* Δx . Через отримані точки проводять вертикальну і горизонтальну прямі, в точці перетину яких знаходиться задана точка.

Для швидкого визначення місця розташування об'єкта на даному аркуші карти використовують скорочені координати південно-західного кута відповідного квадрата кілометрової сітки. Від позначень обох кілометрових ліній беруть дві останні цифри, надруковані великим шрифтом і записують їх так, щоб дві перші цифри ставилися до південної сторони, а дві останні – на захід від квадрата. Наприклад, на рис. 4.4 г. Крута знаходиться у квадраті 8020, а населений пункт Бандурка – у квадраті 8022.

Додаткова кілометрова сітка наноситься на кордоні сусідніх зон. Оскільки вертикальні кілометрові лінії сітки паралельні своєму осьовому меридіану зони, а осьові меридіани сусідніх зон між собою не паралельні, то

при склеюванні двох аркушів карти, які перебувають на стику двох зон, вертикальні кілометрові лінії обох сіток будуть розташовані під деяким кутом один до одного. При визначенні координат точок, розташованих у двох суміжних зонах, необхідно координати об'єктів однієї зони перерахувати в іншу зону. Це трудомістка робота, що вимагає наявності спеціальних таблиць і обчислювальної техніки.

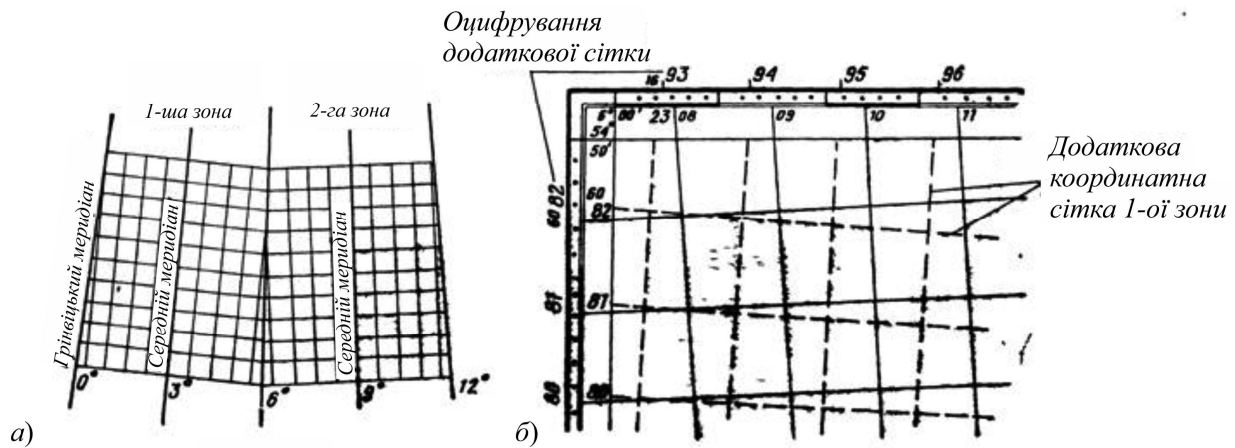


Рис. 4.7. Взаємне розташування кілометрових ліній мережі суміжних зон (а) і додаткова координатна сітка (б)

Щоб усунути цю незручність, у кожній зоні на всіх аркушах карт, розташованих у межах 2° на схід і на захід від межі зони, наносять крім кілометрової сітки своєї зони також виходи кілометрової сітки сусідньої (західної чи східної) зони у вигляді рисок за зовнішньою рамкою. Підписи додаткової мережі робляться з зовнішнього боку зовнішньої рамки.

Наявність додаткової сітки на карті дозволяє графічно перерахувати координати об'єктів (цілей) однієї зони в іншу зону. Щоб побудувати на мапі додаткову сітку, необхідно з'єднати прямою лінією виходи додаткової координатної сітки з однаковими значеннями по східній і західній рамкам, а також по південній і північній рамкам.

4.3. Визначення географічних координат точок, заданих на карті

Кожен лист карт масштабу 1: 1 000 000 і більше, обмежений меридіанами і паралелями. Значення географічних координат підписуються біля кутів рамки аркуша карти. Крім того, уздовж сторін рамки показують (у масштабі карти) зображення дуг меридіанів і паралелей, що відповідають певному числу мінут широти і довготи.

Географічні координати кутів внутрішньої рамки аркуша (північно-східного, південно-східного, південно-західного, північно-західного) підписані на карті.

Рамка має поділки на відрізки, які рівні мінуті широти (на західній і східній рамках) і мінуті довготи (на північній і південній рамках). Мінутні відрізки представлені на карті у вигляді довгих пунктирів.

Для визначення по карті географічних координат точки проводять найближчу до неї з півдня паралель і найближчий з заходу меридіан. Шукана широта буде складатися з широти проведеної паралелі і збільшення широти

точки відносно цієї паралелі. Аналогічно можна отримати і довготу точки. Збільшення широти і довготи зазвичай визначають за секундними позначками, нанесеними поруч з мінутними поділами або методом інтерполяції.

Щоб визначити збільшення координат методом інтерполяції, необхідно виміряти на карті довжину міноти широти та довготи, а також відстань від точки до найближчої з півдня паралелі і від точки до найближчого із заходу меридіана. За цими даними складаються пропорції і визначаються прирости координат.

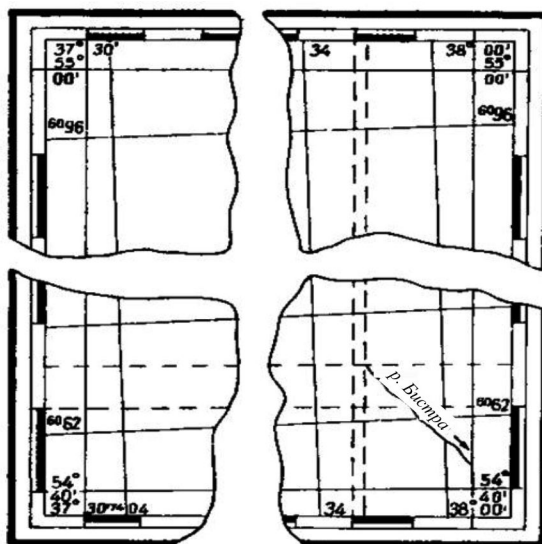


Рис. 4.8. Оформлення рамки аркуша топографічної карти

Наприклад:

На карті масштабу 1: 25 000 довжина мінутного штриха по довготі дорівнює 42 мм. Відстань від точки до найближчого західного меридіана дорівнює 20 мм. Знайти приріст довготи у секундах.

Складаємо пропорцію:

60 сек відповідає 43 мм

x сек відповідає 20 мм

$$x = (60 \times 20) : 43 = 27,9 \approx 28 \text{ сек}$$

При визначенні географічних координат точок за картами масштабів 1: 500 000 і 1: 1 000 000 застосовують спеціальну палетку. Це накреслена на прозорому папері система прямих ліній, відстані між якими відповідають 5' широти і довготи. Таку палетку накладають на лист карти так, щоб її лінії, кратні цілим градусам широти і довготи, збіглися з відповідними лініями картографічної сітки. Після цього оцінюють місце знаходження точки щодо найближчих західної і південної ліній палетки.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 4

1. Які проєкції застосовують для створення топографічних карт в Україні?
2. У чому сутність створення проєкції Гаусса?
3. Чому проєкція Гаусса носить назву "рівнокутна поперечно-циліндрична"?
4. Як зображуються меридіани і паралелі у проєкції Гаусса?
5. На яких ділянках карти проєкції Гаусса спотворення максимальні?
6. Для чого служать рамки аркушів карт проєкції Гаусса?
7. Що приймається за осі координат (абсциса і ордината) у системі плоских прямокутних координат Гаусса?

8. Що означає запис значень координат: $X = 6\ 346\ 650$, $Y = 4\ 522\ 800$
9. З якою метою на топографічних картах нанесена кілометрова сітка?
10. Як визначити за допомогою топографічної карти плоскі прямокутні координати заданої точки?
11. Для чого використовують скорочені координати?
12. У чому полягає рішення прямої геодезичної задачі?
13. У чому полягає рішення зворотної геодезичної задачі?
14. Який порядок визначення географічних координат на топографічній карті?

ТЕМА 5. РОЗГРАФЛЕННЯ ТА НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ, ЛІСОВПОРЯДНИХ ПЛАНШЕТІВ І ПЛАНІВ

- 5.1. Розграфлення та номенклатура топографічних карт і планів різних масштабів.
- 5.2. Особливості розграфлення та планів лісонасаджень і лісовпорядних планшетів.
- 5.3. Визначення географічних координат кутів рамки аркуша топографічної карти.
- 5.4. Визначення номенклатури аркушів карт за географічними координатами об'єктів.
- 5.5. Визначення номенклатури суміжних аркушів карти.
- 5.6. Цифрова номенклатура карт.

5.1. Розграфлення і номенклатура топографічних карт і планів різних масштабів

Поняття *номенклатури* в топографії абсолютно відрізняється від значення цього слова у нашому повсякденному житті. Це і сукупність або перелік назв, термінів, уживаних у якій-небудь галузі науки, техніки, мистецтва і тому подібне, це і коло посадових осіб, призначених вищою інстанцією. Сміслові поняття номенклатури в топографії виходить з того, що положення, які приймаються, повинні забезпечувати однозначне позначення аркушів топографічних або інших карт різних масштабів.

Номенклатура – це система позначення аркушів карт різних масштабів.

Розграфлення – система ділення поверхні Землі меридіанами і паралелями. Кожен лист обмежений рамкою.

В основу ділення карт на листи в нашій країні прийнята *міжнародна розграфка карт* масштабу 1: 1 000 000 (рис. 5.1).

Поділ на ряди (посяси) паралелями виконується від екватора через кожних 4° широти. *Ряди* позначають буквами латинського алфавіту: *A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W*. *Колони* у своїх межах співпадають з 6° зонами проекції Гаусса, але нумерація їх ведеться від меридіана $\pm 180^\circ$ на схід. Таким чином номер колони відрізняється від номера зони на 30 одиниць в ту або іншу сторону. *Колони позначаються (за номерами) арабськими цифрами*.

Припустимо, що номер колони в міжнародному розграфленні позначений цифрою 47. Тоді номер відповідної зони Гаусса буде $47 - 30 = 17$. Якщо номер колони менше 30, то для визначення номера зони слід до номера колони додати 30. Номенклатура аркуша топографічної карти масштабу 1: 1 000 000 складена з латинської букви ряду і арабської цифри номера колони. Наприклад, *S - 47*. Для карт південної півкулі після номенклатури у дужках

вказують (Південь – Пд.).

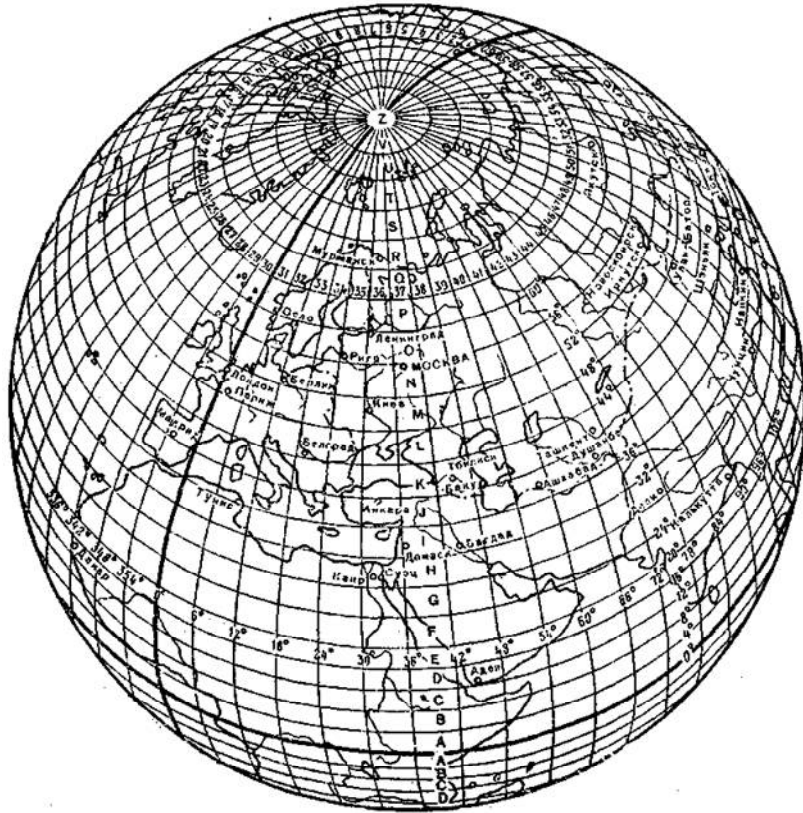


Рис. 5.1. Розграфлення і номенклатура топографічних карт масштабу 1: 1000000

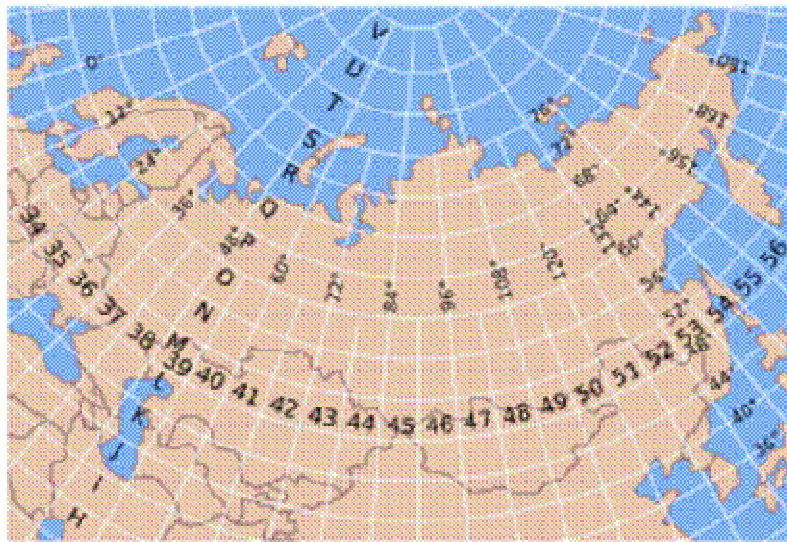


Рис. 5.2. Розграфлення і номенклатура топографічних карт масштабу 1: 1000000

Розграфлення аркушів карти масштабу 1: 500 000 виконується шляхом ділення середнім меридіаном і середньою паралеллю аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 на чотири частини, які позначаються прописними буквами українського (кириличного) алфавіту. Номенклатура аркушів карти масштабу 1: 500 000 складається з номенклатури аркуша карти масштабу 1: 1 000 000, частиною якого він є, і відповідної букви. Розграфлення аркушів карт масштабів 1: 200 000 і 1: 100 000 здійснюється шляхом ділення кожного аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 меридіанами і паралелями відповідно на 36 і

144 частини (рис. 5.3).

Аркуші карт масштабу 1: 200 000 нумеруються римськими цифрами, а масштабу 1: 100 000 – арабськими цифрами за рядами із заходу на схід. Номенклатура аркушів карт вказаних масштабів складається з номенклатури відповідного мільйонного аркуша і власного номера, який в аркуша карт масштабів 1: 200 000 і 1:100 000 вказується праворуч від номенклатури мільйонного аркуша.

Аркуш карти масштабу 1: 50 000 отримують шляхом ділення аркуша карти масштабу 1: 100 000 на чотири частини (рис. 5.4), який позначають великою літерою українського алфавіту. Розміри аркуша за широтою складають 10', за довготою – 15'.

Номенклатура цих аркушів утворюється шляхом приєднання до номенклатури аркуша масштабу 1: 100 000 відповідної букви, наприклад N-37-4-A. (рис. 5.4)

Аркуші карти масштабу 1: 25 000 отримують діленням аркушів карти масштабу 1: 50 000 на чотири частини (рис. 5.4), кожна з яких позначається малими літерами українського (російського) алфавіту. Розміри цих аркушів за широтою складають 5', за довготою – 7'30", а номенклатура доповнюється відповідною буквою: N-37-4-B-в.

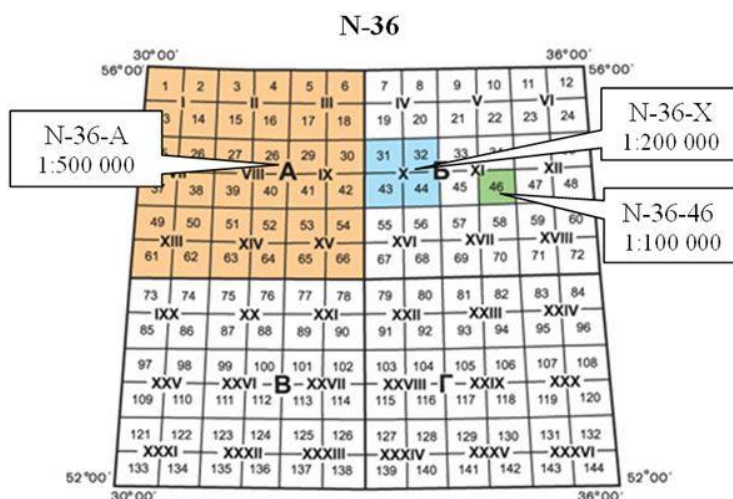


Рис. 5.3. Розграфлення і номенклатура аркушів карт масштабу 1: 500 000, 1: 200 000, 1: 100 000 в аркуші карти масштабу 1: 1 000 000

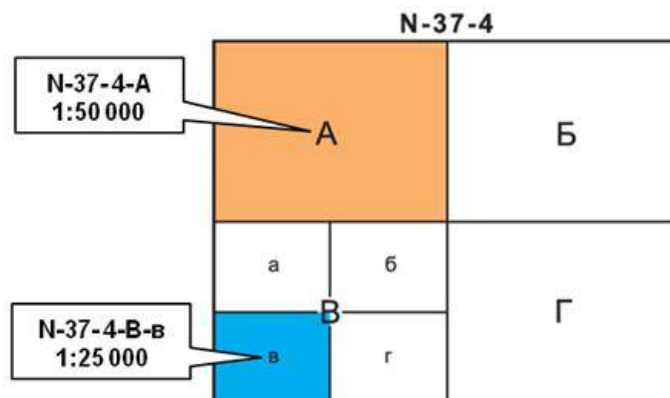


Рис. 5.4. Розграфлення і номенклатура аркушів карт масштабу 1: 50 000, 1: 25 000 в аркуші карти масштабу 1: 100 000.

Аркуш карти масштабу 1: 25 000 ділиться на чотири аркуші карти

масштабу 1: 10 000, кожен з яких має розміри за широтою 2'30", за довготою 3'45". Вони позначаються арабськими цифрами, які вказуються після номенклатури аркуша карти масштабу 1: 25 000, частиною якого вони є, наприклад, N-37-134-Б-в-2.

Розграфлення аркушів карти масштабу 1: 5 000 здійснюється шляхом ділення аркушів карти масштабу 1: 100 000 на 256 частин (16 рядів за широтою і довготою). Аркуші нумерують арабськими цифрами за рядами із заходу на схід. Розмір кожного аркуша за широтою 1'15", за довготою 1'53,5". Номенклатура цих аркушів утворюється шляхом приєднання до номенклатури аркуша карти масштабу 1: 100 000 відповідного номера у дужках, наприклад: N-37-134-(16).

Аркуші карти масштабу 1: 2 000 отримують шляхом ділення аркуша карти масштабу 1: 5 000 на дев'ять частин і позначають малими літерами українського (кириличного) алфавіту, наприклад, N-37-134-(16-ж). Розмір кожного аркуша за широтою 25", за довготою 37,5".

1:5 000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17		19		21		23		25		27		29			32
33			36		38		40		42		44		46		48
49		51		53		55		57		59		61			64
65			68		70		72		74		76		78		80
81		83		85		87		89		91		93			96
97			100		102		104		106		108		110		112
113		115		117		119		121		123		125		127	128
129	130		132		134		136		138		140		142		144
145		147		149		151		153		155		157		159	160
161			164		166		168		170		172		174		176
177		179		181		183		185		187		189		191	192
193			196		198		200		202		204		206		208
209		211		213		215		217		219		221		223	224
225			228		230		232		234		236		238		240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256

Рис. 5.5. Розграфлення аркушів карти масштабу 1: 5 000

Топографічні знімання у великих масштабах на ділянках площею менше 20 км² виконуються в умовних системах прямокутних координат, не пов'язаних з географічною системою. Розграфлення аркушів планів у цих випадках здійснюється не меридіанами і паралелями, а лініями координатної сітки. Аркуші мають форму квадратів розмірами 40 × 40 см для планів масштабу 1:5000 і 50 × 50 см для планів масштабів 1:2000-1:500. За основу розграфлення береться аркуш плану масштабу 1:5000, який позначається арабськими цифрами.

Аркушу плану масштабу 1:5000 відповідають 4 аркуші в масштабі 1: 2 000, які позначають великими (прописними) літерами українського (кириличного алфавіту) (рис. 5.6).

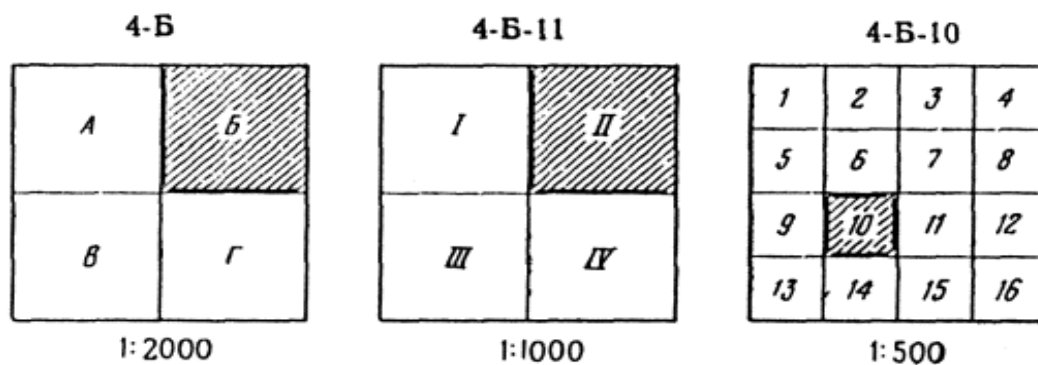


Рис. 5.6. Розграфлення та номенклатура аркушів карт масштабів 1: 2 000, 1: 1 000, 1: 500

Аркуш плану в масштабі 1:2000 ділиться на 4 аркуші планів масштабу 1:1000, які позначають римськими цифрами, або 16 аркушів планів масштабу 1:500, які нумерують арабськими цифрами (рис. 5.6).

На рис. 5.7 представлена загальна схема розграфлення і номенклатура топографічних карт, прийнята в Україні.

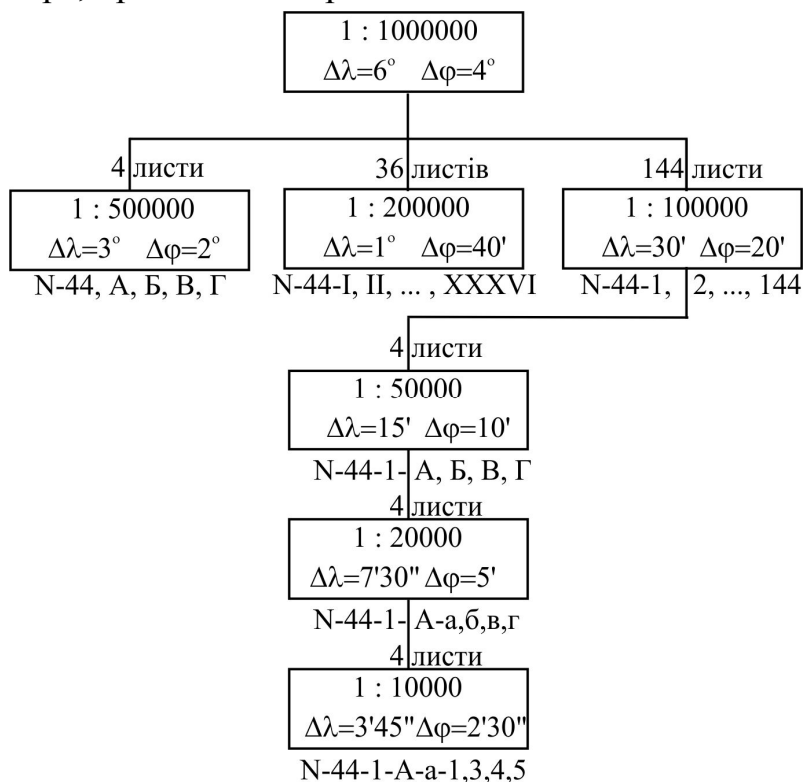


Рис. 5.7. Загальна схема розграфлення та номенклатура топографічних карт, прийнята в Україні

Можливі також інші системи позначення планів великого масштабу при виконанні знімів різних об'єктів. У цих випадках за рамками аркушів планів вказуються прийняті схеми їх розграфлення і нумерації.

У зв'язку з тим, що при русі до північного або південного полюса проєктовані на площину частини земної поверхні за довготою зменшуються, то аркуші топографічних карт стають вузькими і для практичного користування незручними. Аркуші топографічних карт для широт $60^\circ - 76^\circ$ видають здвоєними за довготою, а для широт $76^\circ - 88^\circ$ – склеєними вчетверо за довготою. Для районів Арктики і Антарктики, розташованих на широтах від 88°

до 90°, великомасштабні карти видають в азимутній проекції.

5.2. Особливості розграфлення і позначення планів лісонасаджень і лісовпорядних планшетів

Ці картографічні документи складають не на суцільні масиви, а на розрізнені райони, тому немає необхідності у створенні єдиної системи розграфлення та нумерації аркушів на великі території. При лісовпорядкуванні для кожної окремої ділянки встановлюють свою систему нарізки меж планшетів, а також вирішують питання компоновання планів лісонасаджень і схем об'єктів лісовпорядкування. Ці питання наступні: розміщення картографічних матеріалів в обраному масштабі на певному числі аркушів заданого формату, орієнтування рамок, розміщення у рамках і на полях планів (схем) назв, експлікації (пояснювального тексту), умовних знаків, додаткових схем і ін. Рамки аркушів квадратної або прямокутної форми орієнтують за сторонами горизонту (верхню - на північ).

Лісовпорядні планшети виготовляють на аркушах креслярського паперу. Картографічне зображення розміщують у квадраті із стороною 50 см. Рамки нарізують від магістральних ходів-просік шириною не менше 1 м, які прорубані при первинному лісовпорядкуванні приблизно через середину масиву з півдня на північ і із заходу на схід. Для нумерації планшетів зазвичай застосовують довільну номенклатуру, кожному з них привласнюють порядковий номер, рахунок ведуть від північно-західного кута лісництва. Нумери зростають зліва направо і зверху вниз. Над північною рамкою планшета великим шрифтом пишуть його номер, а з усіх чотирьох його сторін дрібнішим шрифтом – номери сусідніх планшетів. На нижніх полях планшетів або в окремому додатку поміщають схему лісництва з вказаними рамками та номерами планшетів.

Для географічної прив'язки лісових карт і планів над їх північними рамками вказують адміністративну приналежність території.

5.3. Визначення географічних координат кутів рамки аркуша топографічної карти

Система розграфлення та номенклатури аркушів карт дає можливість визначити географічні координати кутів рамки будь-якого аркуша топографічної карти усього масштабного ряду, а також за географічними координатами точки знайти номенклатуру аркуша карти будь-якого масштабу, на якому ця точка знаходиться.

Північну широту рамки аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 можна визначити за допомогою табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Номери і позначення поясів північної півкулі

Номер пояса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Позначення	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Північна широта	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	70	74	78	82	86	90

Якщо немає таблиці позначення поясів, то спочатку визначають порядковий номер латинської букви пояса (порядковому номеру 1 відповідає латинська буква А, 2 – В, 3 – С...). Потім номер пояса множать на 4 і отримують значення географічної шпроти φ північної паралелі аркуша. Зменшивши це значення на 4, отримують широту південної паралелі рамки аркуша.

Для визначення довгот меридіанів, які обмежують лист, слід мати на увазі, що початком рахунку довгот вважається Грінвічський меридіан, а початок відліку колон йде від меридіана, що має довготу 180° . Тому для колон з номерами 31-60 (на схід від Грінвічського меридіана) номер колони зменшують на 30, множать на 6° і визначають значення географічної довготи східного меридіана аркуша. Зменшивши це значення на 6° , набувають значення довготи західного меридіана аркуша.

Приклад. Для аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 з номенклатурою N – 37 визначити географічні координати (рис. 5.8).

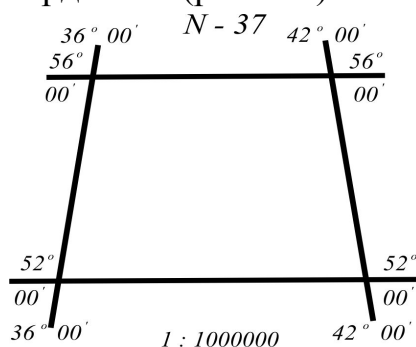


Рис. 5.8. Географічні координати кутів рамки аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 з номенклатурою N – 37

Рішення:

- порядковий номер букви N у латинському алфавіті 14;
- за порядковим номером визначаємо широту північної паралелі $14 \times 4 = 56^\circ$
- зменшивши значення північної широти на 4, отримуємо широту південної паралелі рамки аркуша $56^\circ - 4^\circ = 52^\circ$
- визначаємо довготу східного меридіана $(37 - 30) \times 6^\circ = 42^\circ$
- зменшивши значення довготи східного меридіана на 6, отримуємо значення довготи західного меридіана $42^\circ - 6^\circ = 36^\circ$

5.4. Визначення номенклатури аркушів карт за географічними координатами об'єктів

За географічними координатами точки можна визначити номенклатуру будь-якого аркуша топографічної карти, на якому знаходиться ця точка.

Для цього необхідно:

- визначити номер пояса, в якому знаходиться шуканий аркуш, розділивши широту в градусах плюс чотири на 4.

Приклад.

Координати об'єкту: широта $53^\circ 50'$ пн.ш.; довгота $40^\circ 30'$ сх.д.

Визначити номенклатуру аркуша карти масштабу 1: 500 000.

Рішення.

Номер пояса (ряду) $(53 + 4) : 4 = 14$ цілих. 1° у залишку ділення і $50'$

широти (всього залишок $1^{\circ}50'$) використовуватимемо для визначення номенклатури аркуша карти великого масштабу.

14 цілих - це порядковий номер ряду. Цифра 14 відповідає латинській букві N. Символ N відповідає поясу карти масштабу 1: 1 000 000.

Номер колони (40 + 6): $6 + 30 = 37$. Залишок по довготі $4^{\circ} + 30' = 4^{\circ}30'$. Номенклатура аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 буде N – 37.

Складаємо схему поділу аркуша 1: 1 000 000 на рівні частини за довготою і широтою (рис. 5.9).

Відлічуємо від південної межі схеми $1^{\circ}50'$ (залишок по широті) і від західної межі $4^{\circ}30'$ (залишок по довготі). Отримуємо перетин ліній на чверті, позначеною заголовною буквою Г. Таким чином, шукана номенклатура аркуша карти масштабу 1: 500 000 буде N- 37-Г.

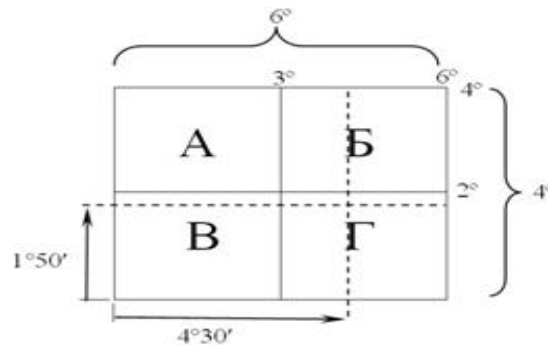


Рис. 5.9. Визначення номенклатури аркуша карти 1: 500 000

Для визначення номенклатури карт масштабу 1: 200 000 методика визначення номера трапеції така ж, як і для масштабу 1: 500 000.

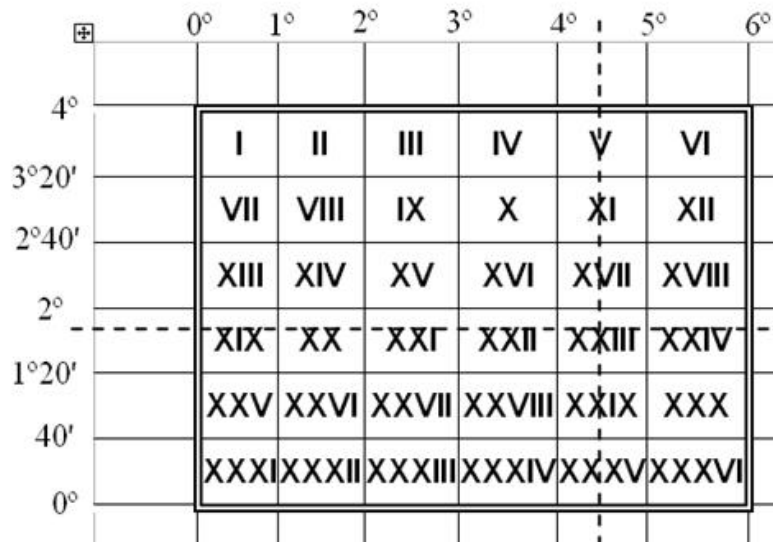


Рис. 5.10. Визначення номенклатури аркуша карти 1: 200 000

На перетині пунктирних ліній (рис 5.10) бачимо римську цифру XXIII. Додаємо римську цифру до номенклатури аркуша 1: 1 000 000 і отримуємо номенклатуру аркуша карти масштабу 1: 200 000 N – 37 – XXIII.

Складаючи послідовно схеми поділу аркушів з позначенням їх координат можна визначити номенклатуру аркушів карт великого масштабу.

5.5. Визначення номенклатури суміжних аркушів карти

Для підбору потрібних аркушів карт служать збірні таблиці – схематичні карти дрібного масштабу, на яких показані розграфлення та номенклатури карт. Щоб підібрати аркуш, на збірну таблицю відповідного масштабу наносять заданий маршрут або район і за розграфленням вказаним на ній, виписують номенклатури аркушів, що входять в намічену ділянку.

У разі відсутності збірної таблиці номенклатуру аркушів карт визначають за допомогою схем розграфлення, виконаних самостійно. При цьому можливі два випадки. Якщо відома номенклатура одного або декількох аркушів і вимагається визначити номенклатури ряду суміжних аркушів, то виконують схему розграфлення карт відповідного масштабу, на ній відмічають ці аркуші та виписують номенклатуру суміжних аркушів.



Рис. 5.11. Фрагмент збірної таблиці аркушів карти масштабу 1: 100 000

Якщо ж доводиться визначати номенклатуру аркушів карт на новий район, то треба за будь-якою географічною картою визначити географічні координати об'єкту, що знаходиться у потрібному районі, за ними знайти його положення на схемі розграфлення аркушів карти масштабу 1: 1 000 000 і виписати номенклатуру цього аркуша. Потім за схемою розграфлення аркушів карти відповідного масштабу, взявши до уваги широту і довготу кутів аркуша карти масштабу 1: 1 000 000, знаходять положення об'єкту за його географічними координатами і виписують номенклатури потрібних аркушів.

Номенклатуру аркушів, суміжних з наявним аркушем карти, можна дізнатися за підписами на рамці з відповідного боку (рис. 5.12).

Приклади складання схем суміжних аркушів карти наведені на рис. 5.13, і 5.14.

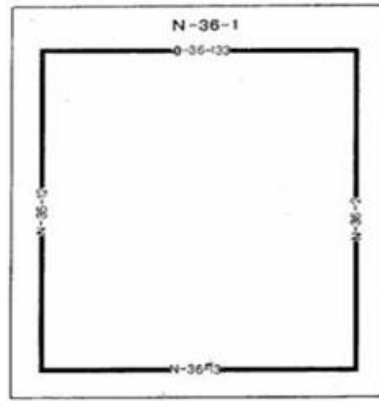


Рис. 5.12. Підписи по сторонах рамки номенклатури суміжних аркушів карти

Цифрова номенклатура карт застосовується для обліку карт і складання заявок на карти з використанням ЕОМ. Кожна буква, що означає пояси, замінена двозначними цифрами. Ці цифри відповідають порядковому номеру пояса (чи букви в латинському алфавіті).

144	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	133
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
24	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	13
36	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	25
48	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	37
60	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	49
72	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	61
84	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	73
96	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	85
108	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	97
120	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	109
132	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	121
144	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	133
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1

Рис. 5.13. Схема суміжних аркушів карти масштабу 1: 100 000 (заливкою виділені суміжні аркуші)

XXXVI	XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV	XXXV	XXXVI	XXXI
VI	I	II	III	IV	V	VI	I
XII	VII	VIII	IX	X	XI	XII	VII
XVIII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIII
XXIV	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	XIX
XXX	XXV	XXVI	XXVII	XXVIII	XXIX	XXX	XXV
XXXVI	XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV	XXXV	XXXVI	XXXI
VI	I	II	III	IV	V	VI	I

Рис. 5.14. Схема суміжних аркушів карти масштабу 1: 200 000 (заливкою виділені суміжні аркуші)

5.6. Цифрова номенклатура карт

Наприклад, А – 01, В – 02, С – 03, D – 04, Е – 05, F – 06. Цифрова номенклатура аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 К- 38 буде записана 11-38.

Кожен аркуш карти масштабу 1: 200 000 позначається двозначним числом від 01 до 36, а масштабу 1 : 100 000 – трьома цифрами від 001 до 144. Букви в номенклатурі аркушів карт масштабів 1 : 500 000, 1 : 50 000 і 1 : 25 000 замінюються відповідно цифрами 1, 2, 3, 4.

Цифрова форма запису номенклатури для усіх масштабів приведена в табл. 5.2.

До номенклатури карт Південної півкулі до звичайної номенклатури додають у дужках букви Пд., наприклад, М-36-А (Пд.). Перед цифровою номенклатурою аркушів карт Південної півкулі ставлять цифру 9, наприклад, М-36-А (Пд.) має вигляд 9-13-36-1.

Приклад. Дано географічні координати об'єкту: широта $56^{\circ}20'$, довгота $70^{\circ}30'$. Визначити номенклатуру аркуша березень масштабу 1: 1 000 000.

Таблиця 5.2

Масштаб карти	Номенклатура	
	звичайна	цифрова
1:1 000 000	К-38	11-38
1:500 000	К-38-Б	11-38-2
1:200000	К-38-XXXVI	11-38-36
1:100 000	К-38-99	11-38-099
1:50 000	К-38-99-В	11-38-099-3
1:25 000	К-38-99-В-Г	11-38-099-3-4

Рішення.

1. Визначаємо номер пояса: $56^{\circ} : 4 = 14$, у залишку $20'$. Округлюємо до цілого числа, тоді порядковий номер пояса буде 15, що відповідає букві О латинського алфавіту.

2. Визначаємо номер колони: $70^{\circ} : 6 = 11$, у залишку $4^{\circ}30'$, тоді шукана колона буде $12 + 30 = 42$.

Номенклатура аркуша карти масштабу 1: 1 000 000 буде О- 4

Питання і завдання для самоконтролю до Теми 5

1. Дайте визначення "розграфлення карт" і "номенклатура карт".
2. Як виконується розграфлення і з яких символів складається номенклатура карт масштабів : 1 : 1 000 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000, 1 : 5 000, 1 : 2 000?
3. Як виконується розграфлення і з яких символів складається номенклатура планів масштабів : 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500?
4. Як визначити номенклатуру аркуша карти масштабу 1 : 500 000, якщо відомі географічна широта і довгота точки (об'єкту)?
5. Як знайти номенклатуру суміжних і дотичних(кутових) аркушів за номенклатурою аркуша карти масштабу 1 : 200 000?

6. Що таке цифрова номенклатура карт?
7. У чому відмінність номенклатури карт південної півкулі від номенклатури карт північної півкулі?

ТЕМА 6. МАСШТАБИ ТОПОГРАФІЧНИХ І ЛІСОВИХ КАРТ

- 6.1. Масштаби топографічних карт.
- 6.2. Поперечний масштаб.
- 6.3. Перехідний лінійний масштаб.
- 6.4. Масштаб кроків (Лінійний масштаб кроків).
- 6.5. Точність масштабу.
- 6.6. Визначення невідомого масштабу карти.
- 6.7. Особливості масштабів географічних карт.

Топографічна карта - це зменшене узагальнене зображення місцевості, що показує елементи за допомогою системи умовних знаків.

Відповідно до вимог, топографічні карти відрізняються високою геометричною точністю і географічною відповідністю. Це забезпечується їх масштабом, геодезичною основою, картографічними проєкціями і системою умовних знаків.

Геометричні властивості картографічного зображення: розміри і форма ділянок, зайнятих географічними об'єктами, відстані між окремими пунктами, напрямки від одного до іншого – визначаються його математичною основою. Математична основа карт включає в якості складових частин масштаб, геодезичну основу та картографічну проєкцію.

Що таке масштаб карти, які види масштабів бувають, як побудувати графічний масштаб і як користуватися масштабами, розглянемо в темі.

6.1. Масштаби топографічних карт

При складанні карт і планів горизонтальні проєкції відрізків зображують на папері у зменшеному вигляді. Ступінь такого зменшення характеризується масштабом.

Масштаб карти (плану) – це відношення довжини лінії на карті (плані) до довжини горизонтального прокладання відповідної лінії місцевості.

$$m = \frac{l_k}{d_M} \text{ або } m = l_K : d_M$$

Масштаб зображення невеликих ділянок на всій топографічній карті практично постійний. При невеликих кутах нахилу фізичної поверхні (на рівнині) довжина горизонтальної проєкції лінії дуже мало відрізняється від довжини похилої лінії. У цих випадках масштабом довжини можна вважати відношення довжини лінії на карті до довжини відповідної лінії на місцевості.

Масштаб вказується на картах у різних варіантах

Чисельний масштаб виражають у вигляді дробу з чисельником рівним 1

$$m = \frac{1}{M} \text{ або } 1 : M.$$

Знаменник M чисельного масштабу показує ступінь зменшення довжин ліній на карті (плані) по відношенню до довжин відповідних ліній на місцевості. Порівнюючи між собою чисельні масштаби, більшим називають той, у якого знаменник менше.

Використовуючи чисельний масштаб карти (плану), можна визначити горизонтальне прокладання d м лінії на місцевості:

$$m = \frac{1}{M} = \frac{l_k}{d_M}$$

Приклад.

Масштаб карти 1:50 000. Довжина відрізка на карті $LK = 4,0$ см. Визначити горизонтальне прокладання лінії на місцевості.

Рішення.

Помноживши величину відрізка на карті у сантиметрах на знаменник чисельного масштабу, отримуємо горизонтальне прокладання у сантиметрах.

$$d = 4,0 \text{ см} \times 50\,000 = 200\,000 \text{ см, або } 2\,000 \text{ м, або } 2 \text{ км.}$$

Зверніть увагу на те, що чисельний масштаб - величина абстрактна, не має конкретних одиниць виміру. Якщо чисельник дробу висловити у сантиметрах, то і знаменник матиме ті ж одиниці вимірювання, тобто сантиметри.

Наприклад, масштаб 1:25 000 означає, що 1 сантиметру карти відповідає 25 000 сантиметрів місцевості або 1 дюйм карти відповідає 25 000 дюймів місцевості.

Для задоволення потреб господарства, науки і оборони країни необхідні карти різних масштабів. Для державних топографічних карт, лісовпорядних планшетів, планів лісництв та лісонасаджень визначені стандартні масштаби – масштабний ряд (табл. 6.1, 6.2).

Таблиця 6.1

Масштаби топографічних карт

Чисельний масштаб	Назва карти	1 см карти відповідає на місцевості відстані	1 см ² карти відповідає на місцевості площі
1:5 000	п'ятитисячна	50 м	0,25 гектар
1:10 000	десятитисячна	100 м	1 гектар
1:25 000	двадцятип'ятитисячна	250 м	6,25 гектар
1:50 000	п'ятдесятитисячна	500 м	25 гектар
1:100 000	стотисячна	1 км	1 км ²
1:200 000	двохсоттисячна	2 км	4 км ²
1:500 000	п'ятсоттисячна	5 км	25 км ²
1:1 000 000	мільйонна	10 км	100 км ²

Раніше цей ряд включав масштаби 1: 300 000, і 1: 2 000.

Таблиця 6.2

Масштабний ряд лісовпорядних планшетів, планів лісництв та лісонасаджень

Розряд лісовпорядкування	Масштаби	
	планшетів	планів лісництв, планів лісонасаджень лісництв, лісогосподарських ділянок і обходів
I – II	1:10 000	1:20 000
III	1:25 000	1:50 000

Іменованим масштабом називають словесне вираження чисельного масштабу. Під чисельним масштабом на топографічній карті є напис, який пояснює, скільки метрів або кілометрів на місцевості відповідає одному сантиметру карти.

Наприклад, на карті під чисельним масштабом 1:50 000 записано: "у 1 сантиметрі 500 метрів". Цифра 500 у цьому прикладі є величина іменованого масштабу.

Використовуючи іменований масштаб карти, можна визначити горизонтальне прокладання d м лінії на місцевості. Для цього необхідно величину відрізка, виміряну на карті у сантиметрах, помножити на величину іменованого масштабу.

Приклад. Іменований масштаб карти – "у 1 сантиметрі 2 кілометри". Довжина відрізка на карті $LK = 6,3$ см. Визначити горизонтальне прокладання лінії на місцевості.

Рішення. Помноживши величину відрізка, виміряного на карті у сантиметрах, на величину іменованого масштабу, отримуємо горизонтальне прокладання у кілометрах на місцевості.

$$d = 6,3 \text{ см} \times 2 = 12,6 \text{ км}$$

Щоб уникнути математичних обчислень і прискорити роботу на карті, користуються *графічним* масштабом. Таких масштабів два: *лінійний* і *поперечний*. Для побудови лінійного масштабу вибирають вихідний відрізок, зручний для даного масштабу. Цей вихідний відрізок (a) називають *основою масштабу* (рис. 6.1).

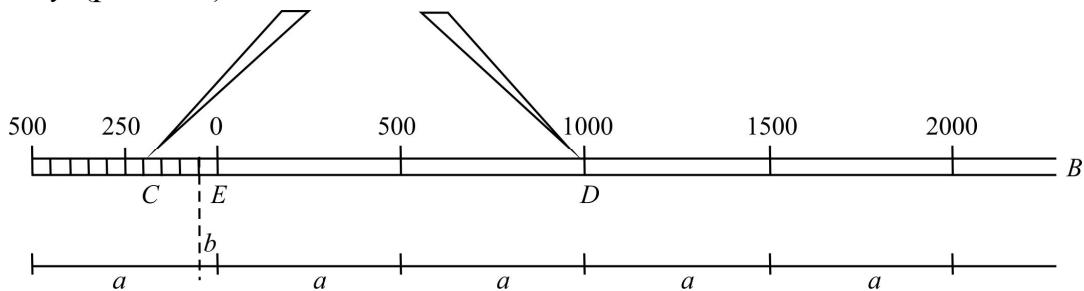


Рис. 6.1. Лінійний масштаб. Вимірюваний відрізок на місцевості буде $CD = ED + CE = 1000 \text{ м} + 200 \text{ м} = 1200 \text{ м}$

Основу відкладають на прямій лінії необхідне число раз, крайню ліву основу ділять на частини (відрізок b), які будуть *найменшими поділами лінійного масштабу*. Відстань на місцевості, яка відповідає найменшому поділу лінійного масштабу, називають *точністю лінійного масштабу*.

Порядок користування лінійним масштабом:

- циркулем-вимірником зафіксувати довжину лінії на карті;
- праву ніжку циркуля поставити на одну з поділок праворуч від нуля, а ліву – на ліву основу;
- довжина лінії складається з двох відліків: відлік цілих основ і відліку поділок лівої основи (рис. 6.1).

Якщо відрізок на карті довший ніж побудований лінійний масштаб, то його вимірюють частинами.

6.2. Поперечний масштаб

Для більш точних вимірювань користуються поперечним масштабом (рис. 6.2, б).

Для його побудови на відрізку прямої лінії відкладають кілька основ масштабу (a). Зазвичай довжина основи становить 2 або 1 см. В отриманих

точках встановлюють перпендикуляри до лінії АВ і проводять через них десять паралельних ліній через рівні проміжки. Крайню ліву основу зверху і знизу ділять на 10 рівних відрізків і з'єднують їх косими лініями. Нульову точку нижньої основи з'єднують з першою точкою С верхньої основи і так далі. Отримують ряд паралельних похилих ліній, які називають трансверсальми.

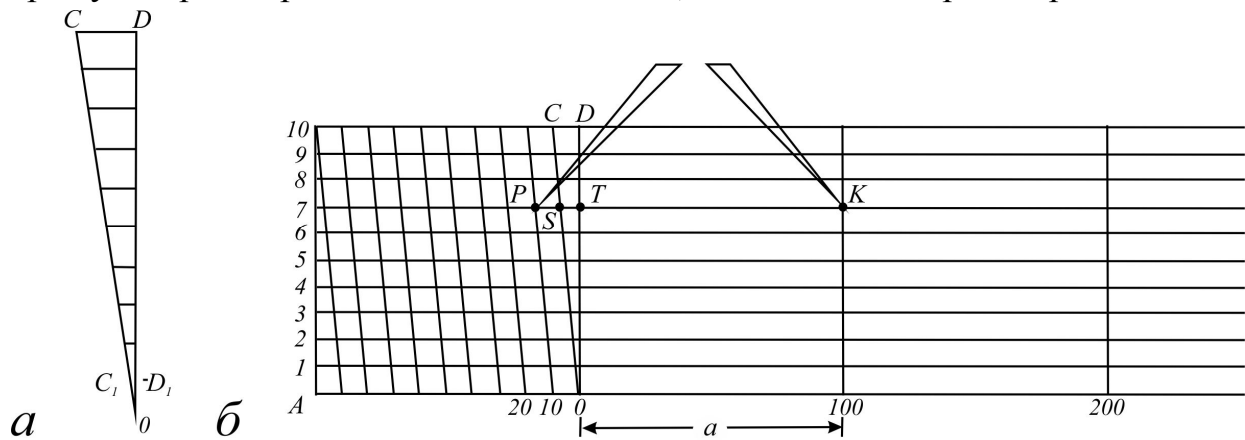


Рис. 6.2. Поперечний масштаб, вимірювання відстаней
 $PK = TK + PS + ST = 100 + 10 + 7 = 117 \text{ м}$

Найменший поділ поперечного масштабу дорівнює відрізку C_1D_1 , (рис. 6.2, а). На таку довжину відрізняється сусідній паралельно розташований відрізок при русі вгору по трансверсалі ${}_0C$ і по вертикальній лінії ${}_0D$.

Поперечний масштаб з основою 2 см називають *нормальним*. Якщо основа поперечного масштабу розділена на десять частин, то його називають *сотенним*. У сотенному масштабі ціна найменшого ділення дорівнює одній сотій частці основи.

Поперечний масштаб гравірують на металевих лінійках, які називають масштабними.

Порядок користування поперечним масштабом:

- циркулем-вимірником зафіксувати довжину лінії на карті;
- праву ніжку циркуля поставити на ціле поділ основи, а ліву – на будь-яку трансверсаль, при цьому обидві ніжки циркуля повинні розташовуватися на лінії, паралельній лінії АВ;
- довжина лінії складається з трьох відліків: відлік цілих основ, плюс відлік поділок лівого основи, плюс відлік поділок вгору по трансверсалі.

Точність вимірювання довжини лінії за допомогою поперечного масштабу оцінюється половиною ціни його найменшого ділення.

6.3. Перехідний лінійний масштаб

Іноді на практиці доводиться користуватися картою або аерознімком, масштаб яких не є стандартним. Наприклад, 1:17 500, тобто 1 см на карті відповідають 175 м на місцевості. Якщо побудувати лінійний масштаб з основою 2 см, то найменша поділка лінійного масштабу при цьому буде 35 м. Оцифровка такого масштабу викликає труднощі при виконанні практичних робіт.

Щоб спростити визначення відстаней за топографічною картою, діють таким чином: основу лінійного масштабу приймають не 2 см, а розраховують так, щоб вона відповідала круглому числу метрів – 100, 200, і т.д.

Приклад. Потрібно розрахувати довжину основи відповідного 400 м для карти масштабу 1:17 500 (в одному сантиметрі 175 метрів).

Щоб визначити, які розміри на карті масштабу 1:17 500 матиме відрізок довжиною 400 м, складаємо пропорції:

на місцевості	на плані
175 м	1 см
400 м	X см

$$X \text{ см} = 400 \text{ м} \times 1 \text{ см} / 175 \text{ м} = 2,29 \text{ см.}$$

Вирішивши пропорцію, робимо висновок: основа перехідного масштабу у сантиметрах дорівнює величині відрізка на місцевості в метрах поділена на величину іменованого масштабу в метрах. Довжина основи в нашому випадку

$$a = 400/175 = 2,29 \text{ см.}$$

Якщо тепер побудувати поперечний масштаб з довжиною основи $a = 2,29$ см, то одна поділлка лівої основи буде відповідати 40 м (рис. 6.3).

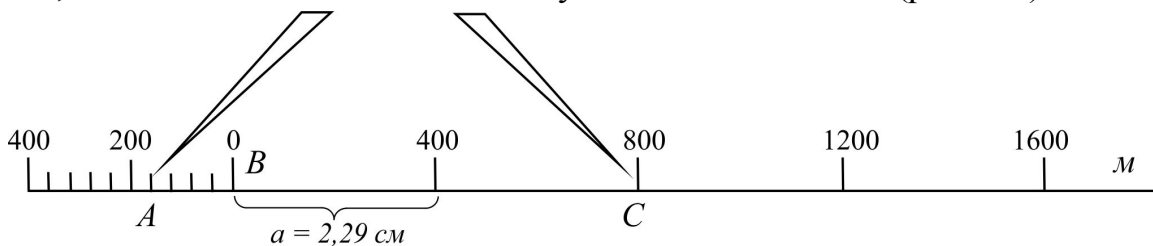


Рис. 6.3. Перехідний лінійний масштаб, вимірjana відстань $AC = BC + AB = 800 + 160 = 960$ м

Для більш точних вимірювань на картах і планах будують поперечний перехідний масштаб.

6.4. Масштаб кроків (лінійний масштаб кроків)

Використовують цей масштаб для визначення відстаней, вимірjаних кроками під час окомірного знімання. Принцип побудови і використання масштабу кроків подібний перехідному масштабу. Основу масштабу кроків розраховують так, щоб вона відповідала круглого числа кроків (пар, трійок) – 10, 50, 100, 500.

Для розрахунку величини основи масштабу кроків необхідно визначити масштаб знімання і розрахувати середню довжину кроку K_{cp} .

Середню довжину кроку (пари кроків) розраховують за відомою віддалю, що пройдена у прямому і зворотному напрямках. Розділивши відому відстань на кількість пройдених кроків, отримують середню довжину одного кроку. При нахилі земної поверхні кількість пройдених кроків у прямому і зворотному напрямках буде різною. При русі у сторону підвищення рельєфу крок буде коротший, а у зворотний бік – довший.

Приклад. Відомо відстань 100 м, яка вимірjана кроками. У прямому напрямку пройдено 137 кроків, а у зворотному – 139 кроків. Розрахувати середню довжину одного кроку.

Рішення. Всього пройдено: $\Sigma \text{ м} = 100 \text{ м} + 100 \text{ м} = 200 \text{ м}$. Сума кроків становить:

$$\Sigma k = 137k + 139k = 276k. \text{ Середня довжина одного кроку становить:}$$

$$K_{cp} = 200/276 = 0,72 \text{ м.}$$

Зручно працювати з лінійним масштабом, коли масштабна лінія розмічена через 1 – 3 см, а ділення підписані круглим числом (10, 20, 50, 100). Очевидно, величина одного кроку 0,72 м у будь-якому масштабі матиме вкрай малі значення. Для масштабу 1: 2 000 відрізок на плані становитиме $0,72 / 2\,000 = 0,00036$ м або 0,036 см. Десять кроків у відповідному масштабі будуть виражені відрізком 0,36 см. Найбільш зручною основою для цих умов буде величина 50 кроків: $0,036 \times 50 = 1,8$ см.

Для тих, хто рахує кроки парами, зручною основою буде 20 пар кроків (40 кроків) $0,036 \times 40 = 1,44$ см.

Довжину основи масштабу кроків можна також обчислити з пропорції або за формулою:

$$a = (K_{cp} \times K_{Ш}) / M$$

де: K_{cp} – середня величина одного кроку у сантиметрах, $K_{Ш}$ – кількість кроків в основі масштабу, M – знаменник масштабу.

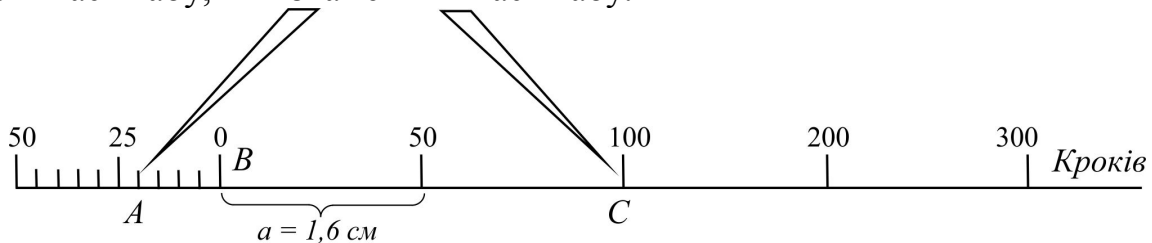


Рис. 6.4. Масштаб кроків

Виміряна відстань $AC = BC + AB = 100 + 20 = 120$ к.

Довжина основи для 50 кроків у масштабі 1: 2 000 з довжиною одного кроку рівним 72 см становитиме: $a = 72 \times 50/2000 = 1,8$ см.

Щоб побудувати масштаб кроків для наведеного вище прикладу необхідно горизонтальну лінію розділити на відрізки рівні 1,8 см, а ліву основу розділити на 5 або 10 рівних частинок.

6.5. Точність масштабу

Точність масштабу (гранична точність масштабу) – це відрізок горизонтального прокладання лінії, що відповідає 0,1 мм на плані. Значення 0,1 мм для визначення точності масштабу прийнято через те, що це мінімальний відрізок, який людина може розрізнити неозброєним оком.

Наприклад, для масштабу 1:10 000 точність масштабу буде дорівнює 1 м. У цьому масштабі 1 см на плані відповідає 10 000 см (100 м) на місцевості, 1 мм – 1 000 см (10 м), 0,1 мм – 100 см (1 м). З наведеного прикладу випливає: якщо знаменник чисельного масштабу розділити на 10 000, то отримаємо граничну точність масштабу в метрах.

Наприклад, для чисельного масштабу 1: 5 000 гранична точність масштабу буде $5\,000/10\,000 = 0,5$ м.

Точність масштабу дозволяє вирішувати два важливі завдання:

- визначення мінімальних розмірів об'єктів і предметів місцевості, які зображуються у даному масштабі, і розмірів об'єктів, які у даному масштабі неможливо відобразити;

- встановлення масштабу, в якому слід створювати карту, щоб на ній зобразити предмети і об'єкти місцевості із заздалегідь визначеними мінімальними розмірами.

Практично приймається, що довжина відрізка на плані або карті може бути оцінена з точністю 0,2 мм. Горизонтальна відстань на місцевості, що відповідає у даному масштабі 0,2 мм (0,02 см) на плані, *називається графічною точністю масштабу*. Графічна точність визначення відстаней на плані або карті може бути досягнута тільки при використанні поперечного масштабу.

Слід мати на увазі, що при вимірах на мапі взаємного положення контурів точність визначається не графічною точністю, а точністю самої карти, де помилки можуть становити у середньому 0,5 мм внаслідок впливу інших, крім графічних, похибок. Якщо врахувати похибку карти та похибки вимірювань на карті, то можна зробити висновок, що графічна точність визначення відстаней на карті у 5 – 7 менша граничної точності масштабу або становить 0,5 – 0,7 мм у масштабі карти.

6.6. Визначення невідомого масштабу карти

У тих випадках, коли з певної причини масштаб на карті відсутній (наприклад, обрізаний при склеюванні), він може бути визначений одним із таких способів.

За координатною сіткою: треба виміряти відстань на карті між лініями координатної сітки і визначити, через скільки кілометрів проведені ці лінії.

Наприклад, координатні лінії позначені числами 28, 30, 32 та т. д. (по західній рамці) і 06, 08, 10 (по південній рамці). Ясно, що лінії проведені через 2 км. Відстань на карті між сусідніми лініями дорівнює 2 см. Звідси випливає, що 2 см на карті відповідають 2 км на місцевості, а 1 см на карті – 1 км на місцевості (іменований масштаб). Значить, масштаб карти буде 1: 100 000 (у 1 сантиметрі 1 кілометр).

За номенклатурою аркуша карти: система позначень (номенклатура) аркушів карт для кожного масштабу визначена, тому, знаючи систему позначень, неважко знайти масштаб карти.

Аркуш карти масштабу 1: 1 000 000 позначається однією з букв латинського алфавіту і одним з чисел від 1 до 60. Система позначень карт більших масштабів має у своїй основі номенклатуру аркушів мільйонної карти і може бути представлена наступною схемою:

1:1 000 000	–	N-37
1:500 000	–	N-37-Б
1:200 000	–	N-37-Х
1:100 000	–	N-37-117
1:50 000	–	N-37-117-А
1:25 000	–	N-37-117-А-г

Залежно від місця розташування аркуша карти, букви і числа, складові його номенклатури будуть різні, але порядок, кількість букв і чисел у

номенклатурі аркуша карти цього масштабу будуть завжди однакові. Таким чином, якщо карта має номенклатуру М-35-96, то, порівнявши її з наведеною схемою, можна відразу сказати, що масштаб цієї карти буде 1: 100 000.

6.7. Особливості масштабів географічних карт

При переході від кривої поверхні Землі до площини завжди неминучі розриви, що вимагають рівномірного розтягування або перекриття, рівномірного стиснення. Тому на будь-якій географічній карті, що охоплює яку-небудь частину земної поверхні, масштаб, як правило, змінюється зі зміною місця і зміною напрямку. З будь-якої лінії, що перетинає меридіани і паралелі, масштаб буде безперервно змінюватися з переходом від однієї точки лінії до іншої, оскільки різні точки такої лінії потрапляють в області різних розтягнень. Якщо взяти відношення довжини лінії на горизонтальну проекцію відповідної лінії на місцевості, то вийде якийсь середній масштаб для всієї цієї лінії, бо у різних її точках масштаб різний. На кінцях цієї лінії масштаб буде відрізнятися від середнього масштабу більше, ніж у всіх інших її точках. Але якщо взяти лінію коротшу, то середній масштаб буде вже менше відрізнятися від масштабів на кінцях лінії і тим більше від масштабів в інших її точках. Чим менший відрізок брати, тим ближче середній масштаб буде до масштабів на кінцях відрізка і до масштабів в інших його точках. Якщо безперервно зменшувати довжину відрізка, він наблизатиметься до нескінченно малої величини, під якою розуміють величину, меншу від будь-якої наперед заданої малої величини. Тільки для відрізка нескінченно малої величини середній масштаб можна вважати масштабом для будь-якої його точки.

Тож, з урахуванням усіх особливостей карти, визначення її масштабу буде мати наступний вигляд: *масштабом у даній точці географічної карти називається відношення нескінченно-малого відрізка, взятого з певної точки за певним напрямком до горизонтальної проекції відповідного йому відрізка на місцевості.* У цьому визначенні враховано і вплив рельєфу земної поверхні, і вплив кривизни Землі в цілому.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 6

1. Які елементи включає математична основа карт?
2. Розкрийте поняття: "масштаб", "горизонтальне прокладання", "чисельний масштаб", "лінійний масштаб", "точність масштабу", "основи масштабу".
3. Що таке іменованний масштаб карти і як ним користуватися?
4. Що таке поперечний масштаб карти, його призначення?
5. Який поперечний масштаб карти вважають нормальним?
6. Які масштаби топографічних карт і лісовпорядних планшетів застосовують в Україні?
7. Що таке перехідний масштаб карти?
8. Як розраховують підставу перехідного масштабу?
9. Як розрахувати масштаб кроків?
10. Як підібрати масштаб для розміщення плану на аркуші певних розмірів?

ТЕМА 7. ВИМІР ВІДСТАНЕЙ І ПЛОЩ ЗА ТОПОГРАФІЧНИМИ КАРТАМИ

- 7.1. Техніка виміру і відкладання відстаней на карті.
 - 7.1.1. Вимір відстаней міліметровою лінійкою.
 - 7.1.2. Вимір відстаней циркулем-вимірником.
 - 7.1.3. Вимір відстаней курвіметром.
 - 7.1.4. Перерахунок горизонтального прокладання у похилу відстань.
- 7.2. Вимір площ за картою.
 - 7.2.1. Вимір площі ділянки з прямолінійними межами.
 - 7.2.2. Вимір площі ділянки з криволінійним контуром.
 - 7.2.3. Вимір площі ділянки із складною конфігурацією.
 - 7.2.4. Обчислення площі багатокутника за координатами його вершин (аналітичний спосіб)
- 7.3. Окомірні виміри на карті

7.1. Техніка вимірювання та відкладання відстаней на карті

Для вимірювання відстаней за картою використовують міліметрову або масштабну лінійку, циркуль-вимірвач, а для вимірювання кривих ліній – курвіметр.

7.1.1. Вимірювання відстаней міліметровою лінійкою

Міліметровою лінійкою виміряти відстань між заданими точками на карті з точністю 0,1 см. Отримане число сантиметрів помножити на величину іменованого масштабу. Для рівнинної місцевості результат буде відповідати відстані на місцевості в метрах або кілометрах.

Приклад. На карті масштабу 1: 50 000 (у 1 см – 500 м) відстань між двома точками дорівнює 3,4 см. Визначити відстань між цими точками.

Рішення. Іменований масштаб: у 1 см 500 м. Відстань на місцевості між точками буде $3,4 \times 500 = 1700$ м.

При кутах нахилу земної поверхні більш 10° необхідно ввести відповідну поправку (див. Далі).

7.1.2. Вимірювання відстаней циркулем-вимірником

При вимірюванні відстані по прямій лінії голки циркуля встановлюють на кінцеві точки, потім, не змінюючи розхилу циркуля, за лінійним або поперечному масштабом відраховують відстань. У випадку, коли розхил циркуля перевищує довжину лінійного або поперечного масштабу, ціле число кілометрів визначається за квадратами координатної сітки, а залишок – за масштабом.

Для отримання довжини ламаної лінії послідовно вимірюють довжину кожної її ланки, а потім підсумовують їх величини. Такі лінії вимірюють також

нарощуванням розхилу циркуля.

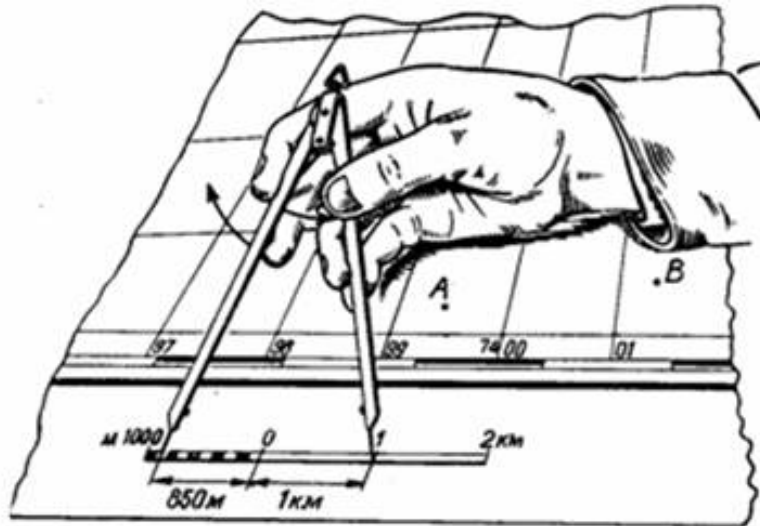


Рис. 7.1. Вимірювання відстаней циркулем-вимірником за лінійним масштабом

Приклад. Щоб виміряти довжину ламаної $ABCD$ (рис. 7.2, а), ніжки циркуля спочатку ставлять в точки A і B . Потім, обертаючи циркуль навколо точки B , переміщують задню ніжку з точки A в точку B' , що лежить на продовженні прямої BC .

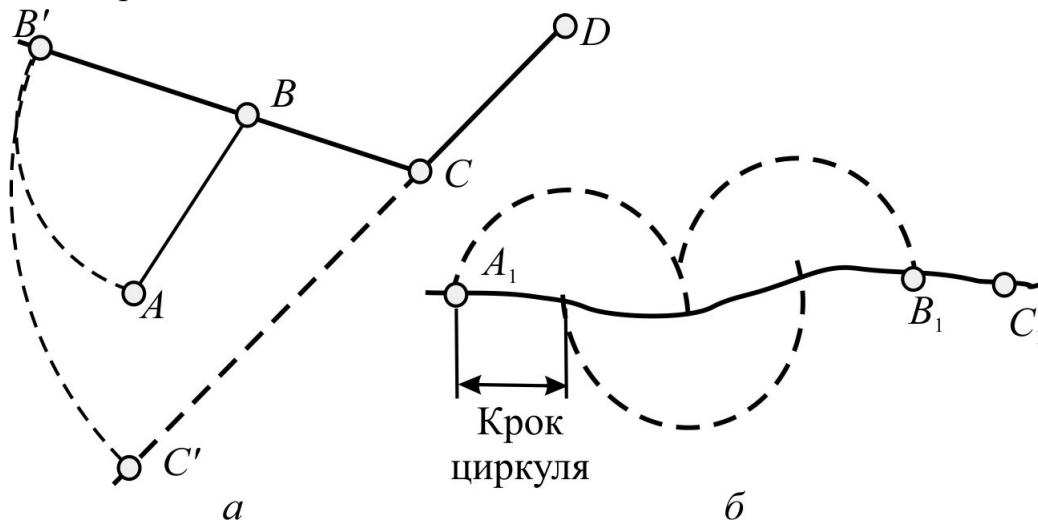


Рис. 7.2. Вимірювання довжини лінії:
а – ламаної $ABCD$; б – кривої $A_1B_1C_1$; $B'C'$ - допоміжні точки

Передню ніжку з точки U переносять в точку C . У результаті отримують розхил циркуля $B'C = AB + BC$. Перемістивши аналогічним способом задню ніжку циркуля з точки B' в точку C' , а передню з C в D , отримують розхил циркуля $C'D = B'C + CD$, довжину якого визначають за допомогою поперечного або лінійного масштабу.

Довгі криві відрізки вимірюють за хордами кроками циркуля (див. рис. 7.2, б). Крок циркуля, що дорівнює цілому числу сотень або десятків метрів, встановлюють за допомогою поперечного або лінійного масштабу. При перестановці ніжок циркуля уздовж вимірюваної лінії в напрямках, показаних на рис. 7.2, б стрілками, рахують кроки. Загальна довжина лінії A_1C_1 складається з відрізка A_1B_1 , рівного величині кроку, помноженої на число кроків, і залишку

B_1C_1 , вимірюваного за поперечним або лінійним масштабом.

7.1.3. Вимірювання відстаней курвіметром

Криві відрізки вимірюють механічним (рис. 7.3) або електронним (рис. 7.4) курвіметром.



Рис. 7.3. Курвіметр механічний

Спочатку, обертаючи коліщатко рукою, встановлюють стрілку на нульову поділку, потім прокочують коліщатко по вимірюваній лінії. Відлік на циферблаті проти кінця стрілки (у сантиметрах) множать на величину масштабу карти і отримують відстань на місцевості. Цифровий курвіметр (рис. 7.4) – це високоточний, зручний у використанні прилад. Курвіметр поєднує архітектурні та інженерні функції і має зручний дисплей для читання інформації. Цей прилад може обробляти метричні і англо-американські (фути, дюйми, і т.д.) значення, що дозволяє працювати з будь-якими картами та кресленнями. Можна ввести найбільш часто використовуваний вид вимірювань, і прилад автоматично буде переводити масштабні вимірювання.



Рис. 7.4. Курвіметр цифровий (електронний)

Для підвищення точності і надійності результатів рекомендується все вимірювання проводити двічі – у прямому і зворотному напрямках. У разі незначних відмінностей вимірних даних за кінцевий результат приймається середнє арифметичне значення вимірних величин.

Точність вимірювання відстаней зазначеними способами із застосуванням лінійного масштабу становить 0,5 – 1,0 мм у масштабі карти. Застосовуючи поперечний масштаб, отримуємо точність 0,2 – 0,3 мм на 10 см довжини лінії.

7.1.4. Перерахунок горизонтального прокладання у похилу лінію

Слід пам'ятати, що в результаті вимірювання відстаней за картками, отримують довжини горизонтальних проекцій ліній (d), а не довжини ліній на земній поверхні (S) (рис. 7.5).

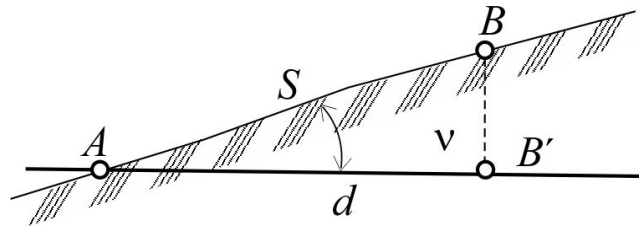


Рис. 7.5. Похила лінія (S) і горизонтальне прокладання (d)

Дійсну відстань на похилій поверхні можна обчислити за формулою:

$$S = \frac{d}{\cos \alpha}$$

де d – довжина горизонтальної проекції лінії S ;
 α – кут нахилу земної поверхні.

Довжину лінії на топографічній поверхні можна визначити за допомогою таблиці (табл. 7.1) відносних величин поправок до довжини горизонтального прокладання (у %).

Таблиця 7.1

Кут нахилу	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
0	0,00	0,02	0,06	0,14	0,24	0,38	0,55	0,75	0,98	1,25
1	1,54	1,87	2,23	2,63	3,06	3,53	4,03	4,57	5,15	5,76
2	6,42	7,11	7,85	8,64	9,46	10,34	11,26	12,23	13,25	14,34
3	15,47	16,66	17,92	19,24	20,62	22,08	23,61	25,21	26,90	28,68

Правила користування таблицею

1. У першому рядку таблиці (0 десятків) наведені відносні величини поправок при кутах нахилу від 0° до 9°, у другій – від 10° до 19°, у третій – від 20° до 29°, в четвертій – від 30° до 39°.
2. Щоб визначити абсолютну величину поправки, необхідно:
 - а) у таблиці за кутом нахилу знайти відносну величину поправки (якщо кут нахилу топографічної поверхні задається не цілим числом градусів, то треба відносну величину поправки інтерполювати між табличними величинами);
 - б) обчислити абсолютну величину поправки до довжини горизонтального прокладання (тобто цю довжину помножити на відносну величину поправки і отриманий добуток поділити на 100).
3. Щоб визначити довжину лінії на топографічній поверхні, треба обчислену абсолютну величину поправки додати до довжини горизонтального прокладання.

Приклад. На топографічній карті визначена довжина горизонтального прокладання 1735 м, кут нахилу топографічної поверхні – 7° 15'. У таблиці відносні величини поправок наведені для цілих градусів. Отже, для 7° 15' необхідно визначити найближчу найбільшу та найближчу найменшу величини

кратні одному градусу – 8° і 7° :

- для 8° відносна величина поправки 0,98 %;
- для 7° 0,75 %;
- різницю табличних величин у 1° ($60'$) 0,23 %;
- різницю між заданим кутом нахилу земної поверхні $7^\circ 15'$ і найближчою найменшою табличною величиною 7° становить 15'.

Складаємо пропорції та знаходимо відносну величину поправки для 15' :

- для 60' поправка становить 0,23 %;
- для 15' поправка становить $x\%$

$$x\% = 0,0575 \approx 0,06 \%$$

Відносна величина поправки для кута нахилу $7^\circ 15'$

$$0,75\% + 0,06\% = 0,81\%$$

Потім визначаємо абсолютну величину поправки:

$$\frac{1735 \text{ м} \cdot 0,81}{100} = 14,05 \text{ м} \approx 14 \text{ м}.$$

Довжина похилої лінії на топографічній поверхні дорівнює:

$$1735 \text{ м} + 14 \text{ м} = 1749 \text{ м}.$$

При малих кутах нахилу (менше $4^\circ - 5^\circ$) різниця у довжині похилої лінії та її горизонтальній проекції дуже мала і може не враховуватися.

7.2. Вимір площ за картами

Визначення площ ділянок за топографічними картами засноване на геометричній залежності між площею фігури та її лінійними елементами. Масштаб площі дорівнює квадрату лінійного масштабу.

Якщо сторони прямокутника на карті зменшені в n раз, то площа цієї фігури зменшиться в n^2 раз. Для карти масштабу 1:10 000 (у 1 см 100 м) масштаб площі буде дорівнює $(1:10\,000)^2$ або у 1 см² буде 100 м × 100 м = 10 000 м² або 1 га, а на карті масштабу 1:1 000 000 у 1 см² – 100 км².

Для вимірювання площ за картами застосовують графічні, аналітичні та інструментальні методи. Застосування того чи іншого способу вимірювань обумовлено формою вимірюваної ділянки, заданою точністю результатів вимірювань, необхідною швидкістю отримання даних і наявністю необхідних приладів.

7.2.1. Вимірювання площі ділянки з прямолінійними межами

При вимірюванні площі ділянки з прямолінійними межами ділянку ділять на прості геометричні фігури, вимірюють площу кожної з них геометричним способом і, підсумовуючи площі окремих ділянок, обчислених з урахуванням масштабу карти, отримують загальну площу об'єкта.

7.2.2. Вимірювання площі ділянки з криволінійним контуром

Об'єкт з криволінійним контуром розбивають на геометричні фігури, попередньо випрямивши кордон з таким розрахунком, щоб сума відсічених ділянок і сума надлишків взаємно компенсували одна одну (рис. 7.6). Результати вимірювань будуть, приблизними.

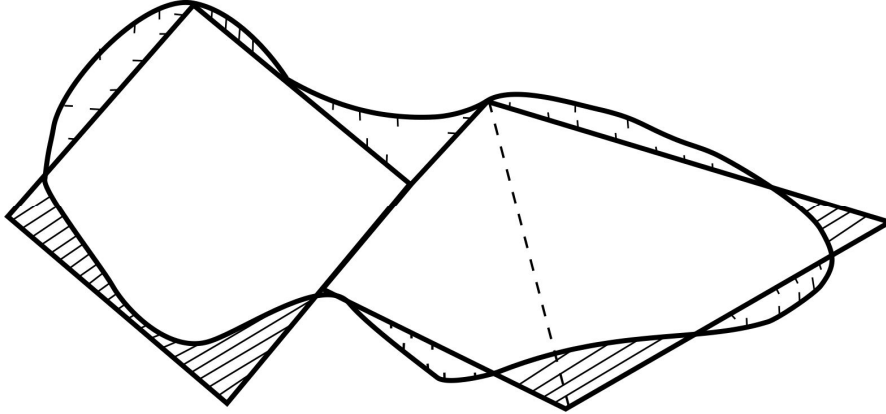


Рис. 7.6. Випрямлення криволінійних кордонів ділянки і розбивка його площі на прості геометричні фігури

7.2.3. Вимірювання площі ділянки зі складною конфігурацією

Вимірювання площі ділянок, що мають складну неправильну конфігурацію, частіше роблять за допомогою палеток і планіметрів, що дає найбільш точні результати. Сіткова палетка - прозора пластину з сіткою квадратів (рис. 7.7).

Палетку накладають на вимірюваний контур і за нею підраховують кількість клітин і їх частин, які опинилися всередині контуру. Частки неповних квадратів оцінюються на око, тому для підвищення точності вимірювань застосовують палетки з дрібними квадратами (зі стороною 2–5 мм). Перед роботою на карті визначають площу одного осередку.

Площа ділянки розраховується за формулою:

$$P = a^2 n,$$

де a – сторона квадрата, виражена в масштабі карти;

n – число квадратів, що потрапили в межі контуру вимірюваного ділянки.

Для підвищення точності площу визначають кілька разів з довільною перестановкою палетки в будь-яке положення, в тому числі і з поворотом щодо її початкового положення. За остаточне значення площі приймають середнє арифметичне з результатів вимірювань.

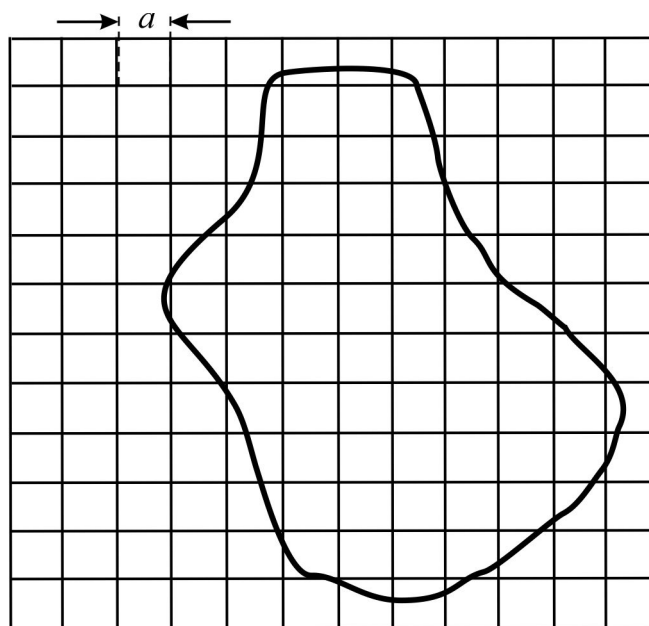


Рис. 7.7. Квадратна сіткова палетка

Крім сіткових палеток, застосовують точкові і паралельні палетки, що являють собою прозорі пластини з вигравіюваними точками або лініями. Точки ставляться в одному з кутів палетки з відомою ціною поділки, потім лінії сітки видаляють (рис. 7.8)

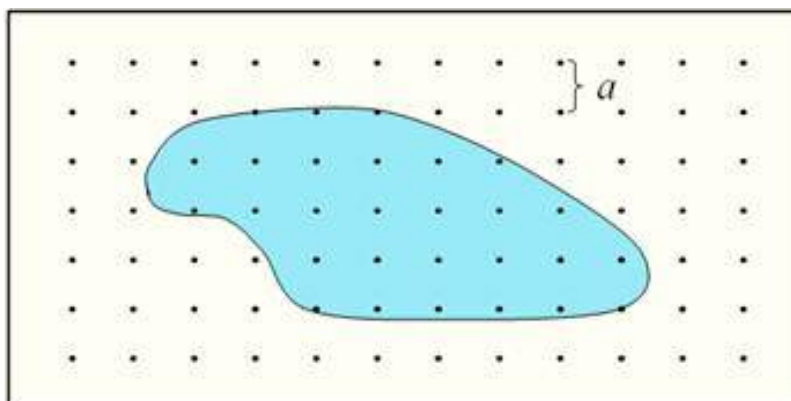


Рис. 7.8. Точкова палетка

Вага кожної точки дорівнює ціні поділки палетки. Площу ділянки визначають шляхом підрахунку кількості точок, які опинилися всередині контуру, і множать цю кількість на вагу точки.

На паралельній палетці вигравіювані рівновіддалені паралельні прямі (рис. 7.9). Вимірювана ділянка при накладенні на неї палетки виявиться розділеною на ряд трапецій з однаковою висотою h . Відрізки паралельних ліній всередині контуру (посередині між лініями) є середніми лініями трапецій. Для визначення площі ділянки за допомогою цієї палетки необхідно суму всіх вимірних середніх ліній помножити на відстань між паралельними лініями палетки h (з урахуванням масштабу).

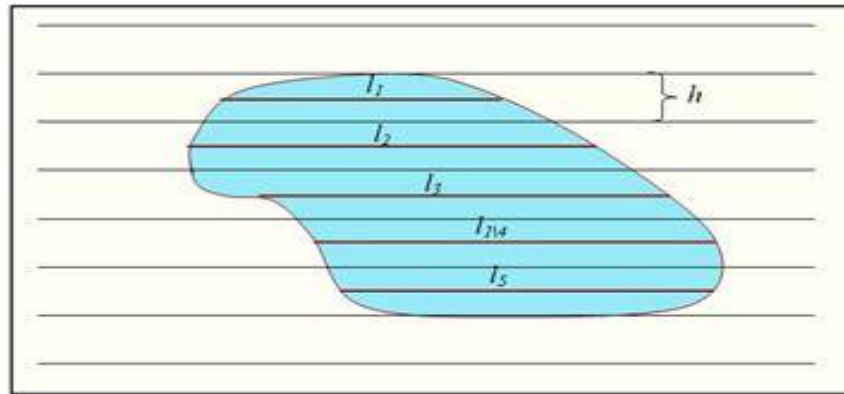


Рис 7.9. Палетка, що складається з системи паралельних ліній

Вимірювання площ ділянок проводиться за допомогою планіметрів.

Планіметр служить для визначення площ механічним способом. Широко застосовується полярний планіметр (рис. 7.10). Він складається з двох важелів – полюсного і обвідного. Визначення площі контуру планіметром зводиться до наступних дій. Закріпивши полюс і встановивши голку обвідного важеля у початковій точці контуру, беруть відлік. Потім обвідний шпиль обережно ведуть за контуром до початкової точки і беруть другий відлік. Різниця відліків дасть площу контуру у поділах планіметра. Знаючи абсолютну ціну поділки планіметра, визначають площу контуру.



Рис. 7.10. Полярний планіметр



Рис. 7.11. Електронний планіметр

Розвиток техніки сприяє створенню нових приладів, що підвищують продуктивність праці при обчисленні площ, зокрема, – використання сучасних приладів, серед яких електронні планіметри.

7.2.4. Обчислення площі багатокутника за координатами його вершин (аналітичний спосіб)

Цей спосіб дозволяє визначити площу ділянки будь-якої конфігурації, тобто з будь-яким числом вершин, координати яких (x, y) відомі. При цьому нумерація вершин повинна проводитися за ходом годинникової стрілки.

Як видно з рис. 7.12, площа S багатокутника 1-2-3-4 можна розглядати як різницю площ S' фігури 1 y -1-2-3-3 y і S'' фігури 1 y -1-4-3-3 y

$$S = S' - S''.$$

Так само кожна з площ S' і S'' є сумою площ трапецій, паралельними сторонами яких є абсциси відповідних вершин багатокутника, а висотами – різниці ординат цих же вершин, тобто:

$$S' = \text{пл. } 1y-1-2-2y + \text{пл. } 2y-2-3-3y,$$

$$S'' = \text{пл. } 1y-1-4-4y + \text{пл. } 4y-4-3-3y$$

або:

$$2S' = (x_1+x_2)(y_2-y_1) + (x_2+x_3)(y_3-y_2), \quad 2S'' = (x_1+x_4)(y_4-y_1) + (x_4+x_3)(y_3-y_4)$$

Отож,

$$2S = (x_1+x_2)(y_2-y_1) + (x_2+x_3)(y_3-y_2) - (x_1+x_4)(y_4-y_1) - (x_4+x_3)(y_3-y_4)$$

Розкривши дужки, отримаємо

$$2S = x_1y_2 - x_1y_4 + x_2y_3 - x_2y_1 + x_3y_4 - x_3y_2 + x_4y_1 - x_4y_3$$

Звідси

$$2S = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3) \quad (7.1)$$

$$2S = y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1) \quad (7.2)$$

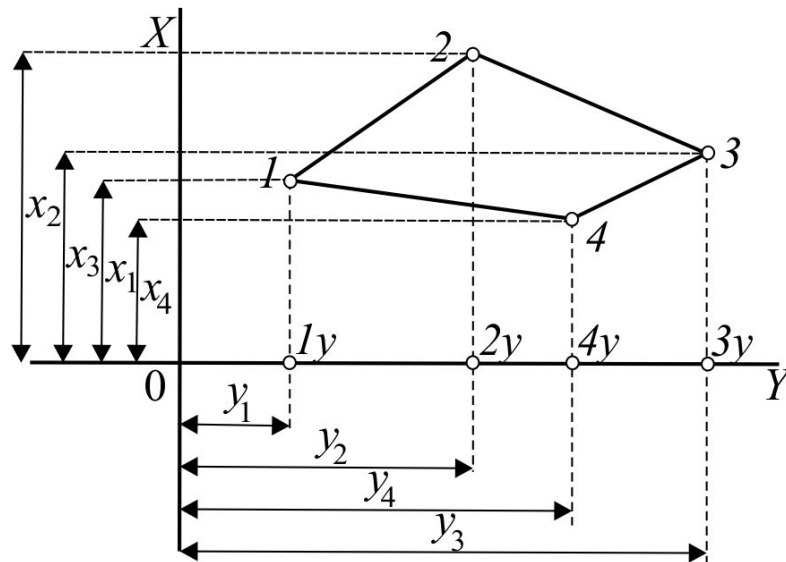


Рис. 7.12. До обчислення площі багатокутника за координатами

Уявимо вираз (7.1) і (7.2) у загальному вигляді, позначивши через i порядковий номер ($i = 1, 2, \dots, n$) вершини багатокутника:

$$2S = \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}), \quad (7.3)$$

$$2S = \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}). \quad (7.4)$$

Отже, подвійна площа багатокутника дорівнює або сумі добутків кожної абсциси на різницю ординат наступної і попередньої вершин багатокутника, або сумі добутків кожної ординати на різницю абсцис попередньої та подальшої вершин багатокутника.

Проміжним контролем обчислень є задоволення умов:

$$\sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_{i-1}) = 0 \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^n (x_{i-1} - x_{i+1}) = 0.$$

Значення координат і їх різниці зазвичай округлюються до десятих часток метра.

Складні формули з розрахунку площі ділянки можна легко вирішити за допомогою електронних таблиць Microsoft XL. Приклад для багатокутника (полігону) з 5 точок наведено в таблицях 7.2, 7.3.

У табл. 7.2 вводимо вихідні дані і формули.

Таблиця 7.2

	A	B	C	D
1	№ точки	x	Y	$y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$
2	1	6068120	4310250	=C2*(B6-B3)
3	2	6069350	4311780	=C3*(B2-B4)
4	3	6070540	4313350	=C4*(B3-B5)
5	4	6069680	4316140	=C5*(B4-B6)
6	5	6067840	4315520	=C6*(B5-B2)
7	Подвійна площа в м ²			=СУММ(D2: D6)
8	Площа в гектарах			=D7/2/10000

У табл. 7.3 бачимо результати обчислень.

Таблиця 7.3

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	№ точки	<i>x</i>	<i>Y</i>	$y_i (x_{i-1}-x_{i+1})$
2	1	6068120	4310250	-6508477500
3	2	6069350	4311780	-10434507600
4	3	6070540	4313350	-1423405500
5	4	6069680	4316140	11653578000
6	5	6067840	4315520	6732211200
7	Подвійна площа в м ²			19398600
8	Площа в гектарах			969,93

7.3. Окомірні вимірювання на карті

При виконанні картометричних робіт широко використовують окомірні вимірювання, які дають приблизні результати. Однак вміння окомірно визначити за картою відстані, напрямки, площі, крутизну схилу і інші характеристики об'єктів сприяє оволодінню навичками правильного розуміння картографічного зображення. Точність окомірних визначень підвищується з набуттям досвіду. Окомірні навички попереджають грубі прорахунки у вимірах приладами.

Для визначення довжини лінійних об'єктів за картою слід окомірно порівняти величину цих об'єктів з відрізками кілометрової сітки або поділами лінійного масштабу.

Для визначення площ об'єктів як своєрідну палетку використовують квадрати кілометрової сітки. Кожному квадрату сітки карт масштабів 1:10 000 – 1:50 000 на місцевості відповідає 1 км² (100 га), масштабу 1: 100 000 – 4 км², 1: 200 000 – 16 км².

Точність кількісних визначень за картою з розвитком окоміру становить 10-15 % вимірюваної величини.

Питання і завдання для самоконтролю до Теми 7

1. Поясніть порядок вимірювання на карті прямих ліній.
2. Поясніть порядок вимірювання на карті ламаних ліній.
3. Поясніть порядок вимірювання на карті кривої звивистої лінії за допомогою циркуля-вимірювача.
4. Поясніть порядок вимірювання на карті кривої звивистої лінії за допомогою курвіметра.
5. Перерахуйте і поясніть способи перерахунку величини горизонтального прокладання при нахилі лінії.
6. Яка геометрична залежність між площею фігури і її лінійними елементами?
7. Поясніть порядок визначення площі ділянки з прямолінійними межами.
8. Поясніть порядок визначення площі ділянки з криволінійним контуром.

9. Поясніть порядок визначення площі ділянки за допомогою сіткової палетки.
10. Поясніть порядок визначення площі ділянки за допомогою точкової палетки.
11. Поясніть порядок визначення площі ділянки за допомогою паралельної палетки.
12. Поясніть порядок визначення площі ділянки за допомогою планіметра.
13. Поясніть порядок обчислення площі багатокутника за координатами його вершин.
14. Як на око за допомогою топографічної карти можна визначити довжину лінійного об'єкта?
15. Якій площі на місцевості відповідає один квадрат координатної сітки карти масштабу 1:25 000?

РОЗДІЛ ДРУГИЙ. МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

ТЕМА 8. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ВИКОНАННЯ І ОРГАНІЗАЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ

- 8.1. Основні принципи організації геодезичних робіт.
- 8.2. Опорні геодезичні мережі.
- 8.3. Традиційні методи побудови планових опорних геодезичних мереж.
- 8.4. Загальні принципи визначення координат за допомогою супутникових навігаційних систем.
- 8.5. Стан державної геодезичної мережі України.
- 8.6. Сучасна програма побудови державної геодезичної мережі України.
- 8.7. Геодезичні мережі згущення і знімальні мережі.
- 8.8. Закріплення пунктів геодезичних мереж.
- 8.9. Загальні відомості про знімання місцевості.

8.1. Основні принципи організації геодезичних робіт

Кінцевою метою виконання геодезичних робіт є створення топографічних карт і планів. Їх отримують шляхом знімання місцевості. Зніманням називається сукупність вимірів з метою складання карт або планів у заданому масштабі.

Розрізняють контурне (горизонтальне), вертикальне і топографічне знімання місцевості. При горизонтальному зніманні на карті або плані зображається тільки ситуація. При вертикальному зніманні визначають висоти точок, за якими зображають рельєф місцевості в горизонталях. Топографічне знімання - це сукупність горизонтального і вертикального знімань, тому на плані або карті зображають об'єкти, контури та рельєф місцевості. Топографічні знімання, як найбільш повні, є основними.

Топографічне знімання виконується у різний час, на різних частинах території країни і різними виконавцями. З цих розрізнених знімань повинна складатися єдина топографічна ката каїни. Для погодженості окремих карт та планів знімання повинне виконуватись в єдиній системі координат. Для цього на всій території країни необхідні пункти, координати яких відомі з надзвичайно високою точністю. Система таких пунктів створює вихідну геодезичну мережу. Для виконання топографічних знімань необхідно мати для цих пунктів визначені планові (X , Y) та висотні (H) координати пунктів.

Усі вимірювання, в тому числі і геодезичні, супроводжуються неминучими похибками вимірювань. Ці похибки можуть накопичуватися і призводити до більш значних спотворень вимірюваних величин.

Для послаблення впливу похибок на результати вимірювань геодезичні роботи ведуться за принципом "від загального до часткового". Це означає, що спочатку будується розріджена мережа пунктів, коли віддаль між пунктами відносно значна. Вимірювання між пунктами виконуються з максимально

можливою точністю. Далі, відповідно до згущення пунктів, при зменшенні віддалей між ними вимоги до точності вимірювань знижуються. Таким чином, для правильної організації геодезичних робіт перед зніманням заздалегідь задається необхідна точність вимірювань і з урахуванням її обирають методику виконання робіт.

Методика виконання геодезичних робіт передбачає вимоги до конструкції геодезичної мережі, до методів вимірювань, до конструкції приладів і обладнання для вимірювань, до точності вимірювань і до способів їх обробки.

Методика вимірювань повинна обов'язково передбачати надійний контроль усіх вимірювальних (польових) і обчислювальних (камеральних) робіт. Не можна виконувати наступні вимірювання, обчислення або графічні побудови не переконавшись у тому, що всі попередні процеси виконані правильно.

8.2. Опорні геодезичні мережі

Як зазначалось у попередньому параграфі, для топографічного знімання тієї чи іншої території необхідно створити на ній мережу геодезичних пунктів з відомими координатами і висотами. Такі пункти називаються *опорними*. Сукупність опорних пунктів, рівномірно розміщених на території країни з визначеними координатами і висотами, складає *державну геодезичну мережу (ДГМ)*.

Державна геодезична мережа поділяється на планову і висотну.

Планова геодезична мережа складається із системи пунктів, для яких точно визначені планові координати X і Y , а абсолютні висоти визначаються менш точно або взагалі не визначаються. Висотна геодезична мережа складається із системи пунктів, для яких точно визначені висоти H , а планові координати визначаються менш точно або взагалі не визначаються.

Традиційними способами визначення планових координат пунктів, які застосовуються геодезистами вже протягом кількох століть, є астрономічний та геодезичний. В останні роки все ширше застосовуються нові способи (супутникові та інерційні), які ґрунтуються на сучасних досягненнях науки і техніки.

Астрономічний спосіб полягає у визначенні координат (φ , λ) кожного пункту та астрономічних азимутів α напрямів геодезичної мережі на основі спостережень за небесними світилами. Азимути напрямків можуть бути визначені гіроскопічним способом (за допомогою спеціальних приладів, що називаються гірокомпасами або гіртеодолітами). У подальшому від астрономічних координат, використовуючи відхилення прямовисних ліній, переходять до геодезичних (B , L), а потім – до планових (X , Y) координат. Перевагою цього способу є незалежне визначення координат пунктів. Однак навіть незначні похибки у визначенні відхилень прямовисних ліній призводять до чималих за величиною похибок у визначенні планових координат, що

досягають до 100 м. Тому основним недоліком такого способу є його порівняно невелика точність.

Геодезичний спосіб полягає в тому, що на основі астрономічних спостережень визначають координати тільки окремих (вихідних) пунктів мережі, а координати інших пунктів обчислюють за вимірними сторонами і кутами геометричних фігур, вершинами яких є опорні пункти. Цей спосіб більш точний у порівнянні з попереднім і є основним при побудові планових геодезичних мереж на території нашої країни.

Супутниковий спосіб полягає у визначенні координат пунктів за радіосигналами спеціальних штучних супутників Землі. З кожного такого супутника постійно випромінюються радіосигнали, які містять інформацію про його координати в навколосемному просторі у певний момент часу. Приймаючи сигнали не менше 4-х супутників, що обертаються по різних орбітах, можна з високою точністю (до кількох сантиметрів) визначити координати будь-якого пункту в будь-якій точці земної кулі. Невід'ємною частиною супутникових систем є спеціальні приймачі, котрі містять вмонтовані мікропроцесори, які за прийнятими радіосигналами обчислюють координати пункту спостережень. Такі системи називаються навігаційними. Перевага супутникового способу полягає у незалежному визначенні координат окремих пунктів, тому мережі виходять однорідними (однаковими) за точністю.

Інерційні способи ґрунтуються на використанні спеціальних приладів - інерційних геодезичних систем. Основними блоками цих систем є акселерометри, пристрої для визначення прискорень у напрямку трьох координатних осей, що виникають при переміщенні приладу. Знаючи час і прискорення, можна визначити проєкцію вектора переміщення на координатні осі. Підсумовуючи переміщення за допомогою інтеграторів, визначаються приріст координат у кожній поточній точці шляху переміщення приладу відносно деякого початкового пункту. Точність визначення координат при цьому способі зменшується відповідно до віддалення від початкового (вихідного) пункту.

8.3. Традиційні методи побудови планових опорних геодезичних мереж

До традиційних методів, які використовуються протягом значного часу, слід віднести методи триангуляції, трилатерації, полігонометрії та їх поєднання.

Метод триангуляції полягає в тому, що на місцевості закріплюють пункти так, щоб утворювались трикутники (рис.8.1, а). У цих трикутниках вимірюються всі кути. Якщо відомі координати хоча б одного пункту, наприклад, A (рис. 8.1, б), довжина сторони AB і дирекційний кут α_{AB} цієї сторони, кути A , B , C то за теоремою синусів можна обчислити довжини інших сторін, а потім координати пункту C .

Послідовно обчислюючи всі трикутники тріангуляції, вираховують довжини та дирекційні кути всіх сторін і координати всіх пунктів. Координати вихідних пунктів визначають астрономічним шляхом або вибирають з побудованих мереж вищого класу. Довжину вихідної сторони, яку називають *базисною*, вимірюють з високою точністю радіо- або світловіддалемірами.

Метод тріангуляції найстаріший, але й до останнього часу є найбільш вигідним способом побудови опорних геодезичних мереж. Це пов'язано з тим, що точне вимірювання віддалі було найбільш трудомістким і дорогим у геодезичній практиці. З початку 60-х років XX століття в геодезичну практику широко впроваджуються нові прилади для вимірювання віддалей: радіо- і світловіддалеміри. Вони дозволяють виміряти на місцевості значні віддалі з високою точністю. Тому почали будувати опорні мережі методами трілатерації і полігонометрії.

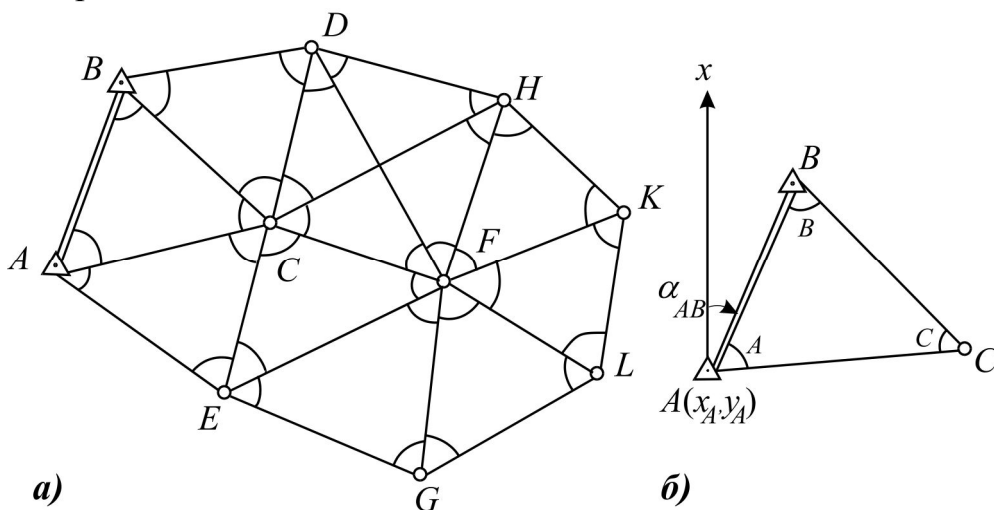


Рис. 8.1. Метод тріангуляції:
а – мережа тріангуляції; б – трикутник тріангуляції

Метод трілатерації. Пункти на місцевості закріплюються так само, як і в тріангуляції, тобто утворюється система трикутників, але в трикутниках вимірюються тільки довжини усіх сторін. Розв'язуючи трикутники за теоремою косинусів, обчислюють усі кути трикутників. Маючи довжини усіх сторін і кути трикутників, розв'язують прямі геодезичні задачі і визначають координати всіх пунктів, як і в мережі тріангуляції.

Метод полігонометрії полягає у побудові на місцевості ламаних ліній (рис. 8.2). У полігонометричних ходах вимірюються довжини сторін l_{AB} , l_{BC} , l_{CD} і т.д., кути повороту β_1 , β_2, \dots, β_n . За виміряними кутами і сторонами, маючи координати вихідної точки A і дирекційний кут вихідного напрямку α_{AB} , обчислюють дирекційні кути всіх сторін і координати вершин полігонометричного ходу.

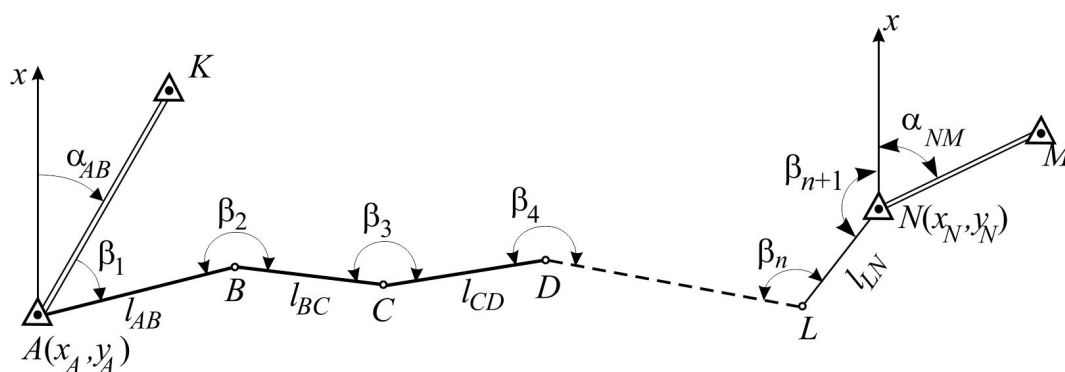


Рис. 8.2. Метод полігонометрії

Для вимірювання довжин сторін полігонометричних ходів застосовують світло- і радіовіддалеміри, оптико-механічні віддалеміри, сталі і інварні дроти, стрічки та рулетки.

8.4. Загальні принципи визначення координат за допомогою супутникових навігаційних систем

На сучасному етапі у світі експлуатують чотири системи другого покоління супутникових радіонавігаційних систем:

- GPS (*Global Position System* – глобальна система визначення місцеположення), яка розробляється і підтримується США;
- ГЛОНАСС – глобальна навігаційна супутникова система, розробка і перші етапи створення якої зроблені у СРСР і яка тепер підтримується Росією. Відзначається малою розповсюдженістю клієнтського обладнання. До 2025 року передбачена глибока її модернізація.
- GALILEO - Європейська система, спочатку призначалася лише для цивільних цілей. Тепер забезпечує приватних та комерційних користувачів навігаційними даними вищої точності, у порівнянні з GPS.
- BEIDOU - Китайська система космічної радіонавігації призначена для військових і цивільних цілей, а її особливістю є надання споживачам важливої комерційної послуги – обміну між собою невеликими текстовими повідомленнями.

Довгий час споживачами навігаційної інформації був транспорт (повітряний, наземний та морський). Але розвиток космічної техніки та досягнутий за допомогою таких систем високий рівень точності визначення місцеположення об'єктів призвели до широкого застосування супутникових радіонавігаційних систем при вирішенні майже всього спектра геодезичних задач і координатно-часового забезпечення споживачів значно більшого класу.

У сучасній радіонавігаційній супутниковій системі функціонують три основні підсистеми або сегменти (рис. 8.3), а саме:

- космічний сегмент або підсистема космічних апаратів, що складається із штучних супутників Землі;

- сегмент управління або підсистема контролю та управління – сегмент користувачів або апаратура користувачів, що включає велику кількість різноманітних приймачів і забезпечує потреби наземних, повітряних, авіаційних та космічних (в межах ближнього космосу) користувачів.

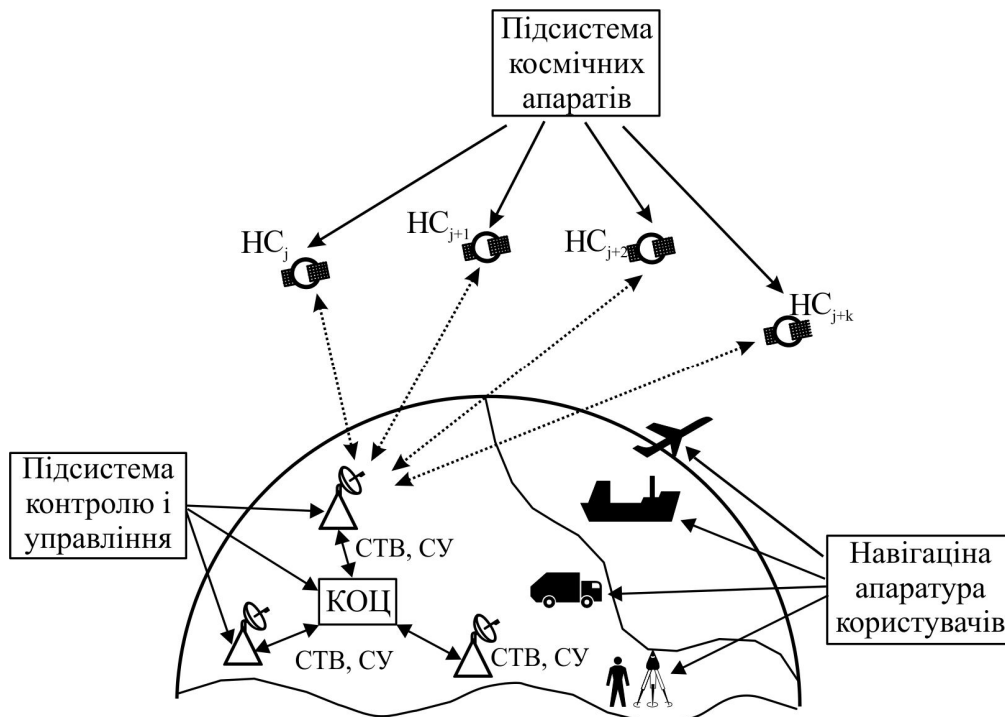


Рис. 8.3. Навігаційна супутникова система: *НС* – навігаційний супутник; *КОЦ* – координаційно-обчислювальний центр; *СТВ* – станція траєкторних вимірювань; *СУ* – станція управління

В основі систем GPS і ГЛОНАСС лежить концепція незалежної навігації, відповідно до якої обчислення просторово-часових координат виконується в апаратурі користувачів. У рамках цієї концепції обрано позиційний спосіб визначення місцеположення користувачів на основі пасивних віддалемірних вимірювань за сигналами навігаційних штучних супутників Землі з відомими координатами. Вибір концепції незалежної навігації та використання пасивних вимірювань забезпечили можливість досягнення необмеженої пропускнуєї спроможності супутникових навігаційних систем.

Навігаційний принцип базується на вимірюванні "псевдовіддалей" D_i між користувачем та чотирма супутниками (рис. 8.4). Виходячи з відомих координат супутників можна обчислити координати антени приймача. В принципі достатньо трьох вимірювань віддалей, але четверте вимірювання необхідне, щоб визначити різницю у часі між годинниками супутників та годинником приймача. Ця похибка синхронізації визначається за псевдовіддалями.

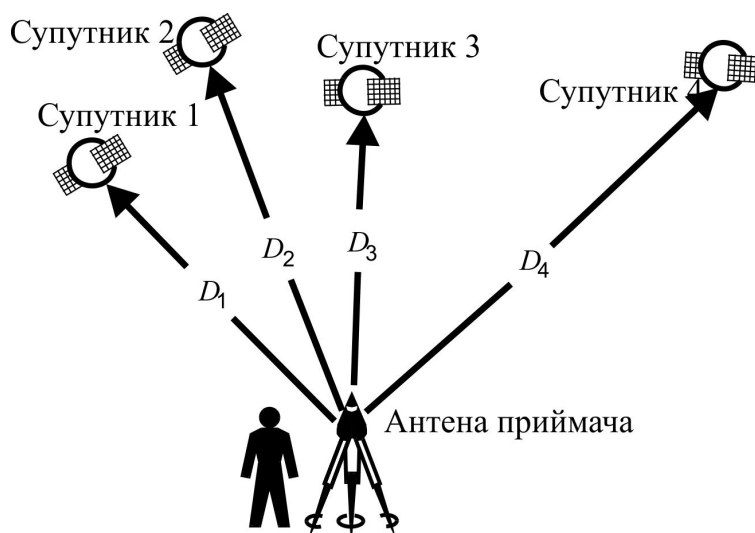


Рис. 8.4. Принцип визначення місцеположення у супутникових навігаційних системах

Отож, навігаційна система буде працювати ефективно, коли структура побудови космічного сегмента забезпечує прийом сигналів не менш ніж від чотирьох супутників у будь-який час в будь-якій точці Земної кулі.

Супутники системи ГЛОНАСС розташовані у трьох орбітальних площинах, причому на кожній орбіті обертаються 8 супутників (рис. 8.5, а). У системі GPS прийнято 6 орбітальних площин по 4 супутники у кожній (рис. 8.5, б).

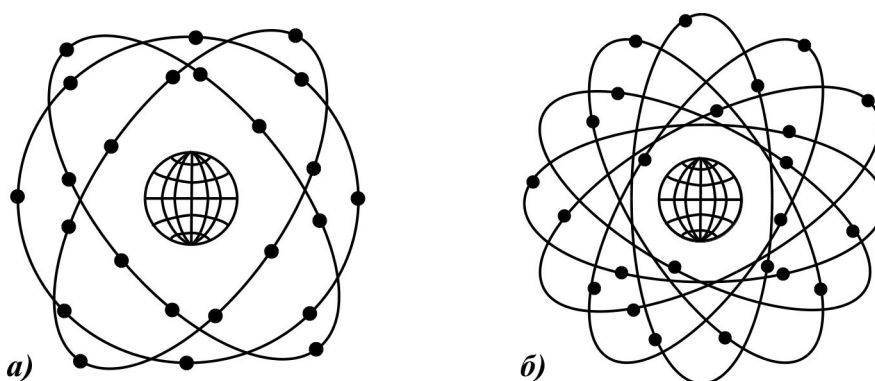


Рис. 8.5. Космічний сегмент системи ГЛОНАСС (а) і GPS (б)

Супутники обох систем випромінюють сигнали на двох частотах, які вміщують інформацію про координати відповідних супутників. Ця інформація приймається та фіксується спеціальними вимірювальними станціями – приймачами.

Геодезичний приймач супутникової системи включає антену (сенсор), блок управління (контролер), акумуляторні батареї, штатив та з'єднувальні кабелі (рис. 8.6).

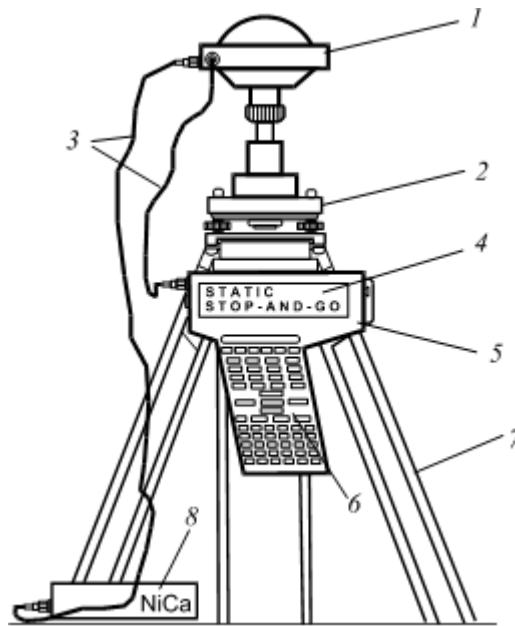


Рис. 8.6. Загальний вигляд геодезичного приймача:

1 – сенсор; 2 – підставка; 3 – з'єднувальні кабелі; 4- дисплей; 5 – контролер; 6- клавіатура; 7 – штатив; 8 – акумуляторна батарея

Сенсор - це водонепроникний приймач радіовипромінення масою до 2-х кг. Він може одночасно відслідковувати сигнали 6-12 супутників на одній або двох частотах. Управління роботою приймача здійснюється за допомогою контролера або ПЕОМ.

Контролер побудовано на базі 386-го мікропроцесора. Він забезпечує взаємозв'язок між оператором (спостерігачем) і сенсором. Три основні функції контролера полягають в управлінні роботою сенсора, виборі режиму спостережень та реєстрації інформації із супутників.

Процесор забезпечує попередню обробку вимірювальної інформації, її реєстрацію, функціонування каналів зв'язку, клавіатури та дисплея контролера. Клавіатура більшості приймачів схожа на клавіатуру ПЕОМ.

Результати вимірювань, тобто сигнали з супутників, реєструються на жорстку карту (модуль пам'яті) ємністю від 512 Кб до 4Мб, яка має внутрішнє джерело живлення для забезпечення збереження даних. Дані з модуля пам'яті потім переписуються у ПЕОМ через контролер або спеціальний пристрій.

Подальша обробка інформації (обчислення координат) виконується на ПЕОМ за спеціальними програмами, які постачаються разом з приймачами.

Існує два способи визначення місцеположення за допомогою супутникових систем:

- абсолютний;
- відносний (диференційний).

При визначенні абсолютного положення координати антени приймача отримують в єдиній системі координат, яка прийнята в навігаційній системі. У цьому випадку використовують тільки один приймач, який встановлюють на пункті і впродовж достатнього проміжку часу ведуть відповідні спостереження.

Точність визначення абсолютних координат в основному визначається похибками, які залежать від роботи пристроїв, що передають сигнали з

супутників, стану зовнішнього середовища у зоні розповсюдження радіохвиль, способів обробки сигналу приймачем. Немалий вплив мають похибки координат супутників, а також взаємне розташування супутників і антени приймача в момент проведення спостережень. Тому найкраща точність при абсолютному визначенні, яка досягається при непорушному приймачі і навіть при багатоденних безперервних спостереженнях, складає 3-5 м. Це, безперечно, недостатньо для геодезичних цілей. З цієї причини у геодезичній практиці використовуються виключно відносні (диференційні) способи.

При відносних визначеннях спостереження ведуть із застосуванням двох приймачів на двох об'єктах у співпадаючі моменти часу за одним і тим же сузір'ям супутників (рис. 8.7). За результатами цих вимірів визначають проекції на осі геометричної системи координат базової лінії S , яка з'єднає ці два об'єкти, відстань між об'єктами, а також кути, що характеризують напрямок базової лінії.

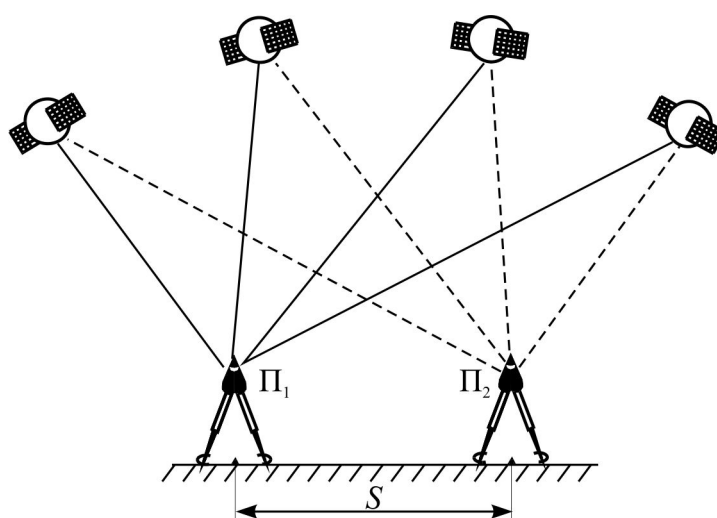


Рис. 8.7. Принцип відносних визначень напрямок базової лінії

Супутникова приймальна апаратура (супутникові приймачі) призначена для роботи в режимах "Статика", "Швидка статика", "Стій /Ди", "Кінематика" і "Реокупація". При геодезичних роботах в основному використовують статичні вимірювання (рис. 8.8). Кінематичні знімання в режимах "Кінематика" і "Реокупація" використовують для визначення координат (траєкторії) пересувного приймача відносно іншого непорушного сенсора.

Статичні знімання (рис. 8.8, а) передбачають виконання диференціальних супутникових спостережень між двома й більше непорушними приймачами, один з яких є базовим. За базову станцію приймається будь-який пункт, координати якого відомі, або пункт із найбільшою тривалістю вимірів. Усі станції, місцеположення яких визначено відносно координат базової станції, називаються пересувними. Будь-яка з пересувних станцій, координати якої отримані з необхідною точністю, може бути використана як базова для подальшого створення мережі. Для мережі, що показана на рис. 5.8а, спочатку базовою станцією є пункт I. Відносно нього визначаються положення пунктів II, III, V. Далі відносно пункту II визначають пункти III, V, потім від пункту III – пункти IV та V, і у кінці відносно пункту IV

визначають положення пункту V. Отже, постійна базова станція для всієї мережі в цілому не обов'язкова. Статичні знімання виконують при великих відстанях (сторони понад 10 км) при спостереженні чотирьох й більше супутників. Для забезпечення паспортної точності потрібна, як мінімум, одна година спостережень.

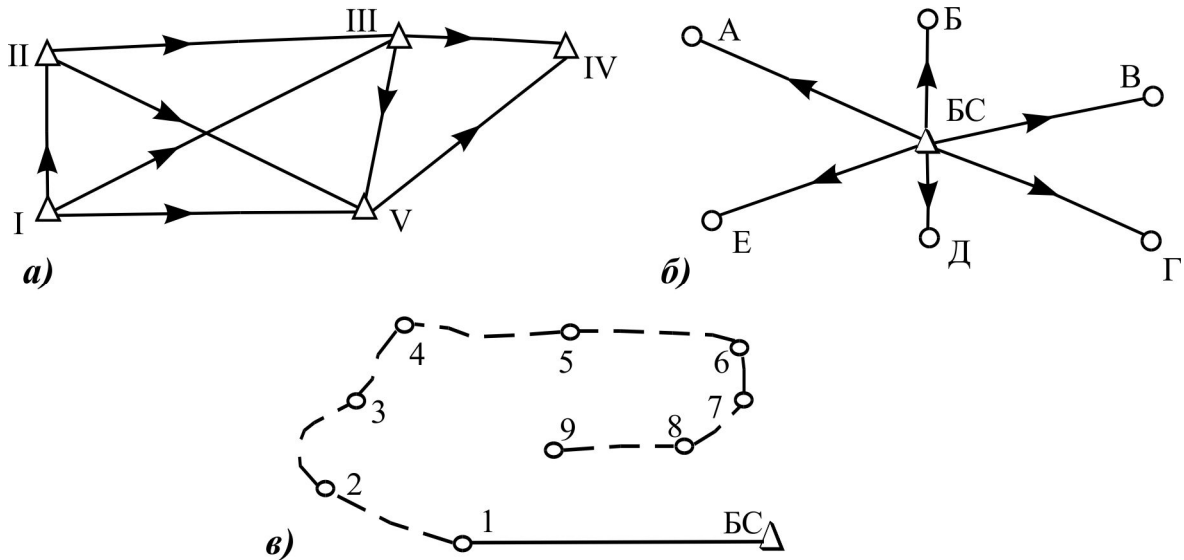


Рис. 8.8. Схеми польових робіт при різних статичних схемах супутникових спостережень: а – "Статика"; б – "Швидка статика"; в – "Стій/Іди"; ВС – базова станція; I, II, III, IV, V – пункти мережі без постійної базової станції; А, Б, В, Г, Д, Е – пересувні станції (пункти, що визначаються); 1 – точка ініціювання; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – пункти, що визначаються

Швидкі статичні знімання (рис. 8.8, б) збільшують продуктивність вимірів. На коротких лініях (до 2-5 км) при спостереженні, як мінімум, чотирьох – п'яти супутників з вигідним взаємним геометричним положенням отримання паспортної точності досягається при тривалості спостережень 5-10 хвилин.

Знімання в режимі "Стій /Іди" (рис. 8.8, в) дозволяє визначити велику кількість пунктів (до 50 – 70-ти за зміну), але вимагає, щоб приймач утримував захват супутників на протязі всього часу вимірювань, тобто при послідовному переміщенні між пунктами 1, 2, ..., 9. На першому пункті (пункт 1) – пункті ініціювання - необхідно знаходитися не менше 10 хвилин; час вимірів на інших пунктах, що визначаються, складає від 5 до 30 сек. Означений режим відповідає зніманню об'єктів з відстанями між пунктами не більше 300 м і при відсутності перешкод для проходження радіосигналів від супутників.

Супутникові методи визначення місцеположення останнім часом знаходять широке використання при побудові геодезичних мереж, геодезичних знімів, при роботі на геодинамічних полігонах, де спостерігаються сучасні рухи земної поверхні, а також при вирішенні різноманітних інженерно-геодезичних задач.

8.5. Стан державної геодезичної мережі України

Станом на 1997 рік державна геодезична мережа України, як складована частина державної геодезичної мережі колишнього СРСР, побудована відповідно до вимог Основних положень про державну геодезичну мережу СРСР 1954-1961 рр. та Основних положень про державну нівелірну мережу СРСР 1961 р. і включає до себе:

- ряди триангуляції 1 класу;
- заповнюючі мережі триангуляції і полігонометрії 1 та 2 класів;
- геодезичні мережі згущення 3 і 4 класів;
- нівелірні мережі I, II, III, IV класів.

Планова державна геодезична мережа України складається з 19538 пунктів, з яких 519 пунктів – 1 класу, 5386 пунктів – 2 класу і 13633 пункти – 3 і 4 класів, а також містить 90 геодезичних азимутів, визначених з астрономічних спостережень, 49 базисів та базисних сторін (10 сторін – 1 класу, 39 – 2 класу).

Схема астрономо-геодезичної мережі 1 класу приведена на рис. 8.9.

Точність астрономічних визначень характеризується такими середньоквадратичними похибками:

- астрономічної широти – 0,19";
- астрономічної довготи – 0,025";
- астрономічного азимута – 0,33".

Точність вимірювань базисних сторін характеризується відносними середньоквадратичними похибками:

- для 1 класу – 1:540 000 – 1:1 710 000,
- для 2 класу – 1:203 000 – 1:1 340 000.

Точність вимірювань горизонтальних кутів у мережах 1, 2, 3 та 4 класів, обчислена за нев'язками трикутників, характеризується середньоквадратичними похибками 0,64", 0,83", 1,19" і 1,54" відповідно, а точність кутових вимірювань, обчислена за нев'язками замкнутих фігур у полігонометрії, дорівнює 1,4" і 1,7" відповідно для пунктів 3 і 4 класу.

Точність лінійних вимірювань у геодезичній мережі згущення 3 і 4 класів характеризується такими відносними середньоквадратичними похибками:

- для пунктів 3 класу – 1:46 000 – 1:158 000,
- для пунктів 4 класу – 1:46 000 – 1:130 000.

Точність визначення взаємного положення пунктів характеризується середньоквадратичною помилкою 0,196 метра.

Щільність пунктів державної геодезичної мережі складає у середньому 1 пункт на 30 кв. кілометрів.

Висотна геодезична нівелірна мережа поділяється на:

- нівелірні мережі I, II класів;
- нівелірні мережі III і IV класів.

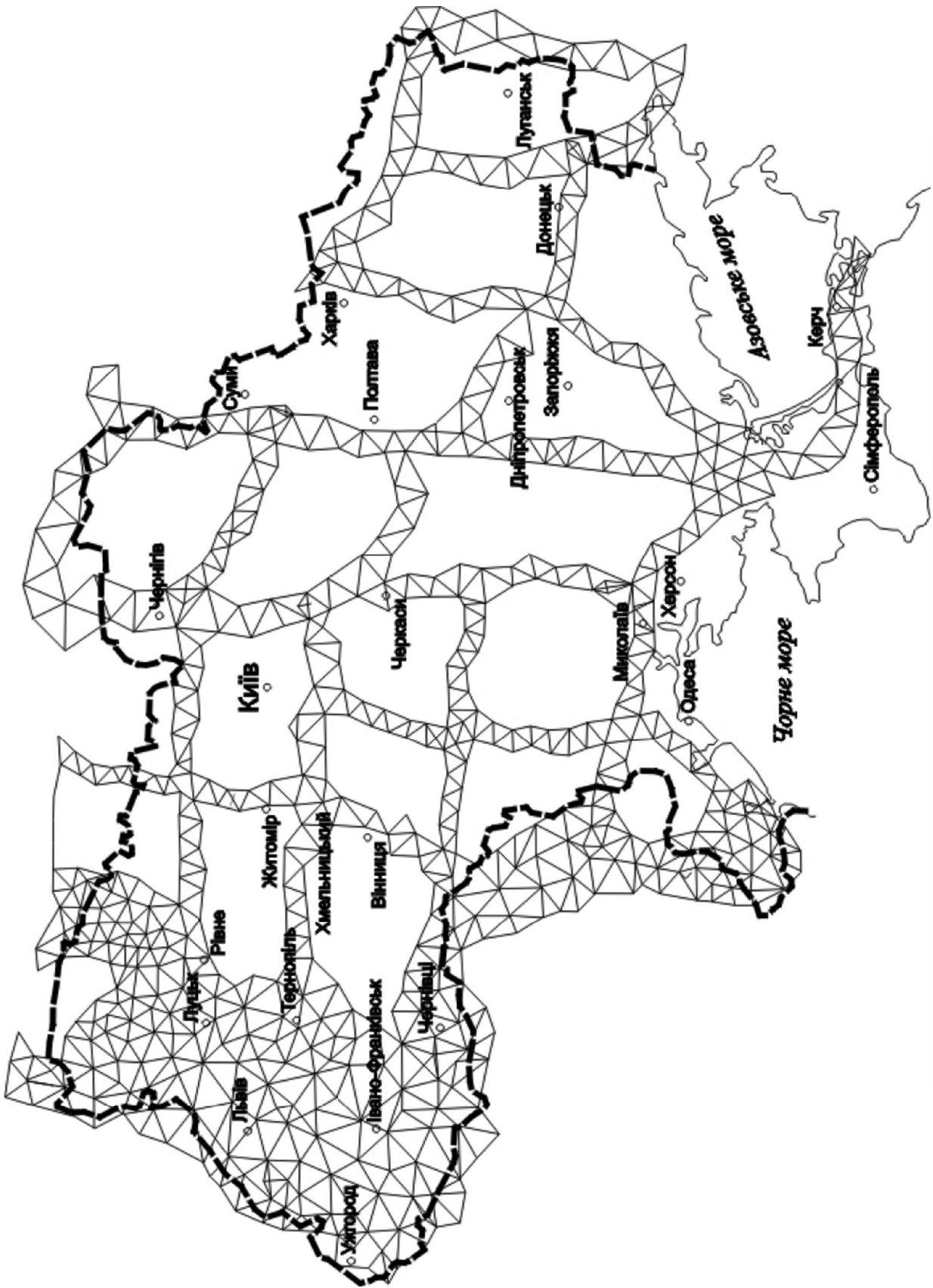


Рис. 8.9. Схема астрономо-геодезичної мережі України I класу станом на 1997 р.

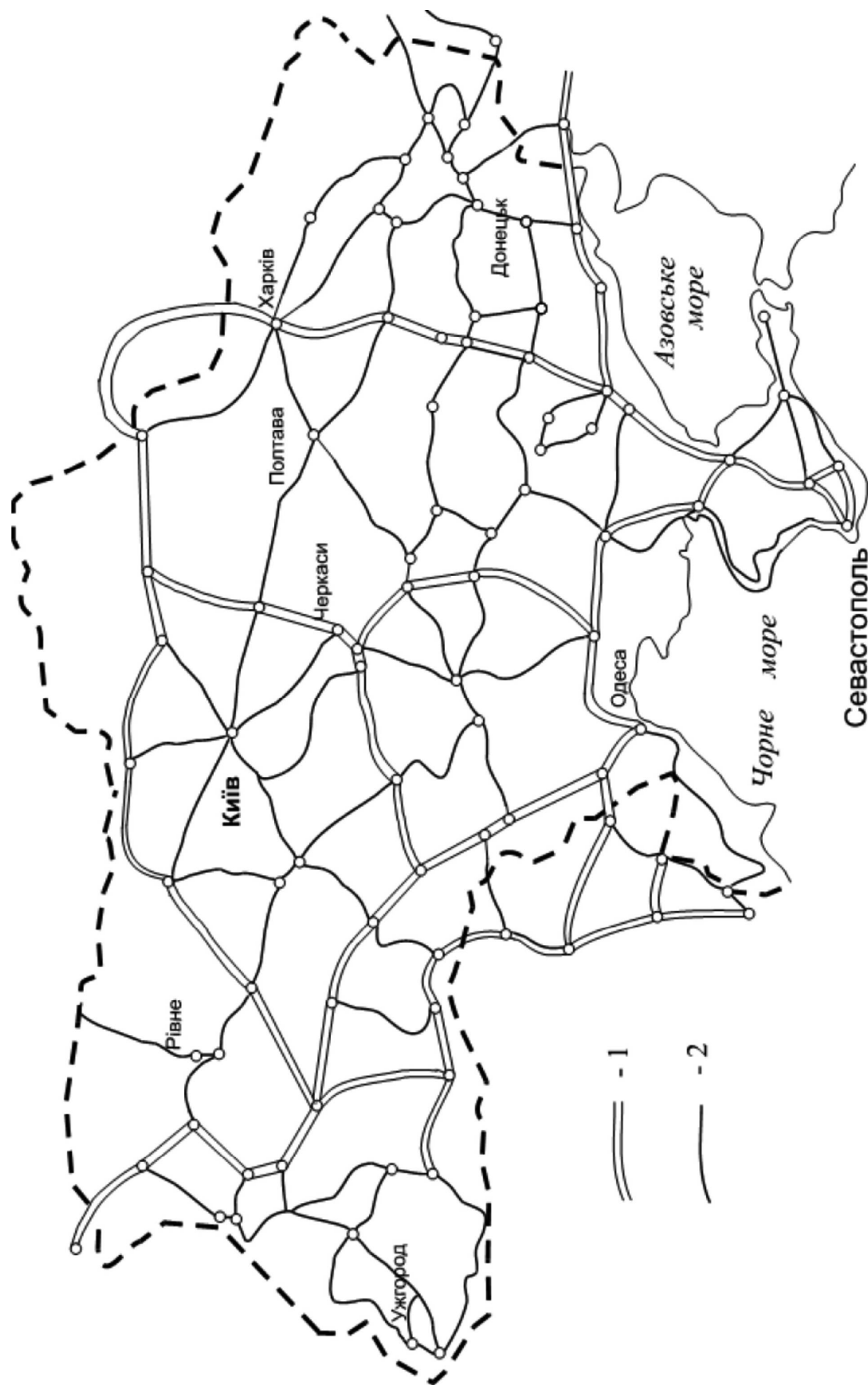


Рис. 8.10. Головна висотна основа України:
 1 – лінії нівелювання 1 класу; 2 – лінії нівелювання 2 класу

Лінії нівелювання I та II класів є головною висотною основою України. Їх прокладено переважно вздовж автомобільних доріг або залізниць та закріплено на місцевості віковими, фундаментальними, ґрунтовими, скельними та стінними реперами приблизно через кожні 5 км уздовж траси. Схему мереж нівелювання I та II класів показано на рис. 8.10.

Нівелювання I класу включає 29 ліній загальною довжиною 11975,0 км, які утворюють 18 замкнених полігонів. Лінії нівелювання I класу мають довжину від 70,7 до 1301,9 км. Мережа нівелювання II класу складається з 72 полігонів, включає 62 лінії загальною довжиною 11975,0 км. Найбільша довжина лінії складає 383,9 км, найменша – 37,5 км.

На території геодинамічних полігонів (Кримський, Карпатський, Бориславський), а також техногенних полігонів у районах атомних електростанцій і площадок родовищ корисних копалин створені нівелірні мережі у вигляді ліній нівелювання I і II класів, які є частиною комплексу наукових геофізичних досліджень.

Вони служать для вивчення геодинамічних явищ та сучасних вертикальних рухів земної поверхні. Вимірювання на цих полігонах проводилися декількома послідовними циклами через відповідні проміжки часу.

Нівелірні мережі III і IV класів заповнюють нівелірні полігони I і II класів і служать для забезпечення топографічної знімання всіх масштабів та вирішення інженерних завдань.

На всю територію України складені каталоги висот (у Балтійській системі висот 1977 року) пунктів нівелювання I-IV класів, які систематизовані за листами карт масштабу 1:200 000.

8.6. Сучасна програма побудови державної геодезичної мережі України

Постановою Кабінету Міністрів України №844 від 8 червня 1998 р. затверджені "Основні положення створення Державної геодезичної мережі України".

Згідно з цими положеннями *планова геодезична мережа* складається з:

- астрономо-геодезичної мережі I класу;
- геодезичної мережі 2 класу;
- геодезичної мережі згущення 3 класу.

Висотна геодезична мережа складається з:

- нівелірної мережі I та II класів;
- нівелірної мережі III та IV класів.

Астрономо-геодезична мережа I класу

Астрономо-геодезична мережа I класу (АГМ-1) будується у вигляді однорідної за точністю просторової геодезичної мережі, яка складається з системи рівномірно розміщених геодезичних пунктів, віддалених один від одного на 50-150 кілометрів. АГМ-1 є геодезичною основою для побудови нових геодезичних мереж і забезпечення подальшого підвищення точності існуючої ДГМ з використанням методів супутникової геодезії.

Частина пунктів АГМ-1 являє собою постійно діючі станції супутникових спостережень та астрономо-геодезичні обсерваторії, а решта пунктів АГМ-1 – це фундаментально закріплені на місцевості пункти, положення яких періодично визначається в рамках довгострокової програми функціонування ДГМ. Система координат, яка задається пунктами АГМ-1, надійно зв'язана з аналогічними пунктами різних держав у рамках узгоджених наукових проектів міжнародного співробітництва.

Просторове положення пунктів АГМ-1 визначається методами супутникової геодезії у загальноземній системі координат, причому кожний пункт повинен бути зв'язаний супутниковими вимірюваннями не менше як з трьома суміжними пунктами мережі.

Пункти АГМ-1 повинні бути вставлені в мережу високоточного нівелювання, що дозволяє визначати перевищення нормальних висот між суміжними пунктами АГМ-1 з середньоквадратичними похибками не більше 0,05 метра.

Кількість пунктів АГМ-1 та їх розташування визначається програмою побудови ДГМ.

Геодезична мережа 2 класу

Геодезична мережа 2 класу будується у вигляді однорідної за точністю просторової геодезичної мережі, яка складається з рівномірно розміщених геодезичних пунктів існуючої геодезичної мережі 1 та 2 класів, і нових пунктів, що визначаються відповідно до вимог Основних положень.

Геодезична мережа 2 класу є вихідною геодезичною основою для побудови геодезичної мережі згущення 3 класу та геодезичних мереж спеціального призначення з використанням методів супутникової геодезії та традиційних геодезичних методів.

Нові пункти геодезичної мережі 2 класу розміщуються на відстані 8-12 км один від одного, а на території міських населених пунктів, великих промислових об'єктів – 5-8 км, їх положення визначається, як правило, відносними методами супутникової геодезії, а також традиційними геодезичними методами (триангуляції, трилатерації, полігонометрії), які забезпечують точність визначення взаємного положення пунктів з середньоквадратичними похибками величиною 0,03-0,05 метра при середній довжині сторін 10 кілометрів.

За вихідні пункти для визначення координат пунктів геодезичної мережі 2 класу приймаються пункти АГМ-1. Основні вимоги до побудови геодезичної мережі 2 класу наведено в табл. 8.1.

Геодезична мережа згущення 3 класу

Геодезична мережа згущення 3 класу будується з метою збільшення кількості пунктів до щільності, яка забезпечує створення знімальної основи великомасштабних топографічних та кадастрових зніманих. Вона включає існуючі геодезичні мережі 3 та 4 класів та нові мережі згущення, що визначаються згідно з вимогами нових Основних положень.

Нові пункти геодезичної мережі згущення 3 класу визначаються відносними методами супутникової геодезії, а також традиційними

геодезичними методами: полігонометрії, триангуляції та трилатерації. При цьому середньоквадратична похибка визначення взаємного положення пунктів у плані повинна бути не більше 0,05 метра.

Таблиця 8.1

Вимоги до побудови геодезичної мережі 2 класу

Параметри мережі	Метод побудови			
	супутникові методи	триангуляція	полігонометрія	трилатерація
Периметр полігона, км			150-180	
Найбільша довжина ходу, км			60	
Довжина сторони, км				
Найбільша	20	20	12	12
Найменша	5	7	5	5
Кількість сторін у ході не більше	6		6	
Середньоквадратична похибка взаємного положення пунктів, м	0,03-0,05	0,03-0,05	0,03-0,05	0,03-0,05
Середньоквадратична похибка вимірювання кутів не більше, сек.		1".0	1".0	
Найбільша нев'язка трикутника, сек.		4".0		
Кутова нев'язка ходу, сек, де n – число кутів у ході			$2''\sqrt{n}$	
Відносна похибка вимірювання сторони (базису) m/s не менше	1:300000	1:300000	1:30000	1:300000
Середньоквадратична похибка вимірювання сторони не більше, м	0,03		0,03	0,03

Вихідними пунктами для побудови геодезичної мережі згущення 3 класу служать пункти астрономо-геодезичної мережі 1 класу і геодезичної мережі 2 класу.

Під час визначення пунктів геодезичної мережі згущення 3 класу методом полігонометрії прокладаються поодинокі ходи або ходи з вузловими точками, які опираються на пункти більш високого класу.

Основні вимоги до побудови геодезичної мережі згущення 3 класу наведені в табл. 8.2

Висотна геодезична мережа

Нівелірні мережі I і II класів є головною висотною основою країни, яка встановлює єдину систему висот на всій території України, а також служить для вирішення наукових завдань.

Нівелірні мережі III і IV класів створюються з метою згущення висотної основи для забезпечення топографічної знімання всіх масштабів та вирішення інженерних завдань.

Нівелювання I класу виконується з найвищою точністю, яка досягається завдяки використанню найбільш сучасних приладів та методик спостережень з якомога повнішим виключенням систематичних помилок. Нівелювання I класу здійснюється повторно за тими ж лініями не рідше ніж через 25 років, а у сейсмоактивних районах – через кожні 15 років.

Нівелірна мережа II класу створюється всередині полігонів I класу окремими лініями або системами з вузловими пунктами, утворюючи полігони з периметром 400 кілометрів.

Таблиця 8.2

Вимоги до побудови геодезичної мережі згущення 3 класу

Параметри мережі	Методи побудови			
	супутникові методи	триангуляція	полігонометрія	трилатерація
Периметр полігона, км			70-90	
Найбільша довжина ходу, км			30	
Довжина сторони, км				
найбільша	10	8	8	8
найменша	2	5	2	2
Кількість сторін у ході не більше	6		6	
Середньоквадратична похибка взаємного положення пунктів, м	0,05	0,05	0,05	0,05
Середньоквадратична похибка вимірювання кутів не більше, сек		1".5	1".5	
Найбільша нев'язка трикутника, сек		6".0		
Кутова нев'язка ходу, сек, де n – число кутів у ході			$3''\sqrt{n}$	
Відносна похибка вимірювання сторони (базису) m/s не менше	1:200000	1:200000	1:200000	1:200000
Середньоквадратична похибка вимірювання сторони не більше, м			0,04	0,04

Нівелювання II класу виконується з точністю, яка забезпечує отримання нев'язок у ходах та полігонах за абсолютною величиною не більших, ніж $5nn\sqrt{L}$, де L - периметр полігону або довжина ходу у кілометрах.

Лінії нівелювання I і II класів прокладаються переважно вздовж залізниць та автомобільних шляхів, а в разі необхідності – вздовж великих річок та інших трас з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами і найменш складним рельєфом.

У лінії нівелювання I і II класів, які примикають до морів або прокладаються вздовж великих рік, водосховищ, озер, обов'язково включають основні і робочі репери, нулі рівневих рейок вікових і постійних морських, річкових та озерних рівневих постів.

Лінії нівелювання III класу прокладаються всередині полігонів II класу так, щоб утворювались полігони з периметром 60-150 кілометрів. Для забезпечення топографічної знімання у масштабі 1:5000 і більше лінії нівелювання III класу прокладаються з розрахунком створення полігонів з периметром до 60 кілометрів.

Нівелювання III класу виконується з точністю, яка забезпечує отримання нев'язки в ході чи полігоні величиною не більше $10nn\sqrt{L}$, де L – довжина ходу або периметр полігона у кілометрах.

Нівелювання IV класу є згущенням нівелірної мережі III класу. Його

виконують ходами довжиною не більше 50 км з точністю, яка забезпечує отримання нев'язки в ході чи полігоні величиною не більше $20mn\sqrt{L}$, де L – довжина ходу або периметр полігона у кілометрах.

8.7. Геодезичні мережі згущення і знімальні мережі

Інструкцією [9] встановлена така щільність пунктів державної геодезичної мережі для проведення топографічних знімальних:

а) для знімальних у масштабах 1:25000 та 1:10000 – у середньому один пункт триангуляції (полігонометрії, трилатерації) будь-якого класу на 50-60 км² і один репер нівелювання будь-якого класу на 40 –60 км²;

б) для знімальних у масштабах 1:5000 – один пункт на 20-30 км² і один репер нівелювання на 5-7 км²;

в) для знімальних у масштабі 1:2000 і більше – один пункт на 5-15 км² і один репер нівелювання на 5-7 км².

Такої щільності пунктів недостатньо для виконання топографічних знімальних у великих масштабах (1:1000 і 1:500) та особливо знімальних міських (забудованих) територій.

Тому виконують подальше згущення геодезичної основи через розвиток мереж згущення (мережі місцевого значення) і знімальної основи.

Мережі згущення, як правило, розвиваються на основі пунктів державної геодезичної мережі з метою збільшення щільності пунктів геодезичної мережі для створення можливості виконання знімальних у великих масштабах і безпосереднього розв'язання інженерно-геодезичних задач.

Планові геодезичні мережі згущення поділяються на два розряди. Вони створюються у вигляді триангуляції, трилатерації та полігонометрії.

Метод триангуляції застосовується, як правило, на відкритій місцевості або у випадках, якщо з яких-небудь причин застосування методу полігонометрії неможливо або недоцільно. Основні характеристики геодезичних мереж згущення наведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Основні характеристики геодезичних мереж згущення

Розряд	Довжина сторін, км	Середня квадратична похибка вимірювання кутів, сек	Відносна похибка вимірювання сторін	Відносна похибка визначення довжини сторони в найслабшому місці
Триангуляція				
1	0,5 – 5	5	1:50000*	1:20000
2	0,25 – 3	10	1:20000*	1:10000
Полігонометрія				
1	0,12 – 0,8	5	1:10000	-
2	0,08 – 0,35	10	1:5000	-
* – відносні похибки вимірювання вихідної (базисної) сторони				

Триангуляція 1 розряду будується у вигляді суцільної мережі, рядів трикутників, вставок систем або окремих пунктів на основі державної геодезичної мережі. Триангуляція 2 розряду розвивається у вигляді мереж, окремих пунктів або груп пунктів між пунктами державної геодезичної мережі, а також між пунктами триангуляції 1 розряду.

При відсутності пунктів державної геодезичної мережі для обґрунтування топографічних зніманих будують самостійні мережі триангуляції 1-2 розрядів з умовою, що площа знімання в масштабі 1:5000 не перевищує 500 км² або в масштабі 1:2000 – 100 км². При цьому довжина вихідної (базисної) сторони повинна бути не меншою, ніж 1 км, і виміряна з відносною похибкою, вказаною в табл. 8.3.

Полігонометрія 1 та 2 розрядів створюється у вигляді окремих ходів або систем ходів з вузловими точками. Основні характеристики полігонометрії наведені в табл. 8.3. Кількість сторін у ході не повинна перевищувати 15. Оптимальні довжини сторін приймаються рівними 0,3 та 0,2 км відповідно для 1 і 2 розрядів. На всі пункти геодезичних мереж згущення передаються висоти нівелюванням IV класу або технічним нівелюванням.

Технічне нівелювання є висотною геодезичною основою мереж згущення. Технічне нівелювання виконується окремими ходами, системами ходів і замкненими полігонами між пунктами державної геодезичної висотної мережі. Середня квадратична похибка визначення перевищення складає біля 17 мм на 1 км ходу.

Знімальна геодезична мережа створюється з метою згущення геодезичної планової і висотної основи до щільності, що забезпечує безпосереднє виконання топографічних зніманих. Щільність пунктів знімальних мереж залежить від технології виконання знімання, масштабу знімання і рельєфу місцевості.

Знімальна мережа розвивається від пунктів державних геодезичних мереж і геодезичних мереж згущення. Пункти знімальної мережі визначаються методом триангуляції, прокладенням теодолітних ходів, прямими, зворотними та комбінованими засічками. При побудові знімальних мереж одночасно визначається положення точок у плані і за висотою. Методи створення знімальної мережі будуть викладені в наступних розділах.

8.8. Закріплення пунктів геодезичних мереж

Пункти геодезичних мереж повинні надійно закріплюватися на місцевості таким чином, щоб забезпечувалась незмінність їхнього положення та цілісність протягом тривалого часу. Це пов'язано з великим значенням геодезичних мереж для встановлення єдиної системи координат на території країни. Пункти планових державних геодезичних мереж закріплюються на місцевості спеціальними геодезичними конструкціями, які складаються з двох частин: підземної – центра пункту та зовнішньої – геодезичного знака.

Типи центрів, що закладаються, залежать від фізико-географічних умов району, особливо від складу ґрунтів і глибини промерзання ґрунту.

На рис. 8.11, *a* показано, як приклад, центр пункту для зони сезонного

промерзання ґрунтів. Він складається з залізобетонного пілона 1 з перетином 16×16 см (або азбоцементної труби з діаметром 14-16 см, заповненої бетоном), та бетонного якоря – 2. Пілон цементується в якор. Основа якоря повинна розміщуватися нижче від глибини сезонного промерзання ґрунтів не менше, ніж на 0,5 м, і не менше, ніж на 1,3 м від поверхні землі.

У верхню частину знака на рівні поверхні землі бетонується чавунна марка, загальний вигляд якої показаний на рис. 8.11, б. У верхній частині марки за допомогою отвору позначається точка, до якої приводяться усі кутові та лінійні вимірювання. В результаті побудови геодезичних мереж визначають координати саме цієї точки. Для забезпечення надійного зберігання центрів над маркою у радіусі 0,5 м насипається шар ґрунту товщиною 10-15 см. У 1.5 м від центра встановлюється розпізнавальний стовп з охоронною плитою.

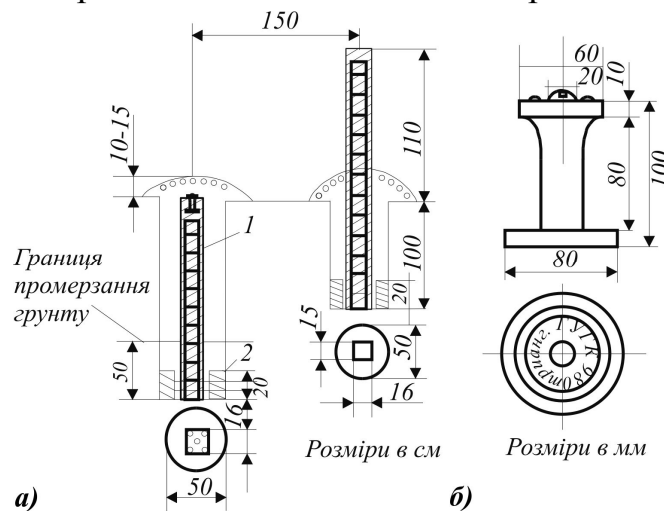


Рис. 8.11. Центр пункту державної геодезичної мережі:
а – загальний вигляд; б – марка

Усі пункти державної геодезичної мережі оберігаються державою.

Конструкції центрів пунктів триангуляції та полігонометрії 1 і 2 розрядів також залежить від фізико-географічних умов району робіт. На рис. 8.12 зображена конструкція центра для районів з сезонним промерзанням ґрунтів. На забудованих територіях з метою підвищення надійності збереження пункти полігонометрії закріплюють стінними знаками (рис. 8.13). Крім того, пункти геодезичних мереж згущення можуть розміщуватися на дахах будинків.

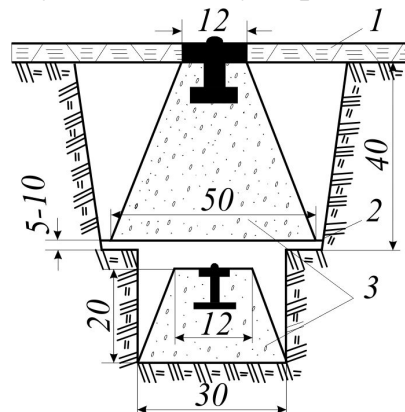


Рис. 8.12. Центр-репер геодезичних мереж згущення (розміри у см):
1 – асфальт або поверхня землі; 2 – шар цементного розчину; 3 – бетонні моноліти

Лінії нівелювання усіх класів закріплюють на місцевості не рідше, ніж через 5 км постійними реперами: ґрунтовими, скельними, стінними. На лініях нівелювання I та II класів через 50 – 60 км, а також у вузлових пунктах закладають фундаментальні реperi, які розкриваються тільки при повторних нівелюваннях. На відстані 50-150 м від фундаментального репера закладають репер-супутник.

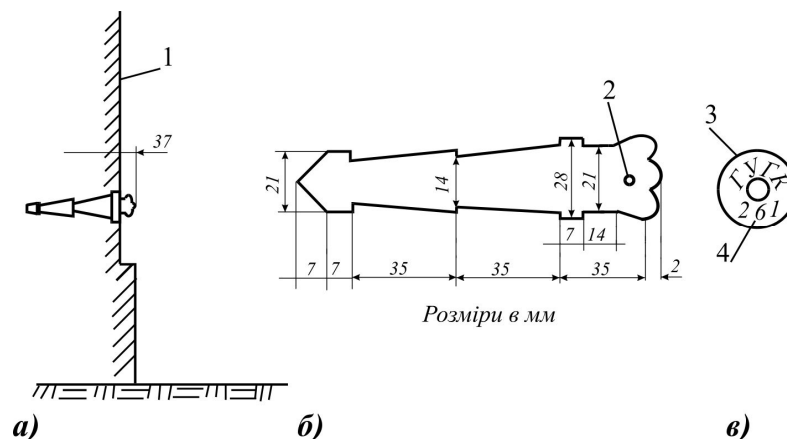


Рис. 8.13. Стінна марка:

a – закріплення марки у стіні; *б* – загальний вигляд; *в* – вигляд спереду; 1 – стіна; 2 – отвір; 3 – назва організації; 4 – номер марки

Ґрунтовий репер (рис. 8.14) складається із залізобетонного пілона 1 і бетонної плити (якоря) 2. У верхній частині пілона зацементована марка, яка за своєю конструкцією аналогічна до марки планових мереж (див. рис. 8.14, б). Висота відповідає верхній точці напівсферичного виступу марки. Марка ґрунтового репера повинна знаходитися на глибині не менше 0,5 м від земної поверхні, а основа якоря – на 0,5 м нижче від найбільшої глибини промерзання.

Стінні реperi закладають у міцні кам'яні, бетонні і залізобетонні будівлі, побудовані за 7-8 років до закладки знаків. Конструкція стінного репера подібна до конструкції стінного знака (рис. 8.13). Відмітка відноситься до вищої точки диска знака, що виступає.

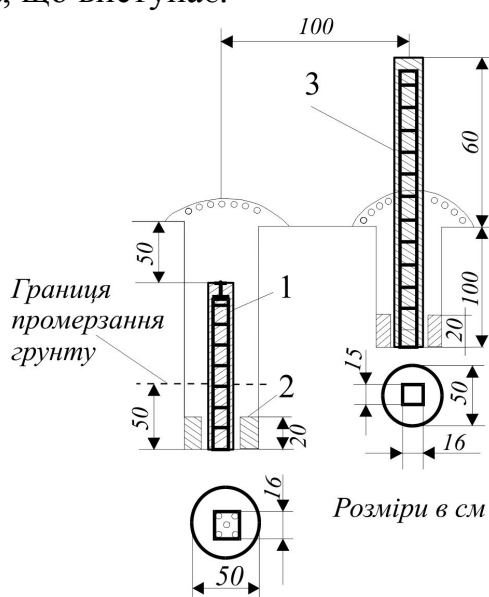


Рис. 8.14. Ґрунтовий репер:

1 – залізобетонний пілон; *2* – якор; *3* – розпізнавальний стовп

8.9. Загальні відомості про знімання місцевості

Після створення знімальної мережі у районі робіт виконують знімання місцевості. В залежності від методів та приладів, що застосовуються, розрізняють такі види знімання.

Окомірне знімання – це спрощене знімання з невисокою точністю. Воно може застосовуватися як допоміжне під час інструментальних знімачів дрібного масштабу, так і самостійно під час рекогносрування, прив'язки геодезичних пунктів до місцевих предметів та контурів, під час різноманітних попередніх розвідок, у військовій справі і т.п. Окомірне знімання найпростіше. При його виконанні використовується планшет з компасом і візирна лінійка. Можливе застосування приладів полегшеного типу: ручних безрейкових віддалемірів, крокомірів, ручних бусолей і т.п. При поєднанні окомірного знімання з барометричним нівелюванням отримують топографічний план місцевості.

Бусольне знімання виконується за допомогою бусолі (для визначення магнітних азимутів) та мірної стрічки.

Бусольне знімання дозволяє отримати контурний план місцевості, але на сьогоднішній час як самостійне знімання практично не застосовується. Інколи використовується для знімання невеликих ділянок місцевості як допоміжний вид знімання під час інших видів знімання.

Теодолітне знімання проводиться за допомогою кутомірного приладу – теодоліта і приладу для лінійних вимірювань – сталюї мірної стрічки або оптичного віддалеміра. При виконанні знімання вимірюються горизонтальні кути і віддалі. За результатами знімання у камеральних умовах будують ситуаційний план з зображенням контурів і місцевих предметів.

Тахеометричне знімання – це топографічне знімання. Воно виконується теодолітами-тахеометрами – приладами, що дозволяють виміряти вертикальні і горизонтальні кути та віддалі. Цей вид знімання має широке застосування при великомасштабних зніманнях невеликих територій, під час виконання вишукувальних робіт для будівництва різних інженерних споруд і т.п.

При традиційному методі виконання тахеометричного знімання у польових умовах вимірюють горизонтальні і вертикальні кути, віддалі за допомогою ниткового віддалеміра теодоліта. У камеральних умовах визначають горизонтальні прокладання ліній, перевищення між точками і висоти знімальних точок. На основі отриманих даних будують топографічний план.

Останнім часом усе ширше застосовуються електронні тахеометри, що складаються з кодового теодоліта, електронного віддалеміра та мініпроцесора. Безпосередньо у польових умовах отримують горизонтальні прокладання і перевищення, значення яких можуть бути виведені на світловому табло у цифровому вигляді або записані на магнітні носії. Інформація з магнітних носіїв вводиться у ПЕОМ, де виконується наступна обробка і побудова цифрових карт.

Мензольне знімання виконується за допомогою мензули – горизонтального столика і кіпрегеля – спеціального кутомірно-нарисного приладу, що має вертикальний круг і віддалемір.

У процесі мензульного знімання топографічний план місцевості складається безпосередньо у полі. Це дозволяє порівнювати отриманий план із місцевістю, що забезпечує вчасний контроль вимірювань.

Наземне фототеодолітне знімання виконується фототеодолітом (фотокамерою, з'єднаною з теодолітом). Ділянку місцевості фотографують з двох точок лінії, закріпленої на місцевості (базису). Координати кінців базису визначають геодезичними методами. У процесі фототеодолітного знімання отримують два знімки однієї і тієї ж ділянки, що складає стереопару. Шляхом обробки стереопари на спеціальних фотограмметричних приладах отримують топографічні плани ділянки. Наземне фототеодолітне знімання застосовується, як правило, у високогірній та гірській, переважно відкритій місцевості зі складними формами рельєфу та у рівнинній місцевості під час дорожніх, геологічних та інших вишукувань. Широке розповсюдження цей вид знімання отримав при складанні маркшейдерських планів кар'єрів, при архітектурних обмірах та контролі точності монтажу будівельних конструкцій.

Аерофотознімання проводиться спеціальними аерофотоапаратами, які встановлюються на літаках або гелікоптерах. На місцевості виконують геодезичні вимірювання для визначення координат і висот незначної кількості опорних точок. Обробка аерофотознімання виконується на спеціальних фотограмметричних приладах.

Фотограмметричні методи в наш час основні і найперспективніші, бо потребують мінімальних витрат на польові роботи. Крім того, під час обробки на фотограмметричних приладах одночасно отримують дані для побудови цифрових моделей місцевості. Наземне фототеодолітне знімання та аерофотознімання детально вивчаються у курсі "Фотограмметрія та дистанційне зондування".

Останнім часом з метою картографування використовуються знімки, отримані з штучних супутників Землі. Таке знімання можна назвати космічним. За матеріалами космічного знімання складаються карти у масштабах 1:10 000 та дрібніше. Такими зніманнями сьогодні покрито приблизно 60 % території Землі.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 8

1. Яка кінцева мета виконання геодезичних робіт?
2. Які пункти називають опорними?
3. Які традиційні способи визначення планових координат пунктів ви знаєте?
4. Які дві системи другого покоління супутникових радіонавігаційних систем експлуатуються на сучасному етапі у світі?
5. Скільки підсистем або сегментів функціонує у сучасній радіонавігаційній супутниковій системі?
6. У яких режимах призначена для роботи супутникова приймальна апаратура (супутникові приймачі)?
7. Коли застосовується знімання в режимі "Стій/Іду"?
8. Як поділяється висотна геодезична нівелірна мережа?

9. Згідно з якими документами побудована Державна геодезична мережа України?
10. Що є геодезичною основою для побудови нових геодезичних мереж і забезпечення подальшого підвищення точності існуючої ДГМ з використанням методів супутникової геодезії?
11. З якою метою створюються нівелірні мережі III і IV класів?
12. З якою метою розвиваються мережі згущення?
13. Що служить висотною геодезичною основою мереж згущення?
14. Які види знімання розрізняють залежно від застосовуваних методів і приладів?

ТЕМА 9. ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ

- 9.1. Класифікація теодолітів.
- 9.2. Перевірки теодолітів серії Т30.
- 9.3. Способи вимірювання горизонтального кута.
- 9.4. Вимірювання кутів нахилу.
- 9.5. Джерела похибок кутових вимірювань.

9.1. Класифікація теодолітів

Прообразом кутомірних приладів була *астролябія*, винайдена ще до нашої ери. Її винахід приписують *Гиппарху* (180-125 рр. до н.е.). У першому столітті *Птолемей* (90-160 рр.) запропонував пристрій для вимірювання вертикальних кутів, що отримав назву "*лінійка Птолемея*".

Слово "теодоліт" уперше застосовано Леонардом Діггсом (1510-1552 р.) під час опису однієї з конструкцій кутомірного приладу. Перший теодоліт, що має риси сучасного теодоліта, створив у 1730 р. англійський механік Джон Сіссон. На рис. 9.1 наведений загальний вигляд теодоліта кінця XIX ст. Перший оптичний теодоліт з'явився у 1922 р., він був сконструйований Г. Вільдом (1877-1951 рр.) у м. Йені.

У сучасних теодолітах широко виростовується компенсатор вертикального круга, індекс якого встановлюється автоматично, вперше застосований фірмою «Асканія» у 1957 р. На основі детального аналізу роботи спостерігача вдосконалена схема розміщення установочних пристроїв теодоліта.

Удосконалена конструкція закріпних та навідних пристроїв значно полегшує роботу спостерігача. Розроблені зорові труби з прямим зображенням. У 80-ті роки з'явилися перші електронні теодоліти.

Класифікація теодолітів проводиться за такими основними ознаками:

- за призначенням і сферою застосування;
- за будовою;
- за точністю.

За призначенням і сферою застосування розрізняють *астрономічні, геодезичні, маркшейдерські, автоколімаційні та спеціальні теодоліти*.

За конструкцією теодоліти діляться на *прості і повторні, механічні, оптичні та електронні*.

Простим називають теодоліт, лімб якого має тільки закріпний гвинт або пристрій для повороту і закріплення його у різних положеннях. Перестановка лімба у нове положення дозволяє виміряти один і той самий кут на різних частинах лімба, що забезпечує надійний контроль і виключення деяких похибок вимірювань.

Повторним називається теодоліт, у якого лімб і алідада є незалежне обертання, при цьому лімб і алідада мають закріпні і навідні гвинти. Теодоліт дозволяє декількома послідовними обертаннями лімба і алідади відкласти на лімбі величину вимірюваного кута, що підвищує точність кутових вимірювань.

Повторні теодоліти мають спеціальну повторну систему вертикальних осей лімба і алідади.

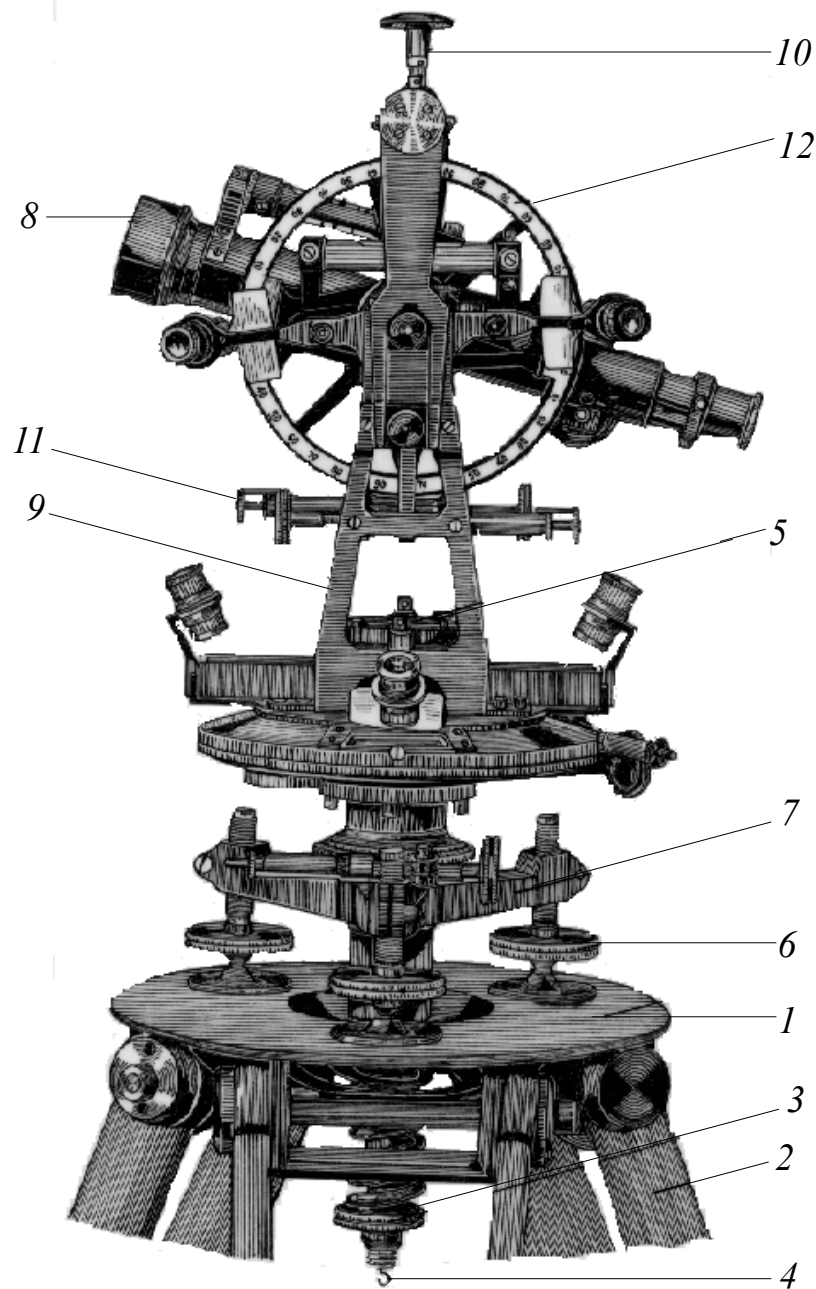


Рис. 9.1. Загальний вигляд механічного теодоліта

Механічні теодоліти мають металеві відлікові круги, оптичні – скляні лімби. В електронних теодолітах застосовуються так звані кодові диски як відлікові пристрої.

За *точністю* теодоліти діляться на:

- *високоточні теодоліти* – для вимірювання горизонтальних кутів з середньою квадратичною похибкою від 0,5" до 1.0". До цієї групи відносяться теодоліти серії Т1, призначені для вимірювання горизонтальних кутів і зенітних віддалей у триангуляції і полігонометрії 2 класу, а також при виконанні вимірювань в інженерній геодезії;

- *точні теодоліти* – для вимірювання горизонтальних кутів з середньою квадратичною похибкою від 2" до 10"; до цієї групи теодолітів відносяться теодоліти серії Т2 (ЗТ2) і Т5 (ЗТ5КП); теодоліти серії Т2 призначені для вимірювання кутів і зенітних віддалей у триангуляції і полігонометрії 3 і 4 класів, а також для виконання кутових вимірювань в інженерній геодезії; теодоліт серії Т5 використовується при створенні геодезичних мереж 1 і 2 розрядів, при виконанні інженерно – геодезичних вишукувань;
- *технічні теодоліти* – для вимірювання горизонтальних кутів з середньою квадратичною похибкою більше 10", у цю групу входять теодоліти серії Т15, Т30, Т50, які призначені для кутових вимірювань при створенні зйомочних мереж, під час топографічних знімачів місцевості, при виконанні вишукувань і маркшейдерських робіт.

Основні технічні характеристики теодолітів серії Т30 наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Основні технічні характеристики теодолітів серії Т30

Технічні характеристики	Назва теодоліта		
	Т30	2Т30П	2Т30М
Середня квадратична похибка вимірювання одним прийомом, сек			
– горизонтального кута	30	30	30
– вертикального кута	45	30	45
Збільшення зорової труби, крат	20	20	21
Світловий діаметр об'єктива, мм	29	25	25
Найменша віддаль візування, м	1.2	1.0	1.0
Діаметр горизонтального / вертикального круга, мм	72/72	72/72	72/72
Ціна поділки лімба	10'/10'	1°/1°	1°/1°
Ціна поділки шкал мікроскопа	-	5'	1'
Ціна поділки рівня, сек			
– на алідаді горизонтального круга	45	45	60
– на зоровій трубі	20	20	20
Висота теодоліта, мм			
– загальна	240	235	275
– від горизонтальної вісі	175	180	200
Маса, кг			
– теодоліта	2.2	2.2	3.0
– футляра	1.0	1.3	3.5

Відлікові пристрої технічних теодолітів. У центрі поля поміщений відліковий штрих – індекс, загальний для обох лімбів. Відлік за вертикальним кругом на рис. 9.2, а дорівнює 358°46', за горизонтальним – 69°56'.

Шкаловий мікроскоп призначений для проведення відліків за горизонтальним та вертикальним кругами теодоліта.

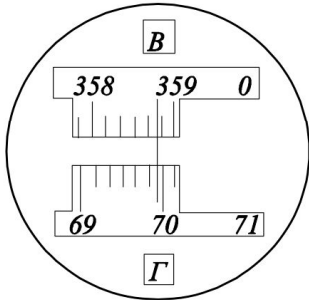
У поле зору шкалового мікроскопа передається зображення штрихів

лімбів горизонтального (Γ) та вертикального (B) кругів теодоліта і шкали довжиною у $60'$ з ціною найменшої поділки через $1'$. Кожна десята поділка підписана (рис. 9.2, б). У теодоліта 2Т30П вона розділена на 12 рівних частин з ціною поділки $5'$ (рис. 9.2, в).

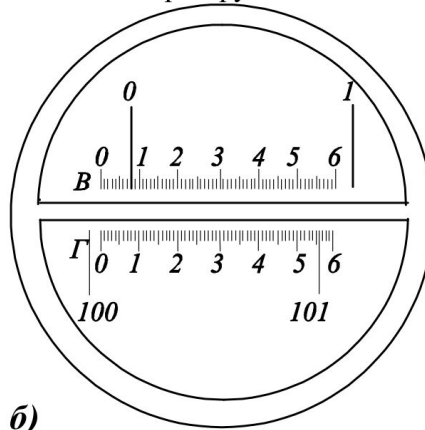
Відлік за гор. кругом $69^\circ 56'$
за верт. кругом $358^\circ 46'$

Відлік за гор. кругом $101^\circ 56'.1$
за верт. кругом $0^\circ 08'.1$

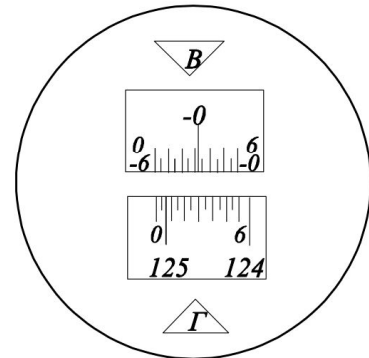
Відлік за гор. кругом $125^\circ 06'.5$
за верт. кругом $-0^\circ 27'.5$



а)



б)



в)

Рис. 9.2. Поле зору відлікового мікроскопа

Номінальна точність t штрихового відлікового мікроскопа дорівнює:

$$t = 0,1\lambda, \quad (9.1)$$

таким чином при $\lambda = 10'$, отримуємо $t = 1'$.

Номінальна точність шкалового відлікового мікроскопа приймається рівною:

$$t = 0,1 \frac{\lambda}{n}, \quad (9.2)$$

де n – кількість поділок шкали.

Під час відліку за лімбом значення кута округлюється до величини кратної точності відлікового пристрою. Тож середня квадратична похибка відліку – це похибка округлення:

$$m_o = \frac{t}{3,5}. \quad (9.3)$$

Її максимальне значення визначається з виразу:

$$m_{\max} \leq 2m_o, \quad (9.4)$$

яке застосовується при попередніх розрахунках. Для теодолітів Т30 і 2Т30П середня квадратична похибка відліку приймається рівною відповідно $30''$ і $15''$.

Сучасними модифікаціями теодоліта Т30 є теодоліти 2Т30 та 2Т30М (рис. 9.3), які в основному повторюють конструкцію теодоліта Т30, визнаного за кордоном. Теодоліт Т30 випускала західнонімецька фірма «Цейса» під назвою ТН51.

Для підвищення точності відраховування теодоліти 2Т30 і 2Т30П мають шкаловий відліковий мікроскоп. Блок Аббе зорової труби обертає зображення на 180° і створює пряме зображення предметів. На зоровій трубі встановлений

рівень для нівелювання горизонтальним променем.

Середня квадратична похибка вимірювання кутів з одного прийому підвищена до 18-20".

Теодоліти Т30М і 2Т30М (рис. 9.3, б) є теодолітами технічної точності і виготовляються у маркшейдерському виконанні. Повторюючи основні конструктивні особливості теодолітів серії Т30, теодоліти Т30М відповідають більш високим вимогам і призначені для виконання кутових вимірювань у підземних умовах як у нормальному, так і у підвішеному положенні приладу.

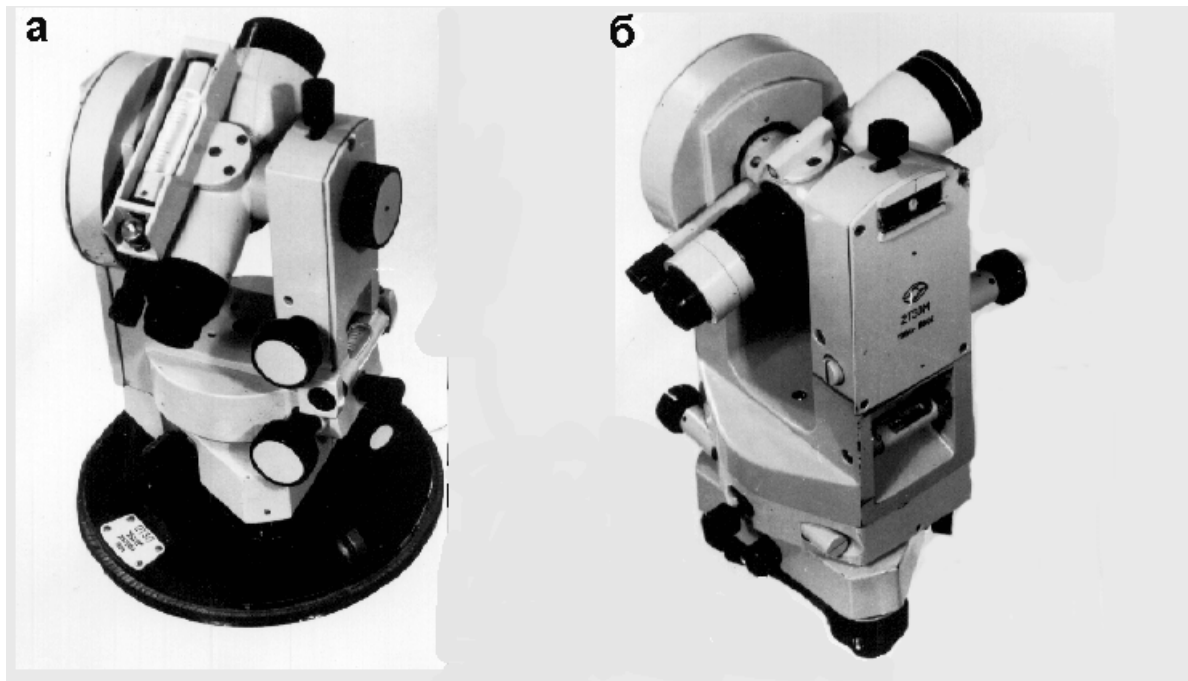


Рис. 9.3. Теодоліти модифікацій 2Т30 (а) та 2Т30М (б)

У приладі змінена конструкція вертикальної осі, використовується спеціальний повторювальний пристрій у вигляді засувки, зйомка підставка і реверсивний рівень біля аліади горизонтального круга. На кронштейнах візирів нанесені центри для центрування теодоліта за нитковим виском під точкою. Сітка ниток зорової труби містить додаткову шкалу для вимірювання малих кутів. Для підсвічування відлікової системи теодоліт має електроосвітлювач. Модифікація 2Т30МП має компенсатор біля вертикального круга і зорову трубу прямого зображення.

9.2. Перевірки теодолітів серії Т30

Як зрозуміло з попереднього параграфа, теодоліт побудований за визначеною геометричною схемою, а отже, повинен відповідати певним вимогам із взаємного розташування осей, окремих частин і елементів. Тому виконуються необхідні операції з контролю дотримання геометричних умов. Комплекс таких операцій називається перевірками теодоліта. У відповідності з "Інструкцією на методи і засоби перевірки теодолітів в експлуатації" [12] повинні виконуватися операції, наведені у табл. 9.2.

1. *Перевірку зовнішнього стану і комплектності теодоліта* проводять візуальним оглядом. Теодоліт повинен відповідати таким основним вимогам:
 - а) комплектність приладу повинна відповідати паспортним даним, вимогам ГОСТ 10529-86 і технічній нормативній документації;
 - б) прилад і футляр не повинні мати механічних пошкоджень, слідів корозії та інших дефектів, які ускладнять роботу з ним;
 - в) теодоліт повинен мати якісну оптичну систему: чисті поля зору зорової труби і відлікового мікроскопа.

Таблиця 9.2

Перелік перевірок теодолітів серії Т30

№ пор.	Операції перевірок
1	Перевірка зовнішнього стану і комплектності
2	Перевірка працездатності теодоліта
3	Перевірка циліндричного рівня
4	Перевірка правильності встановлення сітки ниток зорової труби
5	Перевірка положення колімаційної площини
6	Перевірка положення горизонтальної осі теодоліта
7	Перевірка місця нуля вертикального круга
8	Визначення ексцентриситету вертикального круга
9	Перевірка зсуву візирної осі при перефокусуванні
10	Визначення середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтального і вертикального кутів

2. *Перевірку працездатності теодоліта* виконують випробуванням, звертаючи увагу на:
 - а) працездатність замків, які фіксують прилад у футлярі;
 - б) плавність і легкість обертання рухомих частин; працездатність затискних, навідних гвинтів; зручність розташування шкал і рівнів; стійкість штатива і підставки легким постукуванням по штативу і спостереженням за ціллю.

Виводять навідні гвинти лімба, алідади та вертикального круга у середнє положення.

Відповідно до принципів вимірювання горизонтального кута конструкція теодоліта повинна відповідати таким геометричним умовам:

- а) вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта;
- б) візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі теодоліта;
- в) горизонтальна вісь теодоліта повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта;
- г) вертикальний штрих сітки ниток повинен бути перпендикулярним до осі обертання труби.

Якщо геометричні умови не відповідають наведеним, виконують певні виправлення, які носять назву *юстування*.

3. *Перевірка циліндричного рівня.* Вертикальну вісь обертання теодоліта приводять при кутових вимірюваннях у прямовисне положення за допомогою циліндричного рівня біля алідади горизонтального круга, вісь якого повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі теодоліта.

Якщо ця умова виконується, то після приведення бульбашки рівня в нуль-пункт і повороту алідадної частини на 180° навколо вертикальної осі, вісь рівня збереже горизонтальне положення, тобто бульбашка рівня залишиться в нуль-пункті.

Якщо вісь рівня утворює з вертикальною віссю кут β , що відрізняється від 90° , то після приведення бульбашки рівня на середину вертикальна вісь виявиться нахиленою на кут δ . На цей самий кут виявиться відхиленою вісь рівня від свого перпендикулярного до вертикальної осі положення.

З вищесказаного випливає спосіб виконання цієї перевірки. Виконують попереднє горизонтування теодоліта. Тоді обертанням алідадної частини теодоліта розміщують циліндричний рівень за напрямком двох підймальних гвинтів підставки і приводять бульбашку рівня за допомогою підймальних гвинтів на середину.

Повертають теодоліт на 180° на око або можна брати відліки за горизонтальним кругом при першому і другому положеннях алідадної частини теодоліта. Визначають, на скільки поділок змістилася бульбашка рівня з середини. Виправними гвинтами рівня зміщують бульбашку рівня у протилежний бік на половину поділок відхилення, а другу половину виправляють підймальними гвинтами підставки.

Юстування рівня повторюють до тих пір, поки зміщення бульбашки рівня з нуль-пункту після повороту алідади на 180° не буде перевищувати 0,5 поділки шкали.

Виконання наступних перевірок і кутові вимірювання виконують при прямовисному положенні вертикальної осі теодоліта за виправленим циліндричним рівнем.

4. *Перевірка правильності встановлення сітки ниток труби.* Виконують після приведення осі обертання теодоліта у прямовисне положення.

Для зручності візування і з метою контролю правильності встановлення візирних знаків (віх, рейок, і т.п.) необхідно, щоб вертикальний штрих сітки ниток був вертикальним, а горизонтальний штрих – горизонтальним.

Для перевірки цієї умови наводять зорову трубу на добре видиму точку.

Якщо при обертанні зорової труби навколо горизонтальної осі зображення точки, переміщуючись вздовж вертикального штриха, буде знаходитися посередині між штрихами бісектора, то сітка ниток встановлена вірно.

Другим способом ця перевірка виконується так. Наводять зорову трубу на нитку виска, при цьому вертикальна нитка сітки повинна збігтись із зображенням нитки виска.

Однак, якщо точка зміщується з бісектора більше, ніж одна третя його величини або вертикальна нитка сітки не збігається з виском, то встановлення

сітки треба від'юстувати. Для цього необхідно відгвинтити і зняти ковпачок, що закриває юстувальні гвинти сітки. Гвинти трохи відпускають і повертають сітку на необхідний кут. Закріплюють закріпні гвинти і повторюють перевірку.

У результаті виконання цієї перевірки вертикальний штрих сітки ниток буде знаходитися у колімаційній площині зорової труби, а горизонтальний буде перпендикулярний до осі обертання теодоліта.

5. *Перевірка положення колімаційної площини.* Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби.

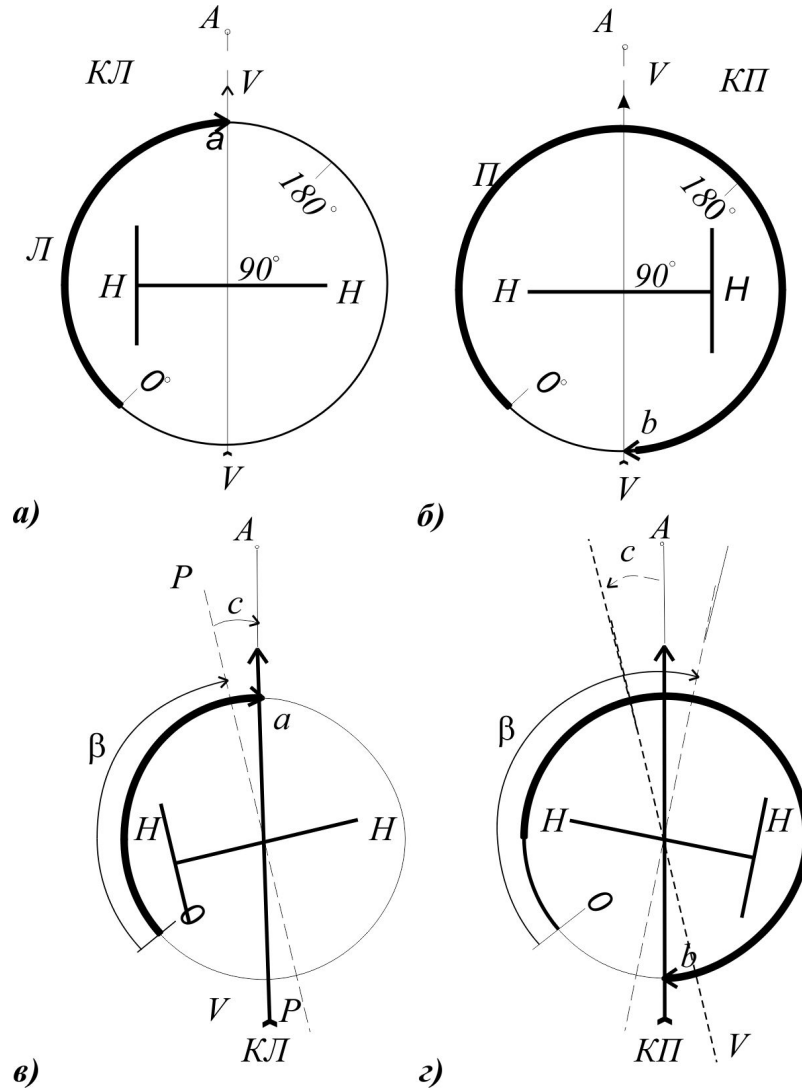


Рис. 9.4. Визначення колімаційної похибки

При візуванні на віддалену точку A , розміщену приблизно на висоті горизонту приладу, відлік по горизонтальному колу при KL буде дорівнювати L . Переводять трубу через зеніт, повертають алідаду на 180° і візують знову на точку A при $KП$.

Другому положенню труби відповідає відлік $П$, який дорівнює $П = L + 180^\circ$, звідки

$$L - (П \pm 180) = 0.$$

Якщо умова перевірки не виконується, то візирна вісь при положеннях KL та $KП$ і обертанні на 360° буде описувати не площину, а дві конічні

поверхні. Кут c між напрямком, перпендикулярним до осі обертання труби і фактичним положенням візирної осі називається *колімаційною похибкою*.

Відлік β , що відповідає перпендикулярному положенню візирної осі, визначається співвідношенням:

$$L = \beta - c. \quad (9.5)$$

Після переводу зорової труби через зеніт і повороту алідади на 180° вісь IV не співпадає з напрямком на точку A (рис. 9.4, z). Кут β може бути знайдений з виразу:

$$\beta = \Pi - 180^\circ + c. \quad (9.6)$$

З різниці кутів β при KL і $K\Pi$ отримаємо:

$$L - (\Pi \pm 180^\circ) = 2c. \quad (9.7)$$

Отже, при наявності колімаційної похибки c різниця відліків при різних положеннях круга не буде дорівнювати нулеві.

Такий спосіб визначення колімаційної похибки за відліками горизонтального круга називають кутовим.

Якщо подвійна колімаційна похибка не перевищує подвійну точність відліку, то юстування не потрібне. Для її виправлення навідним гвинтом алідади встановлюють середній з двох відліків. При цьому візирна вісь повернеться на кут c і перехрестя сітки ниток зійде з точки A . Тоді виправними гвинтами сітки ниток суміщають її перехрестя з точкою.

Оскільки теодоліти серії Т30 мають невисоку точність відлікового мікроскопа, то можна застосувати лінійний спосіб визначення колімаційної похибки.

Встановлюють теодоліт на рівних віддальх (20м) у створі між точкою візування P і лінійкою з поділками, приводять вертикальну вісь теодоліта у прямовисне положення за виправленим циліндричним рівнем. При KL наводять зорову трубу на точку P , розміщену приблизно на горизонті приладу. Переводять трубу через зеніт і на протилежній стороні виконують відлік на міліметровій лінійці b_1 , який відповідає подвійній колімаційній похибці відносно лінії $V_{KL}V_{KL}$.

Виконують аналогічні операції при візуванні на точку P при $K\Pi$, отримують відлік b_2 . Значення колімаційної похибки у кутовій мірі отримують з виразу:

$$c = \frac{b_1 - b_2}{2d} \rho'', \quad (9.8)$$

де d – віддаль від теодоліта до лінійки у мм; $\rho'' = 206265''$.

Для виправлення колімаційної похибки обчислюють відлік

$$b = b_2 + \frac{b_1 - b_2}{2}, \quad (9.9)$$

на який необхідно змістити сітку ниток.

Для цього потрібно відкрити ковпачок і шпилькою перемістити оправу сітки ниток за допомогою бокових виправних гвинтів до суміщення

перехрестя сітки ниток з відліком b , попередньо легко відпустивши вертикальний виправний гвинт. Точне встановлення перпендикулярності осей VV і HH досягається у декілька прийомів.

Якщо рівняння (9.8) і (9.9) розв'язати відносно β , то отримаємо:

$$\beta = \frac{L + (H \pm 180^\circ)}{2}. \quad (9.10)$$

Середній відлік, отриманий при $KЛ$ і $KП$ під час візування на одну і ту саму точку, вільний від впливу колімаційної похибки. Тому при кутових вимірюваннях спостереження виконують при двох положеннях вертикального круга, щоб уникнути впливу колімаційної похибки на його результат.

6. *Перевірка горизонтальної осі теодоліта.* При прямовисному положенні вертикальної осі теодоліта горизонтальна вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта.

Цю перевірку виконують таким чином. Встановлюють теодоліт недалеко від стіни будинку ($d > 20\text{м}$) і приводять вертикальну вісь у прямовисне положення за допомогою циліндричного рівня. На стіні приблизно на висоті теодоліта закріплюють міліметрову лінійку. Вибирають на стіні точку P (рис. 9.5), розміщену під кутом нахилу $\nu > 20^\circ$. При $KЛ$ візують на вибрану точку і при закріпленому горизонтальному крузі проєктують її на лінійку. За допомогою вертикальної нитки беруть відлік a_1 за міліметровою лінійкою.

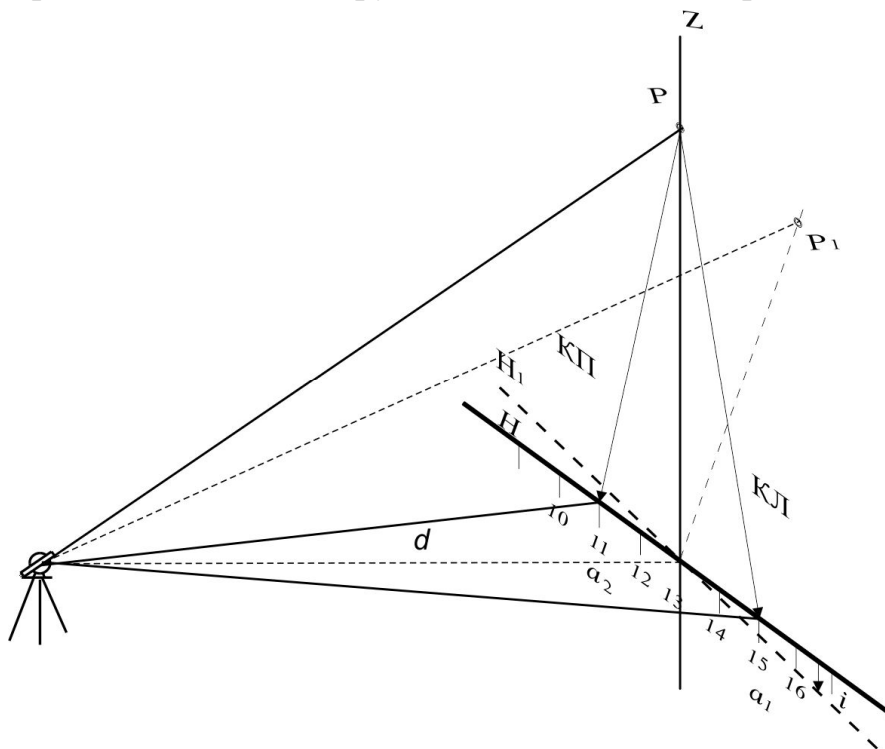


Рис. 9.5. Перевірка горизонтальності вісі обертання зорової труби

Такі ж дії виконують при $KП$ та отримують відлік a_2 .

Кут нахилу горизонтальної осі теодоліта обчислюють за формулою:

$$i = \frac{a_1 - a_2}{2d} \rho'' \operatorname{tg} \nu, \quad (9.11)$$

де d – віддаль від теодоліта до лінійки у мм; $\rho'' = 206265''$.

Допустиме значення кута не повинне перевищувати $10''$.

У сучасних теодолітах дотримання умови цієї перевірки гарантується заводом-виготовлювачем. Виправлення рекомендується виконувати у спеціальних майстернях. Однак така перевірка повинна бути обов'язково виконана.

Похибка нахилу горизонтальної осі теодоліта на відлік по лімбі горизонтального круга обчислюється за формулою:

$$v_i = i \operatorname{tg} v. \quad (9.12)$$

7. *Перевірка точності кріплення ниткового виска.* Центрування теодоліта, тобто суміщення центру лімба горизонтального круга з прямовисною лінією, яка проходить через геодезичну точку, під час кутових вимірювань технічної точності виконують за допомогою ниткового виска. Точка кріплення ниткового виска повинна лежати на вертикальній осі обертання приладу, тобто ZZ повинна співпадати з $Z'Z'$.

Після приведення вертикальної осі теодоліта у прямовисне положення визначають і фіксують тонкими нитками положення двох взаємно перпендикулярних колімаційних площин на 4-х кілках на відстані 2-3 м від теодоліта.

Тоді, прикріпивши нитковий висок на вилку біля станового гвинта штатива, перевіряють положення гострого конуса виска відносно точки перетину натягнутих ниток. Відхилення не повинне перевищувати 1-2 мм. При відхиленнях, які перевищують 1-2 мм, механічним способом змінюють положення точки підвісу ниткового виска.

8. *Перевірка місця нуля вертикального круга.* З принципу вимірювання кутів нахилу впливає вимога до місця нуля (MO) вертикального круга: місце нуля вертикального круга повинне бути постійним і близьким до нуля.

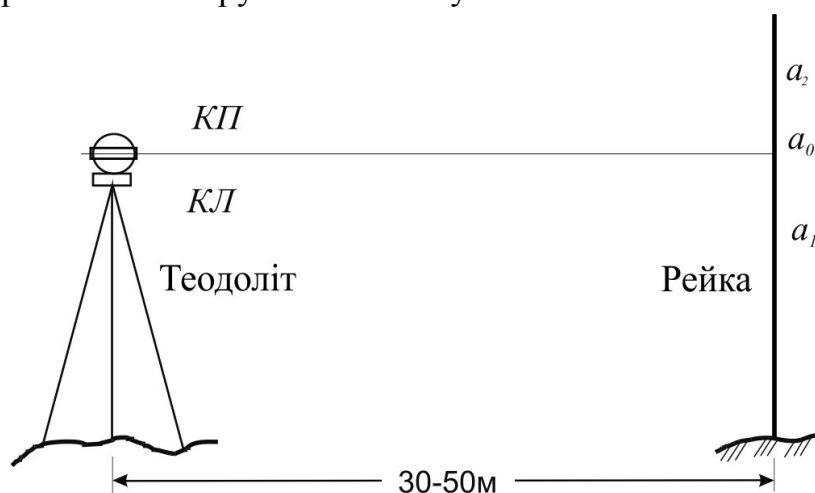


Рис. 9.6. Визначення MO вертикального круга теодоліта по рейці

Місцем нуля називається відлік за вертикальним кругом при горизонтальному положенні візирної осі труби і осі рівня. Постійність місця нуля є надійним критерієм якості вимірювання кутів нахилу.

Розрізняють два способи визначення MO вертикального круга: за відліками вертикального круга і за відліками по рейці.

Для технічних теодолітів серії Т30 рекомендується спосіб визначення MO за допомогою вертикальної рейки. Приводять теодоліт у робоче положення. Наводять зорову трубу теодоліта при KL на прямовисно встановлену нерухому рейку, розміщену на віддалі 30-50 м. Навідним гвинтом зорової труби встановлюють відлік за вертикальним кругом 0° , після попередньої установки бульбашки рівня на середину. Беруть відлік a_1 середньою ниткою сітки по рейці.

Переводять зорову трубу через зеніт і при $KП$ встановлюють відлік по вертикальному кругу, який дорівнює 180° , та беруть відлік по рейці a_2 . Обчислюють середній відлік:

$$a = 0,5(a_1 + a_2), \quad (9.13)$$

на який наводять при KL середній штрих сітки ниток. Переконавшись у тому, що бульбашка установочного рівня знаходиться на середині, виконують відлік за вертикальним кругом, який відповідає місцю нуля вертикального круга.

Для виправлення MO встановлюють відлік по лімба вертикального круга, що дорівнює 0° (при KL), при цьому середня нитка зміститься з відліку a . Виправними гвинтами сітки ниток зміщують середній штрих до відліку a .

Після виправлення перевірку повторюють. За результатами виконання цієї перевірки знову визначають колімаційну похибку.

Щоб переконатися у постійності MO , виконують визначення його за декількома точками. Отримані значення MO не повинні відрізнятися одне від одного більше, ніж на подвійну точність відлікового пристрою, що для теодолітів серії Т30 дорівнює $1'$.

9.3. Способи вимірювання горизонтального кута

Вимірювання кутів ведуть перевіреними і відюстованими теодолітами. При цьому на кожній станції необхідно привести теодоліт і візирні цілі на точках у робоче положення. Приведення теодоліта в робоче положення включає горизонтування і центрування приладу.

Центрувати – це значить сумістити центр горизонтального лімба з прямовисною лінією, яка проходить через вершину вимірюваного кута (рис. 9.7, а). Центрування виконують за допомогою ниткового виска або оптичного центриру. Утримуючи головку штатива приблизно в горизонтальному положенні, штатив з теодолітом переміщують так, щоб висок співпав з центром точки (геодезичного знака). Закріплюють ніжки штатива і горизонтують теодоліт. Якщо центр виска не співпадає з центром точки, то їх суміщують переміщенням теодоліта на головці штатива і виконують остаточне горизонтування. Коливання ниткового виска не повинні перевищувати 1-2 мм відносно центру точки.

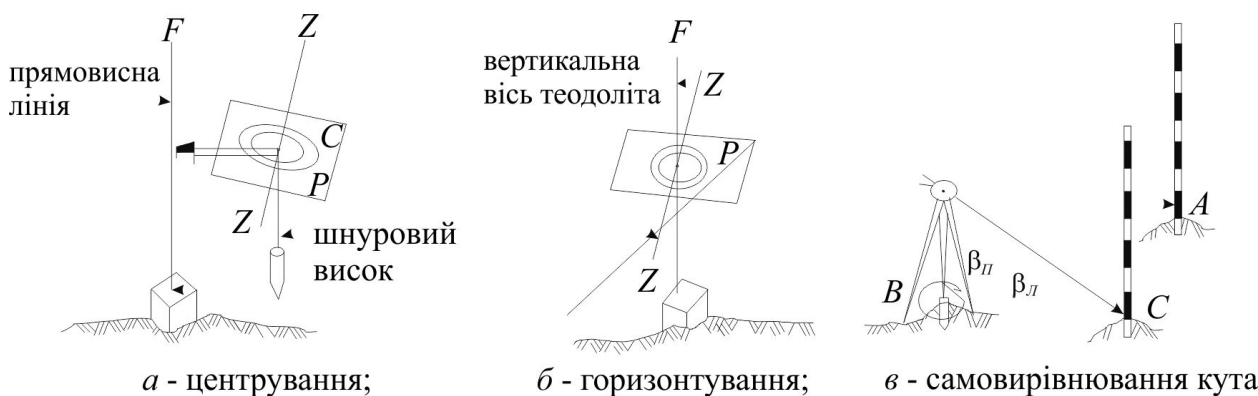


Рис. 9.7. Складові процесу вимірювання кута

Горизонтувати – це значить привести лімб горизонтального круга в горизонтальне положення або привести вісь обертання теодоліта у вертикальне положення (рис. 9.7, б). Горизонтування виконують підймальними гвинтами підставки теодоліта за допомогою циліндричного рівня аліади горизонтального круга. Для цього встановлюють вісь рівня за напрямком двох підймальних гвинтів і обертанням їх у різні сторони виводять бульбашку рівня в нуль-пункт. Повертають теодоліт на 90° і обертанням третього гвинта приводять бульбашку рівня на середину. Такі дії повторюють декілька разів аж поки при обертанні теодоліта бульбашка рівня буде залишатись в нуль-пункті.

При оптичному центруванні зорову трубу встановлюють так, щоб відлік по вертикальному кругу дорівнював 90° . У процесі центрування добиваються суміщення візирної осі з центром знака, коли площина лімба теодоліта горизонтальна.

Як візирні цілі переважно використовують вертикально утримувані віхи, які встановлюються на точках візування (рис. 9.7, в) А і С. Вимірюють ліві β_o і праві β_n за ходом горизонтальні кути.

Для спостереження візирних цілей необхідно підготувати зорову трубу теодоліта. Обертанням діоптрійного кільця окуляра добиваються чіткого зображення сітки ниток, а тоді обертанням фокусуєчого кільця І добиваються чіткого зображення візирної цілі.

Для виключення похибки через непрямолине положення віхи слід суміщати перехрестя сітки ниток з нижньою частиною віхи приблизно 0,3 м над поверхнею землі (рис. 9.7, в).

Вимірювання окремого кута *способом прийомів* виконують таким чином. Приводять теодоліт і візирні марки у робоче положення і, переконавшись у правильності цієї операції, починають вимірювання горизонтального кута. Для спрощення подальших обчислень при *KL* встановлюють відлік за горизонтальним кругом близький до 0° (звичайно на $5'-10'$ більше 0°). Звільняють закріпний гвинт лімба горизонтального круга і візують на початкову точку А. Суміщення перехрестя сітки ниток з візирною ціллю виконують тільки шляхом обертання навідного гвинта за годинниковою стрілкою (загвинчуванням). Виконують відлік за горизонтальним кругом On і записують його в журнал вимірювання кутів (табл. 9.3).

Далі аліаду горизонтального круга візують на кінцеву точку С,

виконують відлік O_k і записують його в журнал. Обчислюють значення виміряного кута з першого напівприйому при $KЛ$:

$$\beta_{kl} = (O_n - O_k)_{kl} \quad (9.14)$$

Таблиця 9.3

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Об'єкт: навчальний полігон

Видимість: добра

Дата: 15.06.2021 р.

Спостерігач: Іванчук А.

Теодоліт: 2Т30М № 00506

Обчислювач: Мельничук П.

Точка		Положення BK	Відлік за горизонтальним кругом			Кут з напівприйому			Різниця	Середнє значення кута		
стояння	візування		°	'	"	°	'	"		"	'	"
B	A	KЛ	0	00	30	102	55	54	-12	102	56	00
	C		102	56	24							
	A	KП	180	03	30	102	56	06				
	C		282	59	36							

Переводять зорову трубу теодоліта через zenit і виконують такі ж операції при $KП$, однак початковий відлік не встановлюють, а зміщають лімб на декілька мінут, щоб уникнути грубих помилок. Значення виміряного кута з другого напівприйому при $KП$ знаходять з виразу:

$$\beta_{kp} = (O_n - O_k)_{kp} \quad (9.15)$$

Різниця виміряних кутів при двох положеннях кругів ($KЛ$ і $KП$) не повинна перевищувати подвійної точності відлікового пристрою теодоліта:

$$\Delta\beta = |\beta_{kl} - \beta_{kp}| \leq 2t \quad (9.16)$$

При недотриманні цієї умови необхідно повторити усі попередні дії. Помилкові дані в журналі закреслюють і вказують причину їхнього анулювання. Не дозволяється при веденні записів користуватися gumкою або виправляти окремі відліки.

При дотриманні цієї умови обчислюють середнє значення вимірюваного горизонтального кута з одного прийому:

$$\beta = (\beta_{kl} + \beta_{kp}) / 2, \quad (9.17)$$

яке вільне від впливу колімаційної похибки, нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби та ексцентриситету алідади.

Спосіб повторень використовується під час вимірювання кутів технічними повторювальними теодолітами серії Т30.

Після приведення теодоліта в робочий стан при $KЛ$ скріплюють алідаду з лімбом так, щоб відлік за лімбом був близький до 0° і, відкріпивши лімб, візують на задню точку, відраховують і записують у журнал початковий відлік O_n . Алідаду при нерухомому лімбі наводять на передню точку C і беруть

контрольний відлік $O_{кон.}$, який також записується в журнал. Обчислюють контрольне значення вимірюваного кута:

$$\beta_k = O_{кон.} - O_n. \quad (9.18)$$

Продовжують вимірювати кут при KL необхідну кількість n разів, але відліки за горизонтальним кругом не виконують.

Залишаючи алідаду скріпленою з лімба, переводять трубу через zenit. Відкріпляють лімб і наводять зорову трубу на задню точку A , відлік не беруть. Відкріпляють алідаду і при нерухомому лімбі наводять трубу на передню точку C . Продовжують вимірювати кут при $KП$ n разів. Виконують відлік m_{η} і записують його в журнал.

У способі повторень виконують тільки три відліки за горизонтальним кругом. При обертанні алідади у процесі вимірювання відліковий штрих мікроскопа може k разів пройти через 0° лімба.

Значення k знаходять за наближеним значенням кута β_{η} :

$$k = \frac{2n\beta_{\eta} + m_{\eta} - m.}{360^\circ}. \quad (9.19)$$

Для обчислення вимірюваного кута з n повторень застосовують формулу:

$$\beta = \frac{k360^\circ + m_{\eta} - m.}{2n}, \quad (9.20)$$

в якій беруть участь тільки два відліки $m.$ (при KL) і m_{η} (при $KП$).

9.4. Вимірювання кутів нахилу

Принцип вимірювання кутів нахилу, які знаходяться у вертикальній площині, полягає у визначенні кута між горизонтальною лінією і напрямком на точку візування.

У відюстованому теодоліті для вертикального круга має бути дотримана така умова: *при суміщенні нуля лімба зі штрихом відлікового мікроскопа візирна вісь труби повинна займати горизонтальне положення* (рис. 9.8, а).

Відлік по вертикальному кругу при горизонтальному положенні візирної осі труби і осі рівня алідади горизонтального круга називається *місцем нуля* (MO) вертикального круга. Для рис. 9.8, а $MO = 0^\circ$, а для рис. 9.8, б $MO = 10^\circ$.

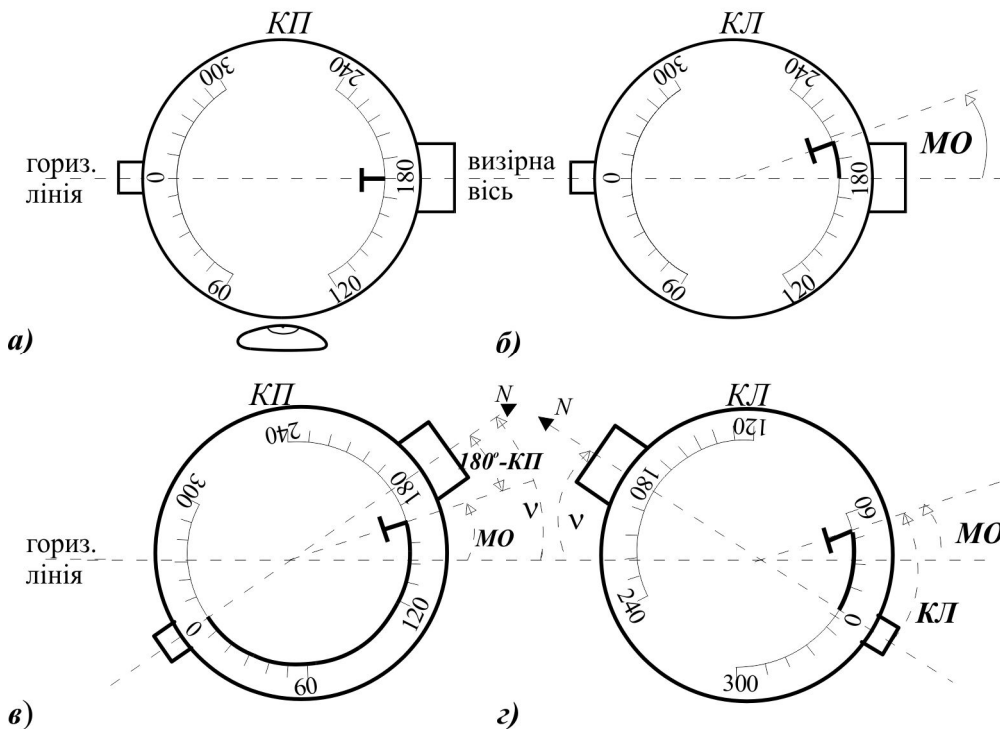


Рис. 9.8. Схема визначення кута нахилу за відліками вертикального круга

Вертикальний кут вимірюють двічі – при *КЛ* і *КП*, виконуючи візування і відліки по вертикальному кругу.

При вимірюванні кутів нахилу приводять теодоліт у робочий стан і вимірюють висоту приладу *i* та висоту візування *v*. Звільняють закріпні гвинти лімба (алідади) і зорової труби, візують на точку *A*. Приводять на середину бульбашку установочного рівня обертанням підйомного гвинта підставки, за напрямком якого розміщений рівень, і підправляють візування навідним гвинтом зорової труби.

Точне суміщення горизонтального штриха сітки ниток із зображенням точки, за якою спостерігають, виконують обертанням за ходом годинникової стрілки (загвинчуванням) навідних гвинтів лімба (алідади) і зорової труби.

З огляду на рис. 9.8, *в*, *г* можна записати такі рівняння:

$$v = MO - КП \pm 180^\circ ,$$

та

$$v = КЛ - МО .$$

Розв'язавши ці рівняння відносно *v* і *МО* отримаємо:

$$МО = \frac{КЛ + КП \pm 180^\circ}{2} , \quad (9.21)$$

та

$$v = \frac{КЛ - КП \pm 180^\circ}{2} . \quad (9.22)$$

Таке вимірювання кута нахилу називають вимірюванням повним прийомом за однією (середньою) ниткою. При візуванні на ціль за допомогою

трьох штрихів (верхній, середній та нижній штрихи сітки ниток) спосіб називають повним прийомом трьох ниток.

9.5. Джерела похибок кутових вимірювань

На точність вимірювання горизонтальних кутів впливають похибки:

- центрування – неточне положення теодоліта над центром знаку;
- редукації – неточне положення візорних марок над центрами точок теодолітного ходу;
- приладу;
- власне вимірювання кута через похибки візування, відліку і особистої похибки спостерігача;
- впливу зовнішніх умов та інші.

Допустима кутова нев'язка у теодолітному ході визначається з виразу:

$$f_{\beta} = 1'\sqrt{n}, \quad (9.23)$$

де n – кількість виміряних кутів. У формулі (9.23) подвійна середня квадратична похибка прийнята рівною одній хвилині. Точність вимірювання кута теодолітом Т30 в одному прийомі характеризується середньою квадратичною похибкою $m_{\beta} = 30''$.

Виходячи з принципу рівного впливу на точність кожного з джерел похибок:

$$m'_{\beta} = \frac{30''}{\sqrt{k}}, \quad (9.24)$$

де k – кількість джерел похибок. Тоді отримаємо при $k = 6$: $m'_{\beta} = 12''$.

У витягнутому теодолітному ході з приблизно рівними сторонами $S=100$ м необхідно центрувати теодоліт з похибкою:

$$e = \frac{m'_{\beta} S}{\rho'' \sqrt{2}}. \quad (9.25)$$

Підставляючи значення m'_{β} і S у формулу (9.25), отримаємо $e \approx 4$ мм, що забезпечує нитковий висок.

Візорні знаки повинні бути центровані з похибкою:

$$e_1 = \frac{m'_{\beta} S}{\rho''}. \quad (9.26)$$

Підставляючи значення m'_{β} і S у формулу (9.26), отримаємо $e_1 \approx 8$ мм, тобто при візуванні на точки A і C слід наводити на низ віхи, щоб виключити вплив її нахилу.

Середня квадратична похибка власне вимірювання горизонтального кута у способі прийомів, яка залежить від похибок візування $m_{\%}$ і відраховування $m_{\%}$, може бути отримана після диференціювання формули:

$$\beta = 0.5 \left[(O_k - O_n)_{KL} + (O_k - O_n)_{KP} \right], \quad (9.27)$$

яку можна отримати з формули (9.18).

Відліки за лімбом O_k і O_n є незалежними один від одного, тоді, спираючись на формулу (9.24), можна визначити середню квадратичну похибку кута β за формулою:

$$m_{\beta}^2 = 0.25(4m^2),$$

або

$$m_{\beta} = m,$$

де m – середня квадратична похибка вимірювання напрямку, яка дорівнює:

$$m = \sqrt{m_{\%}^2 + m_s^2}.$$

Тоді середня квадратична похибка кута, виміряного одним прийомом, складе:

$$m_{\beta} = \sqrt{m_{\%}^2 + m_s^2}. \quad (9.28)$$

При вимірюванні кута n прийомами похибка середнього значення буде

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{m_{\%}^2}{n} + \frac{m_s^2}{n}}. \quad (9.29)$$

Приклад. Горизонтальний кут виміряний одним прийомом теодоліта 2ТЗ0П, для якого $m_s = 15''$, $m_{\%} = 3''$. Визначити середню квадратичну похибку виміряного кута.

За формулою (9.29) отримаємо $m_{\beta} = 15,3''$.

Середня квадратична похибка власне вимірювання горизонтального кута у способі повторень може бути знайдена після диференціювання формули (9.20) з урахуванням того, що кінцевий відлік містить у собі похибки $4n$ візувань, де n – кількість повторень вимірювання кута.

Переходячи до середніх квадратичних похибок, отримаємо загальну похибку вимірювання кута n повтореннями:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{m_s^2}{2n^2} + \frac{m_{\%}^2}{n}}. \quad (9.30)$$

Приклад. Горизонтальний кут виміряний одним повторенням теодолітом 2ТЗ0П, для якого $m_s = 15''$, $m_{\%} = 3''$. Визначити похибку кута.

Підставляючи значення похибок відліку і візування у формулу (9.30) отримаємо: $m_{\beta} = 8.1''$.

Середня квадратична похибка вимірюваного вертикального кута одним прийомом дорівнює:

$$m_v = \frac{\sqrt{m_{\text{кл}}^2 + m_{\text{кп}}^2}}{2}.$$

Оскільки при кожному напівприйомі виконується тільки одне візування і береться один відлік, то

$$m_{\text{кл}} = m_{\text{кп}} = \sqrt{m_{\text{в}}^2 + m_{\text{о}}^2}.$$

Тоді

$$m_v = \sqrt{\frac{m_B^2 + m_0^2}{2}}. \quad (9.31)$$

При вимірюванні вертикального кута n прийомами середня квадратична похибка може бути знайдена з виразу:

$$m_v = \sqrt{\frac{m_B^2 + m_0^2}{2n}}. \quad (9.32)$$

Приклад. Вертикальний кут виміряний одним прийомом теодолітом 2Т30П, для якого $m_{\beta} = 15''$, $m_{\alpha} = 3''$. Визначити середню квадратичну похибку власне вимірювання кута нахилу.

Підставляючи значення похибок у формулу (9.32), отримаємо: $m_v = 10,8''$.

Середню квадратичну похибку горизонтального кута для конкретного технічного теодоліта визначають зі спеціального дослідження. Для цього вимірюють горизонтальний кут у межах $90^\circ - 30^\circ$, сторони якого мають вертикальні кути, які відрізняються один від одного не менше, ніж на 20° . Вимірювання виконують 12-ма прийомами з перестановкою лімба через $15'$ у кожній з 4-х серій.

Значення середньої квадратичної похибки обчислюють за формулою:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}, \quad (9.33)$$

де v – відхилення кожного результату вимірювань горизонтального кута від його середнього значення у серії;

n – кількість прийомів.

Теодоліти серії Т30 (2Т30, 2Т30П, 2Т30П) повинні забезпечувати середню квадратичну похибку вимірювання горизонтального кута, яка не перевищує $30''$, кута нахилу – $45''$.

9.6. Бусольне знімання

9.6.1. Будова та перевірки бусолі

Бусоль – кутомірний прилад, призначений для вимірювання азимутів, румбів а також горизонтальних кутів.

Залежно від конструктивних особливостей є різні типи бусолей. Розглянемо будову бусолі, вимірювання нею азимутів і румбів на прикладі бусолі Стефана БС – 2 (лісова бусоль). Бусоль БС-2 показана на рис. 9.9, назва її основних вузлів і їх призначення наведена в табл. 9.4.

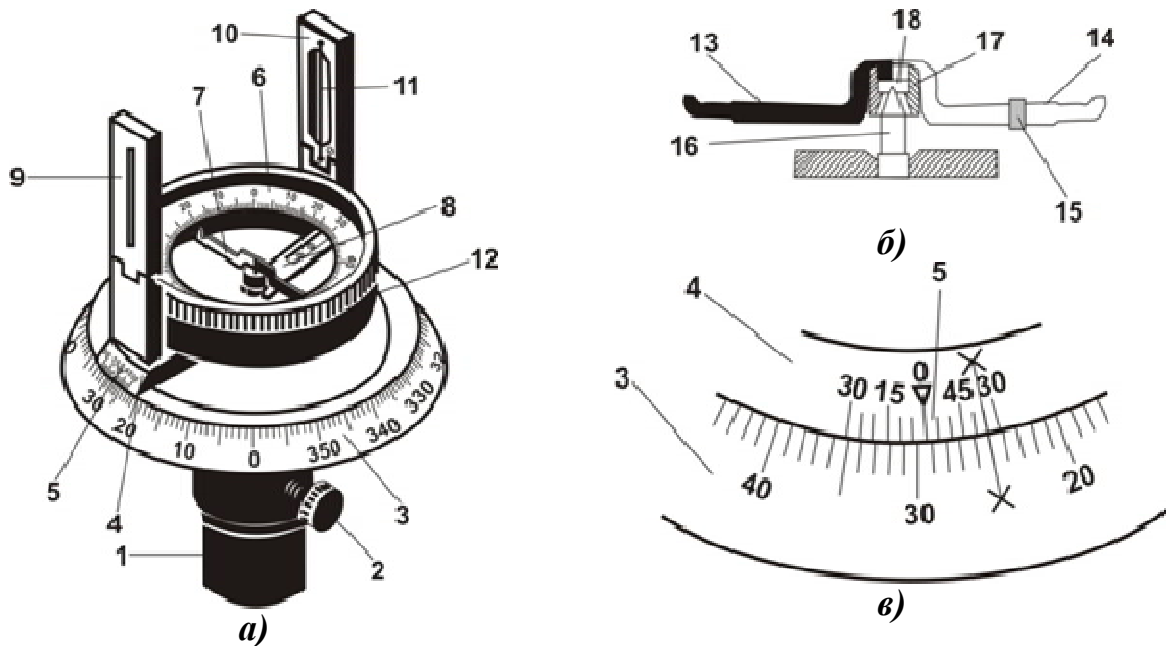


Рис. 9.9. Бусоль БС-2:
а) загальний вигляд; б) магнітна стрілка; в) відліковий пристрій.

Таблиця 9.4

Основні вузли і призначення бусолі БС-2

№	Назва вузла	Призначення вузла	
1.	Становий гвинт	з'єднує прилад зі штативом	
2.	Закріплюючий гвинт	для закріплення бусолі в певному горизонтальному положенні	
3.	Лімб	кільце на якому нанесені градусні поділки	для зняття відліків
4.	Алідада	обертається навколо лімба, має два штриха які розміщені з протилежних кінців	
5.	Верньєр	для уточнення відліків	
6.	Румбічне кільце	для вимірювання румбів	
7.	Магнітна стрілка	для орієнтування бусолі відповідно сторін світу.	
8.	Аретир	для фіксування магнітної стрілки	
9.	Очний діоптр	для спостереження предмету (напрямку)	орієнтування напрямку
10.	Предметний діоптр	наведення на предмет (напрямок)	
11.	Нитка предмет. діоптра	точності наведення на предмет (напрямок)	
12.	Коробка бусолі	для захисту магнітної стрілки	
13.	Північний кінець магнітної стрілки	вказує північний напрям	
14.	Південний кінець магнітної стрілки	вказує південний напрям	
15.	Баланс, муфта	для врівноваження магнітної стрілки	
16.	Гострий шпиль	для підтримання магнітної стрілки	
17.	Втулка	для посадки магнітної стрілки на шпиль	
18.	Відшліфований агат	для вільного обертання магнітної стрілки	

Зняття відліків з бусолі БС-2. Для зняття відліків з бусолі є відліковий пристрій (в), рис. 9.9. Відліковий пристрій це поділки лімба (3) і поділки верньєра алідади (5), рис. 9.9. Відлік відраховується відносно нульового штриха верньєра. На лімбі нанесені градусні поділки, ціна найменшої поділки лімба складає 1° , на верньєрі виносений 1° , тобто $60'$ – ціна найменшої поділки верньєра складає $5'$, рис. 9.10. Спочатку зчитуються з лімба градуси, потім мінути з верньєра алідади.

Якщо нульовий штрих верньєра алідади чітко співпадає зі штрихом лімба, то відлік буде складатися тільки з цілих градусів без мінут, рис. 9.10.

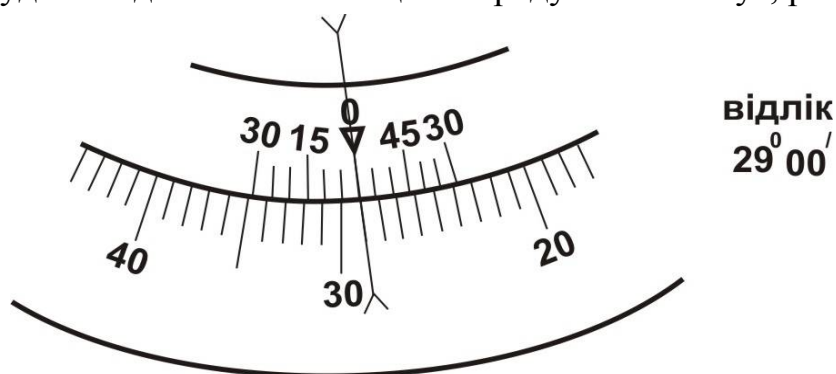


Рис. 9.10. Відліковий пристрій бусолі БС-2

Якщо нульовий штрих верньєра алідади не співпадає зі штрихом лімба, то відлік крім градусів, буде мати ще й міноти. В цьому випадку, градус «на око» ділиться на половину, і в залежності від того чи буде до 30' (рис. 9.11), чи більше 30' (рис. 9.12) міноти зчитуються з лівої або з правої сторони верньєра. Для зняття мінот дивляться де співпадає найперша поділка верньєра з поділкою лімба. У випадку до 30' мінот зчитування проходить з лівої сторони верньєра в напрямку від 0' до 30' (рис. 9.11). У випадку більше 30' міноти зчитуються з правої сторони верньєра в напрямку від 30' до 0' тобто 60' (рис. 9.12).

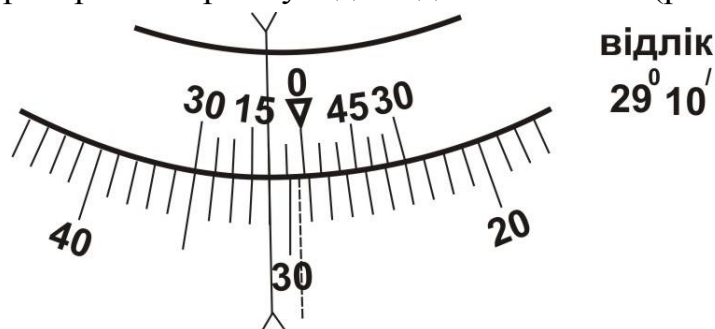


Рис. 9.11. Відлік, якщо міноти складають менше ніж 30'

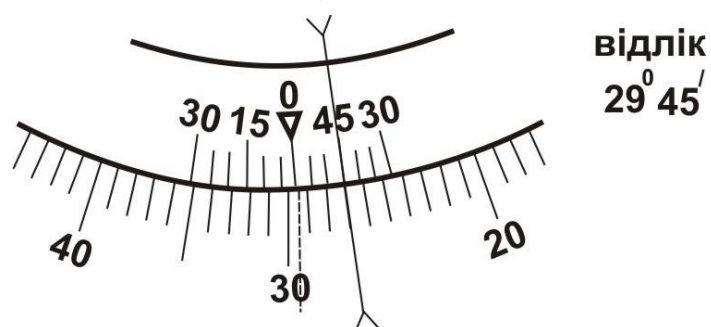


Рис. 9.12. Відлік, якщо міноти складають більше ніж 30'

У випадку коли відлік буде складати рівно 30', то крайні поділки верньєра повинні співпадати з поділками лімба, рис. 9.13.

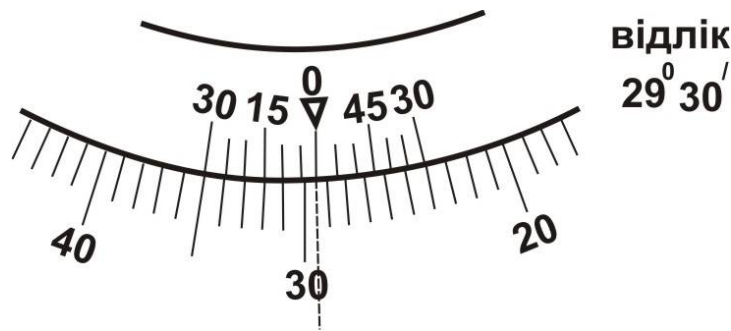


Рис. 9.13. Відлік, якщо мінути складають рівно 30'

Перевірки бусолі. Перед проведенням вимірів слід виконати перевірки бусолі. Прилад повинен відповідати певним вимогам, якщо не виконується та чи інша умова, слід провести виправлення, а перевірку провести повторно. В табл. 9.5. наведені основні перевірки бусолі, методика їх проведення та виправлення.

Таблиця 9.5

Перевірки бусолі

Вимога	Перевірка	Виправлення
1	2	3
<i>Магнітна стрілка повинна бути врівноваженою</i>	Для виконання перевірки бусоль встановлюють на горизонтальну поверхню і відпускають магнітну стрілку. Якщо при цьому кінці магнітної стрілки розташувалися на однаковому рівні відносно площини ромбічної шкали – умова виконана.	Якщо стрілка має певний нахил відносно горизонтальної площини, то виправлення здійснюється з допомогою муфточки переміщенням в потрібному напрямку до врівноваження стрілки.
<i>Магнітна стрілка повинна бути достатньо чутливою</i>	Для перевірки встановлюють бусоль в робоче положення і беруть відлік відносно з одного кінців стрілки. До магнітної стрілки наближають магніт (або інший предмет з магнітними властивостями) так, щоб стрілка відреагувала на наближення магніту. після припинення дії магніту та заспокоєння стрілки знову беруть відлік. Якщо початковий та кінцевий відліки співпали – умова виконана. Якщо відліки до і після випробування близькі чи навіть однакові, але стрілка після дії магніту заспокоювалась досить довго, то це означає, що стрілка недостатньо намагнічена. Якщо відліки не співпадають, але стрілка заспокоюється достатньо швидко, це вказує на те, що вістря шпиля затуплене або пошкоджене шліфування агат-каменя.	Намагнічення здійснюють одночасно двома магнітами – різними полюсами проводячи від центру стрілки до її країв кілька разів. Якщо вістря шпиля затуплене або пошкоджене то такий недолік усувають в майстерні.

1	2	3
<i>В корпусі бусолі не повинно бути намагнічених вузлів (крім стрілки та шпилья)</i>	Дану перевірку виконують при отриманні бусолі (після ремонту). Для перевірки необхідно зняти стрілку, викрутити шпиль і закріпити його в отворі дерев'яної дощечки та встановити на нього стрілку. Після цього наблизити корпус бусолі до стрілки. Якщо стрілка нерухома – умова виконана.	Якщо умова не виконується необхідно виявити та замінити металеві елементи в корпусі бусолі.
<i>Площина діоптрів повинна бути перпендикулярна до площини градусної шкали бусолі та проходить через її нульовий діаметр</i>	Для перевірки площину коробки бусолі виставляють в горизонтальне положення і на відстані 20- від неї підвішують висок. Якщо при наведенні бусолі на висок та переміщенні ока вверх-вниз біля очного діоптра нитка виска та бусолі співпадають – умова виконана. Якщо нитка виска та бусолі перетинаються – неправильно встановлений предметний діоптр. Якщо співпадання ниток виявлено тільки при якомусь одному положенні ока біля очного діоптра – неправильно встановлений очний діоптр.	Виправлення здійснюють підкладанням тонких смужок паперу під відповідний край діоптра.

Бусольне знімання ділянки місцевості. Знімальні роботи починають із закріплення на місцевості бусольного ходу (полігона) кілками або дерев'яними кілками. Бусоллю вимірюють прямі та зворотні магнітні азимути або румби, а мірною стрічкою довжини всіх сторін полігона. Виконують також знімання ситуації. Внаслідок виконання бусольного знімання виконавець складає схему, на якій показує станції, їхні номери, назви румбів ліній та їх величини.

Виконують вимірювання азимутів ліній бусольного ходу і записують результати виконання в табл. 9.6. Для вимірювання напрямків бусоль центрують за допомогою виска над кожною вершиною полігону, якщо бусоль встановлена на моноподі, то монопод встановлюють над вершиною полігона. Бусоль встановлюють горизонтально, відпускають магнітну стрілку і проводять вимірювання. Для контролю слід виміряти прямі і зворотні азимути чи румби. *Наводимо порядок виконання робіт при вимірюванні магнітного азимута напрямку (лінії):*

1. Встановити бусоль на кілку (штативі) в точці 1;
2. Відпустити магнітну стрілку (з допомогою аретира);
3. Перевірити горизонтальність площини градусної шкали (штатив, на якому закріплена бусоль, повинен бути встановлений вертикально, а кінці стрілки – на однаковій вертикальній відстані від площини шкали);
4. Повернути алідаду бусолі до суміщення нульових поділок лімба та алідади зі сторони очного діоптра;
5. Відпустити затискний гвинт втулки;
6. Повернути корпус (лімб) бусолі так, щоб нульова поділка лімба була розташована у південному напрямку, а кінці магнітної стрілки вказували на нульові поділки румбічної шкали в коробці бусолі;
7. Закріпити затискний гвинт втулки;
8. Повернути алідаду бусолі і виконати візування на точку 2 (нитка предметного діоптра повинна бути суміщена з точкою чи вертикальною віссю віхи);
9. Зняти відлік з лімба зі сторони очного діоптра за допомогою шкали верньєра.
10. Записати результат вимірювання азимута лінії 1-2 (відлік) в журнал, табл. 9.6.

Журнал вимірювання азимутів бусоллю

Точка встановлення бусолі	Точка візування	Напрямок	Значення азимута (відлік)	Примітка
1	2	ПнС	15°20'	
2	1	ПдЗ	95°20'	
2	3	ПдС	156°38'	
3	2	ПнЗ	336°38'	

Залежність між магнітними азимутами та горизонтальними кутами бусольного ходу. Знаючи залежність між магнітними азимутами та горизонтальними кутами бусольного ходу, можна обчислити магнітні азимут усіх ліній ходу, якщо відомий магнітний азимут хоча б одної лінії.

Визначення румбів сторін бусольного ходу. Між магнітними азимутами і румбами сторін є певна залежність, яку подано в табл. 9.7 і на рис. 9.14.

Таблиця 9.7

Обчислення румбів залежно від величини азимутів

Величина азимута	Залежність між азимутом і румбом	Чверть	Назва румба
$0^\circ \leq A \leq 90^\circ$	$r = A$	I	ПнС
$90^\circ \leq A \leq 180^\circ$	$r = 180^\circ - A$	II	ПдС
$180^\circ \leq A \leq 270^\circ$	$r = A - 180^\circ$	III	ПдЗ
$270^\circ \leq A \leq 360^\circ$	$r = 360^\circ - A$	IV	ПнЗ

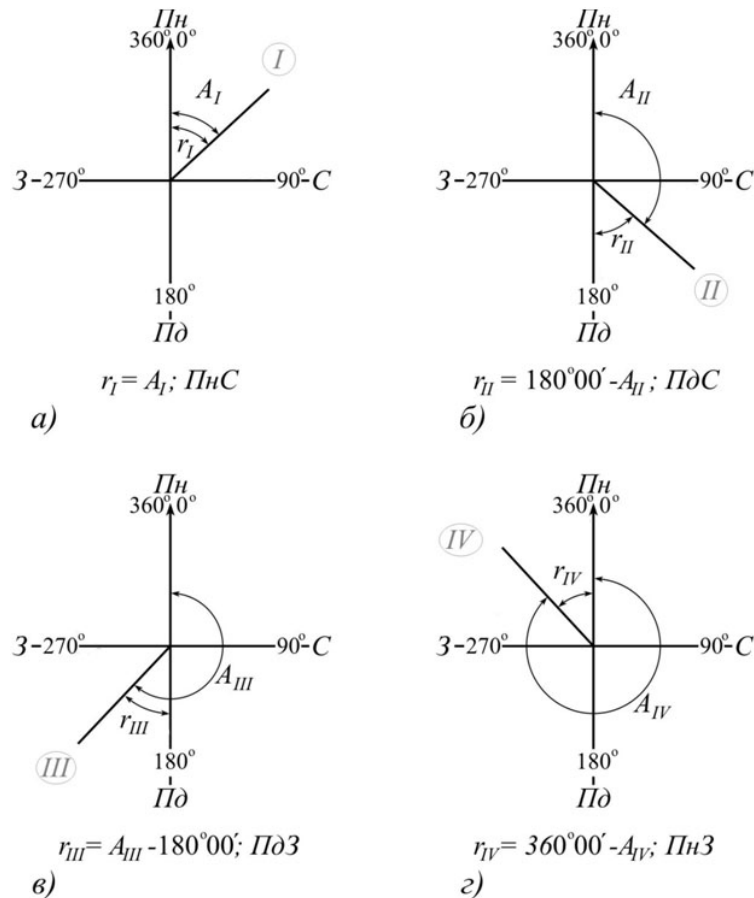


Рис. 9.14. Схема залежності між азимутами і румбами:

а – азимут знаходиться в I чверті; б – азимут знаходиться в II чверті;
в – азимут знаходиться в III чверті; г – азимут знаходиться в IV чверті

9.6.2. Методика здійснення бусольного знімання

При вирішенні ряду питань лісового господарства, ландшафтної екології, раціонального використання природних ресурсів, промислового забруднення середовища промисловими відходами і транспортом, експертній оцінці промислових і інших об'єктів, виникає потреба знімання меж різних земельних ділянок. Для цього часто використовується бусольне знімання. Точність такого знімання є невисокою порівняно з іншими видами знімань, але водночас є менш трудовитратним.

Для цього інструмент (бусоль) встановлюють послідовно у кожній точці ділянки вимірюючи румби чи азимути ліній. Доцільніше вимірювати внутрішні кути вимірявши при цьому азимут однієї сторони (як правило першої). Довжини ліній вимірюють мірною стрічкою а кути їх нахилу екліметром. Процес знімання складається з таких основних етапів:

1. *Рекогностування ділянки* – передбачає обхід та огляд ділянки і намічання точок стояння приладу при зніманні. Кожна з таких точок закріплюється з допомогою кілка та сторожка, на щогі якого підписують номер точки (рис. 9.15).

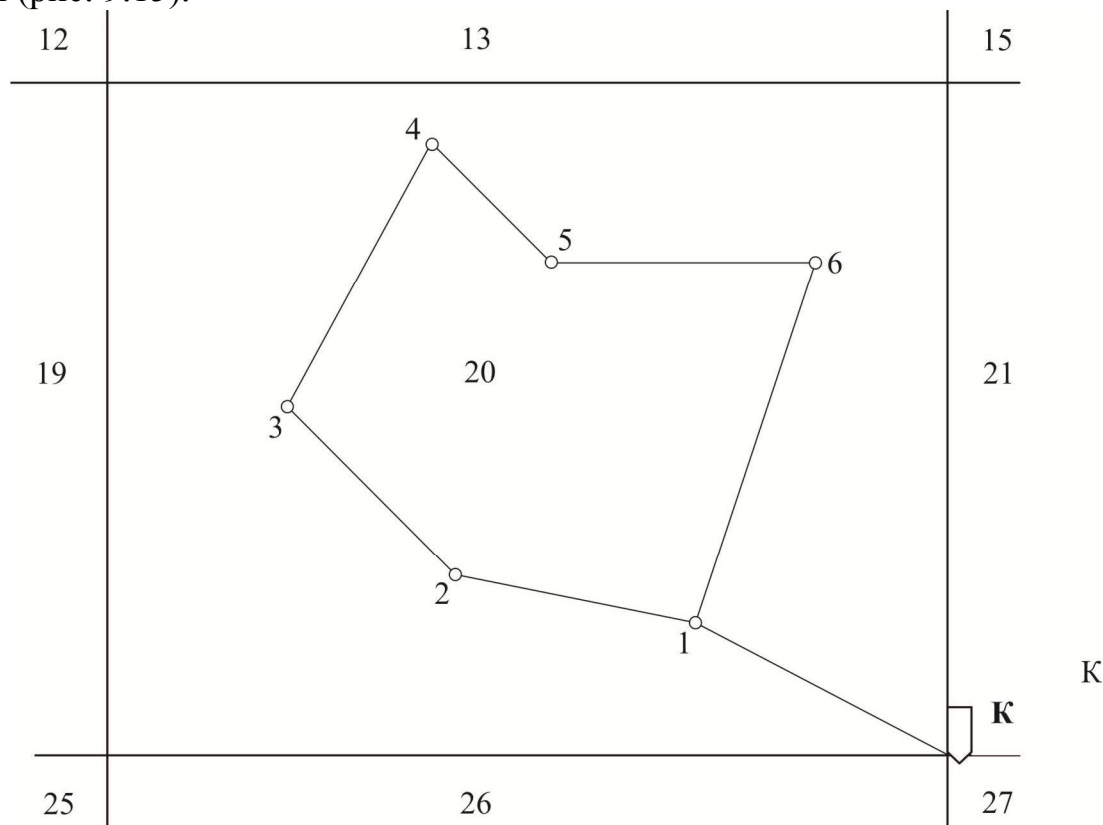


Рис. 9.15. Схема прив'язки земельної ділянки

2. *Прив'язка точки*. Для визначення розташування т.1 в лісовому кварталі потрібно здійснити її прив'язування до характерно виражених орієнтирів. У лісовому масиві такими орієнтирами можуть виступати квартальні стовпи, перехрестя доріг і квартальних просік і ін. Для цього від точки прив'язки К у напрямку до т.1 прокладають прив'язочний бусольний хід ($K-1$). Бусоль встановлюють і центрують над точкою К і, спрямувавши діоптри на віху, встановлену в т.1 при умові її видимості, вимірюють прямий

румб лінії ($K - 1$). Мірники з допомогою мірної стрічки двічі вимірюють довжину лінії ($K - 1$) у прямому і зворотному напрямках. Якщо ж т. 1 з т. K не видно, то прив'язочний хід буде складатися з декількох ліній.

3. *Знімання ділянки.* Бусоль переносять в т. 1, встановлюють її і приводять в робоче положення (центрують та нівелюють), спочатку вимірюють зворотний румб на точку K . Розходження між прямим і зворотним румбами не повинно перевищувати подвійної точності взяття відліку $\pm 180^\circ$. Після цього діоптри бусолі спрямовують на віху в т. 2. і вимірюють прямий румб лінії 1-2. Мірною стрічкою двічі вимірюють довжину лінії, а з допомогою екліметра – кут нахилу з точністю до $0,5^\circ$. Значення всіх вимірів записують до журналу бусольного знімання. Якщо кут нахилу ліній менший ніж 4° , то його не враховують. Бусоль переносять в т. 2 і вимірюють зворотний румб на т. 1, прямий румб на т. 3, двічі довжину лінії 2-3 і кут її нахилу. Бусоль переносять в т. 3. і т. д. У кінці знімання повторно встановлюють бусоль в т. 1, щоб виміряти зворотний румб на т. 6. Одночасно із зніманням ведуть *абрис* (схематичну замальовку ситуації, яка знімається на місцевості), на якому показують точки і лінії навколишньої межі, елементи внутрішньої ситуації, окремі виміри при зніманні ситуації різними способами.

Слід зауважити, що замість румбів у замкненому полігоні можна вимірювати внутрішні горизонтальні кути, що значно зменшує трудовитрати знімання, але при цьому обов'язково потрібно виміряти азимут однієї із сторін (як правило першої).

Після проведення всіх вимірів опрацьовують журнал бусольного знімання, за результатами якого складають план ділянки за румбами ліній і довжинами їх горизонтальних прокладень у заданому масштабі.

Під час здійснення розрахунків під час бусольного знімання потрібно виконати такі розрахунки і побудови:

- обчислення в журналі бусольного знімання;
- складання контуру плану ділянки місцевості в масштабі 1:1000 за значеннями румбів та довжин ліній;
- виміряти величину абсолютної лінійної нев'язки, обчислити та оцінити величину відносної нев'язки в ході бусольного знімання;
- виконати врівноваження положень точок бусольного ходу способом паралельних ліній;
- оформити план згідно з вимогами.

У журналі бусольного знімання визначають:

Значення магнітних азимутів сторін бусольного ходу. Знаючи внутрішні праві за ходом кути, для обчислення значень магнітних азимутів сторін бусольного ходу використовуємо формулу:

$$A_{i-(i+1)} = A_{(i-1)-i} + 180^\circ - \beta_i, \quad (9.34)$$

де: $i, i+1, i-1$ – номери точок ходу; $A_{i-(i+1)}$ – азимут сторони ходу між точками з номерами i та $i+1$; $A_{(i-1)-i}$ – азимут сторони ходу між точками з номерами $i-1$ та i ; β_i – кут, виміряний у точці з номером i .

Отже, азимут наступної сторони ходу дорівнює азимуту попередньої

Визначення румбів сторін бусольного ходу. Між азимутами і румбами сторін є певна залежність, яку подано в табл. 9.7 і на рис. 9.14.

Обчислимо величину румба лінії 1-2 для прикладу варіанту розрахунку. Величина азимута лінії 1-2 рівна: $300^{\circ}06'$. Наведений азимут лежить у IV чверті, отже румб для цього напрямку лінії обчислюємо за формулою:

$$r_{1-2} = 360^{\circ}00' - A = 360^{\circ}00' - 300^{\circ}06' = 59^{\circ}54'$$

Назва румба буде – північний захід. Кінцевий запис буде мати вигляд: ПнЗ: $59^{\circ}54'$. Обчислені румби сторін бусольного ходу заносимо в журнал бусольного знімання у відповідні графи (табл. 9.8).

Складання плану бусольного знімання. За результатами бусольного знімання і опрацювання журналу бусольного знімання за значеннями румбів ліній і довжин їхніх горизонтальних прокладень складають план ділянки у масштабі 1:1000.

Для побудови плану потрібно мати транспортер, циркуль-вимірник, поперечний масштаб та лінійку.

Дуже важливим при цьому є вдалий вибір положення першої точки полігону з таким розрахунком, щоб увесь план у прийнятому масштабі розмістився в центрі одного аркуша. Через вибрану т. 1 проводять вертикальну лінію магнітного меридіана. Далі від нього за допомогою транспортера відкладають значення румба лінії 1-2. На отриманому напрямі за масштабом плану, користуючись поперечним масштабом і циркулем-вимірником, від т.1 відкладають довжину горизонтальної проекції лінії 1-2 і таким чином знаходять точку 2'. Через точку 2' знову проводять меридіан, відкладають від нього румб лінії 2-3 і довжину горизонтального прокладення в масштабі плану, таким чином знаходять точку 3'. Після цього, аналогічно, за даними журналу бусольного знімання, знаходять точки 4', 5' і т.д.

Лінійна нев'язка. У замкненому полігоні кінець останньої лінії 6' – 1' теоретично повинен вийти на точку 1. Але практично внаслідок похибок, допущених у польових вимірюваннях під час вимірювання румбів (кутів) та довжин ліній, а також під час графічної побудови плану на папері, цей кінець лінії, зазвичай, виходить не у точку 1, а в якусь точку 1' (рис. 9.16).

Величину відрізка 1-1', виражену за масштабом плану у метрах, називають абсолютною **лінійною нев'язкою (похибкою)**. Проте точність виконаної роботи оцінюють за **відносною нев'язкою ($f_{від}$)**, яка дорівнює відношенню абсолютної похибки ($f_{абс.}$) до всього периметра полігону (P), тобто:

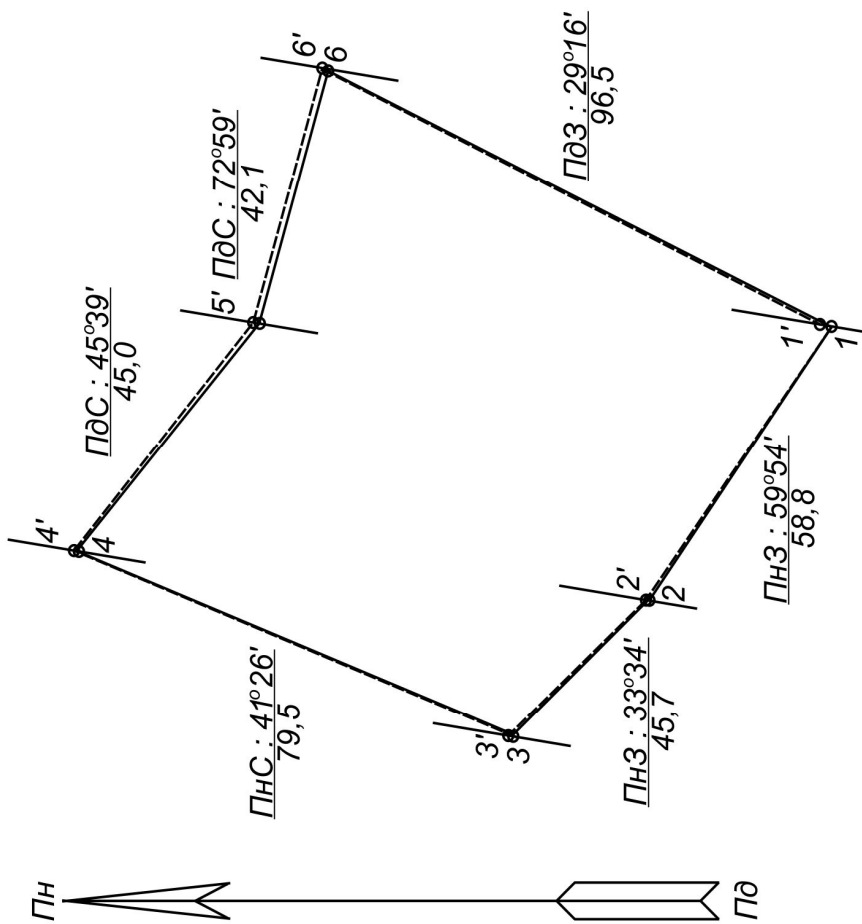
$$f_{від} = f_{абс.} / P \quad (9.35)$$

Допустима відносна нев'язка не повинна бути більшою ніж 1/200 (1 м на 200 м периметра). Якщо фактична похибка, отримана під час побудови плану, менша від допустимої, її розподіляють пропорційно довжинам ліній графічним способом.

Графічний спосіб розподілу допустимої похибки. Для визначення величини зміщення точок під час врівноваження полігону проводять довільну лінію, на якій послідовно відкладають довжини всіх сторін полігону у зменшеному масштабі (1:5000) порівняно з масштабом плану.

ПЛАН ЗА РУМБАМИ

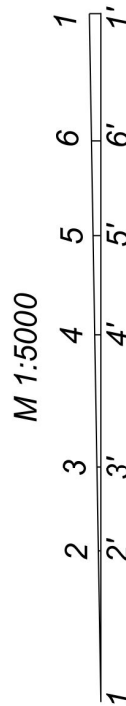
М 1:1000



Журнал бусольного знімання

№ точки	Вимірні кути		Азимути		Румби		Горизонтальні проекції ліній, м	
	°	'	°	'	назва	°		'
1	89	10	300	06	ПнЗ:	59	54	58,8
2	153	40	326	26	ПнЗ:	33	34	45,7
3	105	00	41	26	ПнС:	41	26	79,5
4	87	05	134	21	ПДС:	45	39	45,0
5	207	20	107	01	ПДС:	72	59	42,1
6	77	45	209	16	ПДС:	29	16	96,5
1								

$$f_{\text{абс.}} = 1,8 \text{ м}; \quad f_{\text{від.}} = \frac{f_{\text{абс.}}}{P} = \frac{1,8}{367,6} = \frac{1}{204} < \frac{1}{200}$$



2020-2021 навч. рік

Виконав: ст. гр. ЛГ-12/2 Іванюк В.В.

Рис. 9.16. План за румбами

На кінці останньої лінії будують перпендикуляр, на якому вимірювачем відкладають абсолютну нев'язку (1-1'), взяту безпосередньо з плану. Добуту точку на перпендикулярі (1) з'єднують з першою (вихідною) точкою, утворюючи трикутник поправок. Далі з кінців кожної лінії будують перпендикуляри до перетину їх з гіпотенузою цього трикутника. Величини цих перпендикулярів і будуть поправками на кожну точку.

На плані з'єднують прямою лінією точки абсолютної похибки (1-1') і через кожну вершину ділянки проводять прямі паралельні напрямку цієї похибки. На цих прямих за допомогою циркуля-вимірника відкладають відповідні поправки з трикутника поправок у напрямку, протилежному похибці (1-1'). Нові точки сполучають між собою і дістають врівноважений полігон (рис. 9.16).

Оформлення плану бусольного знімання. План викреслюють на аркуші паперу формату А-4. Масштаб побудови плану 1:1000, масштаб побудови трикутника поправок 1:5000. Під час складання планів оформлення слід виконувати згідно державних вимог оформлення топографічних планів і карт.

Для оформлення елементів плану треба врахувати наступне:

1. Всі точки бусольного ходу, нанесені на плані, мають бути зображені у вигляді уколу голки циркуля, навколо якого проведене коло діаметром 1,5 мм.

2. Попередні (неврівноважені) положення точок, їхні номери та сторони бусольного ходу зображають червоним кольором, кінцеві (врівноважені) – чорним.

3. Під час викреслювання сторін ходу між відповідними точками, але тільки до кола, проведеного навколо кожної з точок, товщина ліній сторін ходу 0,3 мм.

4. Паралельні лінії для відкладання поправок зображають синім кольором (або, як виняток – олівцем), товщина – 0,1 ÷ 0,2 мм.

5. Номери точок, а також назви та значення румбів і довжин сторін ходу записують курсивом, висота шрифту великих букв – 3 мм, малих букв – 2 мм.

6. На відстані 5 мм від країв аркуша креслярського паперу, на якому побудовано план, провести рамку суцільною тонкою 0,3 мм лінією.

7. У верхньому лівому кутку рамки, відступивши від її верхньої та лівої ліній по 10 мм, записують у два рядки (відстань між рядками – 5 мм) скорочені назви університету (*ДВНЗ*) та інституту (*чи факультету*). Тип шрифту для п. 7-10 – курсив (похилий), висота великих букв та цифр – 5 мм, малих букв – 3,5 мм.

8. У нижньому лівому кутку рамки, відступивши від її нижньої та лівої ліній по 10 мм, записують навчальний рік, в якому виконано роботу (*20__-20__ навч.рік*).

9. У верхньому правому кутку рамки, відступивши від її верхньої та правої ліній по 10 мм, записують назву дисципліни (*Геодезія*). У цьому випадку слово геодезія рекомендують написати у зворотній послідовності запису букв починаючи від вказаної межі (спочатку записують букву "я", потім "і", потім перед нею "з" і т.д.).

10. У нижньому правому кутку рамки, відступивши від її нижньої та правої ліній 10 мм, записують групу та прізвище автора роботи: *"виконав ст. гр.*

ЛГ-12/1 Іванюк В.В." так, щоб остання буква розташувалась на відстані 10 мм від правої лінії рамки.

11. Місце розташування заголовку (**ПЛАН ЗА РУМБАМИ**) посередині аркуша на рівні назви навчального закладу. Тип шрифту – курсив, великі букви висотою 7 мм.

12. Значення масштабів плану та трикутника поправок записують прямим жирним (потовщеним) шрифтом. Висота цифр – 5 мм.

13. Таблицю польового журналу викреслюють з правого боку аркуша, а саму побудову плану з лівого боку. Таблицю заповнюють курсивом з висотою цифр та букв 3 мм.

14. Обчислення азимутів сторін записують на зворотньому боці аркуша плану і заповнюють схеми визначення румбів. Тип шрифту – курсив, букви і цифри висотою 3 мм.

Приклад оформлення плану за румбами наведено на рис. 9.16.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 9

1. За якими ознаками проводиться класифікація теодолітів?
2. Які перевірки теодолітів ви знаєте?
3. Яка умова має бути виконана в теодоліті для вимірювання вертикального кута?
4. Назвіть способи вимірювання горизонтальних кутів.
5. Які помилки впливають на точність вимірювання горизонтальних кутів?
6. Приклади розрахунків азимутів наступних ліній за відомими показниками попередніх ліній.
7. Принципи графічного способу розподілу допустимої похибки.
8. Що таке трикутник поправок?

ТЕМА 10. ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ

- 10.1. Мірні стрічки і рулетки.
- 10.2. Вимірювання довжин ліній стрічками.
- 10.3. Приведення до горизонту довжини похилої лінії.
- 10.4. Джерела похибок лінійних вимірювань.
- 10.5. Оптичні віддалеміри.
- 10.6. Електрооптичні способи вимірювання віддалей.

10.1. Мірні стрічки і рулетки

Для вимірювань віддалей між точками місцевості застосовують спеціальні лінійні мірні прилади. Залежно від методу вимірювань застосовують підвісні мірні прилади або мірні прилади, які вкладаються на землі. Через нерівності місцевості і перешкоди, що зустрічаються на ній, вимірювання на землі дають менш точні результати, ніж вимірювання підвісними приладами.

Підвісними мірними приладами є сталеві та інварні дроти. Це інварний сплав, що містить 64 % заліза і 36 % нікелю і має малий коефіцієнт теплового лінійного розширення. Застосовують мірні дроти довжиною 24 м. Підвісні мірні прилади застосовують для високоточних вимірювань у триангуляційних мережах. Ними можна вимірювати віддалі з відносними похибками від 1:5 000 до 1:1 000 000. В інженерних цілях, при побудові знімальної основи, коли потрібна менша точність, вимірювання віддалей виконують сталевими *мірними стрічками та рулетками*.

Мірна стрічка - це сталева смужка довжиною 20 метрів (рідко 24 метри), шириною 15-20 мм і товщиною 0,4-0,6 мм. За конструкцією розрізняють *штрихові та шкалові мірні стрічки*.

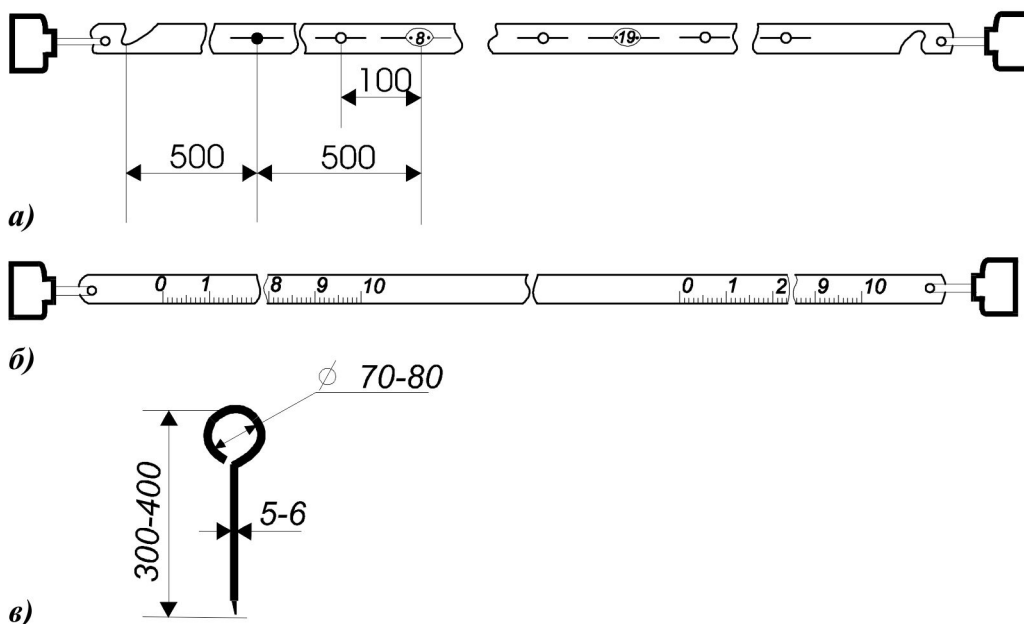


Рис. 10.1. Мірні стрічки

Штрихова стрічка має на кінцях стрічки штрихи, віддалі між якими приймається за довжину стрічки. Штрихи на стрічці поміщаються навпроти заокруглень спеціальних вирізів, у які вставляються шпильки для фіксування

положення стрічки у процесі вимірювань рис. 10.1, а. Штрихова стрічка розділена на метри, які відмічені мідними пластинками з вибитими на них порядковими номерами метрів. Пластинки прикріплені до стрічки з обох сторін, відлік метрів на них ведеться назустріч один одному. Напівметрові поділки відмічені мідними бляшками, а дециметри – отворами діаметром 2 мм. Відрізки віддалей менше дециметра оцінюються за допомогою лінійки або на око з точністю до 1 см. Для транспортування і зберігання стрічку намотують на металеву оправу і закріплюють за допомогою гвинта. До стрічки додається комплект з 10 або 11 штук шпильок, діаметри їх дорівнюють ширині вирізу на кінцях стрічки (рис. 10.1, в).

Штрихова стрічка при сприятливих умовах забезпечує точність вимірювання віддалей 1:2000, при несприятливих – 1:1000 від вимірюної віддалі.

Шкалова стрічка являє собою суцільну смугу, на кінцях якої є шкали довжиною по 10 см з міліметровими поділками шкал (рис.10.1б). За довжину стрічки приймається віддаль між нульовими поділками шкал. За допомогою шкалової стрічки віддаль вимірюють з підвищеною точністю – від 1:5000 до 1:10000 віддалі.

При застосуванні шкалової стрічки лінія попередньо розмічається на відрізки, довжина яких з точністю до 10 см дорівнює номінальній довжині стрічки. Кінці відрізків фіксуються за допомогою штативів з ціликами. Відліки за шкалами беруться з точністю до десятих часток міліметра. Залишок лінії вимірюється сталеву рулеткою.

Рулетки призначені для вимірювання коротких віддалей під час інженерно-геодезичних, маркшейдерських, будівельних та інших робіт. Вони бувають сталеві, довжиною 10, 20, 30, 50 і 100 м, та тасьмові, довжиною 10 м. Сталева рулетка - це вузька стрічка з міліметровими і сантиметровими поділками, згорнута в рулон у футлярі; призначена для вимірювання невеликих відстаней. Найчастіше міліметрові поділки наносять для початкової частини – у межах 10 – 20 см. За точністю нанесення поділок шкал рулетки діляться на 3 класи.

10.2. Вимірювання довжин ліній стрічками

Вимірювання довжин ліній виконується шляхом послідовного укладання стрічки між точками, якими вона закріплена. Під час вимірювань стрічка повинна вкладатися у створі лінії. *Створом* лінії місцевості називається прямокутна площина, що проходить через кінцеві точки лінії.

Створ лінії позначається на місцевості за допомогою віх. *Віха* - це дерев'яна жердина довжиною 1,5-2 м, пофарбована через 20 см у червоний та білий колір. Кінець віхи загострений і має металевий наконечник для зручності установки віхи в ґрунт. Віхи встановлюються у кінцевих точках вимірюваної лінії. Якщо довжина лінії перевищує 100-200 м або нема взаємної видимості між кінцевими її точками через складність рельєфу місцевості, то у створі лінії виставляють додаткові віхи. Встановлення у створі вимірюваної лінії додаткових

віх називається *провішуванням лінії*.

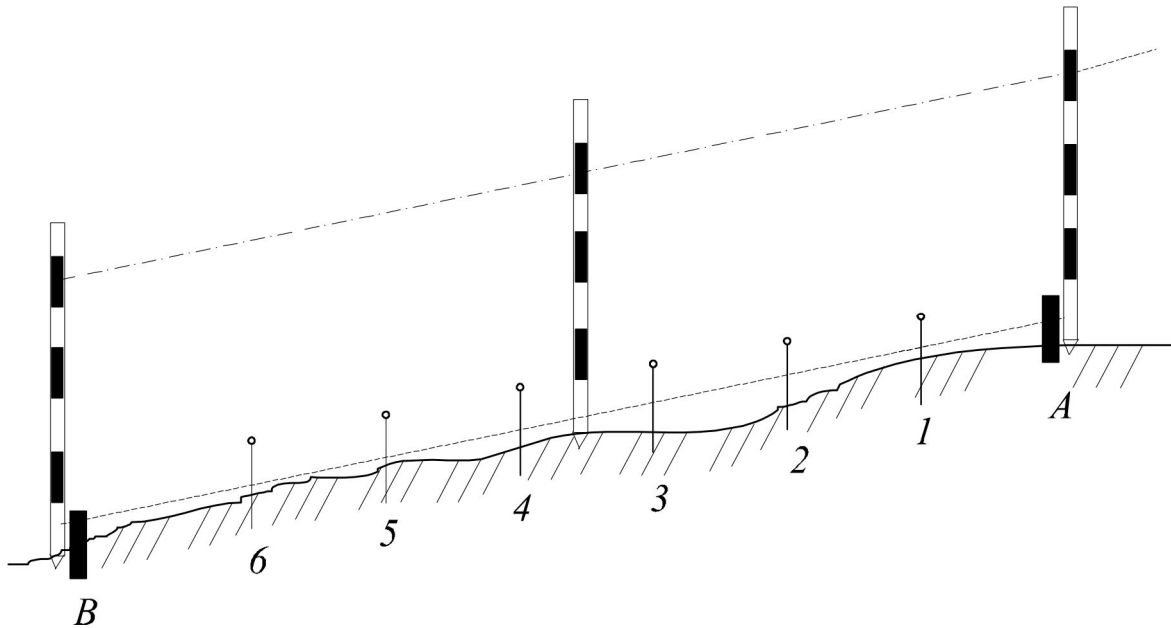


Рис. 10.2. Провішування лінії

Провішування лінії може виконуватися на око, за допомогою бінокля або теодоліта.

Якщо між кінцевими точками є взаємна видимість, то провішування виконується так: спостерігач стає за кінцевою точкою лінії (2 – 3 м від віхи) і дивиться вздовж створу лінії (рис. 10.2), щоб ближня віха закривала дальню. Його помічник за сигналами спостерігача встановлює у створі лінії проміжні віхи, починаючи з дальніх. Такий метод провішування є найбільш точним і називається способом *"на себе"*.

При застосуванні теодоліта для провішування прилад встановлюється на одній з точок лінії, а зорову трубу наводить на іншу точку, тобто на основу віхи, що встановлена на цій точці, і закріплюють у такому положенні лімб і аліададу приладу. Віхи встановлюються у створі лінії за вказівками спостерігача так, щоб на них проектувалась вертикальна нитка сітки труби теодоліта.

При складному рельєфі, коли між кінцевими точками нема взаємної видимості (рис. 10.3), біля створу лінії на око ставлять віху у точці M_1 і, провішуючи лінію AM_1 , встановлюють віху у точці N_1 . Тоді провішують лінію N_1B і переміщують віху з точки M_1 у точку M_2 . Далі знову провішують лінію M_2A і переміщують віху з точки N_1 у точку N_2 . Так діють доти, поки жодна з віх не може бути пересунута, в цей час обидві віхи і виявляються у створі лінії AB .

Провішування лінії, яка пересікає яр, виконують поперемінно з двох кінців (рис. 10.4). Спочатку з точки A спостерігач встановлює віху 1 і віху 2 , діючи за методом *"на себе"*, тоді з точки B – віху 3 , нарешті встановлює віху 4 у створі віх 3 і 1 .

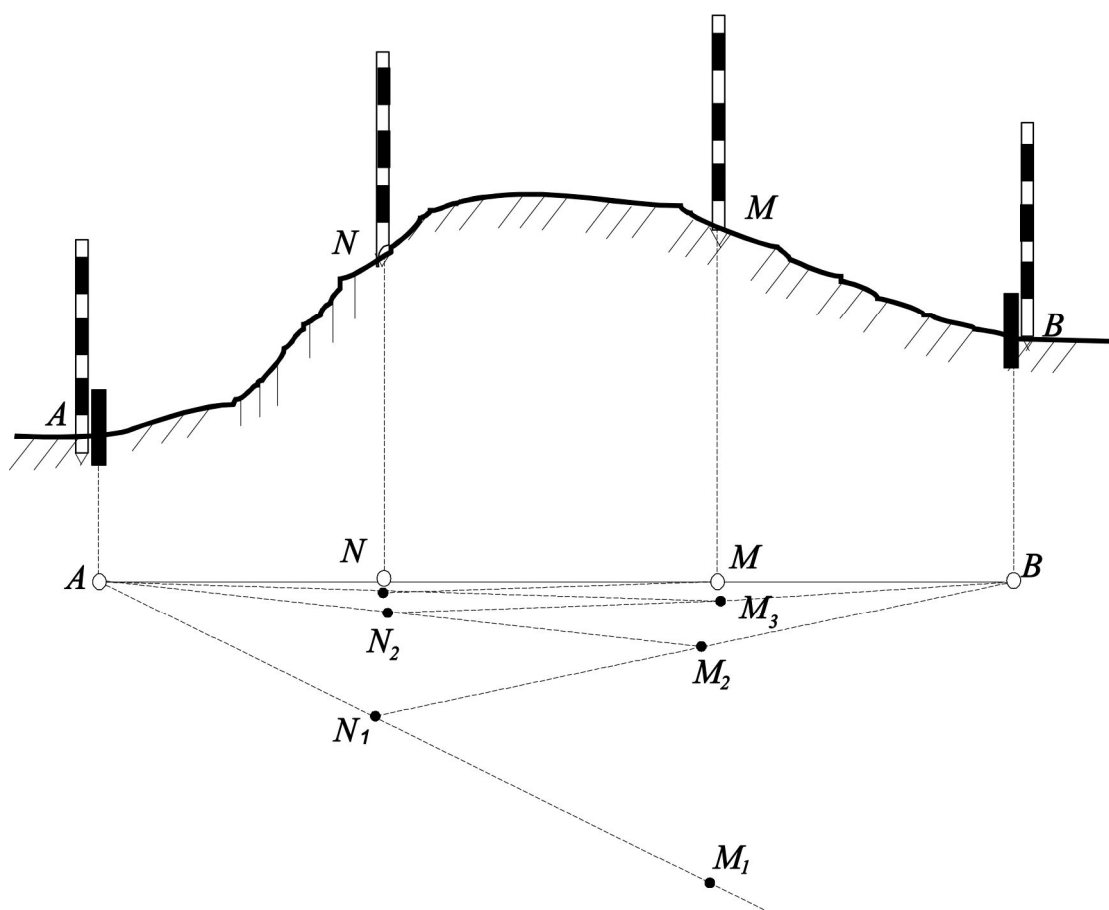


Рис. 10.3. Провішування лінії через пагорбок

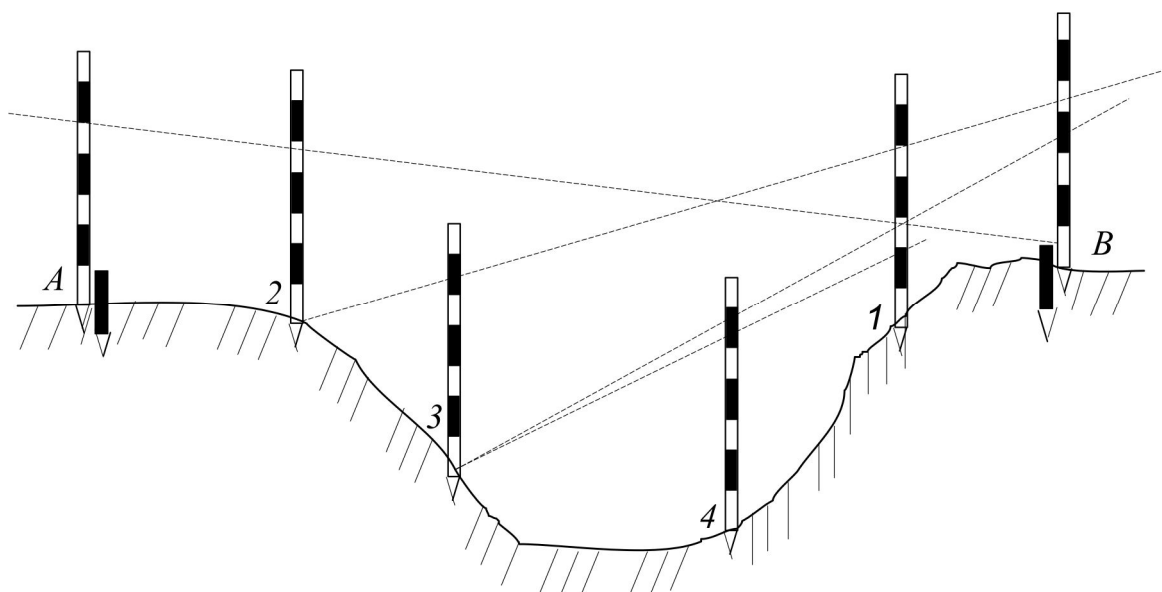


Рис. 10.4. Провішування лінії через яр

Вимірювання лінії виконують два вимірювачі – передній і задній. Стрічка розмотується з кільця вздовж вимірюваної лінії. Задній вимірювач, у якого є одна шпилька, прикладає початок стрічки до початкової точки A лінії, а передній вимірювач, маючи при собі комплект з 5 або 10 шпильок, протягує стрічку вздовж лінії.

Задній вимірювач за допомогою найближчої віхи виставляє переднього так, щоб його рука, яка тримає кінець стрічки, виявилась у створі лінії. Після

цього передній вимірювач струшує стрічку, добиваючись при цьому, щоб полотно стрічки знаходилась у створі лінії. Після натягування стрічки передній вимірювач закріплює її кінець шпилькою через отвір, зроблений у кінці стрічки, і подає сигнал задньому словом: "готова". Тоді передній вимірювач протягує стрічку вперед до того часу, поки задній не дасть сигнал "стій" і зачепить свій кінець стрічки за встановлену переднім вимірювачем шпильку.

Укладання стрічки на другому прольоті виконують аналогічним способом. При переході на третій проліт задній вимірювач витягає з землі шпильку і накидає її на своє кільце. Поступово у нього накопичуються шпильки – їхня кількість дорівнює кількості укладених стрічок.

У кінці лінії між останньою шпилькою і точкою B вимірюють залишок, тобто відрізок менший ніж довжина мірної стрічки. Для цього, зачепивши стрічку заднім гачком за останню шпильку, протягають її вперед за точку B і відраховують кількість метрів, дециметрів і сантиметрів, що міститься у залишку. При цьому слід переконатися у правильності відліку кількості метрів за стрічкою, щоб уникнути грубої похибки.

Якщо під час вимірювань закінчаться шпильки у переднього вимірювача, то задній передає йому шпильки, відновлюючи у нього початковий комплект і роблячи запис у журналі: "одна передача". По закінченні вимірювань рахують кількість шпильок n , які накопичились у заднього міряльника, причому останню, закріплену у землю шпильку, не рахують. Довжину лінії підраховують за формулою:

$$D = (pk + n)l_0 + r, \quad (10.1)$$

де p – кількість передач шпильок; k – кількість шпильок у комплекті; n – кількість шпильок у заднього вимірювача; l_0 – номінальна довжина стрічки; r – довжина залишку.

Для контролю лінію вимірюють два рази – у прямому та зворотному напрямках. Якщо розходження з подвійних вимірювань цієї лінії допустиме, то за кінцевий результат приймають середнє значення.

10.3. Приведення до горизонту довжини похилої лінії

На місцевості вимірюють лінії, розміщені під кутом нахилу ν до горизонту. Крім того, лінії можуть складатися з декількох відрізків, що мають різний нахил до горизонту (рис. 10.3 і 10.4). При зображенні ліній на планах і картах, а також для обчислення координат точок необхідно знати *горизонтальне прокладання* виміряної похилої довжини D . Фігуру ABB' на рис. 10.5 можна вважати прямокутним трикутником.

Тоді очевидно, що

$$d = D \cos \nu. \quad (10.2)$$

Величину d можна отримати, віднімаючи від похилої віддалі D поправку за нахил лінії ΔD_ν , тобто:

$$d = D - \Delta D_\nu, \quad (10.3)$$

де:

$$\Delta D_v = D - d = D - D \cos v = D(1 - \cos v) = 2D \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (10.4)$$

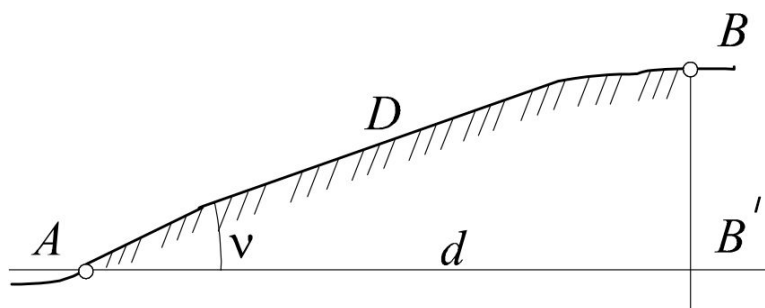


Рис. 10.5. Приведення похилої лінії до горизонту

Якщо кут нахилу v лінії місцевості менше 1° , то різниця між похилою довжиною D та її горизонтальним прокладенням настільки мала, що її можна не враховувати.

Під час вимірювання довжини лінії, що складається з ділянок, вимірюють довжини і кути нахилу окремих її частин, кожен з них приводять до горизонту і додаванням отримують горизонтальне прокладання шуканої лінії.

Кут нахилу лінії і окремих її ділянок визначають за допомогою вертикального круга теодоліта або спеціального приладу – *екліметра* (рис. 10.6).

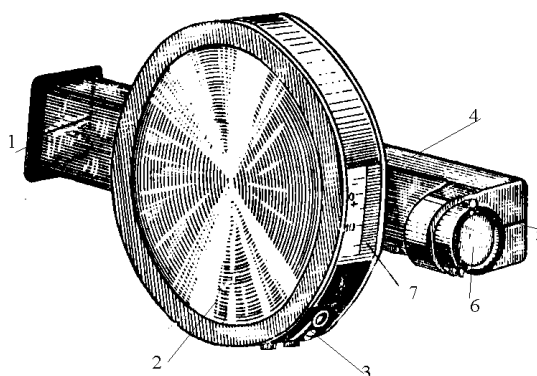


Рис. 10.6. Екліметр

В основу конструкції екліметра покладений принцип маятника. У корпусі 2 екліметра навколо горизонтальної осі обертається кільце, де нанесені градусні поділки 7 в обидві сторони від 0° до 60° . До кільця прикріплений тягарець, під дією якого нульовий діаметр шкали встановлюється горизонтально. Для візування до корпусу прикріплена трубка 4, що має на одному кінці очний діоптр 5, а на другому – металеву нитку 1, що є предметним діоптром. Поділки шкали розглядаються через лупу 6.

Вимірювання кута нахилу виконується так. Спостерігач з екліметром стає у точку A , а у точці B встановлюється віха, на якій на висоті ока спостерігача робиться відмітка. Через проріз очного діоптра спостерігач наводить нитку предметного діоптра на мітку віхи і звільняє тягарець маятника стопорною кнопкою 3 (рис. 10.6). Коли коливання кільця заспокоються, спостерігач стопорить

його і через лупу бере відлік за шкалою кільця. Для контролю кут нахилу визначають двічі, у прямому та зворотному напрямках, і з них беруть середнє значення.

Умовою правильної роботи екліметра є горизонтальність нульового діаметра зрівноваженого колеса приладу. Перевірка умови здійснюється вимірюванням кута нахилу однієї і тієї ж лінії у прямому і зворотному напрямках. Якщо умова дотримується – кути нахилу рівні між собою. Якщо не дотримується, тобто лінія горизонту утворює з нульовим діаметром кут δ , то один з кутів буде більшим, а другий меншим від правильного кута нахилу на величину кута δ . Тому різниця виміряних кутів нахилу буде дорівнювати 2δ , а середнє з них буде вільним від впливу похибки δ . Для виправлення екліметра необхідно перемістити тягарець на відповідну величину. Точніше від'юстувати екліметр можна, порівнюючи його відліки з кутом, виміряним теодолітом.

Точність вимірювання кута нахилу екліметром складає $15'-30'$. Якщо кут нахилу лінії перевищує $5^\circ - 6^\circ$, то точність його вимірювання екліметром недостатня. Тоді кут нахилу лінії вимірюють за допомогою теодоліта.

У геодезичній практиці доводиться визначати віддаль між точками місцевості, які розділені якоюсь перешкодою – яром, рікою, болотом, лісом, тощо. Віддаль, яку неможливо виміряти безпосередньо стрічкою, називається *недоступною*. У таких випадках застосовують непряме визначення віддалі з розв'язання трикутника.

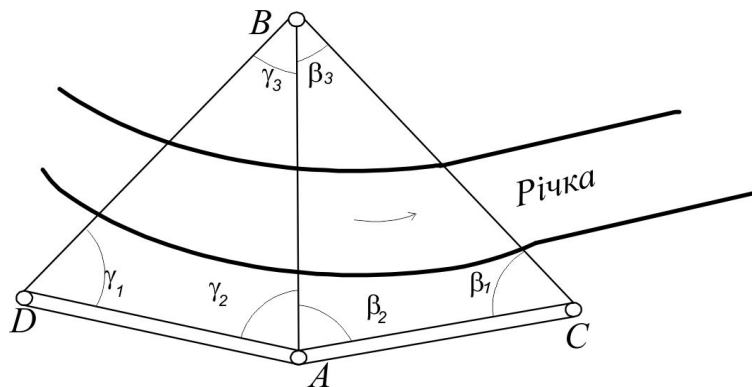


Рис. 10.7. Визначення недоступної віддалі

Нехай потрібно визначити віддаль між точками A і B , розділеними рікою (рис. 10.7). Для цього на одному березі ріки вибирають рівну ділянку, де розміщують і вимірюють безпосередньо лінію AC , яка називається *базисом*. Довжина базису вибирається таким чином, щоб кути у трикутнику ABC були близькими до 60° . У трикутнику теодолітом вимірюють кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, сума яких повинна дорівнювати 180° з урахуванням похибок вимірювань.

Недоступна віддаль AB обчислюють за теоремою синусів з формули:

$$d = b \frac{\sin \bar{\beta}_1}{\sin \bar{\beta}_3}, \quad (10.5)$$

де d – горизонтальне прокладання лінії AB ; b – горизонтальне прокладання базису AC ; $\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_3$ – зрівняні значення вимірних кутів.

Для контролю потрібно виміряти додатковий базис і побудувати трикутник ABD . Розходження між двома визначеннями неприступної віддалі допускається не більше 1:1000. Якщо розходження допустиме, то з двох значень d виводять середнє арифметичне.

10.4. Джерела похибок лінійних вимірювань

Під час вимірювання довжини лінії сталевною стрічкою можливі грубі, систематичні і випадкові похибки.

Джерелами *грубих похибок* або помилок можуть бути прорахунки кількості укладених стрічок або неправильний відлік залишку довжини лінії, якщо цей залишок близький до половини стрічки, можливе неправильне відрахування одиниць метрів на стрічці. Грубі помилки визначаються або шляхом контрольних вимірювань, або під час камеральної обробки вимірювань.

Систематичні похибки виникають через:

- неточне провішування ліній: якщо положення стрічки відхиляється від створу більше, ніж на 10 см, то це спричинить систематичне збільшення довжини лінії;
- неточне знання довжини стрічки або похибки за компарування;
- неврахування температури під час вимірювань.

Випадкові похибки виникають через:

- неточний відлік залишку;
- неточне визначення кутів нахилу;
- нерівномірний натяг стрічки і т. п.

Вплив систематичних та випадкових похибок зменшують шляхом врахування впливових факторів і дотриманням методики виконання польових робіт. Тому лінії вимірюють у прямому та зворотному напрямках. За різницею довжин ліній, вимірюваних у прямому та зворотному напрямках, судять про якість вимірювань.

Якість вимірювань або точність залежить від характеру топографічної поверхні і ґрунту. Залежно від призначення відносна похибка вимірювання довжини лінії допускається від 1:1000 до 1:3000.

Наприклад, виконано вимірювання довжини лінії і отримані такі результати: у прямому напрямку $152,17\text{м}$, у зворотному напрямку – $152,26\text{м}$. Відносна похибка вимірювання довжини обчислюється як частка від ділення різниці значень у прямому та зворотному напрямках, взятої за абсолютною величиною, на середнє значення довжини лінії, тобто:

$$\frac{1}{T} = \frac{152,26 - 152,17}{152,22} = \frac{1}{1469}$$

Щоб обчислити довжину лінії за формулою (10.1), необхідно знати довжину мірного приладу із заданою точністю.

Довжину мірного приладу отримують з порівняння з відомою довжиною іншого приладу. Таке порівняння називають *компаруванням*. Мірний прилад, що приймається при цьому як еталон, називається *нормальним* мірним приладом. Компарування можна виконувати в лабораторних або польових умовах. Для цього споруджують стаціонарні або польові *компаратори*. Для високоточного визначення довжини мірного приладу, який згодом може бути прийнятий за нормальний, під час польового компарування застосовують стаціонарні компаратори.

Щоб мати *польовий компаратор* на рівній місцевості достатньої довжини, закріплюють лінію довжиною 60, 80 або 100 м (тобто кратною довжині стрічки) і вимірюють її спочатку нормальною стрічкою, тоді – робочою. Виконавши вимірювання декілька разів, отримують довжину польового компаратора, визначену нормальною і робочою стрічкою. За результатами компарування обчислюють величину поправки Δl_k до номінального значення довжини l_0 за формулою:

$$\Delta l_k = \frac{D_k - D_p}{n_p}, \quad (10.6)$$

де D_k , D_p – довжина компаратора, отримана у результаті вимірювання відповідно нормальною і робочою стрічками; n_p – кількість відкладань робочої стрічки під час вимірювання компаратора. Ця поправка носить назву поправки за компарування.

Поправка за компарування вважається додатною, якщо робоча стрічка довша від нормальної, і від'ємною, якщо робоча стрічка коротша від нормальної.

Якщо довжина робочої стрічки відрізняється від нормальної більше, ніж на 0,002 м, то у результат вимірювання лінії вводиться поправка за компарування мірного приладу Δl_k . У цьому випадку формула (10.1) буде мати такий вигляд:

$$D = (pk + n)(l_0 + \Delta l_k) + r + \frac{\Delta l_k}{l_0} r. \quad (10.7)$$

Слід враховувати різницю температур стрічки під час компарування і під час вимірювань лінії для введення поправки за температурне розширення сталі:

$$\Delta D_t = \alpha(t_{вим.} - t_k)D, \quad (10.8)$$

де $\alpha = 0,0000125$ – коефіцієнт лінійного розширення сталі; $t_{вим.}$, t_k – температура стрічки відповідно під час вимірювання і під час компарування; D – виміряна довжина лінії.

Якщо різниця температур не перевищує 8° , то поправку за температуру можна не враховувати.

Отже, горизонтальне прокладання вимірної лінії з урахуванням усіх поправок дорівнює:

$$d = D + \Delta D_v + \Delta D_k + \Delta D_t.$$

10.5. Оптичні віддалеміри

Віддалемірами називають геодезичні прилади, які дозволяють визначити віддаль між точками місцевості непрямим способом – або геометричним, вимірюючи допоміжну віддаль, або фізичним на основі електромагнітного випромінювання. За принципами, покладеними в основу вимірювання віддалі, геодезичні віддалеміри діляться на два типи:

- оптичні віддалеміри геометричного типу;
- світловіддалеміри і радіовіддалеміри.

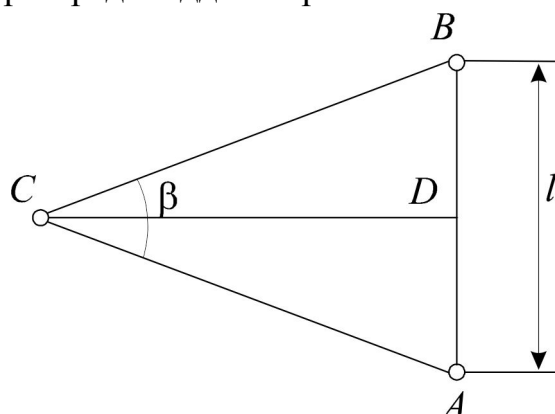


Рис. 10.8. Паралактичний трикутник віддалеміра

В основу вимірювання віддалей світло- і радіовіддалемірами покладений фізичний принцип, тобто вимірюється час проходження електромагнітними хвилями вимірюваної віддалі. В оптичних віддалемірах геометричного типу визначення віддалей виконується розв'язанням рівнобедреного трикутника (рис. 10.8), в якому вимірювана лінія CD є висотою, сторона AB – основою, а точка C – вершиною кута β .

Якщо основу трикутника позначити через l , то шукану віддаль D можна визначити за формулою:

$$D = \frac{1}{2} l \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}. \quad (10.9)$$

Кут β називають *паралактичним кутом*.

Оптичні віддалеміри поділяють на:

- віддалеміри з змінним паралактичним кутом і постійним базисом;
- віддалеміри з постійним паралактичним кутом і змінним базисом.

У віддалемірах з постійним паралактичним кутом β вимірюють змінну величину l . У формулі (10.9) незмінну величину $\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$ позначимо через k , тоді шукану віддаль визначимо за формулою:

$$D = kl, \quad (10.10)$$

де: l – відлік за віддалеміром; k – коефіцієнт віддалеміра.

Величину відліку за віддалеміром l отримують у поділках рейки, встановленої у точці B .

Описаний принцип лежить в основі *ниткового віддалеміра*, який є у зорових трубах усіх геодезичних приладів. Нитковий віддалемір являє собою сітку ниток, на якій нанесені віддалемірні штрихи, симетричні візирній осі зорової труби і віддалемірній рейці з поділками, як правило, через 1 см.

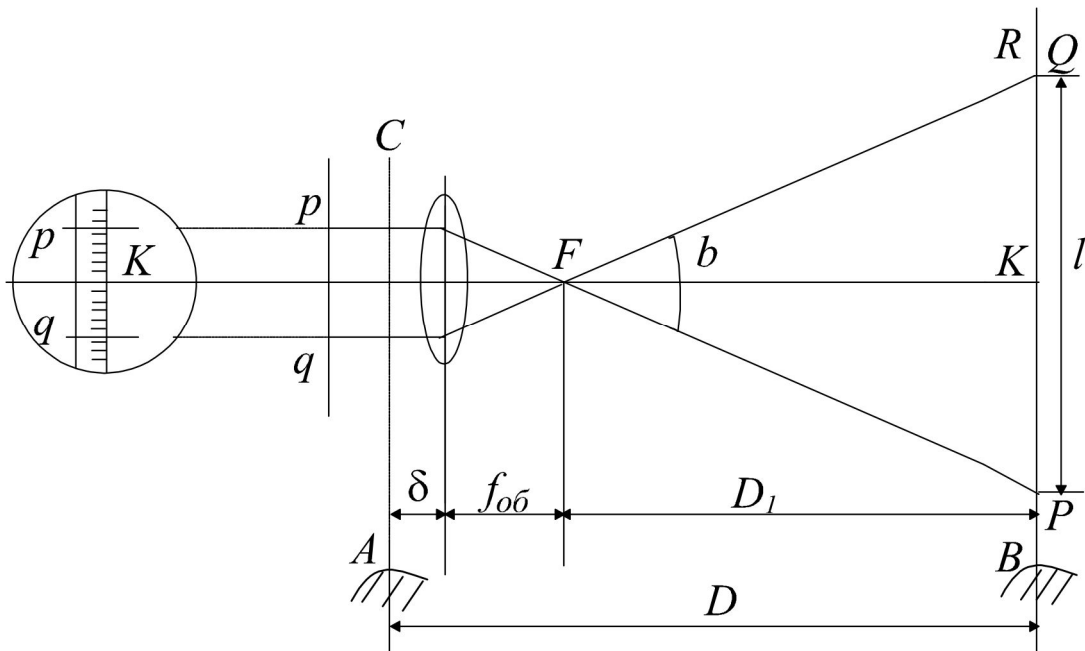


Рис. 10.9. Принципова схема нитяного далекоміру

На рис. 10.9 показана принципова схема ниткового віддалеміра. З рисунка видно, що віддалемірний відлік l по рейці R , встановленій у точці B , залежить від віддалі D між точками A та B , а отже, шукана віддаль дорівнює:

$$D = D_1 + f_{об.} + \delta,$$

де $f_{об.}$ – фокусна відстань об'єктива зорової труби; δ – постійна складова або, враховуючи формулу (10.10),

$$D = kl + f_{\ddot{z}} + \delta.$$

Для конкретного інструмента величини $f_{\ddot{z}}$ і δ є постійними, їхню суму називають додатком віддалеміра і позначають через c , тобто

$$D = kl + c. \quad (10.11)$$

Для зручності користування нитковим віддалеміром віддалі між віддалемірними штрихами сітки ниток підбирають так, щоб $k = 100$. У цьому випадку паралактичний кут β буде дорівнювати $34^{\circ}38'$.

Для труб з внутрішнім фокусуванням величина постійного додатку не перевищує 4 см, тому нею можна нехтувати.

Відлік по віддалеміру довжини l виражається кількістю поділок рейки, що містяться у полі зору труби між віддалемірними штрихами сітки ниток.

Його визначають як різницю відліків за рейкою, взятих по нижній та верхній віддалемірними нитками.

Точність визначення віддалі нитковим віддалеміром складає 1:200 – 1:400.

У віддалемірах з постійним базисом l вимірюють змінний паралактичний кут β . Кінцеві точки постійного базису відмічаються на рейці спеціальними марками.

Зважаючи на малий паралактичний кут, можна прийняти

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{\beta}{2\rho''},$$

де $\rho'' = 206265''$. Тоді формула (10.9) запишеться:

$$D = \frac{1}{\beta} \rho''. \quad (10.12)$$

Добуток величин $l\rho'' = k$ називають коефіцієнтом віддалеміра. Тоді

$$D = \frac{k}{\beta}. \quad (10.13)$$

Вимірювання паралактичного кута β здійснюється оптичною системою віддалеміра шляхом створення подвійного зображення постійного базису і оптичного суміщення кінцевих точок його. Тому такі віддалеміри носять назву віддалемірів подвійного зображення.

У зв'язку з розвитком електронних методів вимірювання віддалей, заснованих на фізичному принципі, оптичні віддалеміри подвійного зображення практично витіснені з геодезичного виробництва електрооптичними віддалемірами.

10.6. Електрооптичні способи вимірювання віддалей

Вимірювання віддалей за допомогою електромагнітного випромінювання базується на залежності довжини шляху і часу, за який його проходить електромагнітна хвиля. Якщо швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль позначити через v , то за кінцевий час τ хвиля пройде віддаль D , що дорівнює:

$$D = v\tau. \quad (10.14)$$

З формули (10.14) випливає, що для визначення D необхідно знати швидкість розповсюдження електромагнітного випромінювання і інтервал часу τ , що відповідає вимірюваній віддалі.

Технологія вимірювання віддалей за допомогою електромагнітних хвиль полягає в тому, що на одному кінці вимірюваної лінії встановлюють прийомопередавач, що випромінює електромагнітні хвилі, а на другому кінці – відбивач, який віддзеркалює електромагнітні хвилі в бік прийомопередавача з вимірювальною апаратурою. Тому вимірюваний інтервал часу τ відповідає подвійній віддалі $2D$, а шукана віддаль визначається за формулою

$$D = \frac{1}{2}v\tau, \quad (10.15)$$

де τ – вимірний інтервал часу, що відповідає подвійній віддалі.

Інтервал часу вимірюють або безпосередньо, або вимірюють інший параметр, що є функцією цього інтервалу.

Розглянемо рівняння гармонічного коливання:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (10.16)$$

де: $x(t)$ – величина, що коливається; A – амплітуда коливання; ω – кругова частота; t – час; φ_0 – початкова фаза коливань. Вираз у дужках є фазою гармонічного коливання, яка є функцією часу.

Суть методів вимірювання віддалей полягає у порівнянні одного й того ж фізичного параметра до і після проходження електромагнітною хвилею вимірюваної лінії. На рис.7.10 показана принципова схема приладу для вимірювання віддалей за допомогою електромагнітних хвиль.

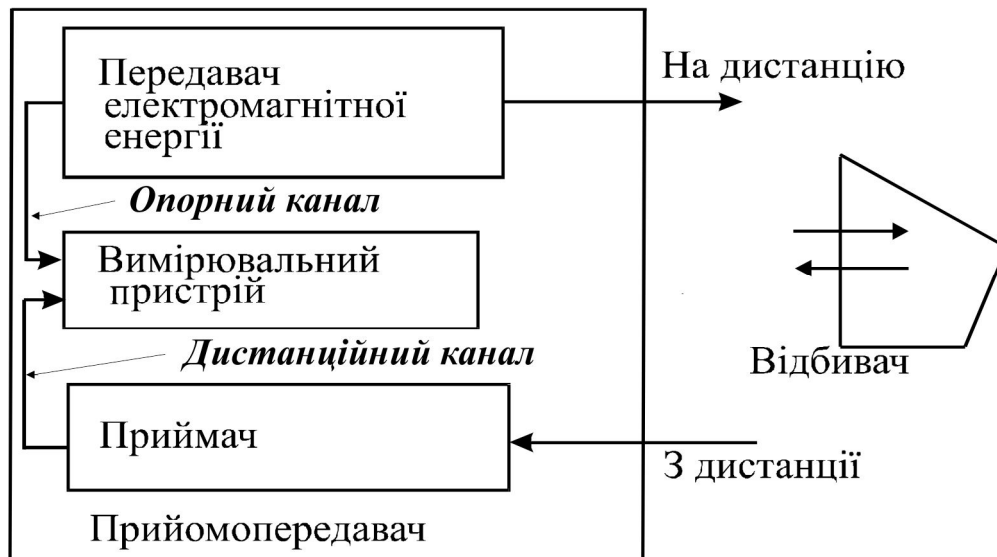


Рис. 10.10. Принципова схема приладу для вимірювання віддалей за допомогою електромагнітних хвиль

Електромагнітний сигнал надходить на вимірювальну апаратуру двома шляхами: безпосередньо (цей шлях називається *опорним каналом*) і через вимірювану дистанцію (цей шлях називається *дистанційним каналом*). Тож розрізняють опорний сигнал і дистанційний сигнал. У вимірювальній апаратурі виконується порівняння опорного та дистанційного сигналів за обраним параметром. Відмінність параметрів обумовлена тим, що вони проходять різні шляхи, тобто ця відмінність є функцією вимірюваної віддалі.

За вибором параметра порівняння опорного та дистанційного сигналів визначають метод вимірювання віддалей. Розрізняють наступні методи: часовий або імпульсний, частотний і фазовий. Найширше розповсюджений у геодезичних світло- та радіовіддалемірах *фазовий метод* вимірювання віддалей. Він заснований на залежності фази гармонічного коливання від часу.

Якщо передавач випромінює гармонічні коливання кругової частоти ω з

фазою:

$$\varphi_1 = \omega t + \varphi_0,$$

то, пройшовши подвійну віддаль $2D$ від передавача до відбивача і назад, на приймач вони надійдуть з фазою

$$\varphi_2 = \omega(t + \tau) + \varphi_0.$$

Порівняння фаз φ_1 та φ_2 дає величину

$$\varphi_{2D} = \varphi_1 - \varphi_2 = \omega\tau = 2\pi f\tau, \quad (10.17)$$

де f – частота коливань.

З виразу (10.17) знайдемо часовий інтервал τ і за формулою (10.15) – вимірювану віддаль:

$$D = \frac{1}{2}v\tau = \frac{v\varphi_{2D}}{4\pi f}. \quad (10.18)$$

Величина φ_{2D} - це зсув фаз між опорним та дистанційним сигналами, її виразимо формулою:

$$\varphi_{2D} = 2\pi N + \phi, \quad (10.19)$$

де: N – кількість періодів коливання; ϕ – величина, менша від 2π , яка здобувається фазовимірювальним пристроєм.

Підставимо вираз (10.19) у формулу (10.18), тоді отримаємо:

$$D = \frac{v}{2f} \left(N + \frac{\phi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} (N + \Delta N), \quad (10.20)$$

де: $\lambda = \frac{v}{f}$ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання; $\Delta N = \frac{\phi}{2\pi}$ – фазова остача.

Вираз (10.20) - це основне рівняння фазового віддалеміра. Воно містить два невідомих – віддаль D і кількість цілих фазових циклів N , для визначення яких вживають спеціальних заходів, що носять назву "розв'язання неоднозначності".

Залежно від діапазону хвиль електромагнітного випромінювання геодезичні фазові віддалеміри діляться на 2 класи – *світловіддалеміри* та *радіовіддалеміри*.

У *світловіддалемірах* використовується електромагнітне випромінювання оптичного діапазону – видиме світло або інфрачервоне випромінювання. У *радіовіддалемірах* використовують радіохвилі діапазону надвисокої частоти (НВЧ).

Сучасні фазові світловіддалеміри діляться на 4 групи.

1. Світловіддалеміри великої дальності дії, за допомогою яких можна виміряти віддалі до 15-50 км з середньою квадратичною похибкою $\pm(10 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км})$. Вони призначені для вимірювання сторін у державних геодезичних мережах, а також базисів космічної тріангуляції і тріангуляцій вищих класів.

2. Світловіддалеміри малої дальності дії, за допомогою яких можна виміряти віддаль до 15 км з похибкою до 2 см. Вони призначені для вимірювання віддалей у геодезичних мережах згущення і для топографічних знімачів.
3. Світловіддалеміри другої групи, які працюють за принципом дифузного відбиття, тобто без застосування відбивача.
4. Світловіддалеміри підвищеної і найвищої точності, за допомогою яких вимірюються віддалі 0,3-5 км з похибкою 2 мм і менше. Вони призначені для прецизійного вимірювання віддалей при розв'язанні задач прикладної геодезії та вимірювань спеціального призначення.

Відповідно до ГОСТу 19223-90 вказаним групам світловіддалемірів присвоєні буквені позначення: Г – геодезичні, Т – топографічні, ТД – топографічні, що працюють за дифузним відбиттям, П – ті, що застосовуються у прикладній геодезії. Ці букви додаються до букви С, яка позначає слово "світловіддалемір", після чого вказуються цифри, що показують дальність дії приладу. Наприклад, позначення СТ-5 розшифровується так: світловіддалемір топографічний, дальність дії – 5 км.

Радіовіддалеміри і побудовані на їхньому принципі роботи радіогеодезичні системи призначені для вимірювання великих віддалей – десятків кілометрів, а радіогеодезичними системами – сотень кілометрів. Радіогеодезичні системи застосовуються при вирішенні задач вищої геодезії і навігації, тобто визначення місцеположення рухомого об'єкта, наприклад, літака або корабля.

Розглянемо більш детально один з розповсюджених топографічних світловіддалемірів СТ-5 "Блеск". У ньому реалізований фазовий принцип вимірювання віддалей з цифровим фазометром імпульсного типу.

Технічні характеристики приладу наступні:

Границі вимірювання віддалей:

D_{\max} 5000м;

D_{\min} 0,2м.

Точність вимірювання віддалей:..... $\pm(10\text{мм}+5\text{ мм/км})$.

Джерело випромінювання.....світлодіод.

Маса головних блоків світловіддалеміра.....12.5кг.

Споживча потужність.....5Вт.

Умови вимірювання:

температура.....від -30° до $+40^{\circ}\text{C}$;

тиск.....630 – 800 мм рт. ст.;

вологість.....не більше 98 %.

Прийомопередавач може встановлюватися на штатив або на теодоліт серії 2Т. Комплект відбивачів приладу дозволяє об'єднувати до 18 призм в одному блоці.

Основні частини світловіддалеміра показані на рис. 10.11.

У головці 1 розміщена прийомопередаюча оптична система, джерело світлового випромінювання, фотоприймальний пристрій, електронні вузли.

Джерелом випромінювання є напівпровідниковий лазерний діод з довжиною хвилі випромінювання 0,89 мкм, приймач світла – фотоелектронний помножувач (ФЕП).

На головці закріплена зорова труба 6 (рис. 10.11, а) для наведення світловіддалеміра на відбивач. На колонці 2 і основі 5 розміщені навідні та закріпні пристрої, призначені для наведення світловіддалеміра на відбивач у вертикальній та горизонтальній площинах. Основа скріплюється з колонкою гвинтами 4. Вони служать і для скріплення головки світловіддалеміра з теодолітом у випадку використання його як далекомірної насадки на теодоліт.

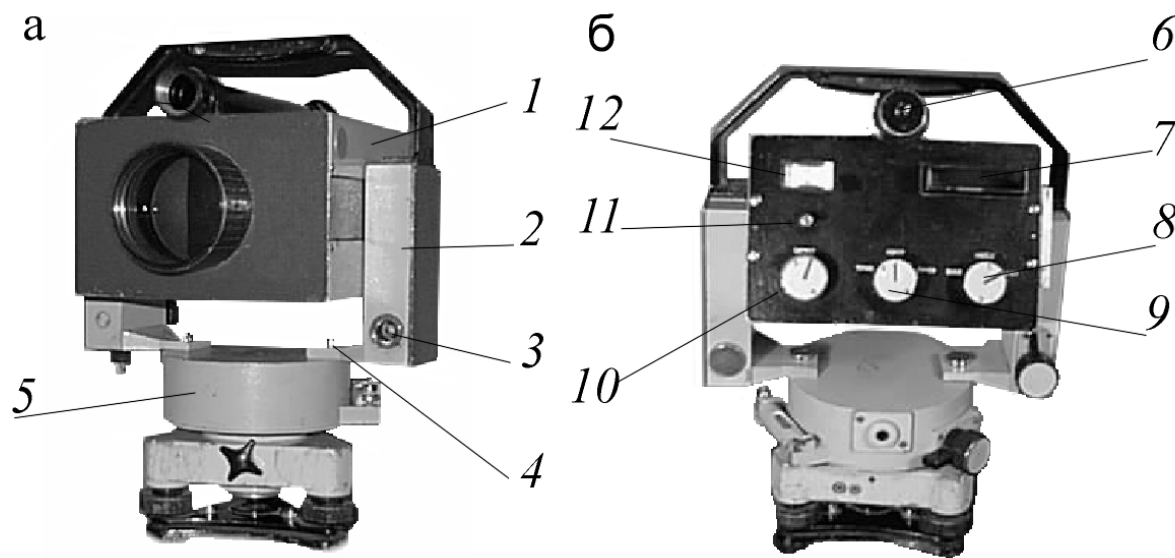


Рис. 10.11. Світловіддалемір СТ-5

На лицьовій панелі (рис. 10.11, б) розміщена ручка управління "сигнал" 10, перемикач роду вимірювань "точно-контроль-грубо" 9, перемикач роду робіт "выкл.- навед.-счет" 8, стрілочний індикатор 12, цифрове табло 7 і ручка встановлення контрольного відліку 11.

На стійці колонки є коаксіальне роз'язтя 3 для приєднання джерела живлення, мікрофон для подання звукового сигналу готовності вимірювань і вихід на накопичувач інформації.

У трегері є оптичний центрир для центрування прийомопередавача над точкою місцевості.

У комплект світловіддалеміра входять відбивачі, спеціальна віха для установки відбивача у важкодоступних місцях, джерело живлення і зарядний пристрій.

Подальшим розвитком конструкції світловіддалеміра СТ-5 став прецизійний світловіддалемір СП-2 "Топаз", який дозволяє вимірювати віддалі від 0,5м до 2000м з середньою квадратичною похибкою $\pm(1 \text{ мм}+1 \text{ мм/км})$.

Для вимірювання віддалей світловіддалеміром СТ-5 необхідна бригада з 4-х чоловік. Над точками, між якими вимірюється віддаль, встановлюється прийомопередавач і відбивач. Центрування приладів виконується спочатку грубо за допомогою ниткового виска, а потім – точно за допомогою оптичних

центрів, які входять у комплект прийомопередавача і відбивача.

Вісь відбивача наводять на прийомопередавач, перемикач 8 встановлюють у положення "выкл" (рис. 10.11, б). Приєднують джерело живлення за допомогою сполучного кабелю і роз'язтя 3. При положенні перемикача 8 у положенні "выкл", а перемикача 9 – у положенні "контр." стрілочний індикатор 12 повинен показувати не менше 60мкА. Показання індикатора 60 мкА відповідають напрузі джерела живлення 6В. При менших показаннях стрілочного індикатора прилад автоматично виключається і слід замінити джерело живлення.

Переводять перемикач 9 у положення "точно", а перемикач 8 у положення "счет", надівають на об'єктив блок контрольного відліку. Обертанням ручки "сигнал" 10 встановлюють рівень сигналу посередині робочої зони стрілочного індикатора і беруть декілька відліків по цифровому табло. Якщо показники цифрового табло відрізняються від значення контрольного відліку, вказаного у паспорті світловіддалеміра, то встановлюють потрібні показники

обертанням ручки установки контрольного відліку 11. Після цього знімають блок контрольного відліку.

Наводять світловіддалемір на відбивач за допомогою зорової труби обертанням гвинтів навідних пристроїв. Перемикач 8 світловіддалеміра переводять у положення "навед.", а перемикач 9 – у положення "точно". Рівень сигналу встановлюють до обмеження обертанням ручки 10 за годинниковою стрілкою до упору. Наявність відбитого сигналу індукується звуком і відхиленням стрілки приладу вправо за шкалою.

Світловіддалемір наводять по максимуму сигналу, одночасно встановлюючи ручкою "сигнал" рівень сигналу посередині робочої зони. Встановлюють перемикач 8 у положення "счет" і беруть три відліки вимірюваної віддалі у режимі "точно" після подання звукового сигналу. Відліки записують у польовий журнал (рис. 10.12).

Визначають і записують метеодані: температуру повітря і атмосферний тиск з точністю до 1°C та 1 мм рт. ст. Метеодані визначають в обох точках вимірюваної лінії. Коли відстань невелика, то достатньо їх визначити в одній точці, у місці стояння світловіддалеміра.

Похибка визначення середнього значення температури вздовж дистанції у 1°C відповідає похибці вимірювання віддалей у 1 мм/км, а похибка визначення середнього значення атмосферного тиску у 1 мм рт. ст. відповідає похибці у 0,7 мм/км. Наведення на відбивач повторюють ще 2 рази по максимуму сигналу і після кожного з них беруть по три відліки у режимі "точно". Переводять перемикач 9 у положення "контр." і беруть відлік по табло для визначення поправки k_f . Три наведення на відбивач, у кожному з яких беруть по 3 відліки вимірюваної віддалі, складають один прийом вимірювань.

Якщо максимальна різниця середніх арифметичних значень відліків при різних наведеннях перевищує значення 5 мм+3 мм/км, то повторюють вимірювання, виконуючи точніше орієнтування світловіддалеміра по максимуму сигналу.

По закінченні вимірювань виключають світловіддалемір укладають його в ящик.

На похибку вимірювання віддалей світловіддалеміром впливає неточне знання швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль в атмосфері, нестабільність довжини хвилі випромінювача і похибки фазовимірювального пристрою. Більша частина із вказаних похибок враховується за допомогою поправочних коефіцієнтів, які визначаються за графіками, побудованими на основі попередніх досліджень приладу. Графіки наводяться у паспорті світловіддалеміра.

Дата 18 червня 1998р. Прилад СТ-5 № 1915

Місце роботи Учбовий геодезичний полігон

Точка стояння п.38 Точка візування п.42

Спостерігач Павлова Обчислювач Шершкіна

Погода сонячно Вітер сильний Видимість добра

Температура t С 20 С Тиск Р мм.рт.ст. 738

Віддаль (грубо), км 0 К-ть відбивачів 1

Час ВКЛ. 10^{15} Час ВИМК. 10^{25}

ВИМІРЮВАННЯ

Контр.відлік	$C_n=110$	$C_k=110$	$C_{cp}=110$
Відлік в режимі "контроль"	$K_n=112$	$K_k=110$	$K_{cp}=111$

№ НАВЕДЕННЯ (режим "точно")			
1	2	3	4
150,612	150,609	150,610	
150,611	150,611	150,609	
150,609	150,610	150,610	
150,611	150,610	150,610	

$$D_m = 150,6103$$

ОБЧИСЛЕННЯ

$$D_u = D_m + (K_n + K_f) D_m 10^{-5} + \Delta D_u, \text{ мм}$$

$K_n = 1,5$ $K_n = -0,4$ $K_n + K_f = 1,1$

$D_m, \text{ мм}$	$(K_n + K_f) * D_m * 10^{-5}, \text{ мм}$	$\Delta D_u, \text{ мм}$	$D_u, \text{ мм}$
150 610,3	2	-3	150 609

$$D_u = 150609 \text{ мм}$$

Обчислив _____
Провірив _____

Рис. 10.12. Польовий журнал вимірювання віддалей світловіддалеміром СТ-5

Тому кінцевий результат вимірювання віддалей обчислюють за формулою:

$$D = D_m + 10^{-5} D_m (k_n + k_f) + \Delta D_u, \quad (10.21)$$

де D_m – середнє арифметичне значення відліків у режимі "точно" із врахуванням відомої кількості кілометрів вимірюваної віддалі; k_n – поправочний коефіцієнт, який враховує зміни показника заломлення середовища за рахунок атмосферних умов, визначається по номограмі за

аргументами температури та тиску; k_f – поправочний коефіцієнт, що враховує температурну зміну частоти кварцового генератора (нестабільність довжини хвилі випромінювача), визначається по кривій залежності його від контрольного відліку; $\Delta D_{\text{ц}}$ – поправка за циклічну похибку фазовимірювального пристрою, визначається за графіком циклічної поправки, що побудований за результатами попередніх досліджень приладу.

Для визначення горизонтального прокладання похилої лінії вимірюють висоти прийомопередавача і відбивача та вимірюють теодолітом кут нахилу вимірюваної лінії.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 10

1. Які мірні прилади використовують для вимірювання віддалей між точками на місцевості?
2. Порядок вимірювання довжин ліній мірними стрічками.
3. Що називається горизонтальним прокладанням?
4. Для чого використовують екліметр?
5. Коли виникають систематичні помилки?
6. Коли виникають випадкові помилки?
7. Який прилад називається віддалеміром?
8. На чому базується вимірювання віддалей за допомогою електромагнітного випромінювання?
9. На скільки груп діляться сучасні світловіддалеміри?

ТЕМА 11. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕВИЩЕНЬ

- 11.1. Види нівелювання.
- 11.2. Геометричне нівелювання.
- 11.3. Нівеліри. Типи нівелірів.
- 11.4. Нівелірні рейки.
- 11.5. Перевірки нівеліра.
- 11.6. Методика технічного нівелювання.
- 11.7. Джерела похибок геометричного нівелювання.
- 11.8. Тригонометричне нівелювання.
- 11.9. Вплив кривизни Землі та рефракції на результати нівелювання.

11.1. Види нівелювання

Нівелювання – це сукупність вимірювальних робіт з визначення перевищень між точками місцевості, конструкцій споруд і т. і. Перевищення використовують для обчислення висот точок на поверхні Землі. Знання абсолютних висот необхідне для вирішення наукових задач, зв'язаних з вивченням вертикальних рухів земної кори, розв'язання інженерних задач під час вишукувань, будівництві і експлуатації споруд, для відображення рельєфу на планах та картах і ін.

Перевищення між точками земної поверхні можуть бути визначені різними методами. Розрізняють такі методи нівелювання:

Геометричне – нівелювання за допомогою нівеліра з горизонтальною візирною віссю.

Тригонометричне – нівелювання геодезичним приладом з похилою візирною віссю з визначенням віддалі між цими точками.

Барометричне нівелювання, в основу якого покладена залежність зміни атмосферного тиску зі зміною положення точки по висоті.

Гідростатичне нівелювання ґрунтується на використанні властивості поверхні рідини завжди встановлюватися нормально до напрямку дії сили ваги і в сполучених посудинах розмішуватися на одному рівні незалежно від маси рідини і поперечного перерізу посудини.

Гідродинамічне нівелювання - це видозмінений спосіб гідростатичного нівелювання, коли перевищення вимірюють однією із посудин відносно іншої посудини, яка розташована на спостережуваній точці.

Стереофотограмметричне нівелювання дозволяє визначати перевищення на основі вимірювань фотознімків місцевості, які утворюють стереопару.

Супутникове нівелювання - один з найважливіших методів космічної геодезії, призначений для оперативного визначення профілів поверхні Світового океану та окремих акваторій. Його виконують спеціальним космічним апаратом, обладнаним альтиметром, точним годинником, бортовим процесором, GPS-приймачем, системами електроживлення, гравітаційної стабілізації, орієнтації та радіозв'язку для дистанційного керування апаратурою і пересилання наземним станціям зібраної вимірної інформації.

У цьому підрозділі розглядається геометричне та тригонометричне нівелювання.

11.2. Геометричне нівелювання

Геометричне нівелювання – це метод вимірювання перевищення за допомогою горизонтального візирного променя зорової труби (рис. 11.1). Нехай між точками A і B місцевості необхідно визначити перевищення h_{BA} . У точках A і B встановлюють прямовисно рейки і за допомогою горизонтального променя візування беруть відліки по рейках a і b .

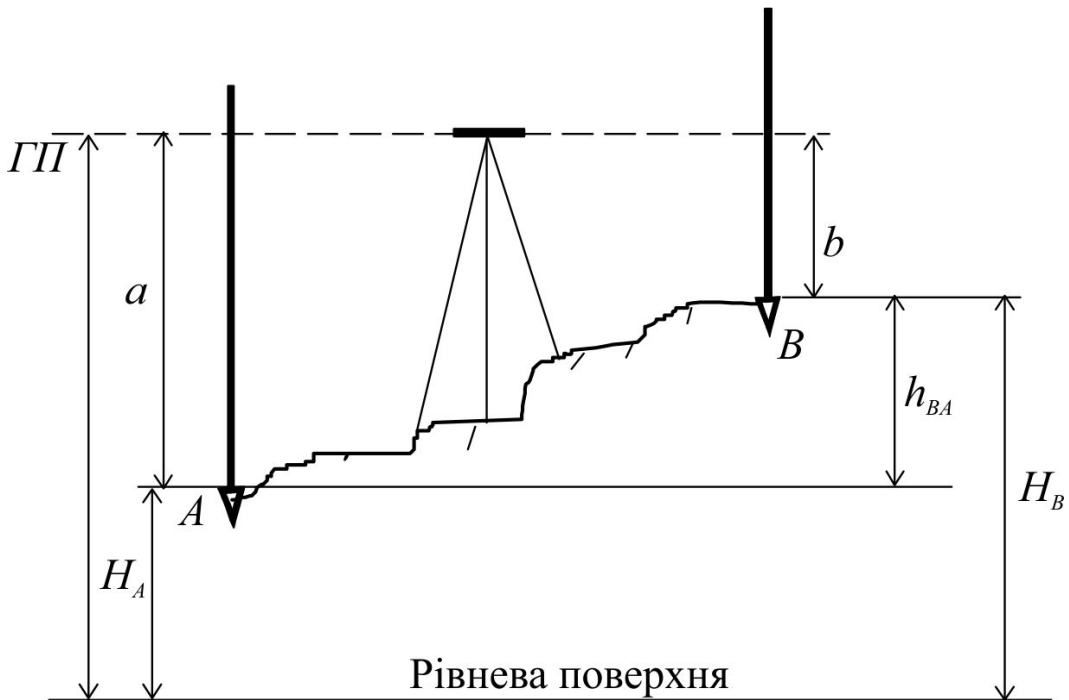


Рис. 11.1. Схема геометричного нівелювання з середини

Перевищення h_{BA} точки A відносно точки B визначають як різницю відліків за формулою:

$$h_{BA} = a - b \quad (11.1)$$

Горизонтальний промінь у просторі реалізується спеціальним приладом – нівеліром.

Розрізняють два способи геометричного нівелювання: нівелювання з середини та нівелювання вперед.

Нівелювання з середини. Під час нівелювання з середини нівелір встановлюється між точками A і B приблизно на однаковій віддалі від рейок (рис. 11.1). Якщо точку A вважають задньою, а точку B передньою, то перевищення обчислюють за формулою (11.1). Тож під час нівелювання з середини перевищення між точками дорівнює: "задній відлік" мінус "передній відлік". Якщо передня точка вища, то $h_{BA} > 0$, у протилежному випадку $h_{BA} < 0$.

Нівелювання вперед. Під час нівелювання вперед нівелір встановлюють поблизу точки так, щоб його об'єктив або окуляр знаходились над точкою A (рис. 11.2). Потім приводять візирний промінь у горизонтальне положення. Вимірюють висоту i візирного променя над точкою A . Для цього на точку встановлюють прямовисно рейку і розглядають її через об'єктив нівеліра (рис. 11.3, а).

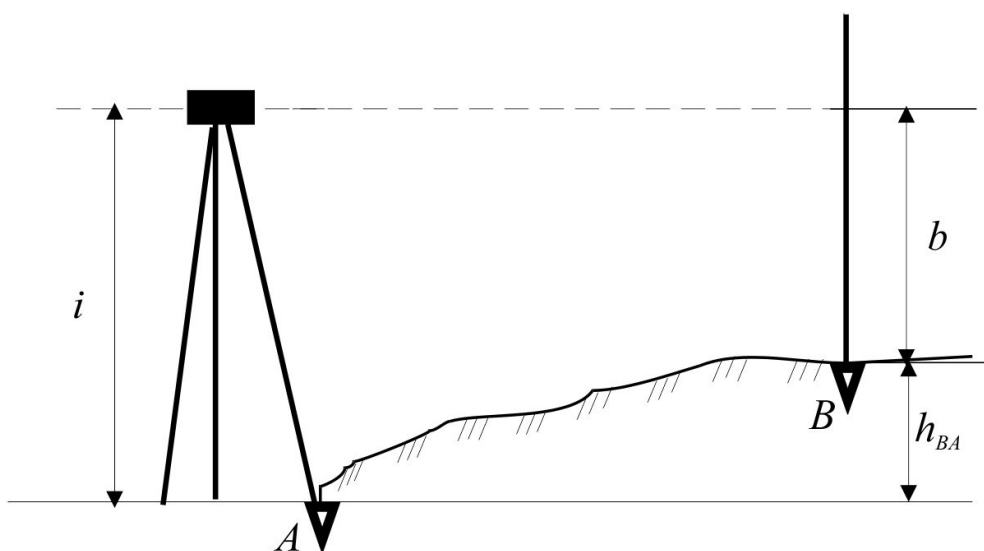


Рис. 11.2. Схема нівелювання вперед

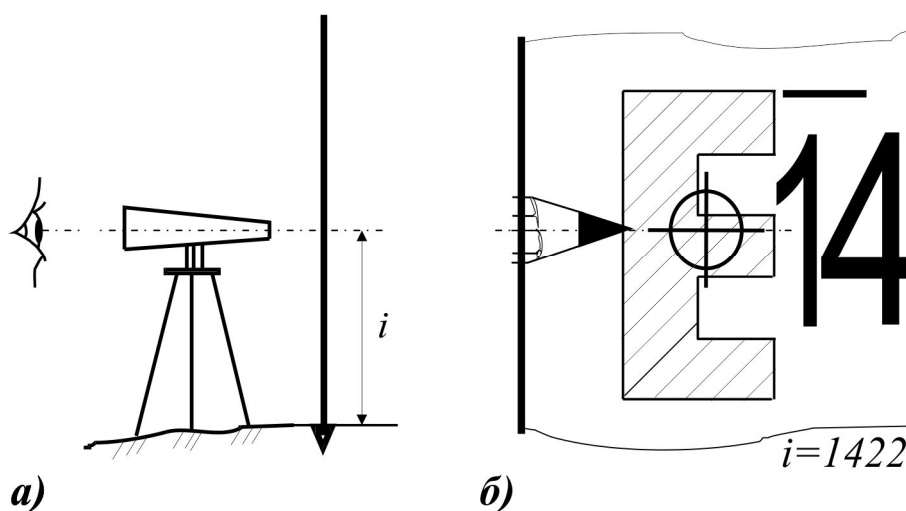


Рис. 11.3. Схема вимірювання висоти приладу

На рейці гостро заостреним олівцем відмічають центр зображення окуляра, побудованого об'єктивом (рис. 11.3, б), за яким беруть відлік i . Встановлюють рейку на точку B і при горизонтальному промені візування беруть відлік b (рис. 11.2).

Перевиснення h_{BA} визначають як різницю висоти приладу i та відліку по рейці b з формули

$$h_{BA} = i - b. \quad (11.2)$$

Якщо відома висота точки A , то висоту точки B можна обчислити за формулою:

$$H_B = H_A + h_{BA}, \quad (11.3)$$

де H_B, H_A – висоти точок A і B відповідно.

Тобто, висота наступної точки дорівнює висоті попередньої точки плюс перевиснення між ними (рис. 11.1).

Висоту точки B можна обчислити іншим способом, а саме – через горизонт приладу (рис. 11.1).

Горизонт приладу (ГП) – це висота візирного променя відносно рівневої поверхні. Вона обчислюється за формулою:

$$ГП = H_A + a, \quad (11.4)$$

або

$$ГП = H_A + i, \quad (11.4a)$$

де H_A – висота точки A відносно рівневої або умовної поверхні;
 a – відлік по рейці; i – висота приладу.

Отже, $ГП$ дорівнює висоті точки плюс відлік по рейці, встановленій на цій точці. Висота точки B обчислюється за формулою:

$$H_B = ГП - b, \quad (11.5)$$

тобто висота точки B дорівнює $ГП$ мінус відлік b по рейці на цій точці.

11.3. Нівеліри. Типи нівелірів

Нівелір – це оптико-механічний прилад, призначений для побудови у просторі горизонтального променя. У перекладі слово «нівелір» означає рівень. Нівеліри класифікують за точністю і за способом установки візирного променя в горизонтальне положення.



Рис. 11.4. Нівелір Н-05



Рис. 11.5. Нівелір Н-3

Нівеліри за точністю розділяють на три групи: високоточні, точні і технічної точності (ГОСТ 23543-88 і ГОСТ 10528-90). До групи високоточних відносять нівеліри типу Н-05 (11.4), їх застосовують для нівелювання I і II класів, до групи точних – нівеліри типу Н-3 (рис. 11.5), призначені для нівелювання III і IV класів, і до групи технічної точності – нівеліри типу Н-10, які використовуються для визначення висот точок знімальної основи та визначення висот під час інженерних вишукувань.

За способом установки візирного променя в горизонтальне положення всі нівеліри розподіляють на дві групи: нівеліри з циліндричним рівнем біля зорової труби і нівеліри з компенсатором. У нівелірах з компенсатором промінь візування у горизонтальне положення приводиться автоматично. Попередню установку осі обертання приладу у прямовисне положення виконують за круглим рівнем, який у цьому випадку називають установочним. До нівелірів з компенсаторами у позначенні додають букву "К", наприклад, Н-3К (рис. 11.6). В окремих нівелірах – точних і технічної точності – для вимірювання горизонтальних кутів є лімб. До позначення нівеліра у цьому випадку додається буква "Л", наприклад, 2Н-3Л (рис. 11.7).



Рис. 11.6. Нівелір Н-3К



Рис. 11.7. Нівелір 2Н-3Л

Число у позначенні нівеліра після букви Н відповідає середній квадратичній похибці визначення перевищення на 1 км подвійного ходу в мм. Технічні дані нівелірів наведені в табл. 11.1.

Технічні характеристики нівелірів

Параметри нівелірів	Типи нівелірів					
	Н-05	Н-3	Н-3К	Н-10	Н-10КЛ	2Н-10КЛ
1. Збільшення зорової труби, крат	42	30	30	23	20	21,5
2. Фокусна віддаль об'єктива, мм	400	250	250	184	170	170
3. Найменша віддаль візування, м	1	2	2	1,5	1,5	0,9
4. Ціна поділки рівня: круглого (мін/2 мм)	5	10	10	10	10	20
циліндричного (сек/2 мм)	10	15		45		
5. Діапазон роботи компенсатора, мін			15		20	30
6. Ціна поділки лімба, градус					1	1
7. Середня квадратична похибка вимірювання перевищення на 1 км подвійного ходу, мм;	0,5	3	3	10	10	5
8. Те ж на станції при довжині візирного променя 100 м	0,2*	2	2	5	5	3,2
9. Маса, кг	6,0	1,8	3	2	2	1,5

Примітка: * довжина променя візування 50 м.

11.4. Нівелірні рейки

Нівелірна рейка служить робочою мірою для вимірювання перевищень і віддалей. Відповідно до ГОСТ 10528-90 випускаються три типи рейок: РН-05, РН-3, і РН-10. Шифр рейки означає: "РН" – рейка нівелірна, а число показує середню квадратичну похибку вимірювання перевищення у міліметрах на 1 км подвійного ходу.

РН-05 – рейка одностороння, штрихова з інварною смугою (рис. 11.8, а). Має основну і додаткову шкалу. Ціна поділки – 5 мм. Призначена для високоточного нівелювання I і II класів з похибкою вимірювання перевищення 0,5 мм на 1 км ходу.

РН-3 – рейка двостороння, шашкова (рис. 11.8, б). Призначена для нівелювання III і IV класів з похибкою вимірювання перевищення 3 мм на 1 км ходу.

Для нівелювання I, II та III класів використовують рейки суцільні, з круглим рівнем, що контролює прямовисність встановлення рейки на точці. Довжина рейки може дорівнювати 1,5 м, 3 м.

Рейка РН-10 призначена для технічного нівелювання, похибка вимірювання перевищення – 10 мм на 1 км ходу (рис. 11.9). Ціна поділки шкали рейки – 10 мм. Рейку нівелірну виготовлюють з витриманого дерева хвойних порід. Це брусок, пофарбований білою фарбою, шириною 8-10 см, товщиною 2-3 см. На боках рейки закріплені дві ручки, щоб її було зручно тримати на точці. Кінці рейки для міцності оковують металевими пластинами 1 і 4. Плоска поверхня однієї з них повинна співпадати з початком шкали. Щоб рейка була стійкою до згину, її роблять двотаврового перерізу, для чого на краях

прикріплюють планки. Рейка РН-10 рівня не має, складається з двох відрізків, з'єднаних між собою шарніром. Довжина рейки – 3 або 4 м. Рейка двостороння. З одного боку на рейці нанесена шкала чорних і білих сантиметрових шашок, які чергуються, з іншого боку – червоних і білих. Сторону рейки з чорно-білими поділками називають "чорною", а з червоно-білими поділками – "червоною".

Для зручного взяття відліку за рейкою поділки об'єднані в групи по п'ять у вигляді букви Е. Початок кожної дециметрової поділки відмічений рисою і підписаний двозначним числом, наприклад 01, 02, 03 і т.д. Залежно від того, яке зображення буде зорова труба, цифри підписані переверненими (для нівеліра Н-10) або прямими (Н-10КЛ).

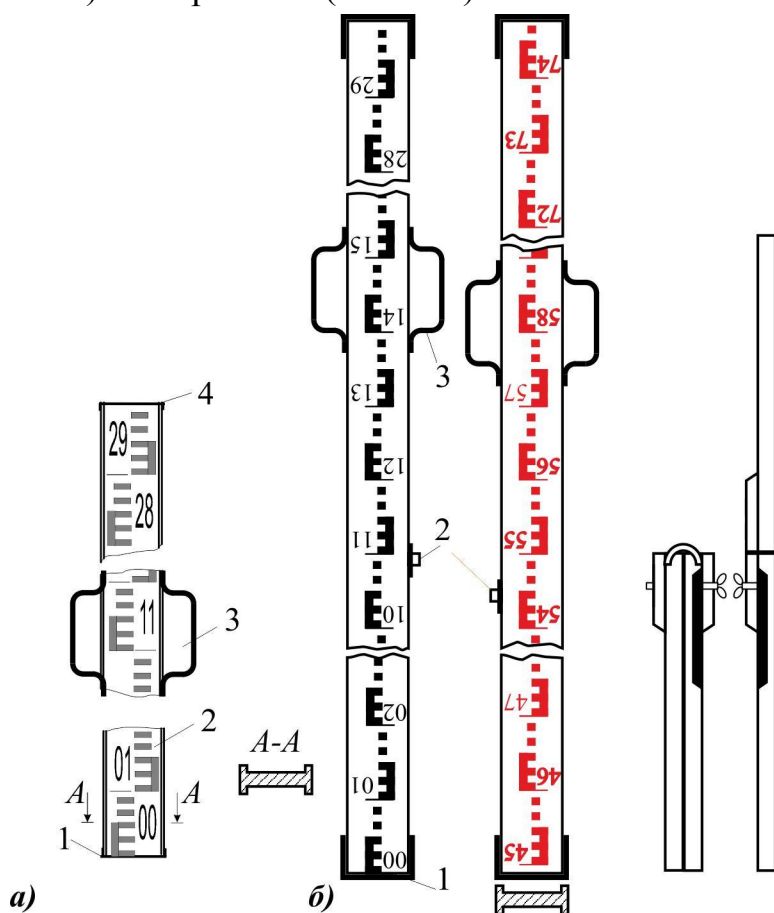


Рис. 11.8. Фрагменти рейок РН-05, РН-3



Рис. 11.9. Рейка нівелірна РН-10

На рис. 11.9 зображена рейка для нівеліра Н-10КЛ з прямим розміщенням цифр. Початок відліку – від нижнього кінця рейки, яким її встановлюють на точку (кілок, штир і т.д.). Цю нижню основу рейки називають п'яткою. Початок першої дециметрової поділки на чорній стороні рейки позначений двома нулями. З другої сторони рейки, червоної, початок рахунку шкали зміщений і починається не з нуля, а з довільного числа, наприклад, 4780. Тоді відліки за двома сторонами рейки будуть різні, а різниця відліків дорівнює постійному числу. Наприклад, початок відліків за червоною стороною рейки дорівнює 4780. Нехай відлік за чорною стороною рейки дорівнює 0250, за червоною – 5030. Різниця відліків $5030 - 0250 = 4780$, тобто, дорівнює числу, з якого починається

відлік поділок на червоній стороні рейки.

Перед початком польових робіт слід виконати перевірки рейок. При їх огляді перевіряють кріплення ручок, якість кольору шашок і цифр, наявність тріщин та відколів на бруську рейки, якість шарнірного з'єднання і якість металевого кріплення кінців рейки. Виконують наступні перевірки.

Визначення стрілки прогинання рейки. Якщо рейка не покороблена, то її поверхні, на яких нанесені поділки, повинні бути площиною. Для перевірки цієї умови її укладають горизонтально на ребро і вздовж шкали чорної сторони натягують нитку, придавлюючи її до кінців рейки. Якщо поверхня плоска, то нитка буде щільно притиснута до неї. Тоді перевіряють так само червону сторону. Якщо рейка увігнута, то лінійкою з міліметровими поділками вимірюють найбільшу віддаль між ниткою і площиною рейки, і її величина для рейки РН-10 не повинна бути більшою 10 мм.

Визначення середньої довжини метра пари рейок. Рейку вкладають горизонтально, так, щоб вона не прогиналась. Спеціальною контрольною лінійкою (довжиною у 1 метр) вимірюють на рейці інтервали 01-10, 10-20, 20-29 у прямому та зворотному напрямках за чорною стороною. За червоною стороною рейки вимірюють інтервали 48-58, 58-68 і 68-77. Аналогічні вимірювання виконують для другої рейки комплекту. Допустима різниця між середньою довжиною метра пари рейок комплекту – 1,5 мм.

Визначення похибок дециметрових поділок рейки. Довжини дециметрових поділок вимірюють за чорною стороною рейки на інтервалах 0-10, 10-20, 20-30, а за червоною – 48-58, 58-68, 68-77. Вимірювання виконують за допомогою контрольної лінійки. Допустиме відхилення від номінального значення довжини дециметрового інтервалу для рейки РН-10 – 0,5 мм. Одночасно перевіряють збіжність п'ятки рейки з нульовими поділками шкали за чорною стороною рейки шляхом вимірювання інтервалу 00 – 10 контрольною лінійкою. Відхилення нульового штриха рейки від нижньої площини п'яти, тобто відхилення першої дециметрової поділки від її номінального значення, не повинно перевищувати 0,5 мм.

Визначення різниці висот нулів пари рейок. На віддалі 15-20 м від нівеліра забивають у землю три костилі. На кожен костиль по черзі встановлюють одну та другу рейки і беруть відліки за чорною і червоною сторонами. Ці дії складають один прийом. Виконують три прийоми. Між прийомами змінюють висоту нівеліра. Обчислюють середнє з відліків у трьох прийомах за чорною стороною і середнє з відліків за червоною стороною для кожної рейки. Різниця середніх відліків за чорними сторонами обох рейок повинна дорівнювати нулю. Різниця середніх відліків за червоними сторонами тих самих рейок повинна також дорівнювати нулю. В іншому випадку одну з рейок слід замінити. Різниця відліків за червоною і чорною сторонами однієї і

тієї ж рейки, що входить у комплект, відповідає початку відліку шкали червоної сторони і служить контролем правильності взяття відліків.

11.5. Перевірки нівеліра

Перевірити нівелір означає перевірити виконання геометричних умов, тобто взаємне положення у просторі окремих геометричних осей приладу, яке повинно відповідати вимогам нормативних документів. У нівелірів відповідно до рисунку 11.10 визначають такі геометричні осі:

- вертикальна вісь ZZ обертання верхньої частини нівеліра;
- візирна вісь зорової труби VV , яка умовно проходить через центр об'єктива і центр сітки ниток;
- вертикальна вісь круглого рівня WW , яка проходить через нуль-пункт шкали рівня;
- горизонтальна вісь циліндричного рівня LL , яка є дотичною до поверхні бульбашки рівня, коли вона знаходиться в нуль-пункті, тобто в центрі шкали рівня.

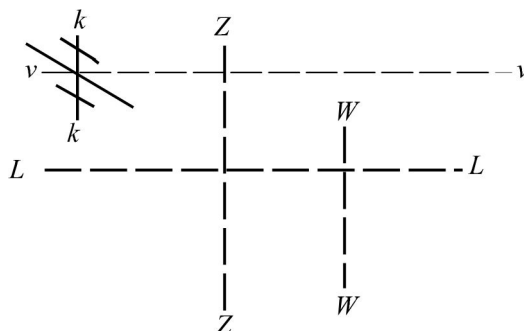


Рис. 11.10. Геометрична схема нівеліра з циліндричним рівнем

Головне призначення нівеліра – забезпечити горизонтальність променя візування. Виконується ця умова за допомогою циліндричного півня або компенсатора. Розглянемо перевірки нівеліра з циліндричним півнем біля зонової труби (Н-10Л).

Перевірка круглого рівня

Умова: вісь круглого рівня WW повинна бути паралельною до осі обертання ZZ приладу (рис. 11.10).

Обертанням підймальних гвинтів приводять бульбашку круглого рівня на середину (у нуль-пункт). Верхню частину нівеліра повертають на 180° . Бульбашка рівня після повороту не повинна зміститися більше, ніж на 0,5 величини поділки шкали рівня, в іншому випадку необхідно виконати виправлення.

Для виправлення переміщують бульбашку рівня до центра на половину дуги його відхилення обертанням підймальних гвинтів і точно виводять бульбашку в нуль-пункт черговим обертанням 3-х юстувальних (вони ж і закріпні) гвинтів круглого рівня.

Перевірка сітки ниток

Умова: горизонтальний штрих сітки повинен бути перпендикулярним до осі обертання ZZ або вертикальний штрих паралельний осі ZZ (рис. 11.10).

На віддалі 20-25 м від приладу намічають точку, з якою суміщають центр

сітки ниток. При положенні бульбашки круглого рівня в нуль-пункті, повільно повертаючи зорову трубу нівеліра навколо осі обертання ZZ , слідкують за положенням горизонтальної лінії сітки відносно нерухомої точки. Якщо точка у полі зору труби не зміщується з горизонтальної лінії сітки ниток, то умова виконана.

У випадку невиконання умови відгвинчують ковпачок окуляра нівеліра. Оправа з сіткою прикріплена 3-ма торцевими гвинтами. Злегка відкріплюють усі три гвинти та, повертаючи оправу з сіткою ниток, добиваються виконання умови.

Перевірка головної умови нівеліра

Умова: візирна вісь VV приладу повинна бути паралельною до осі LL циліндричного рівня для нівелірів з циліндричним рівнем.

Для нівелірів з компенсатором умова така: візирний промінь повинен бути горизонтальним.

Перевірку виконують подвійним нівелюванням "вперед" точок 1 і 2 , розміщених на віддалі 50-75 м одна від одної. У точці 1 встановлюють нівелір, у точці 2 – рейку (рис.11.11а).

Нівелір горизонтують за круглим рівнем, візують на рейку. Елеваційним гвинтом бульбашка циліндричного рівня встановлюється на середину. При цьому вісь циліндричного рівня займе горизонтальне положення. Якщо лінія візування не паралельна вісі рівня, то вона нахилиться на кут i (на рис. 11.11 похила лінія візування показана суцільною лінією).

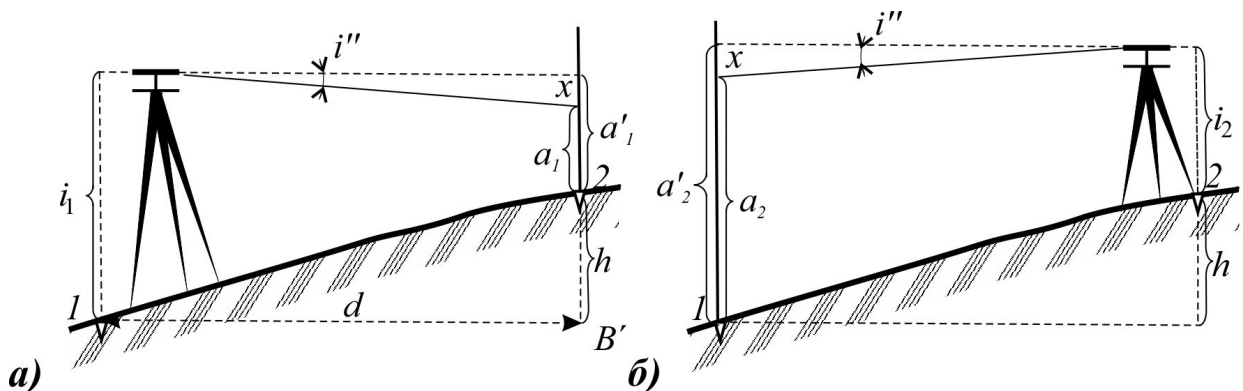


Рис. 11.11. Схема перевірки головної умови нівеліра способом нівелювання вперед

Беруть відлік a_1 по рейці, встановленій у точці 2 . Вимірюють висоту (рис. 11.11, а) приладу i_1 у точці 1 за методикою, описаною у підрозділі 8.2. Тоді нівелір і рейку міняють місцями і дії повторюють: беруть відлік a_2 по рейці, встановленій у точці 1 , і вимірюють висоту приладу i_2 у точці 2 (рис. 11.11, б). Оскільки промінь візування не паралельний до осі циліндричного рівня, то відліки a_1 і a_2 відрізняються від правильних a'_1 і a'_2 , що відповідають горизонтальному променю візування, на деяку величину x . Правильні відліки a'_1 і a'_2 , згідно з рисунком 11.11, будуть дорівнювати:

$$\left. \begin{aligned} a'_1 &= a_1 + x; \\ a'_2 &= a_2 + x; \end{aligned} \right\} \quad (11.6)$$

де x – лінійна величина на рейці, відповідна куту нахилу зорового променя на відстані d .

Значення перевищення h між точками 2 і 1 визначають з двох виразів: з рис. 11.11, а:

$$h = i_1 - a'_1 = i_1 - (a_1 + x),$$

та з рис. 11.11, б:

$$h = a'_2 - i_2 = (a_2 + x) - i_2.$$

Розв'язуючи обидва рівняння відносно x , отримаємо:

$$x = \frac{(i_1 + i_2) - (a_1 + a_2)}{2}. \quad (11.7)$$

Значення величини x може бути як додатним, так і від'ємним, залежно від нахилу візирного променя. Кут нахилу променя (рис. 11.11) обчислюється з прямокутного трикутника за формулою:

$$i'' = \frac{x}{d} \rho'',$$

де i'' – кут нахилу візирного променя у секундах; d – горизонтальне прокладання між точками 1 і 2, мм; x – лінійна величина, відповідна куту i , мм; $\rho'' = 206265''$.

Підставивши значення x з формули (8.8), остаточно отримаємо:

$$i'' = \frac{(i_1 + i_2) - (a_1 + a_2)}{2d} \rho''. \quad (11.8)$$

Визначають кут i'' двічі і за кінцеве значення приймають середнє. Для технічного нівелювання величина кута i'' не повинна перевищувати $20''$. При $i'' = 20''$ і $d = 50$ м величина x буде дорівнювати:

$$x = 20'' \times 50000 \text{ мм} / 206265'' = 5 \text{ мм}.$$

Якщо величина кута i'' перевищує $20''$, то обчислюють правильний відлік a'_2 за формулою (11.7). При положенні бульбашки циліндричного рівня в нуль-пункті, на рейці, встановленій у точці 1, елеваційним гвинтом горизонтальну нитку встановлюють на відлік a'_2 . Зміщення бульбашки циліндричного рівня усувають обертанням юстувальних гвинтів рівня. Попередньо відкріплюють один з бокових гвинтів, а вертикально розміщеними гвинтами суміщають зображення кінців бульбашки рівня.

У нівелірах з компенсаторами горизонтальну лінію сітки встановлюють на правильний відлік діючи виправними гвинтами сітки ниток.

Після виправлення перевірку повторюють.

Під час нівелювання "з середини" перевищення обчислюється за формулою:

$$h = a'_1 - a'_2,$$

де a'_1 і a'_2 - відліки за рейками, встановленими у точках 1 і 2, які відповідають горизонтальному променю візування (рис. 11.12).

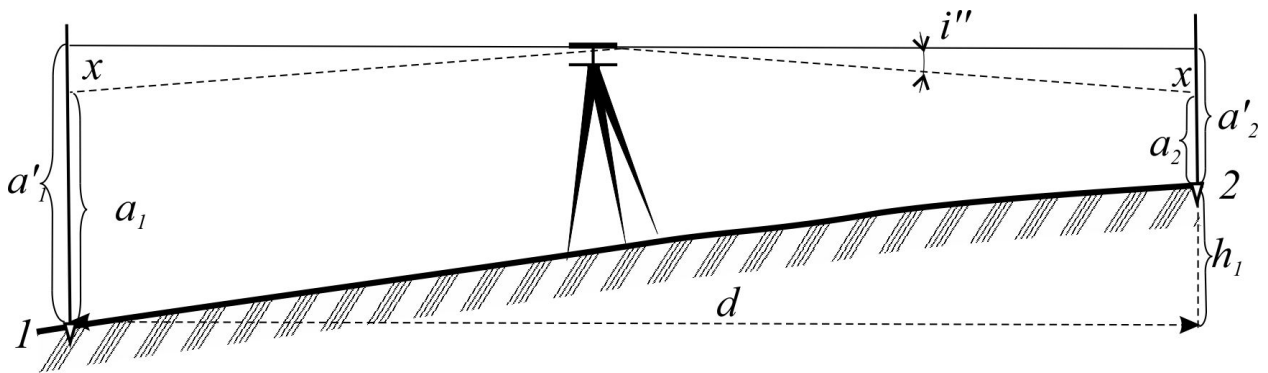


Рис. 11.12. Вплив наявності нахилу візирного променя на розрахунок перевищень

Підставивши фактичні значення a'_1 і a'_2 відліків за рейкою з формули (11.6) отримаємо:

$$h = (a_1 + x) - (a_2 + x) = a_1 - a_2, \quad (11.9)$$

де x – похибка у відліку через непаралельності візирного променя осі циліндричного рівня.

Таким чином, під час нівелювання "з середини" похибка x не впливає на величину h . Однак під час виконання технічного нівелювання рівність віддалей від нівеліра до задньої та передньої рейок дотримується не завжди. Тому, якщо $i'' > 20''$, необхідно виконати юстування.

11.6. Методика технічного нівелювання

При передачі висоти H з точки A на іншу точку B , якщо вони знаходяться на невеликій віддалі одна від одної (100-300 м) і в межах видимості, перевищення між точками визначають з одного встановлення нівеліра способом нівелювання з "середини" за формулою (11.1), а висоту обчислюють за формулою (11.3).

При передачі висоти на значну віддаль або при великих схилах місцевості застосовують послідовне нівелювання, коли використовують декілька станцій нівеліра, які утворюють у сукупності хід (рис. 11.13). Після того, як на станції I взяті відліки a_1 за задньою рейкою R_1 і b_1 – за передньою рейкою R_2 і обчислене перевищення h_1 , нівелір встановлюють на станції II . Задню рейку R_1 з початкової точки A переносять на точку 2 (передню).

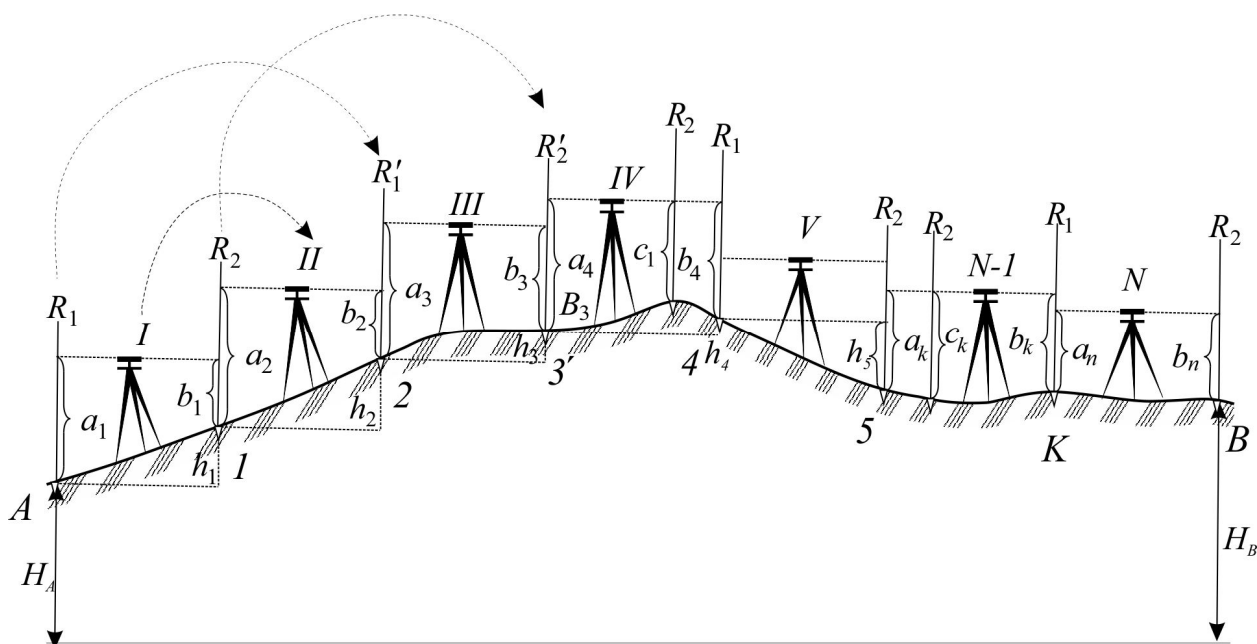


Рис. 11.13. Послідовне або поздовжнє нівелювання

Знову беруть відліки a_2 за рейкою R_2 , тепер уже задньою, і b_2 за передньою R'_1 і т.д. до кінцевої точки B . Точка I під час нівелювання зі станції I є передньою, а під час нівелювання зі станції II – задньою. Аналогічно точка 2 під час нівелювання зі станції II є передньою, а зі станції III – задньою. Точки, загальні для двох суміжних станцій, називають сполучними (точки $1, 2, 3, 4, 5, \dots K$).

Перевищення h між сполучними точками у нівелірному ході обчислюють за формулами:

$$h_1 = a_1 - b_1;$$

$$h_2 = a_2 - b_2;$$

.....

$$h_n = a_n - b_n.$$

Перевищення h_{BA} точки B над точкою A обчислюють як суму перевищень між усіма точками ходу:

$$h_{BA} = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i. \quad (11.10)$$

Висоту кінцевої точки B можна обчислити за формулою (11.3).

Робота на станції. При виконанні технічного нівелювання нівелір встановлюють приблизно на рівній віддалі до задньої та передньої рейок, приводять вісь обертання приладу у прямовисне положення за круглим рівнем обертанням підйимальних гвинтів (у нівелірах 2Н-10Л, Н-10КЛ) або нахилом рукоятки (у нівелірах НТ). Після цього виконують відліки за рейками в такий послідовності:

- візують на задню рейку. Чітке зображення рейки і сітки ниток отримують обертанням головки фокусуєчого пристрою і окулярного кільця. За допомогою елеваційного гвинта суміщають зображення кінців бульбашки циліндричного рівня;

- б) беруть відлік по чорній стороні рейки з точністю до 1 мм з оцінкою поділки "на око" по середній нитці і записують отримане значення, наприклад, 0440 в журнал геометричного нівелювання (рис. 11.14);
- в) візують на передню рейку, повторюють дії пунктів а, б. Нехай відлік по чорній стороні передньої рейки дорівнює 2080. Не змінюючи положення візирної труби нівеліра, беруть відлік по червоній стороні передньої рейки – 6858;
- г) візують на задню рейку і повторюють дії пункту а. Беруть відлік по червоній стороні задньої рейки - 5220.

Усі чотири відліки повинні бути записані в журнал. Обчислюють перевищення з відліків по чорній h' та червоній h'' сторонах рейок за формулою (8.1). Якщо виконується умова:

$$(h' - h'') \leq 5 \text{ мм}, \quad (11.11)$$

то обчислюють середню величину перевищення на станції. У наведеному прикладі (рис.8.24) отримаємо:

$$h' = 0440 - 2080 = -1640 \text{ мм};$$

$$h'' = 5220 - 6858 = -1638 \text{ мм}.$$

Перевірка виконання умови (11.11):

$$|1640 - 1638| = 2 \text{ мм}.$$

Умова виконується, тобто $2 \text{ мм} < 5 \text{ мм}$. Обчислюють середнє значення перевищення:

$$h_{-p} = (h' + h'') / 2 = -1639 \text{ мм}.$$

Під час робіт на станції нівеліром з компенсатором порядок взяття відліків за рейками може бути іншим:

- а) візують на задню рейку – беруть відліки по чорній та червоній сторонах рейки;
- б) візують на передню рейку – беруть відліки по чорній та червоній сторонах рейки. Подальші розрахунки виконують за правилами, які вже описані вище.

№ станцій	№ пікетів	Відліки по рейці, мм			Перевищення, мм		Горизонт приладу, м	Висоти, м
		задній З	проміжний	передній П	$h = 3\text{-П}$	середнє		
	А	0440(1)*						
I		5220(4)			-1640(5)	-1639(7)		
	1			2080(2)	-1638(6)			
				6858(3)				

*Примітка: (1).....(7) – послідовність виконання операцій

Рис. 11.14. Сторінка журналу технічного (геометричного) нівелювання

Зображення рейки у нівеліра Н-10Л зворотнє. Відліки по рейці, встановленій на точці "нулем" униз, будуть збільшуватись у полі зору окуляра зверху вниз. Зображення рейки у нівелірі Н-10КЛ пряме. Відліки по рейці у полі зору окуляра збільшуються знизу вверх. Віддалі від нівеліра до рейок не

повинні перевищувати 150 м і за можливості повинні бути рівними. Нівелювання виконують в одному напрямку.

11.7. Джерела похибок геометричного нівелювання

Обчислені значення перевищень за даними технічного нівелювання включають похибки, джерелами яких служать похибки приладу, рейок, методики та ін.

Розглянемо похибки геометричного нівелювання "з середини", коли перевищення вимірюють нівелірами типу Н-10 (Н-10КЛ).

Похибка через непаралельність осі рівня і осі візування. Відомо, що при рівності віддалей від нівеліра до обох рейок похибка у перевищенні, викликана непаралельністю осі рівня і осі візування, виключається з результату вимірювання. Під час технічного нівелювання рівність віддалей оцінюють "на око". Величина похибки у відліку по рейці через непаралельність осі рівня LL і осі візування VV (рис. 11.15) буде дорівнювати у міліметрах:

$$x = di'' / \rho'' , \quad (11.12)$$

де d – горизонтальна віддаль між нівеліром і рейкою.

Перевищення між двома точками під час нівелювання "з середини" обчислюють за формулою (8.10), в яку замість x вставимо її значення згідно з формулою (8.13):

$$h = (a_1 + d_1 i'' / \rho'') - (a_2 + d_2 i'' / \rho'') = a_1 - a_2 + (d_1 - d_2) i'' / \rho'' ,$$

де a_1 і a_2 – відліки по задній та передній рейках відповідно при похилому промені візування; d_1 – віддаль від нівеліра до задньої рейки; d_2 – до передньої рейки.

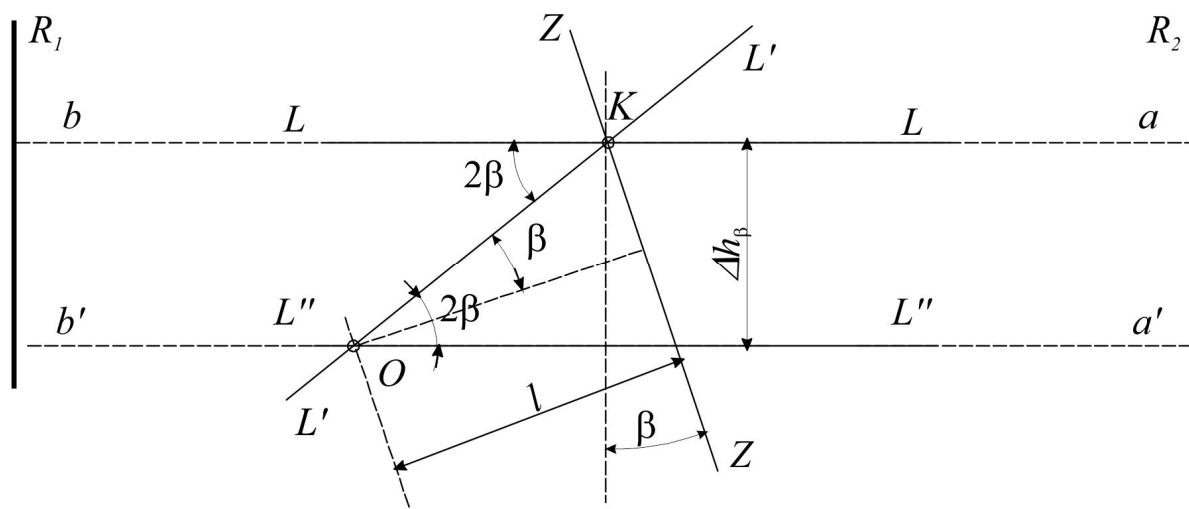


Рис. 11.15. Вплив нахилу осі обертання ZZ приладу на відлік по рейці

Похибка Δh у перевищенні при $d_1 \neq d_2$ буде дорівнювати:

$$\Delta h = (d_1 - d_2) i'' / \rho'' . \quad (11.13)$$

Поставивши собі допустиму величину $\Delta h_{\text{дон.}}$, можна обчислити допустиму величину кута $i''_{\text{дон.}}$:

$$i''_{\text{дон.}} = \frac{\Delta h_{\text{дон.}}}{d_1 - d_2} \rho''.$$

Якщо прийняти $\Delta h_{\text{дон.}} = 0,5$ мм для нівеліра Н-10 та $d_1 - d_2 = 10$ м, то $i''_{\text{дон.}} = 10''$. Однак від'юстувати нівелір так, щоб кут i'' не перевищував $10''$, не просто. При довжині оправи ампули рівня 7 см величині кута $i'' = 10''$ відповідає лінійне переміщення кінця ампули юстувальними гвинтами, що дорівнює 3-5 мкм. Тому інструкцією з нівелювання допускається величина кута $i'' = 20''$, тоді для тих самих умов отримаємо: $\Delta h_{\text{дон.}} = 1$ мм і нерівність плеч складе 10 м, що цілком досягне при оцінці віддалей "на око".

Похибка через нахил осі обертання приладу. Під час встановлення нівеліра на станції підймальними гвинтами бульбашку круглого рівня виводять в нуль-пункт звичайно з точністю 0,5 поділки. Ціна поділки круглого рівня – $10'$. Отже, кут нахилу вертикальної осі ZZ обертання нівеліра може досягати $5'$. У момент взяття відліку a по задній рейці вісь циліндричного рівня LL займає горизонтальне положення.

Вісь ZZ відхилена на кут β . На рис. 11.15 умовно візирна вісь зорової труби суміщена з горизонтальною віссю рівня LL . При повороті зорової труби, а разом з нею і циліндричного рівня навколо похилої осі ZZ обертання приладу вісь циліндричного рівня займе похиле положення $L'L'$, а бульбашка циліндричного рівня зміститься з нуль-пункту.

Кут між початковим положенням осі LL і наступним $L'L'$ дорівнює 2β . Для приведення бульбашки рівня в нуль-пункт зорову трубу, а разом з нею і вісь рівня нахилиють обертанням елеваційного гвинта. Нахил зорової труби здійснюють навколо осі O , яка ексцентрична відносно вертикальної осі ZZ приладу і знаходиться від неї на деякій віддалі l . У результаті роботи елеваційним гвинтом вісь циліндричного рівня займе горизонтальне положення $L''L''$, яке не співпадає з початковим на величину Δh_β . Ця ж величина викривить і відлік b за передньою рейкою. Він буде дорівнювати b' . Похибка у перевищенні Δh_β дорівнює:

$$\Delta h_\beta = OK \sin 2\beta,$$

де $OK = l / \cos \beta$.

Тоді:

$$\Delta h_\beta = 2l \sin \beta.$$

Оскільки β мале, то можна записати:

$$\Delta h_\beta = 2l \beta'' / \rho'' \quad (11.14)$$

Якщо прийняти $l = 10$ см, $\beta = 5'$ та $\rho'' = 206265''$, то $\Delta h_\beta = 0,3$ мм.

Аналогічні похибки діють і в нівелірах з компенсатором, вертикальність осі обертання ZZ яких встановлюється також за допомогою круглого рівня з ціною поділки $10'$.

Похибка установки візирної лінії у горизонтальне положення. Ця похибка викликана неточністю установки бульбашки циліндричного рівня в нуль-пункт, що дорівнює $(0,08 - 0,1)\tau''$, де τ'' – ціна поділки рівня. Відповідна похибка у відліку за рейкою буде обчислюватися за формулою:

$$\Delta h_{\tau} = 0,08\tau''d / \rho'', \quad (11.15)$$

де d – віддаль від нівеліра до рейки.

Для $d = 100$ м, $\tau'' = 45''$, маємо $\Delta h_{\tau} = 1,8$ мм.

У нівелірі Н-10КЛ похибка компенсації складає за даними паспорту – $1''.0$. Тоді $\Delta h_{\tau} = 1''.0'd / \rho''$.

Для тих же умов величина Δh_{τ} буде дорівнювати 0,5 мм.

Похибки відліків, які залежать від роздільної здатності системи: око – зорова труба. Відповідна похибка у відліку по рейці обчислюється за формулою:

$$\Delta h_{\phi} = \frac{60''d}{\Gamma\rho''}, \quad (11.16)$$

де Γ – збільшення зорової труби; d – віддаль від нівеліра до рейки; $60''$ – роздільна здатність неозброєного ока.

Для $d = 100$ м, $\Gamma = 20^{\times}$ (нівелір Н-10КЛ) отримаємо $\Delta h_{\phi} = 1,5$ мм.

Похибка оцінки частки поділки шкали рейки. Якщо необхідно оцінити на око $1/n$ частку поділки шкали рейки, вся поділка повинна бути видимою під кутом:

$$\alpha' = n\alpha_0,$$

де α' – кут, під яким буде видима поділка рейки;

α_0 – кут придатної роздільної здатності ока прийнято з досліджень $\alpha_0 = 3'$.

Щоб можна було оцінити "на око" десяту частку поділки, весь поділ повинен розглядатися під кутом, що дорівнює:

$$\alpha' = 10 \times \alpha_0 = 10 \times 3 = 30'.$$

Одна поділка рейки дорівнює $a = 10$ мм. Якщо прийняти віддаль від нівеліра до рейки $d = 100$ м, збільшення зорової труби нівеліра Н-10 дорівнює $\Gamma = 23^{\times}$, то фактичний кут α , під яким буде розглядатися одна поділка рейки, буде дорівнювати:

$$\alpha = \frac{av}{d}\rho' = \frac{10 \times 23}{100000} 3438' = 7,9'.$$

Отже, при $d = 100$ м за рейкою можна оцінити долю поділки, що дорівнює:

$$1/n = a/a' = 7,9 / 30 = 1/4.$$

Отож, похибка відраховування по рейці складе $\pm 2,5$ мм.

Вплив похибок поділок рейки. Для шашкових рейок РН-10 допускаються випадкові відхилення від номінального значення довжини найменшого інтервалу – $\pm 0,5$ мм.

Похибки у відліках через непрямовисність рейок. Рейки РН-10 для технічного нівелювання не мають рівня. Прямовисність встановлення рейок оцінюють "на око". Практично для отримання відліку, що відповідає прямовисному положенню рейки, рейку похитують у напрямку лінії візування.

Тоді відлік, що відповідає прямовисному положенню рейки, буде найменшим серед можливих і буде дорівнювати a_0 (рис. 11.16, а). Однак, через наявність товщини d рейки це твердження правильне тільки при нахилі рейки до нівеліра.

При нахилі рейки від нівеліра нуль рейки трохи піднімається (рис. 11.16, б).

Найменшим буде відлік a_1 , який не відповідає a_0 . Похибка у відліку буде дорівнювати:

$$\Delta a = a_0 - a_1 = a_0 - \sqrt{a_0^2 - d^2} = a_0 \left(1 - \sqrt{1 - d^2 / a_0^2}\right).$$

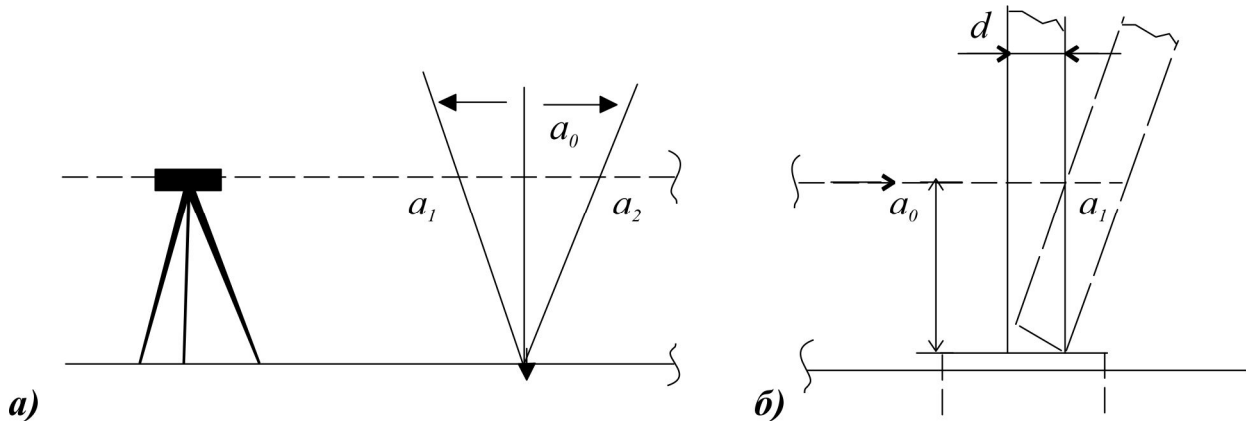


Рис. 11.16. Вплив нахилу рейки на відлік по рейці

Застосовуючи розкладання функції $\sqrt{1 - d^2 / a_0^2}$ у степеневий ряд і обмежувачись її першими двома членами, отримаємо:

$$\Delta a = a_0 \left[1 - \left(1 - d^2 / 2a_0^2\right)\right] = d^2 / 2a_0. \quad (11.17)$$

Величина похибки у відліку зворотно пропорційна до величини відліку a_0 , тобто чим менше a_0 , тим більше Δa . Якщо d дорівнює 30 мм для відліків a_0 , що дорівнюють відповідно 100, 500, 1000 і 2000 мм, отримаємо наступні значення Δa відповідно: 4,5, 0,9, 0,45, 0,2 мм.

Якщо враховувати, що у відповідності з вимогами ГОСТ 10528-90 найменша величина поділки не повинна відрізнятися від номіналу на 0,5 мм, то рейку рекомендують похитувати при відліках тільки більше 1000 мм.

Обчислимо загальну середню квадратичну похибку перевищення на станції, обумовлену впливом перелічених джерел похибок. Перевищення на станції обчислюється за формулою (11.1). Якщо m_a і m_b середні квадратичні похибки відліків, то похибку перевищення у відповідності з формулою (9.25) обчислюють за формулою:

$$m^2 = m_a^2 + m_b^2,$$

оскільки $m_a = m_b$, то:

$$m^2 = 2m_a^2. \quad (11.18)$$

Похибка відліку m_a залежить від різних джерел похибок, що діють незалежно одне від одного. Загальна середня квадратична похибка перевищення буде дорівнювати:

$$m^2 = m_i^2 + m_\beta^2 + 2m_\tau^2 + 2m_\phi^2 + 2m_n^2 + 2m_n^2 + 2m_\eta^2,$$

де m – середня квадратична похибка, яка враховує відповідно: m_i – вплив кута i'' ; m_β – вплив нахилу осі ZZ ; m_τ – точність установки бульбашки циліндричного рівня в нуль-пункті; m_ϕ – вплив роздільної здатності зорової труби; m_n – вплив оцінки доли поділу рейки "на око"; m_{II} – похибку величини поділки рейки, m_η – вплив непрямовисності рейки.

Для розглянутих прикладів отримаємо:

$$m = \sqrt{1,0^2 + 0,3^2 + 2 \times 1,8^2 + 2 \times 1,5^2 + 2 \times 2,5^2 + 2 \times 0,5^2 + 2 \times 0,5^2} = 5 \text{ мм}.$$

Перевищення між двома віддаленими одна від одної точками отримується як сума окремих перевищень, що визначаються з середньою квадратичною похибкою m на станціях. Якщо кількість таких станцій між двома точками позначити через n , то середня квадратична похибка m_h перевищення буде дорівнювати:

$$m_h = m\sqrt{n}. \quad (11.19)$$

Варто зауважити, що у попередніх розрахунках не врахований вплив зовнішніх умов, різниця між метровими інтервалами пари рейок і т.д. Формулу (11.19) рекомендують застосовувати, якщо кількість станцій на 1 км ходу більша 25. Частіше користуються не середньою квадратичною похибкою m одного перевищення, а середньою квадратичною похибкою нівелювання лінії довжиною у 1 км – $m_{км}$. Тоді формула розрахунку очікуваної середньої квадратичної похибки перевищення ходу має вигляд:

$$m_h = m_{км}\sqrt{L} \text{ (мм)}, \quad (11.20)$$

де L – довжина ходу у км.

В інструкції обумовлено, що для технічного нівелювання $m_{км}$ дорівнює 50 мм. Тоді формула (11.20) буде мати вигляд

$$m_h = 50\sqrt{L}. \quad (11.20a)$$

Якщо кількість станцій на один кілометр нівелірного ходу перевищує 25, то середню квадратичну похибку перевищення ходу обчислюють за формулою

$$m_h = 10\sqrt{n}, \quad (11.20б)$$

де n – кількість станцій ходу.

11.8. Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання полягає у визначенні перевищення за допомогою похилого променя візування. Нехай між точками A і B місцевості потрібно визначити перевищення h , причому горизонтальне прокладання між ними відоме (рис. 11.17).

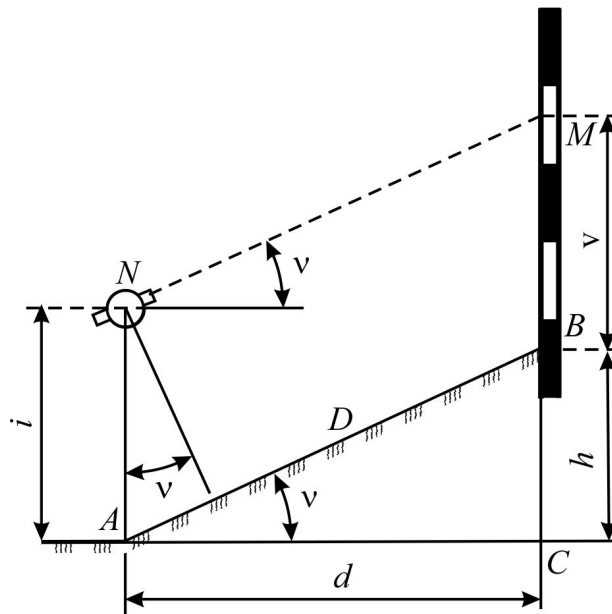


Рис. 11.17. Схема тригонометричного нівелювання

У точці A встановлюють теодоліт (тахеометр). Рулеткою вимірюють висоту приладу i – віддаль від осі обертання зорової труби до точки A . Вимірюють кут нахилу v променя візування і висоту візування v (рулеткою).

Перевищення h обчислюють за формулою:

$$h = d \operatorname{tg} v + i - v. \quad (11.21)$$

Якщо $i = v$, то:

$$h = d \operatorname{tg} v.$$

Встановимо середню квадратичну похибку перевищення з формули (8.22). Нехай виміряна похила віддаль D між кінцевими точками, тоді формула (11.22) має вигляд:

$$h = D \sin v + i - v. \quad (11.22)$$

Якщо D , v , i , v , незалежні результати вимірювань, то вони отримані з точністю, яка характеризується середніми квадратичними похибками відповідно m_D, m_v, m_i, m_v . Величини i і v вимірюють з точністю 1 см.

Відповідно до формулами (11.23) та (11.25) середня квадратична похибка перевищення буде дорівнювати:

$$m_h = \sqrt{h^2 \left(\frac{m_D}{D} \right)^2 + D^2 \cos^2 v \left(\frac{m_v}{\rho''} \right)^2 + m_i^2 + m_v^2}, \quad (11.23)$$

Приклад: нехай $h = 10$ м, $D = 300$ м (у теодолітних ходах), $v = 2^\circ$, $m_D / D = 1/2000$, $m_v = 30''$, $\rho'' = 206265''$, $m_i = m_v = 1$ см. Якщо виразити величини h і D у сантиметрах і при $v = 2^\circ$ прийняти $\cos v = 1$. Тоді, підставивши ці значення у формулу (8.24), отримаємо:

$$m_h = \sqrt{0,5^2 + 4,5^2 + 1,0^2 + 1,0^2} = 4,7 \text{ см.}$$

Для розглянутого прикладу перший, третій і четвертий члени формули (11.24) дуже малі у порівнянні з іншими, і ними можна нехтувати. Тоді формула (8.24) при малих значеннях кутів нахилу буде мати вигляд:

$$m_h = D \frac{m_v}{\rho''}. \quad (11.24)$$

Виражаючи m_h у сантиметрах, а віддаль D в метрах і, прийнявши, $m_v = 30''$ для теодоліта 2ТЗ0М, отримаємо:

$$m_h = \frac{100D \cdot 30''}{206265''} = 0.015D, \text{ см.} \quad (11.25)$$

Похибка перевищення прямо пропорційна до довжини лінії D . При $D=300\text{м}$, маємо $m_h = 0,015 \times 300 = 4.5\text{см}$, тобто отримали величину, близьку до значення, обчисленого за формулою (11.23). Тож допустимо похибку перевищення обчислювати за наближеною формулою (11.25).

Похибку визначення перевищення між двома віддаленими точками, між якими прокладений хід тригонометричного нівелювання, можна знайти за формулою:

$$m_h^2 = m_{h_1}^2 + m_{h_2}^2 + \dots + m_{h_n}^2,$$

де m_{h_i} – середні квадратичні похибки окремих перевищень ходу.

Якщо прийняти, що віддалі $D_1 = D_2 = \dots = D_n$ і вимірювання рівноточні, то $m_{h_1} = m_{h_2} = \dots = m_{h_n} = m$, а

$$m_h = m\sqrt{n}, \quad (11.26)$$

де m_h середня квадратична похибка перевищення тригонометричного ходу; n – кількість перевищень.

Підставивши у формулу (11.26) значення m з формули (11.25), отримаємо:

$$m_h = 0,15D\sqrt{n}, \quad (11.27)$$

де D – середнє значення довжини сторони ходу, яке дорівнює:

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n = P / n.$$

Тоді, підставивши значення D у формулу (8.28), отримаємо:

$$m_h = 0,015P / \sqrt{n}, \quad \text{см} \quad (11.28)$$

де P – периметр ходу, м.

В інструкції [7] вказана формула допустимої нев'язки перевищення у ході тригонометричного нівелювання:

$$f_{\text{доп.}} = \frac{0,04P}{\sqrt{n}}, \text{ (см)}, \quad (11.29)$$

де n – кількість перевищень або ліній у ході; P – периметр ходу, м.

11.9. Вплив кривизни Землі та рефракції на результати нівелювання

При виведенні формул нівелювання було прийнято, що рівнева поверхня – це горизонтальна площина, а промінь візування – пряма лінія. Рівневі поверхні відліку висот точок є близькими до поверхні кулі з радіусом R .

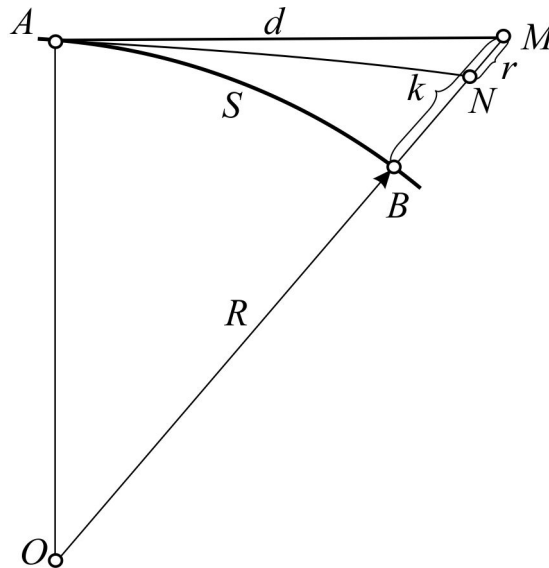


Рис. 11.18. Вплив кривизни Землі і рефракції на визначення перевищення

Нехай визначається перевищення між точками B і A , що розташовані на одній рівневій поверхні (рис. 11.18).

З точки A проведемо горизонтальний промінь, який перетне рейку, встановлену перпендикулярно у точці B . Величина відрізка $k=BM$ за рейкою виражає вплив кривизни Землі на отримане значення перевищення h , яке повинне дорівнювати нулю, оскільки обидві точки розміщені на рівневій поверхні, прийнятій за початок відрізка висот. Фактично через кривизну Землі виміряне перевищення між точками не буде дорівнювати нулеві, тобто

$$h = k,$$

де k – називають поправкою у перевищення на кривизну Землі.

Поправку k на кривизну Землі можна знайти з розв'язання прямокутного трикутника OAM :

$$R^2 + d^2 = (R + k)^2, \quad (11.30)$$

де R – радіус Землі, d – горизонтальна віддаль між точками A і B .

З рішення рівняння (8.30) з урахуванням того, що k дуже мале у співвідношенні з R , отримаємо:

$$k = d^2 / 2R. \quad (11.31)$$

З курсу фізики відомо, що промінь у приземному шарі викривляється через рефракцію і є кривою AN . Відрізок $r = NM$ називають поправкою на рефракцію. Загальна поправка на кривизну Землі і рефракцію f відповідно до рис. 11.18 буде дорівнювати:

$$f = k - r.$$

Помічено, що радіус рефракційної кривої AM у 6 разів більший від радіуса Землі, тому вважається, що і поправка r буде у стільки ж разів меншою від величини поправки k на кривизну Землі. Тоді:

$$f = 0,42d^2 / R. \quad (11.32)$$

Приймаючи $R = 6371$ км, отримаємо формулу:

$$f = 0,0654d^2, \text{ (м)}, \quad (11.33)$$

для d , що виражається у км.

Під час геометричного нівелювання при довжині променя 100м поправка f складає 0,6 мм. Але під час нівелювання "з середини" її величина практично виключається з результатів обчислення перевищення. Під час тригонометричного нівелювання величина поправки на кривизну Землі і рефракцію помітна вже при віддалі 300 м і складає 6 мм. У цьому випадку поправку слід враховувати.

11.10. Геометричне нівелювання

Нівелюванням називається визначення перевищення одних точок місцевості над іншими. Геометричне нівелювання базується на використанні горизонтального променя візування. При цьому є два методи: нівелювання вперед і нівелювання з середини.

Нівелювання, зазвичай виконують способом із середини. При технічному нівелюванні способом із середини нівелір встановлюють орієнтовно посередині між рейками. На кожній станції ходу дві точки, що нівелюють є сполучними. Одну з них називають задня, а іншу – передня. Всі інші точки, які нівелюють на станції, називають проміжними.

Відліки з рейок, встановлених на сполучних точках, знімають у такій послідовності:

- відлік з чорного боку задньої рейки;
- відлік з чорного боку передньої рейки;
- відлік з червоного боку передньої рейки;
- відлік з червоного боку задньої рейки.

На проміжних точках знімають відлік тільки з чорного боку рейки.

Проектування положення траси автодороги полягає в нанесенні на поздовжній профіль проектної лінії майбутньої траси. Положення проектної лінії визначається рядом технічних вимог.

При здійсненні геометричного нівелювання необхідно виконати наступні обчислення і побудови:

- обчислення в журналі технічного нівелювання;
- врівноваження нівелірного ходу;
- побудувати поздовжній і поперечний профілі вздовж лінії нівелювання;
- запроектувати вісь майбутньої лісовозної дороги (червону лінію) на побудованих профілях з відповідними розрахунками;
- розрахувати основні елементи колових кривих.

Початкові даними для виконання геометричного нівелювання є результа-

ти польових вимірювань, отримані при розбивці пікетажу, нівелюванні і зніманню траси (рис. 11.19); виписка з каталогу висот вихідних пунктів нівелювання Rp8 та Rp12; виписка з технічних умов на проектування поздовжнього і поперечного профілів дороги (радіуси колових кривих, допустимі нахили та ін).

11.10.1. Обчислення в журналі технічного нівелювання

Опрацювання в журналі технічного нівелювання виконують в наступній послідовності:

- контроль правильності записів відліків з рейок;
- обчислення перевищень та їх середніх значень;
- проведення посторінкового та пожурнального контролю;
- врівноваження нівелірного ходу (визначення фактичної та допустимої нев'язок, розподіл фактичної нев'язки);
- обчислення висот сполучних та проміжних точок.

Контроль правильності записів відліків з рейок, обчислення перевищень та їх середніх значень. Правильність вимірювань та записів контролюють безпосередньо в полі. Обчислюють п'яти рейок, як різницю між відліками червоного і чорного боків рейки.

Наприклад, на станції 1 для задньої точки Rp8 (6772-1988=4784 мм), і передньої ПК-0 (5796-1015=4781 мм).

Обчислюємо перевищення задніх сполучних точок над передніми за формулами:

$$h_{\text{чор.}} = a_{\text{чор.}} - b_{\text{чор.}},$$

$$h_{\text{чер.}} = a_{\text{чер.}} - b_{\text{чер.}}$$

де: $a_{\text{чор.}}$, $b_{\text{чор.}}$ – відліки з чорних боків відповідно задніх і передніх рейок; $a_{\text{чер.}}$, $b_{\text{чер.}}$ – теж саме з червоних боків.

Контроль обчислень полягає в тому, що різниці п'яток задньої і передньої рейок, як і різниці у перевищеннях, обчислених з обох боків рейок, не повинні перевищувати 5 мм.

Середнє значення перевищень обчислюємо за формулою:

$$h_{\text{сер.}} = \frac{h_{\text{чор.}} + h_{\text{чер.}}}{2}.$$

Наприклад, на станції 1 $h_{\text{чор.}} = 1988 - 1015 = 973 \text{ мм};$
 $h_{\text{чер.}} = 6772 - 5796 = 976 \text{ мм};$

$$h_{\text{сер.}} = \frac{973 + 976}{2} = 974,5 \text{ мм.}$$

Обчислені значення перевищень на станції записуємо в графу 6 журналу технічного нівелювання, а їх середні значення в графу 7, (рис. 11.19).

№ стан.	Точки спост.	Відліки з рейок, мм			Перевищення, мм		Середнє перевищ., мм	Попр. мм	Виправлені перевищ., мм	Горизонт нівеліра, мм	Висоти точок, мм
		задні	передні	проміжні	мм						
					+	-					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Рр8	1988									235918,0
		6772			973						
1		4784					974,5	1,5	976,0		
			1015								
			5796		976						
	ПК-0		4781								236894,0
	ПК-0	1685								238579	236894,0
		6470			788						
2		4785					787,0	2,0	789,0		
	+82			0360							238219,0
			0897								
			5684		786						
	ПК-1		4787								237683,0
	ПК-1	1672								239355	237683,0
		6456			1379						
		4784									
3	+45			2779			1380,5	1,5	1382,0		236576,0
	ПК-2			1505							237850,0
			0293								
			5074		1382						
	+55		4781								239065,0
	+55	0336								239401	239065,0
		5121				2582					
4		4785					-2584,0	2,0	-2582,0		
	ПК-3			2579							236822,0
	+30			0877							238524,0
			2918								
			7707			2586					
	ПК-4		4789								236483,0
	ПК-4	2663								239146	236483,0
		7447			1109						
5		4784									
	+25			2652			1110,0	2,00	1112,0		236494,0
	+55			0341							238805,0
	70			2710							236436,0
			1554								
			6336		1111						
	ПК-5		4782								237595,0
Суми		40610	37274		8504	5168	1668,00	9,0	1677,0	Нк-Нп=	1677,0
Контроль			3336		3336		1668,00				

Рис. 11.19. Перша сторінка журналу технічного нівелювання

Проведення посторінкового та пожурнального контролю. З цією метою визначають у відповідних колонках внизу сторінки журналу і записують такі суми:

- $\sum a$ – сума відліків з чорних та червоних боків задніх рейок;
- $\sum b$ – сума відліків з чорних та червоних боків передніх рейок;
- $\sum h$ – сума виміряних на станціях перевищень;
- $\sum h_{сер.}$ – сума середніх виміряних перевищень.

Якщо на даній сторінці чи в журналі загалом $\sum a - \sum b = \sum h = 2\sum h_{сер.}$, то обчислення виконані правильно. В протилежному випадку потрібно знайти і вип-

равити помилку в обчисленнях перевищень або зазначених сум.

Наприклад, для першої сторінки журналу нівелювання (рис. 11.19).

$$\sum a = 40610 \text{ мм}, \sum b = 37274 \text{ мм}, \sum a - \sum b = 3366 \text{ мм},$$

$$\sum h_{\text{сер.}} = 1668 \text{ мм}, (\sum a - \sum b) : 2 = 1668 \text{ мм}.$$

Врівноваження нівелірного ходу. Після обчислення середніх перевищень обчислюють фактичну нев'язку f_h нівелірного ходу за формулою: $f_h = \sum h_{\text{сер.}} - \sum h_{\text{теор.}}$. Для визначення нев'язки визначають: суму середніх вимірних перевищень в ході $\sum h_{\text{сер.}}$; суму теоретичних перевищень $\sum h_{\text{теор.}}$. Якщо нівелірний хід розміщений між початковим і кінцевим реперами з відомими висотними відзначками, то теоретичну суму перевищень визначають як різницю висот кінцевого і початкового реперів: $\sum h_{\text{теор.}} = H_{\text{кін}} - H_{\text{поч.}}$, де $H_{\text{кін}}$ і $H_{\text{поч.}}$ висотні відзначки відповідно кінцевого і початкового реперів. Нев'язка вважається допустимою, якщо вона не перевищує допустимої величини. Допустиме значення нев'язки визначають за формулою: $f_{h,\text{доп.}} = \pm 50\sqrt{L}$ (мм), де L – протяжність нівелірного ходу в кілометрах. Якщо нев'язка в перевищеннях є меншою ніж її допустиме значення, тоді знаходять поправки у вимірні перевищення. Поправки розподіляють рівномірно в усі перевищення з протилежним до нев'язки знаком. Для полегшення обчислень величину поправки на кожен станцію вносимо таку, щоб кінцеві виправлені перевищення були цілими числами. Для контролю правильності обчислень знаходять суму поправок на сторінці $\Sigma \Delta$ і різницю висот кінцевих і початкових точок на сторінці ΔH , при правильності обчислень повинна справджуватись рівність $\sum h_{\text{сер.}} + \Sigma \Delta = \Delta H$.

Для завдання нашого варіанту врівноваження нівелірного ходу.

$$1. \sum h_{\text{вимір.}} = \sum h_{\text{серед.}} = -4576 \text{ мм.}$$

$$2. \sum h_{\text{теор.}} = H_{Rp12} - H_{Rp8} = 231367 \text{ мм} - 235918 \text{ мм} = -4551 \text{ мм.}$$

$$3. f_h = \sum h_{\text{вимір.}} - \sum h_{\text{теор.}} = -4576 \text{ мм} - (-4551 \text{ мм}) = -25 \text{ мм.}$$

$$4. f_{h,\text{доп.}} = \pm 50\sqrt{L} = \pm 50\sqrt{1,5} = \pm 61 \text{ мм.}$$

Обчислення висот сполучних точок. Висоти сполучних точок визначають послідовним сумуванням висот попередніх точок (задніх) і врівноважених перевищень, враховуючи при цьому знаки врівноважених перевищень: $H_n = H_{n-1} + h$, де H_n і H_{n-1} відповідно висота наступної і попередньої сполучних точок, h – перевищення між цими точками.

Висоти проміжних точок визначають через горизонт приладу (висоту візирної осі нівеліра). Горизонт нівеліра $ГН$ визначають шляхом додавання до висоти задньої точки відліку з чорної сторони рейки на цю ж точку: $ГН = H_A + a_{\text{чорн.}}$. Горизонт приладу для кожної станції обчислюється окремо. Висота проміжної точки визначається як різниця горизонту нівеліра і відліку з чорної сторони на проміжній точці $H_{\text{пром.}} = ГН - a_{\text{чорн.пром.}}$. Якщо на станції декілька проміжних точок, то від горизонту приладу віднімаємо відповідний відлік на дану точку.

Наприклад, на станції 1 сполучними точками є точка Rp 8, її висота рівна 235918 мм і точка ПК 0. Виправлене перевищення між цими точками рівне 976 мм. Висота точки ПК 0 буде рівна 135918 + 976 = 236894 (мм). На станції 2 сполучними точками є точка ПК 0 з висотою 236894 мм і точка ПК

1. Виправлене перевищення між цими точками рівне 789 мм. Висота точки ПК 1 буде рівна $236894 + 789 = 237683$ (мм). Таким чином обчислюємо висоти усіх сполучних точок нівелірного ходу.

На станції 2 є проміжна точка (+82). Для обчислення її висоти обчислюємо горизонт нівеліра на даній станції $ГН_{II} = 236894 + 1685 = 238579$ (мм). Її висотна позначка буде рівна: $Н_{ПК\ 1+82} = 238579 - 360 = 238219$ (мм). На станції 3 проміжних точок є декілька: ПК 1+45 з відліком на рейку з чорної сторони 2779 мм та ПК 2 з відліком – 1505 мм. Обчислюємо горизонт приладу на даній станції:

$$ГН_{III} = 237683 + 1672 = 239355 \text{ (мм)}.$$

Висотні позначки проміжних точок на даній станції відповідно будуть рівні:

$$Н_{ПК\ 1+45} = 239355 - 2779 = 236576 \text{ (мм)};$$

$$Н_{ПК\ 2} = 239355 - 1505 = 237850 \text{ (мм)}.$$

Всі обчислення записують у відповідні графи журналу нівелювання, (рис. 11.19).

11.10.2. Розрахунок горизонтальних колових кривих

З'єднання прямолінійних ділянок траси лісовозної дороги в місцях її поворотів проводять за круговими кривими. Радіус R такої кривої вибирають, керуючись технічними умовами проектування лісовозних доріг (рекомендований $R = 800-1000$ м, мінімальний $R = 30-125$ м).

Кутом повороту траси Θ (тета) називають кут утворений продовженням попереднього і наступним напрямками її ділянок:

$$\Theta_n = 180^\circ - \beta_1$$

$$\Theta_d = \beta_2 - 180^\circ,$$

де β_1 і β_2 – виміряні праві за ходом горизонтальні кути між суміжними прямолінійними відрізками дороги. Дані кути вимірюються теодолітом.

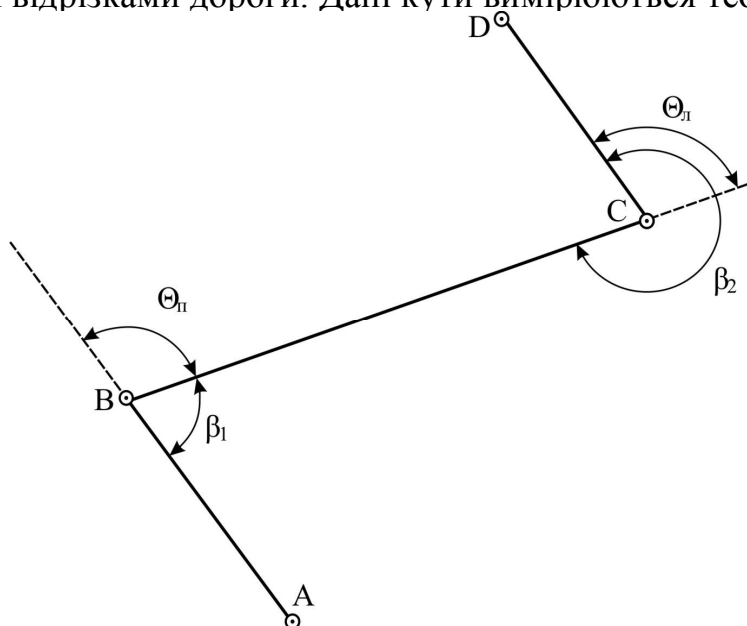


Рис. 11.20. Визначення кутів поворотів траси

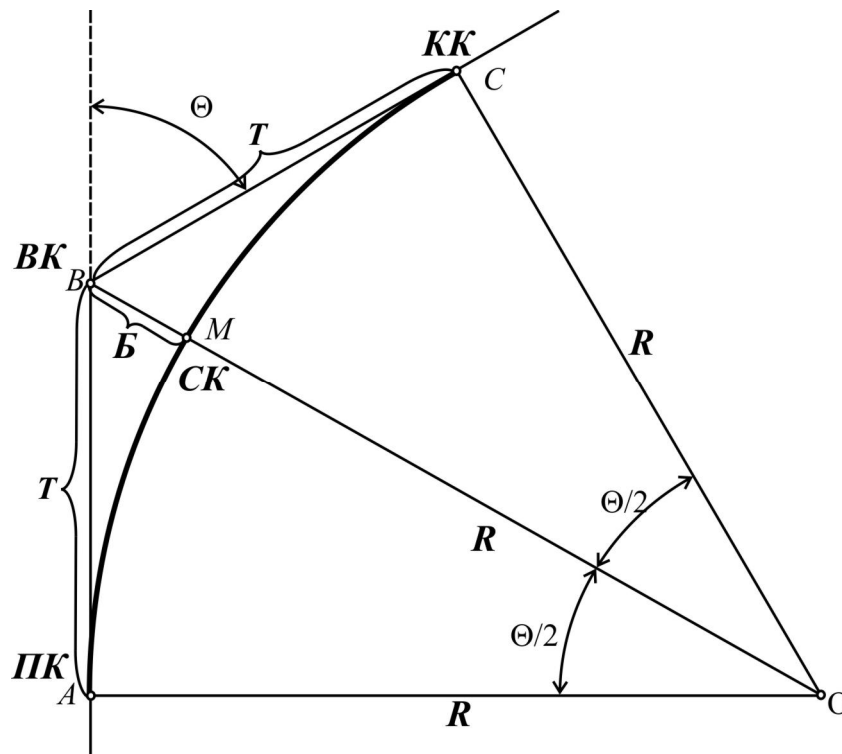


Рис. 11.21. Елементи кривих

Основні точки кривої: *BK* – вершина кута повороту; *ПК* – початок кривої; *СК* – середина кривої; *КК* – кінець кривої.

Основними елементами кривої є:

Θ – кут повороту; R – радіус повороту (OA , OM і OC); T – тангенс (AB і BC); B – бісектриса (BM); K – крива (AMC); D – домір (різниця відстані ABC і AMC).

Основні елементи кривих розраховують за спеціальними таблицями або за формулами: $T = R \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}$; $K = \frac{\Theta}{180} \pi R$; $B = \frac{R}{\cos \frac{\Theta}{2}} - R$; $D = 2T - K$

За значеннями елементів кривих розраховують пікетажні позначення головних точок кривої, які мають практичне значення для майбутніх будівельних робіт і мають бути закріплені на осі траси. Розрахунок здійснюють за формулами: $ПК = BK - T$, $СК = ПК + (0,5K)$, $КК = СК + (0,5K)$. Правильність обчислень контролюється за формулами: $КК = (BK + T) - D$. Дані розрахунки записують в пікетажному журналі, (рис. 11.22), або складають спеціальні відомості розрахунку кривих.

11.10.3. Побудова поздовжнього профілю

Поздовжній профіль викреслюють за даними журналу нівелювання і пікетажного журналу, а також відомості кутів поворотів прямих і кривих. Викреслюють на міліметровому папері в масштабах 1: 5000 (горизонтальний), 1:500 (вертикальний).

Так, як профілі складають для проектування, на них крім взаємного положення пронівельованих точок, що окреслюють поверхню землі, поміщають числові дані і схеми, що відносяться як до лінії землі (чорна лінія), так і до про-

ектної лінії (червона лінія). Ці дані розміщують у визначеному порядку, який встановлений стандартом, звідки і беруть так звану сітку профілю, тобто визначену розграфлення для розміщення в ній необхідних даних. Розміри і назви граф наведені в табл. 11.2.

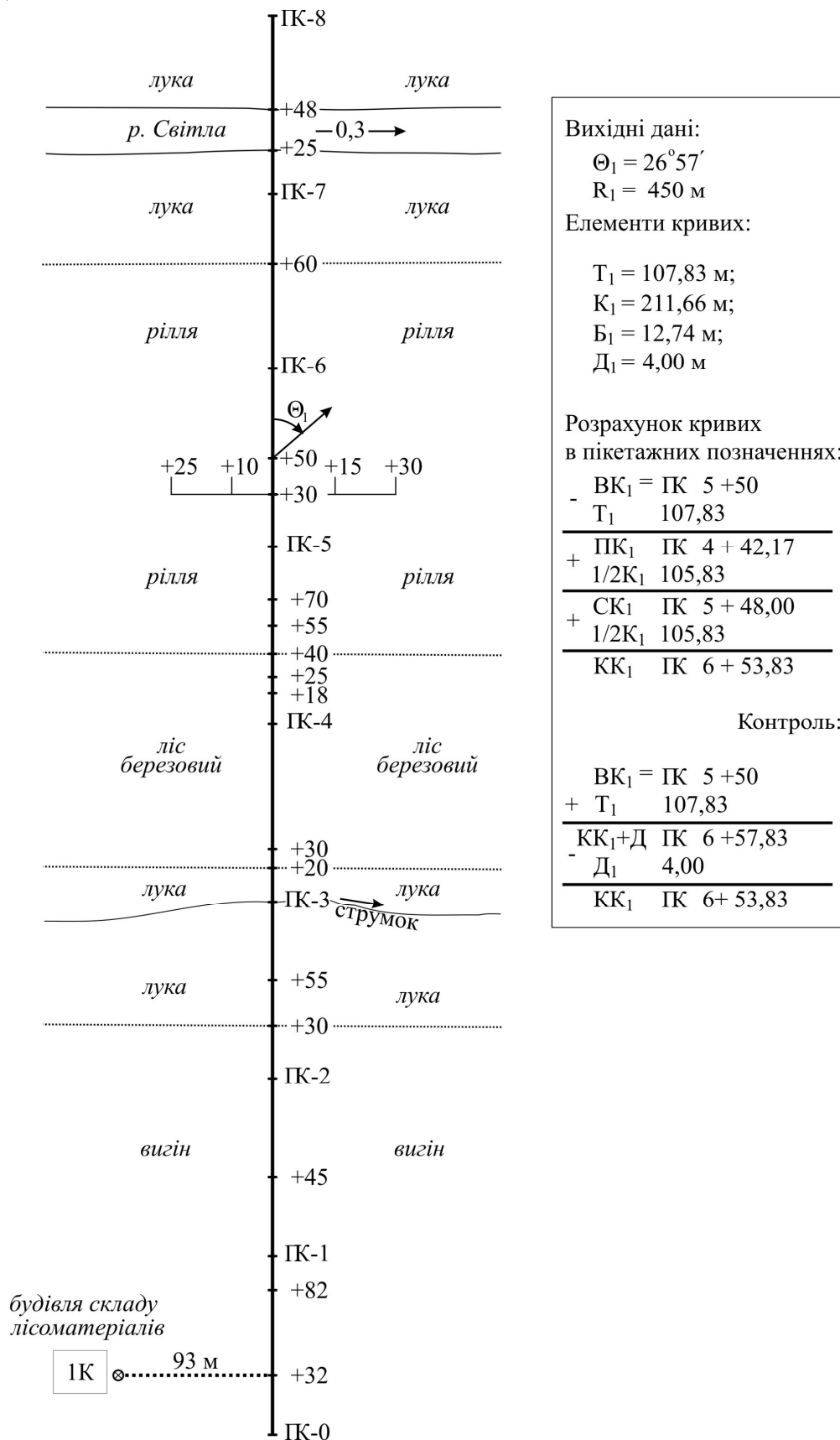


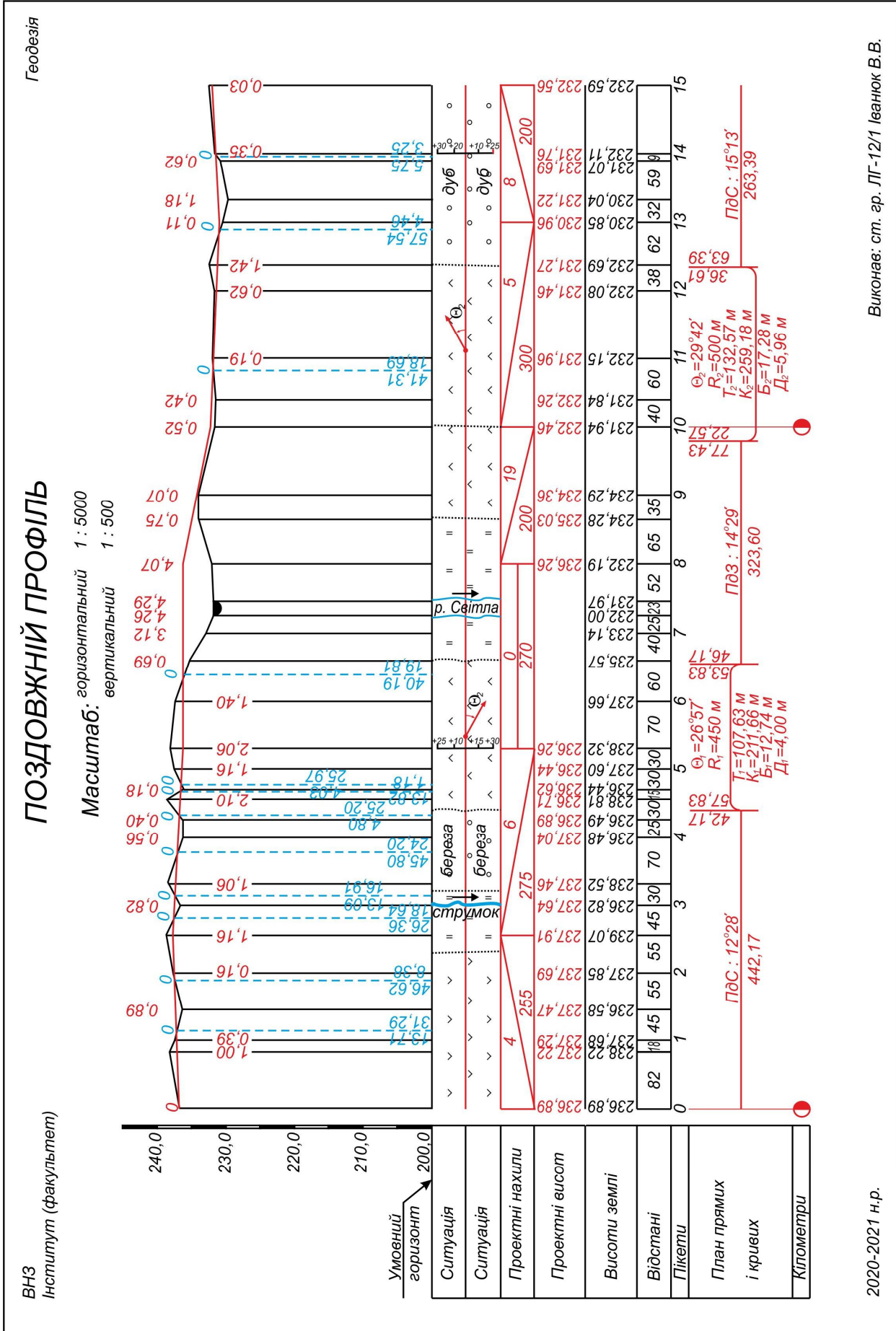
Рис. 11.22. Пікетажний журнал

Розміри граф профільної сітки для поздовжнього профілю

Назва графи профільної сітки	Розмір (висота), мм
Ситуація	20
Проектні нахили	10
Проектні висоти	15
Висоти землі	15
Віддалі	10
Пікети	5
План прямих і кривих	30
Кілометри	5

Викреслювання профілю після розмітки сітки починають з нанесення пікетів і заповнення графи "Віддалі", яку розбивають на відрізки по 2 см, що відповідає 100 м для масштабу (1:5000), тобто одному пікету. Вертикальні лінії, що відділяють пікети один від одного називають ординатами, їх проводять висотою 1 см, що відповідає висоті графі "Відстані" по потовщеним лініям міліметрового паперу, це значно полегшить подальшу побудову. За даними журналу нівелювання наносять плюсові точки. Обчислюють і підписують віддалі між пікетами і плюсовими точками, сума яких в кожному пікеті повинна бути рівна 100 м. Між пікетами, в яких не має плюсових точок, віддалі по 100 м не підписуються. Іксові точки на поздовжньому профілі не показують, оскільки вони необхідні тільки для передачі висот. Під лінією, що відділяє графу "Віддалі" виписують номери пікетів. Далі заповнюють графу "Висоти землі", в яку з журналу нівелювання з точністю до другого знаку виписують відзначки пікетів і плюсових точок за якими будують лінію поверхні землі по осі дороги (фактична лінія). Фактичну (чорну) лінію слід розмістити на відстані 6-8 см від верхньої лінії сітки так, щоб відзначки кратні п'яти співпадали з потовщеними сантиметровими лініями міліметрового паперу. Положення пікетів і плюсових точок визначають перетином їх ординат з горизонтальною лінією, що відповідає висоті точки. З'єднавши послідовно між собою отримані точки прямими отримують лінію профілю, яку викреслюють чорною тушшю (рис. 11.23).

За даними відомості кутів поворотів прямих і кривих наносять умовний план траси у вигляді прямих і кривих, які позначаються прямими лініями і дугами, графа "План прямих і кривих" (рис. 11.23). Якщо траса повертає вправо, то опуклість дуги викреслюють вверху, якщо вліво, то вниз. Кожна дуга повинна починатися і закінчуватися в точках, що відповідають пікетажному положенні початку і кінця заокруглення (ПК, КК). Вздовж ординат виписують заокруглені до 0,01 м відстані до найближчого попереднього і наступного пікетів. Посередині дуги виписують номер і значення кута повороту, радіус і значення основних елементів кругової кривої. На прямих ділянках траси виписують їх довжини і румби. Азимут прямих ділянок траси обчислюють за формулою: $A_n = A_{n-1} \pm \Theta$, де A_n – азимут наступної прямої ділянки траси, A_{n-1} – азимут попередньої прямої ділянки траси, Θ – кут повороту траси. В даній формулі "+" береться, коли траса повертає вправо, і "-" коли траса повертає вліво.



Виконав: ст. гр. ЛГ-12/1 Іванюк В.В.

Рис. 11.23. Поздовжній профіль

2020-2021 н.р.

В нижній частині сітки профілю графа "Кілометри" колами, що сполучені ординатами з відповідними пікетами, показують кілометри і випишують їх порядкові номери (рис. 11.23).

Графу "Ситуація" заповнюють за даними пікетажної книжки. Посередині цієї графи викреслюють червону лінію, що зображає вісь майбутньої дороги, стрілками, що відходять від неї позначають напрями і вершини кутів поворотів траси. Умовними знаками викреслюють ситуацію. Дає змогу замість заповнюючих знаків робити написи їх назв, наприклад "рілля", "ліс дубовий" і т.д. Приклад заповнення цієї графі показаний на рис. 11.23.

11.10.4. Проектування на профілі

Проектування на профілі зводиться до визначення оптимального розташування осі майбутньої лінійної споруди у вертикальній площині. Проектна лінія буде складатись з горизонтальних і похилих відрізків (окремих ділянок дороги). Проектування здійснюється графо-аналітичним способом: побудову проектної лінії на профілі виконують графічно, розрахунки елементів профілю розраховують аналітично. До проектної лінії ставиться ряд вимог:

- земляні роботи повинні бути, по можливості мінімальними і збалансовані (об'єм ґрунту взятого для виїмок, повинен відповідати об'ємам ґрунту, необхідного для насипів);
- поздовжні нахили траси не повинні перевищувати допустимих, нахили при проектуванні як правило виражають в тисячних долях – проміллях, з навчальною метою значення допустимого нахилу слід зменшити до 0,020 або 20⁰/₀₀;
- початок і кінець окремої ділянки проектної лінії рекомендують вибирати на існуючих пікетних чи плюсових точках;
- висота проектної лінії в місцях перетину її з водними перешкодами розраховується, в навчальних цілях її приймають в межах 4-4,5 м від рівня води, в цих районах слід проектувати горизонтальну ділянку довжиною не менше 100-150 м;
- якщо на сусідніх ділянках проектної лінії нахил змінює свій знак і сума нахилів цих ділянок складає 15 і більше проміллей, то між цими ділянками слід проектувати горизонтальну ділянку лінії довжиною 50-100 м;
- окремих ділянок проектної лінії по можливості має бути якомога менше, з навчальною метою на профілі має бути не менше 5 ділянок проектної лінії (оптимально 5-7).

Розрахунок нахилу ділянки. Враховуючи вищенаведені вимоги і використовуючи нанесену лінію профілю місцевості, наносять проектну лінію на вибраному відрізку траси. За різницями відзначок початку і кінця цього відрізка обчислюють нахил за формулою:

$$i = \frac{H_{пр.кін.} - H_{пр.поч.}}{d},$$

де: i – проектний нахил; $H_{пр.кін.}$ – проектна позначка кінця відрізка, м; $H_{пр.поч.}$ – проектна позначка початку відрізка, м; d – горизонтальне прокладання відрізка, м.

Якщо обчислений нахил менший від допустимого, то його заокруглюють до 0,001 (наприклад $i = 0,00437$, після заокруглення $i = 0,004$), і записують у відповідну графу профілю, туди ж записують і віддаль між

вибраними точками. Знак нахилу показують графічно. Якщо обчислений ухил виявився більшим від допустимого, то положення лінії змінюється в бік зменшення різниці висот між кінцевими точками чи збільшення відстані між кінцями лінії. Проектну висоту в точці ПК-0 слід прийняти рівній висоті землі в цій точці. За округленими значеннями нахилу і довжиною відрізка вираховують до 0,01 м перевищення між кінцевими точками вибраного відрізка і проектну відзначку кінця відрізка, яку записують у відповідну графу "Проектні висоти" напроти кінцевої точки вибраного відрізка. Намітивши проектну лінію вздовж всієї траси і переконавшись, що даний варіант є найоптимальнішим, викреслюють її тушшю (червона лінія).

Розрахунок проектних та робочих висот точок. Проектні висоти обчислюють для всіх пікетів, плюсових точок та точок перегинів проектної лінії. Проектні висоти точок обчислюють за формулою:

$$H_{точ.}^{np.} = H_{поч.точ.}^{np.} \pm i \cdot d,$$

де: $H_{поч.точ.}^{np.}$ - висота початкової точки відрізка проектної лінії; i – нахил проектної лінії; d – горизонтальне прокладання від початкової точки до точки, висоту якої знаходять. Знак "+" чи "-" добутку ($i \cdot d$) визначають за напрямом нахилу лінії, вказаного в графі (проектні нахили).

Робочою висотою $h_{роб}$ називають різницю між висотою проектної лінії і висотою землі в даній точці профілю, тобто $h_{роб} = H_{точ.}^{np.} - H_{зем.}$. Робоча висота зі знаком "+" показує висоту насипу, а зі знаком "-" глибину виїмки. Робочі висоти записують на ординатах точок: насип над проектною лінією, виїмка – під нею.

Визначення відстаней до точок нульових робіт. Точки переходу проектної лінії з виїмки – в насип, або навпаки (рис. 11.24), називають точками нульових робіт. В даній точці робоча відзначка рівна нулю. При проектуванні на профілю визначають відстань від найближчих пікетів чи плюсових точок до точок нульових робіт.

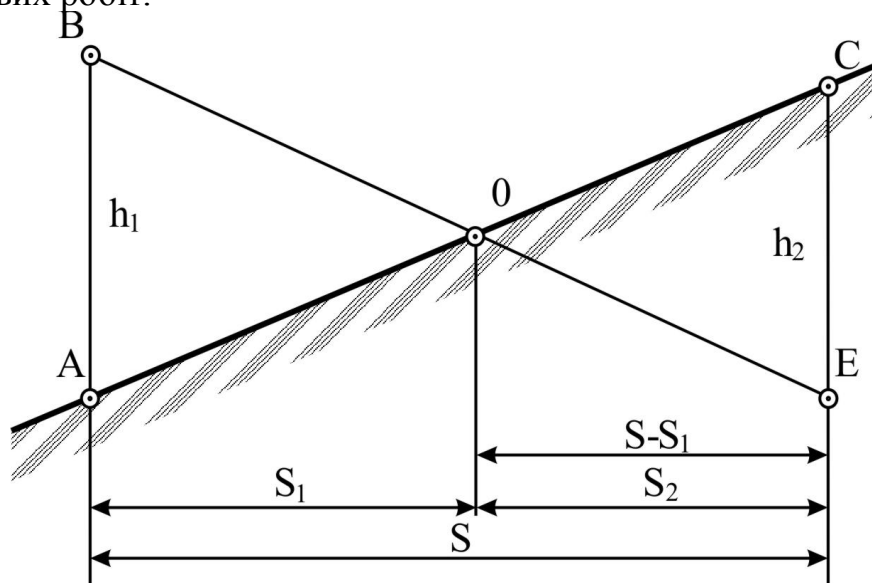
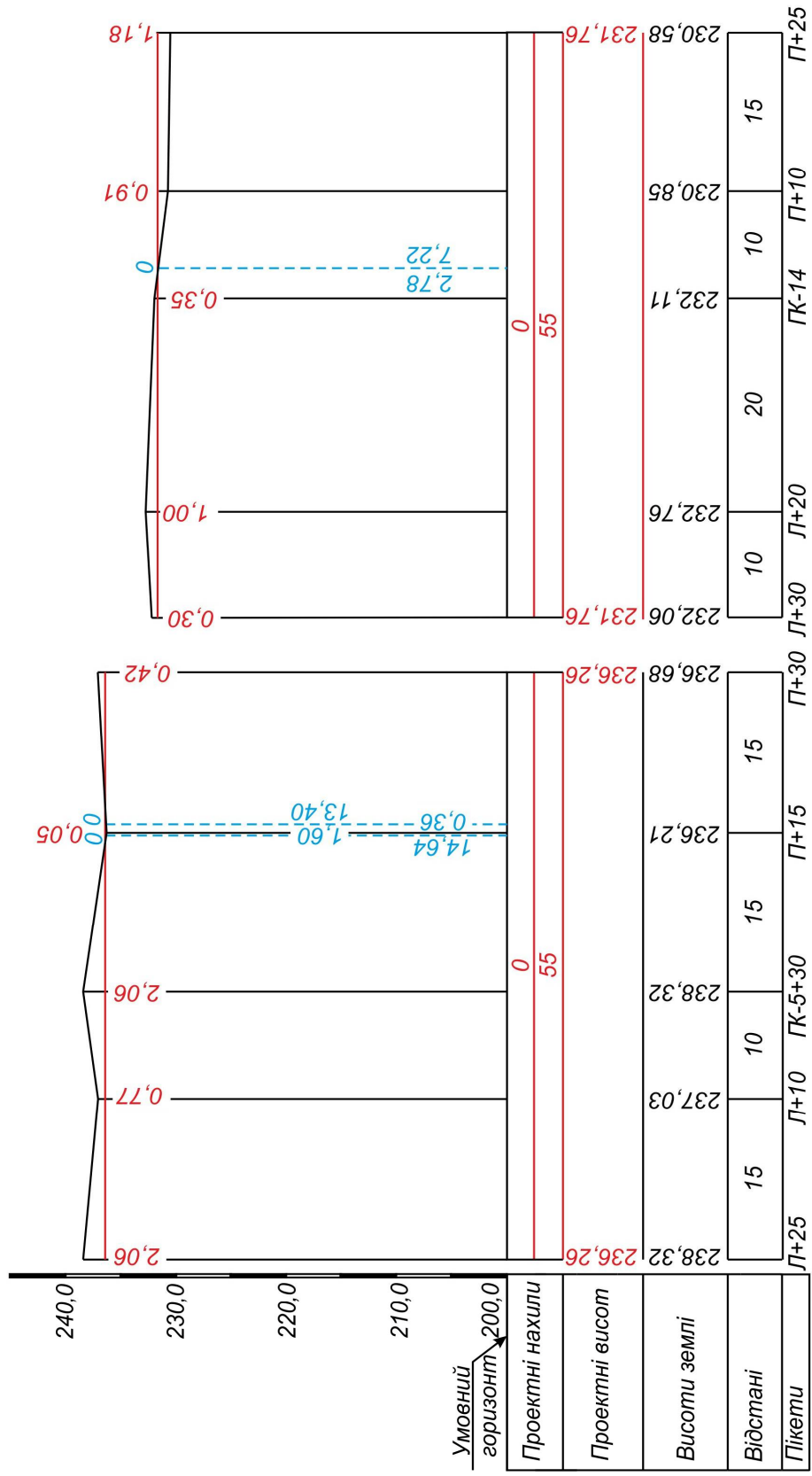


Рис. 11.24. Визначення положення точок нульових робіт

ПОПЕРЕЧНИЙ ПРОФІЛЬ

Масштаб 1 : 500



2020-2021 н.р.

Виконав: ст. ар. ЛГ-12/1 Іванюк В.В.

Рис. 11.25. Поперечний профіль

Положення точок нульових робіт визначають із співвідношення:

$$S_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot S, \quad S_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot S,$$

де: h_1, h_2 – робочі відзначки в точках A і C .

Правильність обчислень контролюють за формулою $d = S_1 + S_2$.

З точок нульових робіт опускають штрихову лінію до умовного горизонту, над і під нею записують відстані S_1 і S_2 .

11.10.5. Викреслення поперечних профілів

Викреслення поперечних профілів проводиться в одному масштабі, як для горизонтальних так і для вертикальних побудов (1: 500). Розміри і назви граф для поперечних профілів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розміри граф профільної сітки для поперечного профілю

Назва графи профільної сітки	Розмір (висота), мм
Проектні нахили	10
Проектні висоти	15
Висоти землі	15
Віддалі	10
Пікети	5

Заповнення граф "Відстані", "Пікети", "Висоти землі" проводиться аналогічно, як і для поздовжнього профілю. За цими даними будуть лінію поверхні землі. Проектні висоти плюсових і пікетних точок переписуємо з графи "Проектні висоти" поздовжнього профілю. Проектну (червону) лінію наносимо на рівні проектної відзначки точки, в місці закладення поперечного профілю. Обчислюють робочі відзначки і точки нульових робіт (рис. 11.25).

11.10.6. Оформлення профілів

Поздовжній і поперечні профілі викреслюють на міліметровому папері тушшю. Існуючі елементи траси викреслюють чорним кольором, а запроєктовані – червоним. Червоним кольором заповнюють слідує графи: "Кілометри", "План прямих і кривих", "Проектні висоти", "Проектні нахили". Вісь майбутньої дороги також викреслюють червоним кольором як на самому профілі, так і в графі "Ситуація". Робочі відзначки на профілях також позначають червоним кольором, точки нульових робіт і відстані до них позначають на профілях синім кольором. Всі решту написів роблять чорним кольором. Приклад оформлення профілів показаний на рис. 11.23 та 11.25.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 11

1. Дайте визначення *гідростатичного* нівелювання.
2. Які способи геометричного нівелювання ви знаєте?
3. Що називають горизонтом приладу (ГП)?
4. На які групи розділяють нівеліри за точністю?
5. Які типи рейок ви знаєте?
6. Які перевірки рейок виконують перед початком польових робіт?
7. Назвіть перевірки нівелірів?
8. Робота на станції при виконанні технічного нівелювання.

РОЗДІЛ ТРЕТІЙ. ГЕОДЕЗИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИКОНАННЯ ЗНІМАНЬ

ТЕМА 12. ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ОБРОБКА МЕРЕЖ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ЗНІМАЛЬНОЇ ОСНОВИ

- 12.1. Зміст та організація обробки геодезичних вимірювань.
- 12.2. Прямі і зворотні геодезичні задачі.
- 12.3. Обробка теодолітного ходу.
- 12.4. Зрівнювання висотних мереж знімальної основи.
- 12.5. Особливості зрівнювання діагональних теодолітних ходів.
- 12.6. Розв'язування кутових і лінійних геодезичних засічок.

12.1. Зміст та організація обробки геодезичних вимірювань

Геодезичне знімальне обґрунтування - це сукупність опорних пунктів на місцевості, що служать основою для виконання топографічних знімів. Подібні мережі можуть створюватися різними методами: прокладання теодолітних, тахеометричних і мензульних ходів, побудовою мереж мікротріангуляції і трилатерації, прямими та комбінованими засічками.

Вибір методу створення знімальної основи залежить від умов місцевості, необхідної точності та приладів, які застосовуються. Просторове положення точок визначають на основі кутових та лінійних вимірювань елементів мережі. Так у мікротріангуляції, у прямій та зворотній кутових засічках виконують кутові вимірювання, у трилатерації та лінійній засічці – лінійні вимірювання, а у теодолітних і тахеометричних ходах – як кутові, так і лінійні вимірювання.

Висоти точок визначають геометричним або тригонометричним нівелюванням. У мензульних ходах виконують відліки по рейці за допомогою спеціальних оптичних номограм.

Характер геодезичних вимірювань в залежності від прийнятого способу створення знімальної основи наведено у табл. 12.1. Метою обчислювальної обробки мереж геодезичної знімальної основи є обчислення просторових координат пунктів цих мереж, тобто планових координат X та Y і висот H центрів цих пунктів.

Вхідними даними обчислювальної обробки є результати геодезичних вимірювань (величин кутів, довжин сторін, відліків за рейками) і координати вихідних пунктів, тобто пунктів, які є основою для розвитку певної мережі. Увесь процес обробки вимірювань умовно можна розбити на три стадії: оцінку, аналіз і корегування (рис. 12.1).

На стадії оцінки виконується перевірка якості виконаних польових вимірювань, що ґрунтуються на дотриманні певних математичних умов у вимірюваній мережі. Під час перевірки знаходять розходження між результатами, що ґрунтуються на фактичних вимірюваннях та їхніми

теоретичними значеннями. У геодезії ці розходження називають *нев'язками*. Нев'язки виникають через накопичення і сукупну дію випадкових похибок вимірювань.

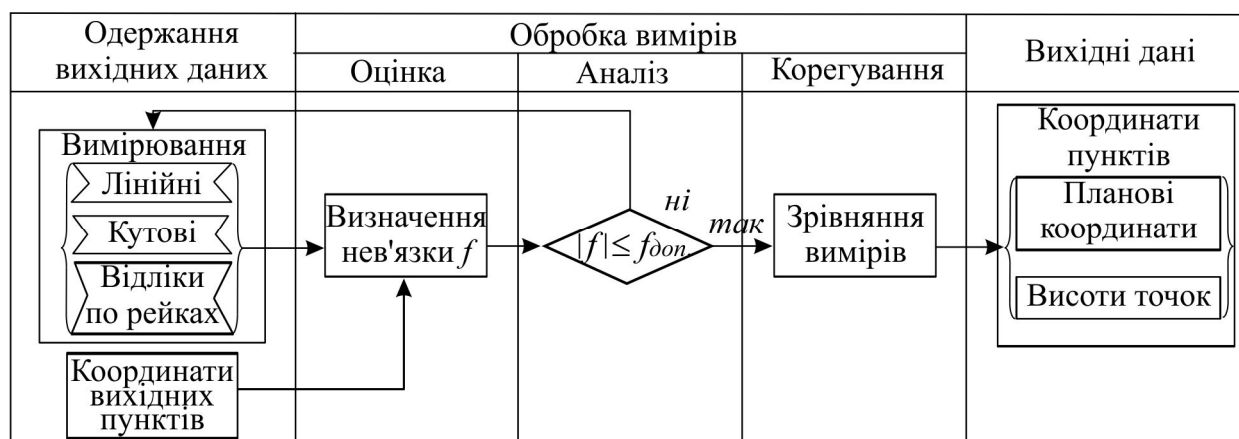


Рис. 12.1. Схема обчислювальної обробки геодезичних вимірювань

Таблиця 12.1

Види геодезичних вимірювань при побудові мереж знімальної основи

№ пор.	Способи побудови знімальної основи	Кутові вимірювання	Лінійні вимірювання	Відліки по рейках	Визначенні координати	
					планові	висотні
1	Мікротріангуляція	+	-	-	+	-
2	Трилатерація	-	+	-	+	-
3	Теодолітні ходи	+	+	-	+	-
4	Тахеометричні ходи	+	-	+	+	+
5	Пряма кутова засічка	+	-	-	+	-
6	Зворотна кутова засічка	+	-	-	+	-
7	Лінійна засічка	-	+	-	+	-
8	Мензульні ходи	-	-	+	+	+
9	Нівелірні ходи	-	-	+	-	+
10	Тригонометричні ходи	+	+	-	-	+

На наступній стадії знайдені значення невязок піддають аналізу, порівнюючи їх з встановленими допусками. Якщо невязки виходять за межі допусків, це свідчить про наявність грубих помилок і про необхідність повторення всіх вимірювань або їх частини.

У тому випадку, якщо невязки залишаються у межах встановлених допусків, вони повинні бути розподілені між виміряними (або обчисленими на їхній основі) величинами. Процес розподілу невязок та обчислення виправлених значень величин отримав назву зрівнювання результатів вимірювань.

Спосіб розподілу невязок під час зрівнювання залежить від характеру їх виникнення і накопичення у кожному конкретному виді вимірювань. Зрівнювання виконують на стадії корегування, що завершує процес обчислювальної обробки вимірювань.

Вихідними даними обчислювальної обробки вимірювань є координати пунктів знімальної основи. Залежно від виду виконаних вимірювань (табл. 12.1)

це можуть бути або планові координати X , Y пунктів, або їх висоти H , або ті та інші спільно.

Для створення знімальної основи найширше застосовують прокладення теодолітних ходів, пряму, зворотну кутові засічки, а також лінійну засічку. Розглянемо детально обчислення результатів вимірювань у кожному з цих способів.

12.2. Пряма і зворотна геодезичні задачі

Пряма і зворотна геодезичні задачі є головними геодезичними задачами. На їх основі базуються всі геодезичні побудови та обчислення.

Пряма геодезична задача. Сутність прямої геодезичної задачі полягає в тому, щоб за заданими координатами x_A, y_A точки A , горизонтальному прокладенню l_{AB} лінії AB та дирекційному куті цієї лінії α_{AB} визначити координати точки B (рис. 12.2).

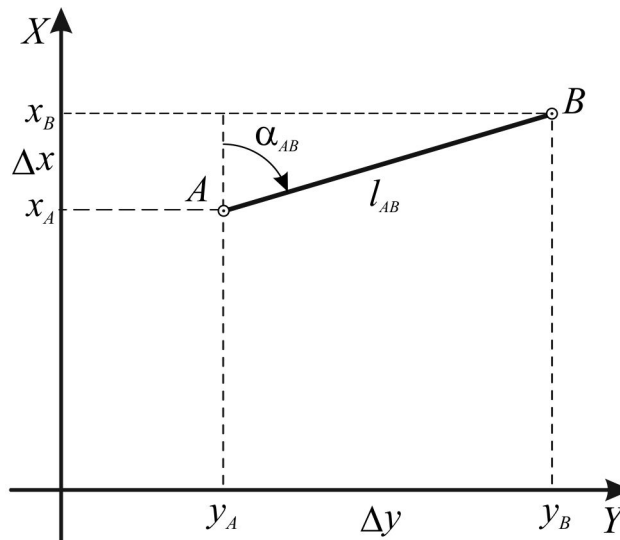


Рис. 12.2. Пряма геодезична задача

Проведемо з точок A і B лінії паралельні осям координат. Тоді, як видно з рис. 12.2, шукані координати точки B визначаються такими формулами:

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + (x_B - x_A) = x_A + \Delta x; \\ y_B &= y_A + (y_B - y_A) = y_A + \Delta y. \end{aligned} \right\} \quad (12.1)$$

У формулах (12.1) величини Δx і Δy називають *приростами координат*, відповідно за осями X і Y . З наведеної схеми видно, що прирости координат - це ортогональні проєкції довжини лінії на осі координат. Отже, прирости координат можуть бути обчислені за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= l_{AB} \cos \alpha_{AB}; \\ \Delta y &= l_{AB} \sin \alpha_{AB}. \end{aligned} \right\} \quad (12.2)$$

Знаки приростів координат визначаються знаками відповідних тригонометричних функцій \cos і \sin дирекційного кута α_{AB} . Правила визначення знаків приростів координат наведені на рис. 12.3.

Обчислення прямої геодезичної задачі виконують у спеціальній

відомості або на схемі (табл. 12.2). Цифри у першій графі визначають послідовність виконання обчислень. Якщо треба обчислити декілька прямих геодезичних задач, то на схемі додається відповідна кількість граф з числовими значеннями.

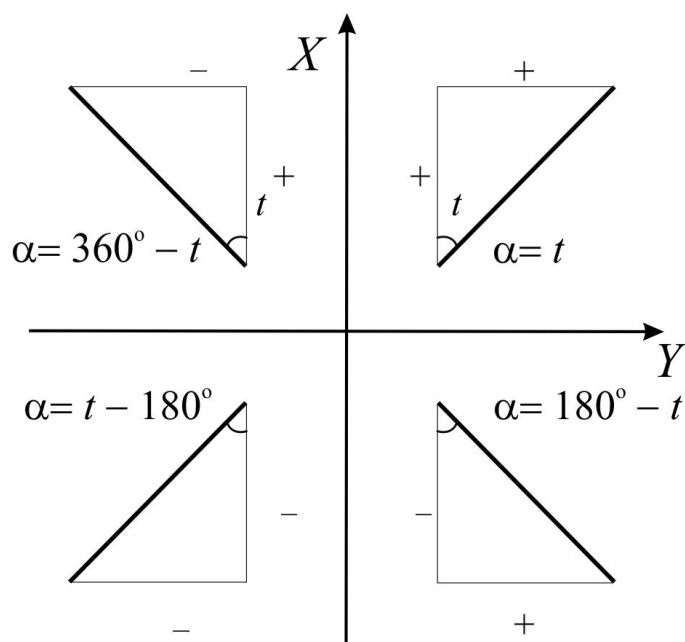


Рис. 12.3. Правила приведення табличного кута до дирекційного кута та визначення знаків приростів координат

Таблиця 12.2

Відомість обчислення прямої геодезичної задачі

Но пор.	Позначення	Числові значення
1	α	125°34'43"
9	x_2	47348,561
3	x_1	47498,451
7	Δx	-149,890
5	$\cos \alpha$	-0,581819
2	D	257,623
6	$\sin \alpha$	0,813318
8	ΔY	209,529
4	y_1	82315,537
10	y_2	82525,066

Обернена геодезична задача. Сутність оберненої геодезичної задачі полягає в тому, щоб за наведеними координатами кінцевих точок $A(x_A; y_A)$ і $B(x_B; y_B)$ лінії AB визначити її дирекційний кут α_{AB} і горизонтальну довжину l_{AB} (рис. 12.2).

Для обчислення дирекційного кута користуються формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (12.3)$$

При виконанні обчислень спочатку знаходять так званий *табличний кут* або *румб* t :

$$t = \arctg \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|. \quad (12.4)$$

За знаками приростів координат визначають, у якій координатній чверті знаходиться дирекційний кут, а далі, користуючись формулами приведення, знаходять саме значення дирекційного кута (рис. 12.3).

У нашому прикладі (табл. 12.3) приріст Δx є додатний, а приріст Δy – від'ємний, тому дирекційний кут треба обчислювати за формулою:

$$\alpha = 360^\circ - t,$$

$$\text{маємо: } \alpha = 360^\circ - 61^\circ 05' 49'' = 298^\circ 54' 11''.$$

Таблиця 12.3

Відомість обчислення оберненої геодезичної задачі

Кінцевий пункт	$x_K(1)$	$y_K(2)$	$tgt = \Delta Y / \Delta x (7)$	$\cos \alpha (10)$
Початковий пункт	$X_{II}(3)$	$y_{II}(4)$	$t (8)$	$l' = \Delta x / \cos \alpha$ $l'' = \Delta Y / \sin \alpha$
	$\Delta x = x_K - x_{II} (5)$	$\Delta Y = y_K - y_{II} (6)$	$\alpha (9)$	$\sin \alpha (11)$
B	28659.317	47394.831	-1.8112759	0,483329
	27481.953	49527.362	61°05'49"	2435.957
A	+1177.364	-2132.531	298°54'11"	2435.967
				-0,875438

Горизонтальне прокладання лінії AB обчислюють за формулою:

$$l_{AB} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \quad (12.5)$$

та контролюють за такими формулами:

$$l_{AB} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (12.6)$$

Довжину відрізка обчислено (табл. 10,3) два рази, отримано $l' = 2435.96\text{м}$ і $l'' = 2435.97\text{м}$, що для цієї точності обчислень є повним збігом результатів з точністю до похибок округлення чисел і свідчить про правильність обчислень.

12.3. Обробка теодолітного ходу

Загальна схема обробки теодолітного ходу в цілому відповідає наведеній вище схемі математичної обробки геодезичних вимірів і має ті самі стадії.

Вхідними даними є виміряні значення:

- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – горизонтальних кутів, де n кількість кутів між вихідними сторонами ходу;
- $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N$ – кутів нахилу сторін ходу (N – кількість сторін);
- D_1, D_2, \dots, D_N – довжин сторін ходу;

а також координати x, y вихідних пунктів; дирекційні кути α вихідних сторін.

У замкненому теодолітному ході (рис. 12.4, а) кількість виміряних кутів дорівнює кількості виміряних сторін ($n = N$), а у розімкненому ході (рис. 12.4, б) кількість виміряних кутів на одиницю більша від кількості сторін ($n = N + 1$).

Координати вихідних пунктів є обов'язковим елементом вхідних даних. Так для замкнутого теодолітного ходу, зображеного на рис. 10,4, *a*, необхідно мати координати вихідного пункту *C*, а для розімкненого ходу (рис. 12.4, *б*) – координати вихідних пунктів *I* і *7*.

Дирекційні кути вихідних сторін є обов'язковим елементом вхідних даних у тому випадку, коли відсутні координати кінцевих точок цих сторін. Так, наприклад, якщо у замкнутому ході (рис. 12.4, *a*) невідомі координати пунктів *A* і *B*, то для обчислення координат точок ходу необхідно мати значення дирекційного кута α_{CA} сторони *CA* або дирекційного кута α_{CB} сторони *CB*.

Аналогічно у розімкненому ході (рис. 12.4, *б*) необхідно мати значення дирекційних кутів α_{1-A} і α_{7-B} , якщо невідомі координати вихідних пунктів *A* і *B*.

У випадку, коли відомі координати усіх вихідних пунктів, дирекційні кути сторін між ними можна обчислити за формулами зворотної геодезичної задачі.

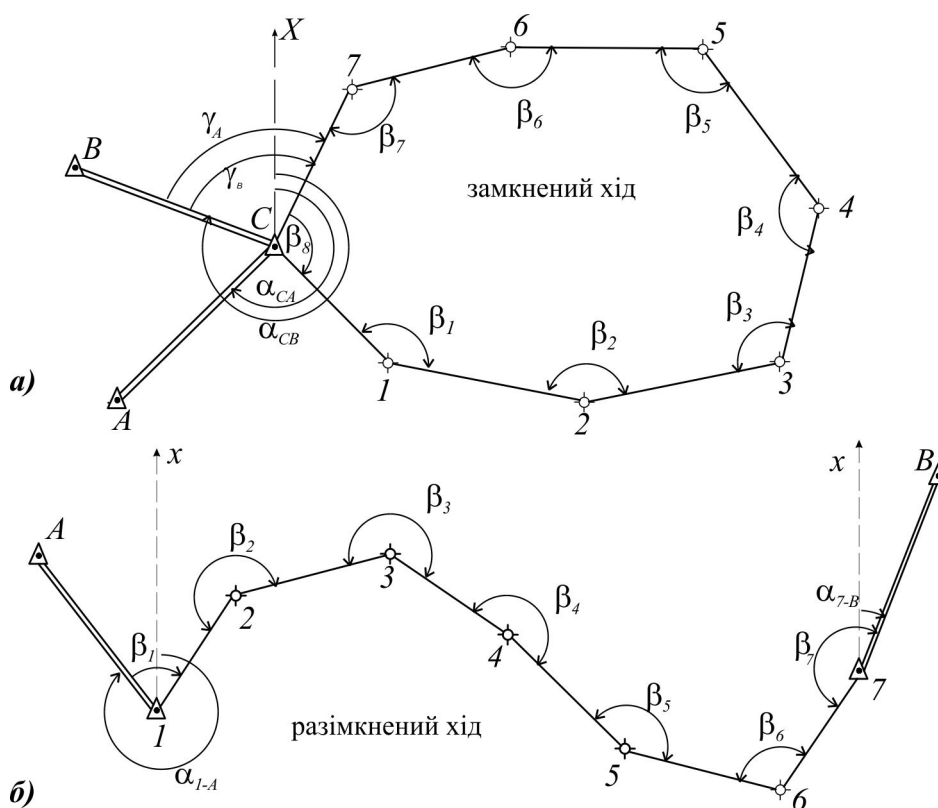


Рис. 12.4. Схеми теодолітних ходів

Обчислювальна обробка теодолітного ходу, як і будь-яких інших мереж знімальної основи, починається з перевірки польових журналів і попередніх обчислень. У процесі перевірки проводять контроль записів і обчислень, виконаних у полі. У журналі вимірювання кутів і довжин на кожній сторінці перевіряють наявність відомостей про дату та умови вимірювань, про застосований прилад і про виконавців. Після цього перевіряють наявність усіх необхідних даних про кутові та лінійні вимірювання, а також правильність їхнього запису в журналі. При цьому звертають особливу увагу на наявні примітки та ескізи.

Тоді повторюють усі обчислення, виконані у полі. Так заново обчислюють значення кутів з окремих напівприймів (*КЛ* і *КП*), знаходять їхнє

середнє значення, обчислюють значення місця нуля (*МО*) вертикального круга, знаходять значення кутів нахилу сторін, обчислюють середні значення довжин сторін, виміряних у прямому та зворотному напрямках.

У деяких випадках з метою підвищення точності на кожній станції вимірюють одночасно лівий $\beta_{\text{л}}$ і правий $\beta_{\text{п}}$ за ходом кути. Величина незамикаання горизонту ε не повинна перевищувати:

$$|\varepsilon| = |\beta_{\text{л}} + \beta_{\text{п}} - 360^\circ| \leq 2t, \quad (12.7)$$

де t – точність відліку при кутових вимірюваннях.

Величину не замикаання порівню розподіляють з протилежним знаком на виміряні кути і знаходять їхні виправлені значення:

$$\beta'_{\text{л}} = \beta_{\text{л}} - \varepsilon / 2; \quad \beta'_{\text{п}} = \beta_{\text{п}} - \varepsilon / 2. \quad (12.8)$$

Якщо на станції вимірюють не два, а n кутів, що замикають горизонт, то величину ε знаходять за формулою:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \beta_i - 360^\circ, \quad (12.9)$$

де β_i – горизонтальні кути між суміжними напрямками.

Розподіл величини ε і обчислення виправлених кутів виконується аналогічно:

$$\beta'_i = \beta_i - \varepsilon / n. \quad (12.10)$$

Остаточні значення виміряних горизонтальних кутів, кутів нахилу і середні значення сторін у журналі підкреслюють або записують чорнилом іншого кольору.

Після виконання перевірки польових журналів виконують обчислення горизонтальних прокладань довжин сторін ходу.

Обчислення горизонтальних прокладань довжин сторін ходу ведуть у спеціальних відомостях (табл. 12.4), у яких поміщають необхідні ескізи профілю вимірюваної лінії.

Таблиця 12.4

Відомість обчислення горизонтальних прокладень довжин сторін ходу

Назва лінії	Виміряна довжина L , м	Кут нахилу, ν	Горизонтальне прокладення l , м	Примітка
I-II	78,73	-2°14'5	78,68	
II-a	34,15	3°42'0	34,09	
a-III	96,81	1°38'3	96,78	
II-III			130,87	

При значеннях кутів нахилу ліній, що не перевищують 1° , і довжинах до 100 м горизонтальне прокладання ліній можна приймати рівним до виміряних похилих довжин. Поправка на нахил у цих випадках не перевищує 1 см. Слід мати на увазі, що поправка на нахил завжди буде від'ємною, незалежно від знака кута нахилу.

Після обчислення горизонтальних прокладань довжин сторін складають схему теодолітного ходу, на якій вказують напрям "північ-південь" або напрям

осі абсцис OX прийнятої системи координат (рис. 12.5). На схемі біля кожної сторони підписують її горизонтальне прокладання, а біля кожної вершини – середні значення виміряних горизонтальних кутів. Для пунктів опорної геодезичної мережі на схемі вказують їхні координати, а для вихідних сторін – їхні дирекційні кути. Схема теодолітного ходу – це документ, який узагальнює результати польових вимірювань та попередніх обчислень і містить дані для наступної обробки.

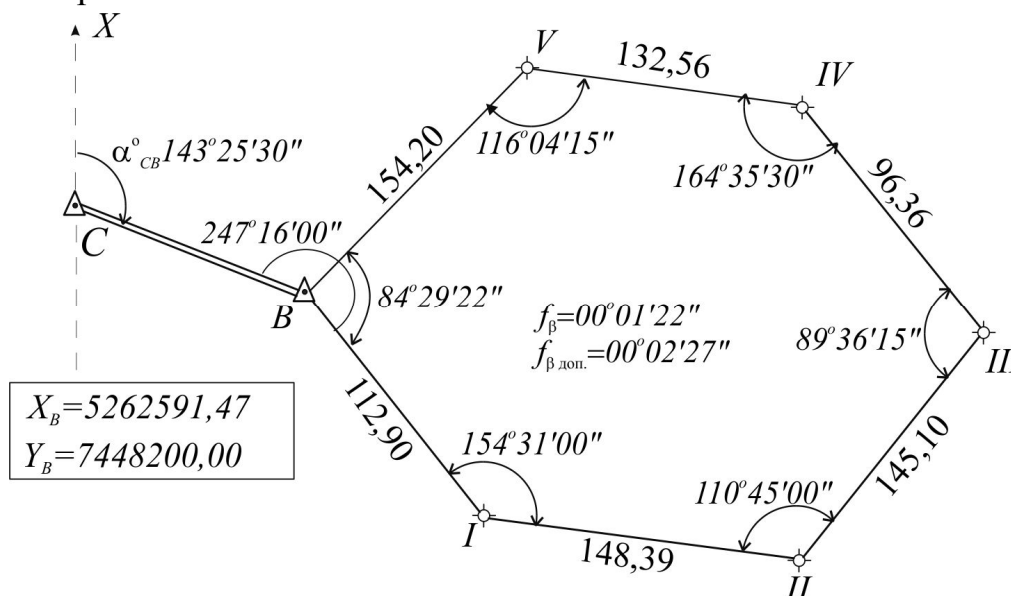


Рис. 12.5. Схема теодолітного ходу

Останнім елементом попередніх обчислень є передача дирекційних кутів з вихідних на одну або дві сторони теодолітного ходу. У замкнутому теодолітному ході достатньо визначити дирекційний кут однієї з сторін ходу. У розімкненому ході визначають дирекційні кути початкової та кінцевої сторін. Для визначення дирекційних кутів застосовують кути, які називаються кутами дотичними.

Так, наприклад, у замкнутому ході (рис. 12.4, а) вимірюють для контролю два дотичні кути – дирекційний кут вихідної сторони ходу $C-7$ знаходять за формулами:

$$\alpha'_{C-7} = \alpha_{C-A} + \gamma_A; \quad \alpha''_{C-7} = \alpha_{C-B} + \gamma_B. \quad (12.11)$$

Контролем правильності обчислення вихідного дирекційного кута є виконання умови:

$$|\alpha'_{C-7} - \alpha''_{C-7}| \leq 30''. \quad (12.12)$$

За кінцеве значення приймається середнє з обчислених значень α'_{C-7} і α''_{C-7} .

Таким же чином у розімкненому ході (рис. 12.4, б) вимірюють кути β_1, β_7 і обчислюють дирекційні кути вихідної сторони ходу 1-2 та кінцевої сторони 6-7 ходу.

Наступним етапом є обчислення кутової нев'язки ходу f_β . Величину кутової нев'язки у замкнутому теодолітному ході обчислюють за формулою:

$$f_{\beta} = \sum_{i=1}^n \beta_i - \sum \beta_{\text{теор.}}, \quad (12.13)$$

де $\sum_{i=1}^n \beta_i$ і $\sum \beta_{\text{теор.}}$ – відповідно сумі виміряних горизонтальних кутів у замкненому теодолітному ході та їх теоретична сума, n – кількість виміряних кутів

Якщо у полігоні виміряні усі внутрішні кути, то $\sum \beta_{\text{теор.}} = 180^{\circ}(n-2)$, а якщо виміряні зовнішні кути, то $\sum \beta_{\text{теор.}} = 180^{\circ}(n+2)$.

У розімкненому теодолітному ході кутову нев'язку f_{β} обчислюють за формулою

$$f_{\beta} = \alpha_{\text{п}} + \sum_{i=1}^n \beta_i^{\text{лів}} - 180^{\circ}n - \alpha_{\text{к}}, \quad (12.14)$$

якщо виміряні ліві за ходом горизонтальні кути, або ж за формулою

$$f_{\beta} = \alpha_{\text{п}} - \sum_{i=1}^n \beta_i^{\text{прав}} + 180^{\circ}n - \alpha_{\text{к}}, \quad (12.15)$$

якщо виміряні праві за ходом горизонтальні кути, а $\alpha_{\text{п}}$ і $\alpha_{\text{к}}$ – дирекційні кути відповідно початкової та кінцевої сторін ходу.

Під час вимірювання кутів теодолітом 30-секундної точності, наприклад, 2Т30М, величину допустимої кутової нев'язки ходу обчислюють за формулою:

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1'\sqrt{n}, \quad (12.16)$$

де n – загальна кількість виміряних у ході кутів.

Далі порівнюють між собою знайдені значення фактичної та допустимої кутових нев'язок. Якщо умова виконується

$$|f_{\beta}| \leq f_{\beta_{\text{доп}}}, \quad (12.17)$$

то якість виконаних вимірювань признають задовільною і виконують їхнє зрівнювання, для цього визначають і вводять поправки у виміряні кути.

Якщо ж вказана умова не виконується, то необхідно перевірити записи у польових журналах і всі раніше виконані обчислення. Якщо у результаті такої перевірки похибка не буде виявлена, то необхідно виконати повторні вимірювання всіх горизонтальних кутів у ході. При цьому заново виконують усі обчислення дирекційних кутів сторін ходу.

Поправку у кожний виміряний горизонтальний кут обчислюють за формулою:

$$v_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n}, \quad (12.19)$$

тобто кутову нев'язку розподіляють з протилежним знаком порівну у всі кути.

Значення кутових поправок округлюють до секунд і записують над значеннями виміряних кутів у відомості обчислення координат (табл. 12.5). Контролем правильності обчислення поправок служить виконання такої умови:

$$\sum_{i=1}^n v_{\beta_i} = -f_{\beta}. \quad (12.20)$$

Якщо нев'язка не ділиться без остачі на кількість кутів і похибки округлення дещо порушують вказану умову, то для її дотримання слід ввести в кути більші поправки (на 1"-2"), виміряні між сторонами з найкоротшими довжинами, оскільки при інших рівних умовах похибки центрування теодоліта і встановлення віх будуть сильніше позначатися на точності вимірювання саме цих кутів.

Таблиця 12.5

Точки	Виміряні кути		Зрівняні кути		Дирекційні кути			Гориз. прокладання, d	Прирісти координат, м		Координати		№ точки
	°	'	°	'	°	'	"		Δx	Δy	x	y	
С					143	25	30				5262591,47	7448200,00	В
В					210	41	30	112,90	-0,02	0,02	494,36	142,39	I
I	247	16	00		185	12	17	148,39	-0,03	0,02	346,55	128,95	II
II	154	31	00	154	30	47		-147,78	-13,46	0,03			III
III	110	45	00	110	44	47	04	145,10	-0,02	0,02	283,03	259,45	IV
IV	89	36	15	89	36	01	05	96,36	86,94	41,56	369,95	301,03	V
V	164	35	30	164	35	16	21	132,56	-0,02	0,02	500,42	324,39	В
В	116	04	15	116	04	01	22	154,20	130,49	23,34	5262591,47	7448200,00	
Σ _{об}	720	01	22					Σ(+)	-0,03	0,03			
Σ _Г	720	00	00					Σ(-)	+308,51	195,37			
	$f_{\beta} = +0^{\circ}01'22''$							$P = 789,51$	$f_x = 0,15$	$f_y = -0,14$			

$$\frac{f_L}{P} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{P} = \frac{0,21}{790} = \frac{1}{3750} < \frac{1}{2000}$$

Виправлені кути β'_i знаходять, алгебраїчно підсумовуючи значення вимірених кутів з відповідними до них поправками:

$$\beta'_i = \beta_i + v_{\beta_i}. \quad (12.21)$$

Кутова нев'язка ходу, обчислена за виправленими кутами β'_i , повинна дорівнювати нулю. У замкненому теодолітному ході цій умові відповідає рівність:

$$\sum_{i=1}^n \beta'_i = \sum \beta_{\text{теор.}}. \quad (12.22)$$

Далі обчислюють дирекційні кути усіх сторін ходу за такими формулами:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta'_i{}^{\text{лів.}} \pm 180^\circ, \quad (12.23)$$

де $\beta'_i{}^{\text{лів.}}$ – ліві за ходом кути;

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - \beta'_i{}^{\text{пр.}} \pm 180^\circ, \quad (12.24)$$

де $\beta'_i{}^{\text{пр.}}$ – праві за ходом кути.

За початкове значення приймають дирекційний кут $\alpha_{\text{п}}$ вихідної сторони.

Контролем правильності обчислення дирекційних кутів є точний збіг обчисленого значення дирекційного кута кінцевої сторони ходу із заданим його значенням.

У розімкненому ході правильність обчислення виправлених кутів контролюється такими рівностями:

- для лівих за ходом кутів:

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{п}} + \sum_{i=1}^n \beta'_i{}^{\text{лів.}} - 180^\circ n; \quad (12.25)$$

- для правих за ходом кутів:

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{п}} - \sum_{i=1}^n \beta'_i{}^{\text{пр.}} + 180^\circ n. \quad (12.26)$$

Наступним етапом математичної обробки є обчислення приростів координат для усіх сторін ходу. Прирости координат Δx і Δy - це проєкції сторін теодолітного ходу на координатні осі X і Y .

Як впливає з прямої геодезичної задачі, прирости координат знаходять за формулами:

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha; \quad \Delta y = d \cdot \sin \alpha,$$

де d – горизонтальне прокладання сторони, а α – її дирекційний кут.

Знаки приростів координат визначають відповідно до рис. 12.3.

Після обчислення приростів координат знаходять f_x, f_y нев'язки ходу по вісях координат за формулами:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum_{i=1}^N \Delta x_i - (x_k - x_n) \\ f_y &= \sum_{i=1}^N \Delta y_i - (y_k - y_n) \end{aligned} \right\}, \quad (12.27)$$

де x_n, y_n та x_k, y_k – координати відповідно початкової та кінцевої точок теодолітного ходу, а N – загальна кількість сторін ходу.

У замкненому теодолітному ході нев'язки обчислюються за формулами:

$$f_x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i; \quad f_y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i. \quad (12.28)$$

Абсолютна лінійна нев'язка характеризує собою величину незамикання теодолітного ходу на його кінцевій точці внаслідок похибок куткових і, головним чином, лінійних вимірювань. Її величина може бути визначена за формулою:

$$f_l = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (12.29)$$

Після обчислення лінійної нев'язки знаходять відносну нев'язку ходу:

$$f_{\text{відн.}} = \frac{f_l}{P} = \frac{1}{P : f_l}, \quad (12.30)$$

де P – периметр ходу, тобто його загальна довжина.

Знайдена відносна нев'язка ходу не повинна перевищувати допуску, встановленого відповідними інструкціями. Цей допуск залежить від умов вимірювань на місцевості і приймається для теодолітних ходів рівним 1:2000. Якщо фактична відносна нев'язка ходу перевищує допустиму, то необхідно перевірити записи у польових журналах і всі раніше виконані обчислення. Якщо у результаті такої перевірки похибка не буде виявлена, необхідно виконати повторні вимірювання довжин сторін ходу, а, можливо, і кутів нахилу сторін. При цьому також заново виконують усі обчислення, пов'язані з визначенням приростів координат і нев'язки. Якщо ж відносна нев'язка ходу не перевищує встановленого допуску, то якість лінійних вимірювань визнають задовільною і виконують зрівнювання приростів координат, ввівши в них відповідні поправки.

Поправки знаходять шляхом розподілення нев'язок f_x і f_y з протилежним знаком пропорційно до довжин сторін, тобто:

$$\left. \begin{aligned} v_{x_i} &= -\frac{f_x}{P} d_i \\ v_{y_i} &= -\frac{f_y}{P} d_i \end{aligned} \right\}, \quad (12.31)$$

де v_{x_i}, v_{y_i} – поправки у прирости координат i – тої сторони довжиною d_i .

Значення поправок v_{x_i} та v_{y_i} округлюють до сантиметра і записують у відомість над відповідними значеннями приростів координат. Контролем правильності обчислення поправок служить виконання таких умов:

$$\sum_{i=1}^N v_{x_i} = -f_x; \quad \sum_{i=1}^N v_{y_i} = -f_y. \quad (12.32)$$

Алгебраїчно підсумовуючи вказані поправки з відповідними приростами координат, знаходять виправлені прирости:

$$\Delta x'_i = \Delta x_i + v_{x_i} \quad \Delta y'_i = \Delta y_i + v_{y_i}. \quad (12.33)$$

Для контролю виконаних обчислень служить перевірка: у замкненому теодолітному ході:

$$\sum_{i=1}^N \Delta x'_i = 0; \quad \sum_{i=1}^N \Delta y'_i = 0; \quad (12.34)$$

у розімкненому теодолітному ході:

$$\sum_{i=1}^N \Delta x'_i = x_K - x_P; \quad \sum_{i=1}^N \Delta y'_i = y_K - y_P. \quad (12.35)$$

На заключному етапі координати усіх точок теодолітного ходу обчислюють за формулами:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x'_i; \quad y_{i+1} = y_i + \Delta y'_i. \quad (12.36)$$

При цьому починають з вихідної точки теодолітного ходу і послідовно, від точки до точки, приходять до кінцевої. Заключним контролем правильності обчислень є збіг обчислених координат кінцевої точки з їхніми відомими значеннями. У замкненому ході початкова і кінцева точки співпадають і, отже, у ході обчислень повинні бути у підсумку отримані координати початкової точки ходу.

12.4. Зрівнювання висотних мереж знімальної основи

Визначення висот пунктів знімальної геодезичної основи досягається двома основними способами: геометричним або тригонометричним нівелюванням.

Вихідними даними для обчислення тригонометричного нівелювання є виміряні значення кутів нахилу і довжин сторін, а також висоти вихідних пунктів, між якими прокладений хід тригонометричного нівелювання, тобто теодолітно – висотний хід.

Перевірка польових журналів і попередні обчислення у такому ході виконуються практично так само, як і в теодолітному ході.

Перевищення сторін ходу знаходять за формулою:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - v, \quad (12.37)$$

де v – кут нахилу сторони; d – її горизонтальне прокладання; i – висота приладу; v – висота візування.

Далі обчислюють висотну нев'язку ходу за такими формулами:

$$f_h = \sum_{i=1}^N h_i - (H_K - H_P), \quad (12.38)$$

для розімкненого ходу та:

$$f_h = \sum_{i=1}^N h_i. \quad (12.39)$$

для замкненого ходу,

де H_{Π} і H_K – відомі висоти відповідно початкової та кінцевої точок ходу; N – загальна кількість сторін ходу.

На наступному етапі висотну нев'язку порівнюють з допустимою, яку визначають з виразу:

$$f_{h \text{ доп.}} = \frac{0,04P}{\sqrt{N}}, \text{ м}, \quad (12.40)$$

де P – периметр ходу (у сотнях метрів).

Висотна нев'язка ходу визнається допустимою, якщо дотримується умова:

$$|f_h| \leq f_{h \text{ доп.}}. \quad (12.41)$$

В іншому випадку слід перевірити польові журнали вимірювань кутів нахилу сторін ходу та довжин сторін. Якщо похибка не буде знайдена, потрібно якість вимірювання кутів нахилу визнати незадовільною і повторно їх виміряти. Якщо у ході попередньо не виконувалось зрівнювання приростів координат, то повторному вимірюванню підлягають також і довжини сторін.

При допустимому значенні висотної нев'язки ходу виконують зрівнювання перевищень, для чого знаходять і вводять у них поправки, які визначаються пропорційно до довжини сторони ходу:

$$v_{h_i} = -\frac{f_h}{P} d_i, \quad (12.42)$$

де v_{h_i} – поправка у перевищення i – тої сторони, довжиною d_i .

Значення поправок округлюються до сантиметра. Контролем правильності обчислення поправок є дотримання умови:

$$\sum_{i=1}^N v_{h_i} = -f_h. \quad (12.43)$$

Обчислюють виправлені перевищення:

$$h'_i = h_i + v_{h_i}. \quad (12.44)$$

Висоти точок ходу розраховують послідовно одна за одною за виправленими перевищеннями, починаючи з висоти початкової точки ходу H_{Π} .

Для обчислення висот користуються формулою:

$$H_{i+1} = H_i + h'_i, \quad (12.45)$$

де H_i і H_{i+1} – висоти відповідно попередньої та наступної точок ходу, а h'_i – виправлене значення перевищення між цими точками.

Кінцевим контролем обчислення висот є збіг обчисленого значення висоти кінцевої точки ходу з її відомим значенням H_K (у розімкненому ході) або повторне отримання значення висоти початкової точки H_{Π} (у замкненому ході).

Приклад обчислення висот при тригонометричному нівелюванні наведений у табл. 12.6.

Таблиця 12.6

Відомість обчислення висот точок зйомочної основи при тригонометричному нівелюванні

Назва сторін	Горизонтальне прокладання d , м	Кут нахилу, ν		Висота		Перевіщення $h=d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - \nu$	Поправка $\nu_{\text{пр}}$, м	Виправлене перевіщення h' , м	Висота H , м	Номер точки
		°	'	приладу i , м	візування ν , м					
									179,45	B
B-I	112,97	-1	58 00	1,23	1,23	-3,88	+0,01	-3,87	175,58	I
I-II	148,50	-2	13 00	1,19	1,19	-5,74	+0,02	-5,72	169,86	II
II-III	145,11	0	32 30	1,15	1,15	+1,37	+0,01	+1,38	171,24	III
III-IV	96,36	-0	18 00	1,29	1,29	-0,50	+0,01	-0,49	170,75	IV
IV-V	132,59	1	17 00	1,31	1,31	+2,97	+0,01	+2,98	173,73	V
V-B	154,31	+2	07 00	1,25	1,25	+5,70	+0,02	+5,72	179,45	B

+10,04 +0,08

 $P=789.84 - 10,12$ $f_h=-0,08$

$$f_{\beta \text{ доп.}} = \frac{0.04P}{\sqrt{n}} = \frac{0.04 \cdot 789.84}{\sqrt{6}} = 0.13 \text{ м}$$

Далі розглянемо зрівнювання ходу геометричного нівелювання.

Вхідними даними для зрівнювання є відліки за рейками і висоти вихідних пунктів ходу. Перевірка польових журналів нівелювання включає перевірку всіх записів і обчислень, виконаних у полі. При цьому перевіряється правильність обчислення перевищень за червоною та чорною сторонам рейок, а також середніх перевищень на кожній станції. Попередні обчислення включають посторінковий контроль польового журналу, що виконується з метою виявлення можливих похибок обчислень.

Посторінковий контроль полягає у тому, що на кожній сторінці знаходять і записують суми всіх відліків за задньою ($\sum a$) та передньою ($\sum b$) рейками, суму перевищень ($\sum h$) за чорною та червоною сторонами рейок і суму середніх перевищень ($\sum h_{\text{ср.}}$) на кожній сторінці.

Між знайденими сумами повинно дотримуватися таке співвідношення:

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{\sum h}{2} = \sum h_{\text{ср.}} \quad (12.46)$$

Допускається розходження до ± 5 мм.

Далі обчислюють висотну нев'язку ходу f_h за формулою:

$$f_h = \sum_{i=1}^N h_{i,\text{ср.}} - \sum h_{\text{теор.}}, \quad (12.47)$$

де $h_{i,\text{ср.}}$ – середнє перевищення на i -тій станції; N – загальна кількість станцій ходу; $\sum h_{\text{теор.}}$ – загальне теоретичне перевищення ходу.

Для нівелірного ходу, прокладеного між двома вихідними пунктами (реперами), теоретичне перевищення $\sum h_{\text{теор.}}$ обчислюється за формулою:

$$\sum h_{\text{теор.}} = H_K - H_{\Pi}, \quad (12.48)$$

де H_{Π} і H_K – відомі висоти відповідно початкової та кінцевої точок ходу.

У замкненому нівелірному ході $H_K = H_{\Pi}$, а тому $f_h = \sum_{i=1}^N h_{i,\text{ср.}}$

Висотна нев'язка за абсолютною величиною не повинна перевищувати **допустиму, яку знаходять за формулою:**

$$f_h = \pm 50\sqrt{L}, \text{ мм}, \quad (12.49)$$

де L – довжина нівелірного ходу у км.

Так у наведеному в табл. 12.7 нівелірному ході нев'язка, обчислена за формулою (12.47), отримана:

$$f_h = -6,036 - (183,319 - 189,362) = +7 \text{ мм},$$

а допустима нев'язка, згідно з формулою (12.49), становить:

$$f_{h \text{ доп.}} = \pm 50\sqrt{0,423} = \pm 32,5 \text{ мм}.$$

Допустиму висотну нев'язку можна також знаходити за формулою:

$$f_{h \text{ доп.}} = 10\sqrt{N}, \text{ мм} \quad (12.50)$$

де N – кількість станцій у ході. Формула (10.50) пропонується тільки тоді, коли кількість станцій на 1 км ходу перевищує 25.

Якщо фактична висотна нев'язка перевищує допустиму, то всі вимірювання у нівелірному ході необхідно повторити, у іншому випадку виконують зрівнювання середніх перевищень.

Зрівнювання середніх перевищень полягає у введенні в них поправок і обчисленні виправлених значень середніх перевищень. Поправки у перевищеннях знаходять шляхом розподілу висотної нев'язки з протилежним знаком порівну в усі перевищення ходу, тобто

$$v_h = -\frac{f_h}{N}. \quad (12.51)$$

Поправки обчислюють з округленням до міліметрів. Контролем правильності обчислення поправок служить дотримання умови:

$$\sum v_h = -f_h. \quad (12.52)$$

Щоб указана умова виконувалась завжди, незважаючи на вплив похибок округлення, діють таким чином. За формулою (12.44) знаходять значення поправки і відкидають дробову частину, якщо вона є, а тоді остачу від ділення фактичної висотної нев'язки на кількість станцій ходу розподіляють по одному міліметру з протилежним знаком на будь-які перевищення і додають до відповідних поправок.

Наприклад, якщо в табл. 12.7 $f_h = +7$ мм, а $N = 5$, то $v_h = -(-7)/5 = -1$, тобто у перевищення буде введена поправка -1 мм, а у 2 перевищення – поправка -2 мм.

Контроль:

$$-1 \times 3 + 2 \times 2 = -7 \text{ мм.}$$

Виправлені значення середніх перевищень знаходять за формулою:

$$h'_{i\text{cp.}} = h_{i\text{cp.}} + v_h. \quad (12.53)$$

Висоти точок нівелірного ходу визначають за виправленими перевищеннями послідовно, починаючи з висоти початкової точки ходу H_{II} за формулою:

$$H_{i+1} = H_i + h'_{i\text{cp.}}, \quad (12.54)$$

де H_i і H_{i+1} – висоти відповідно попередньої та наступної точок ходу, а $h'_{i\text{cp.}}$ – виправлене значення середнього перевищення між ними.

Контроль обчислення висот у нівелірному ході виконується так само, як і для тригонометричного нівелювання, тобто обчислене значення висоти кінцевої точки ходу повинне співпадати з її відомим значенням H_K (у розімкненому ході), або після обчислення висот усіх точок повинне бути знову отримане значення висоти початкової точки H_{II} (у замкненому ході). Як правило, нівелірний хід прокладається між пунктами знімальної основи таким чином, щоб усі вони були сполучними точками і перевищення між ними могли бути зрівняні за наведеною вище схемою. Однак не виключено, що деякі з точок знімальної основи можуть бути занівельовані як проміжні точки, тобто на них буде взятий відлік тільки за чорною стороною рейки.

Таблиця 12.7

Відомість обчислення висот точок ходу геометричного нівелювання

Станції	Пікети	Відстань між пікетами, м	Відліки по рейках			Перевіщення	Середнє перевищення	Горизонт приладу, м	Абсолютні висоти, м
			задня	проміжна	передня				
1	Rp.72		0273					189,362	
			5057				-2		
	+26	70		1383		-2074	-2072	189,635	
2	ПК1				2347	-2069			
	ПК1				7126			187,288	
			0219						
		100	4999			-1821	-1		
						-1823	-1822		
3	ПК2				2040				
	ПК2				6822			185,465	
			1232						
	+73	100	6015			-0913	-1	186,697	
4	ПК3								
	ПК3				2144	-0909		184,553	
			0574						
	+36	100	5357			-1678	-1	184,720	
5	+53				0407	-1678		183,748	
	ПК4				1379	-1677			
	ПК4				2615	7034		185,127	
	т.501	53			2043			183,084	
	Rp73				1095	+0446			
					5877	+0448		183,319	
	P=423				31592				
					-12069	-12069	-6036		
					-6034				

Для обчислення висот проміжних точок спочатку обчислюють горизонт приладу ($ГП$), який є висотою візирного променя від рівневої поверхні на певній станції. Горизонт приладу визначають лише на тих станціях, на яких брались відліки на проміжні точки. Для контролю $ГП$ обчислюють двічі (по задній та передній суміжних точках) і беруть його середнє значення:

$$\begin{aligned} ГП' &= H_3 + a, & ГП'' &= H_{II} + b, \\ ГП &= (ГП' + ГП'') / 2, \end{aligned} \quad (12.55)$$

де H_3 і H_{II} – висоти задньої та передньої точок станції; a , b – відповідно задній та передній відліки за чорною стороною рейок, встановлених на цих точках.

Висоти проміжної точки знаходять за формулою:

$$H_{\text{пром.}} = ГП - c, \quad (12.56)$$

де c – відлік за чорною стороною рейки на проміжній точці. При обчисленні відміток проміжних точок необхідно бути вкрай уважними, оскільки контролю правильності цього обчислення не існує.

12.5. Особливості зрівнювання діагональних теодолітних ходів

Діагональним називається теодолітний хід, прокладений усередині основного полігона і спирається на його сторони. Для прикладу на рис. 12.6 наведена схема діагонального ходу всередині основного полігона. Діагональний хід буде завжди розімкнутий, оскільки він спирається на сторони основного полігону. У наведеному прикладі діагональний хід спирається на сторони $B-5$ і $2-1$ основного полігона.

Обчислення діагонального ходу виконують після того, як повністю завершено обчислення основного полігона, тобто обчислені дирекційні кути усіх його сторін і координати усіх вершин. Ті вершини і сторони, на які спирається діагональний хід, розглядають при його зрівнюванні як вихідні. Послідовність і зміст обчислювальної обробки діагонального ходу повністю відповідає наведеній вище схемі обробки розімкненого теодолітного ходу. Тому при обробці діагонального ходу застосовують ті ж самі формули, за винятком формул, що визначають значення допустимих нев'язок.

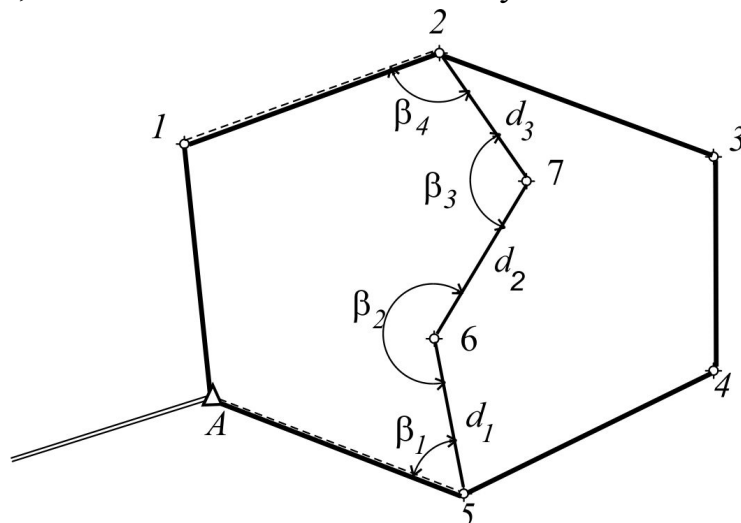


Рис. 12.6. Схема діагонального теодолітного ходу

Допустиму кутову нев'язку у діагональному ході знаходять за формулою:

$$f_{\beta \text{ доп.}} = 2'\sqrt{n}, \quad (12.57)$$

де n – кількість вимірних кутів у діагональному ході.

Допустима відносна нев'язка $f_{\text{від.}}$ діагонального ходу, як правило, складає 1/1500. При несприятливих умовах вимірювань вона може бути збільшена до 1/700. Введення поправок, зрівнювання кутів і приростів координат, обчислення координат точок діагонального ходу виконують так само, як і для розімкненого ходу.

12.6. Розв'язування кутових і лінійних геодезичних засічок

Іноді прокладення теодолітних ходів для створення знімальної основи виявляється неможливим або недоцільним з технічних або економічних міркувань. У таких випадках визначення пунктів знімальної основи в існуючій опорній мережі здійснюють за допомогою кутових і лінійних засічок. Методика вимірювань і способи обробки їх широко розповсюджені у геодезичній практиці.

Розглянемо основні види геодезичних засічок: пряму і зворотну кутові засічки та лінійну засічку.

Пряма кутова засічка полягає у визначенні координат точки, що вставляється в опорну мережу за результатами кутових вимірювань, виконаних з двох пунктів цієї мережі.

Так для визначення координат точки P (рис. 12.7) необхідно на вихідних пунктах 1 і 2 виміряти кути β_1 і β_2 між стороною $1-2$ і напрямками на шукану точку P .

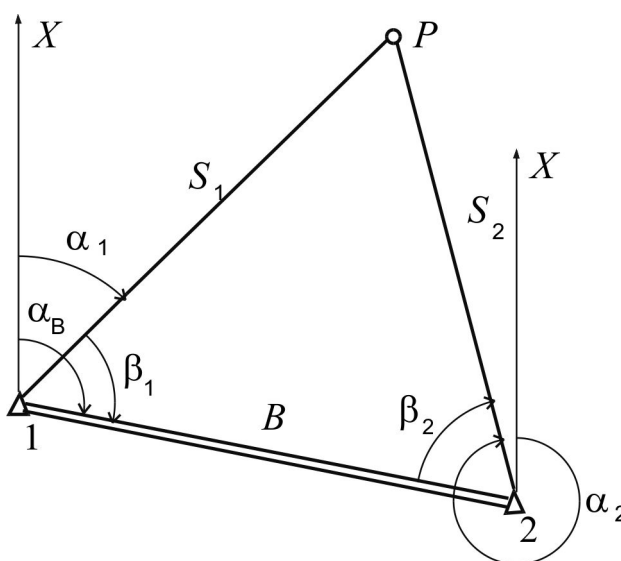


Рис. 12.7. Пряма кутова засічка

Пряма кутова засічка застосовується там, де місцевість перешкоджає, або незручна для вимірювання довжин сторін, або точка P значно віддалена від вихідних пунктів 1 , 2 .

Координати шуканої точки P знаходять за формулами Юнга:

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \\ y_P &= \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \end{aligned} \right\}. \quad (12.58)$$

Крім формул Юнга, для визначення координат точки, що вставляється в опорну мережу прямою кутовою засічкою, широко застосовують формули Гаусса. Але, на відміну від формул Юнга, у формулах Гаусса використовуються не вимірні кути β_1 і β_2 , а дирекційні кути α_1 і α_2 напрямків з вихідних пунктів на шукану точку (рис. 12.7):

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha_1 - x_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - y_1 + y_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} \\ y_P &= y_1 + (x_P - x_1) \operatorname{tg} \alpha_1 = y_2 + (x_P - x_2) \operatorname{tg} \alpha_2 \end{aligned} \right\}. \quad (12.59)$$

Формули Гаусса отримали назву формул тангенсів. У випадках, коли значення кутів α_1 і α_2 близьке до 90° або 270° , обчислення ведуть за формулами котангенсів.

$$\left. \begin{aligned} y_P &= \frac{y_1 \operatorname{ctg} \alpha_1 - y_2 \operatorname{ctg} \alpha_2 - x_1 + x_2}{\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2} \\ x_P &= x_1 + (y_P - y_1) \operatorname{ctg} \alpha_1 = x_2 + (y_P - y_2) \operatorname{ctg} \alpha_2 \end{aligned} \right\}. \quad (12.60)$$

Тут у формулах (10,58) – (10,60) – координати x_1, y_1 і x_2, y_2 вихідних пунктів 1 і 2 на рис. 12.7.

Середня квадратична похибка планового положення точки, яка визначається, може бути розрахована за формулою:

$$M_P = \frac{m_\beta}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (12.61)$$

де m_β – середня квадратична похибка вимірювання кутів, сек; γ – кут засічки ($\gamma = 180^\circ - \beta_1 - \beta_2$ або $\gamma = \alpha_1 - \alpha_2$); S_1 і S_2 – віддалі від вихідних пунктів до шуканої точки; $\rho'' = 206265''$.

Для забезпечення надійного контролю на практиці застосовують багаторазові прямі засічки (з трьох і більше вихідних пунктів), це підвищує точність визначення координат точки P . При цьому для кожного знайденого значення координат точки P визначають вагу $p = c / M_P^2$, де c – константа (часто $c = 1$). За кінцеві значення координат точки беруть середньовагове з усіх знайдених значень координат (див. розділ 9):

$$x_P^{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{Pi} p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}; \quad y_P^{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{Pi} p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}. \quad (12.62)$$

Середня квадратична похибка планового положення точки обчислюється за формулою:

$$M_P^{cp} = \sqrt{\frac{c}{\sum_{i=1}^n p_i}}. \quad (12.63)$$

Обчислення прямої засічки доцільно виконувати у спеціальній відомості (табл. 12.8). Приклад обчислення багаторазової прямої засічки наведено в табл. 12.9.

Зворотна кутова засічка полягає у визначенні координат точки за результатами вимірювання на цій точці кутів між напрямками на три пункти вихідної мережі.

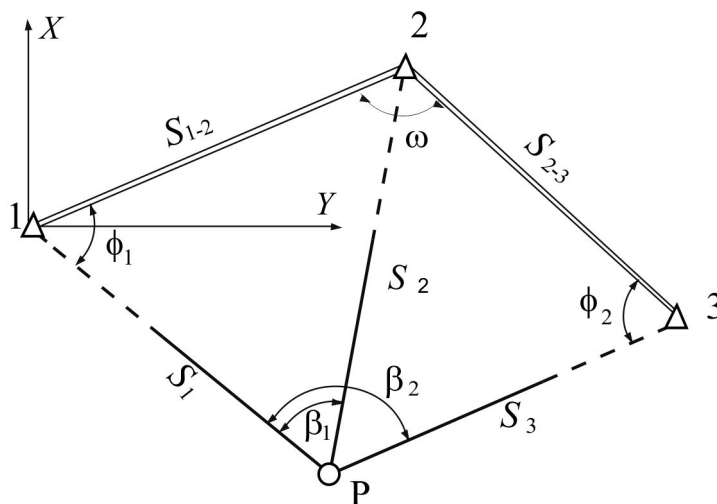


Рис. 12.8. Зворотна кутова засічка

Так для визначення координат точки P (рис. 12.8) необхідно виміряти кути β_1 і β_2 між напрямками на пункти $1, 2, 3$, які мають відомі координати. У геодезичній літературі зворотну кутову засічку називають інколи задачею Потенота.

Існує багато способів розв'язання зворотної кутової засічки (формули Потенота, Ансермета, Коллінса, Праніс-Праневича та ін.). Один з найпростіших методів - це рішення зворотної кутової засічки способом Кнейселя.

У способі Кнейселя для даної мережі вводиться деяка умовна система координат з початком у вихідному пункті 1 (рис. 12.8). При цьому йдеться про те, що всі вихідні пункти перенумеровані за ходом годинникової стрілки.

Далі знаходять умовні координати x'_i і y'_i усіх вихідних пунктів:

$$x'_i = x_i - x_1; \quad y'_i = y_i - y_1; \quad (i = 1, 2, 3). \quad (12.64)$$

За знайденими умовними координатами пунктів і вимірними кутами β_1 і β_2 обчислюють коефіцієнти:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= y'_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - x'_2; & k_3 &= y'_3 \operatorname{ctg} \beta_2 - x'_3; \\ k_2 &= x'_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + y'_2; & k_4 &= x'_3 \operatorname{ctg} \beta_2 + y'_3; \\ c &= \frac{k_2 - k_4}{k_1 - k_3} \end{aligned} \right\}. \quad (12.65)$$

Відомість обчислення прямої кутової засічки (за формулами Юнга)

№ опор.	Позначення	Числові значення	Позначення	Числові значення
1	x_1	18979,654	x_2	19626,267
2	y_1	42678,256	y_2	40021,936
3	β_1	59°03'01"	β_2	42°41'37"
4	$\text{ctg}\beta_1$	0,59966695	$\text{ctg}\beta_2$	1,0839321
5	$x_1 \cdot \text{ctg}\beta_2$	20572,656	$y_1 \cdot \text{ctg}\beta_2$	46260,331
6	$x_2 \cdot \text{ctg}\beta_1$	11769,224	$y_2 \cdot \text{ctg}\beta_1$	23999,832
7	$-y_1$	-42678,256	x_1	18979,654
8	y_2	40021,936	$-x_2$	-19626,267
9	(5)+(6)+(7)+(8)	29685,560	(5)+(6)+(7)+(8)	69613,550
10	$\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2$	1,6835991	$\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2$	1,6835991
11	x_P	17632,202	y_P	41348,056
12	$\Delta x_{1-P} = x_P - x_1$	-1347,452	$\Delta x_{2-P} = x_P - x_2$	-1994,065
13	$\Delta y_{1-P} = y_P - y_1$	-1330,200	$\Delta y_{2-P} = y_P - y_2$	1326,120
14	$\Delta S_{2-P} = \Delta x_{1-P} - \Delta y_{1-P}$	3585058,8	$\Delta S_{2-P} = \Delta x_{2-P} - \Delta y_{2-P}$	5734889,4
15	m_B	5"	γ	78°15'22"
16	ρ	206265"	$\sin\gamma$	0,9790672
17	$\sqrt{S_{1-P}^2 - S_{2-P}^2}$	3052,859	M_P	0,076

Таблиця 12.9

Відомість обчислення багатократної прямої засічки

№№ точок	Координати, м		Кути			С. к. п.	Вага
	X	Y	°	'	"	M_P	P
1	18979,654	42678,256	59	03	01		
2	19626,267	40021,936	42	41	37		
P	17632,202	41348,057	78	15	22	0,076	173
1	18979,654	42678,256	54	51	29		
3	19256,180	41023,821	69	13	05		
P	17632,253	41348,109	55	55	26	0,074	183
Середнє	17632,228	41348,084				0,053	356

Тоді знаходять умовні координати шуканої точки за формулами:

$$\left. \begin{aligned} y'_P &= \frac{k_2 - ck_1}{1 + c^2}; \\ x'_P &= cy'_P. \end{aligned} \right\} \quad (12.66)$$

Коефіцієнт c за геометричною суттю відповідає котангенсу дирекційного кута сторони $l-P$, тобто $c = \text{ctg}\alpha_{l-P}$.

Координати шуканої точки P будуть дорівнювати:

$$x_P = x'_P + x_1; \quad y_P = y'_P + y_1. \quad (12.67)$$

Середня квадратична похибка планового положення шуканої точки P знаходиться за формулою:

$$M_P = \frac{S_2 m_B}{\rho'' \sin(\phi_1 + \phi_2)} \sqrt{\left(\frac{S_1}{S_{1-2}}\right)^2 + \left(\frac{S_3}{S_{2-3}}\right)^2}, \quad (12.68)$$

де m_β – середня квадратична похибка вимірювання кутів, сек.; S_1, S_2, S_3 – горизонтальні прокладення віддалі від точки P , що вставляється, до вихідних пунктів 1, 2, 3.

Значення віддалей S_1, S_2, S_3 можуть бути знайдені з рішення зворотної геодезичної задачі:

$$S_i = \sqrt{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2}. \quad (i = 1, 2, 3) \quad (12.69)$$

Аналогічним чином знаходять значення довжин S_{1-2} і S_{2-3} сторін 1-2 і 2-3 між вихідними пунктами. Як видно з рис. 12,8, кути ϕ_1 і ϕ_2 є кутами між вихідними сторонами і напрямками на точку, яку визначаємо. Значення суми цих кутів знаходимо з формули:

$$\phi_1 + \phi_2 = 360^\circ - (\beta_2 \pm \omega), \quad (12.70)$$

де ω – кут між вихідними сторонами 1-2 і 2-3 ($\omega = \alpha_{2-1} - \alpha_{2-3}$).

Значення дирекційних кутів α_{2-1} і α_{2-3} знаходять із розв'язання зворотної геодезичної задачі.

З формули (10,68) видно, що значення похибки M_P різко зростає при наближенні суми кутів ($\phi_1 + \phi_2$) до 0° або до 180° .

Перший випадок має місце, коли вихідні і шуканий пункти знаходяться на одній прямій. У другому випадку три вихідних пункти і шукана точка лежать на одному колі. В обох випадках зворотна кутова засічка не має розв'язку.

Для забезпечення необхідної точності визначення координат точки, яку визначаємо, необхідно вибирати для зворотної засічки такі вихідні пункти, щоб дотримувалась умова:

$$30^\circ \leq (\phi_1 + \phi_2) \leq 150^\circ. \quad (12.71)$$

У цілому за тих самих умов точність визначення положення точки зворотною засічкою у 2-3 рази нижче, ніж у прямій кутовій засічці.

Для забезпечення контролю на практиці застосовують зворотну багаторазову (за чотирма і більш вихідними пунктами) засічку.

Обчислення зворотних засічок виконують у спеціальних відомостях (табл. 12.10).

Лінійна засічка полягає у вимірюванні віддалей від точки, яку визначаємо до двох пунктів вихідної мережі та обчислення її координат на основі цих вимірювань. Так, наприклад, від жорстких пунктів 1 і 2 до точки P , яку визначаємо (рис. 12.7), виміряні горизонтальні віддалі S_1, S_2 .

Діапазон застосування лінійних засічок розширюється у зв'язку з широким впровадженням у геодезичну практику високоточних світловіддалемірів.

Одним з способів розв'язання лінійної засічки є спосіб Баландіна В.Н.. Суть цього способу полягає у тому, що в трикутнику 1-2- P (рис. 12.7) спочатку визначається кут:

$$\cos \beta_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{S_1} + \frac{S_1}{B} - \frac{S_2^2}{S_1 B} \right), \quad (12.72)$$

де B – довжина сторони між вихідними пунктами 1 і 2.

Таблиця 12.10

Відомість обчислення зворотної кутової засічки (за формулами Кнейселя)

№ п/п	Позначення	Числові значення	Позначення	Числові значення
1	x_1	9256,180	x_1'	0
2	y_1	41023,821	y_1'	0
3	x_2	7498,451	x_2'	-1757,729
4	y_2	42262,399	y_2'	1238,578
5	x_3	6563,756	x_3'	-2692,424
6	y_3	41857,623	y_3'	833,802
7	β_1	56°22'50"	β_2	86°27'12"
8	$ctg\beta_1$	0,66488778	$ctg\beta_2$	0,061980214
9	$y_2' \cdot ctg\beta_1$	823,515	$y_3' \cdot ctg\beta_2$	51,679
10	$-x_2'$	1757,729	$-x_3'$	2692,424
11	k_1	2581,244	k_3	2744,103
12	$x_2' \cdot ctg\beta_1$	-1168,692	$x_3' \cdot ctg\beta_2$	-166,877
13	$-Y_2'$	1238,578	$-y_3'$	833,802
14	k_2	69,885	k_4	666,925
15	$k_2 - k_4$	-597,0395	$C = (k_2 - k_4) / (k_1 - k_3)$	3,6659871
16	$k_1 - k_3$	-162,859	$I + c^2$ $k_2 - ck_1$	14,439462 -9392,952
17	$x_p = x_p' + x_1$	6871,441	x_p'	-2384,746
18	$y_p = y_p' + Y_1$	40373,315	y_p'	-650,506
19	S_{2-1}	2150,276	α_{2-1}	324°49'47"
20	S_{2-3}	1018,577	α_{2-3}	203°24'55"
21	$\varphi_1 + \varphi_2 = 360^\circ - (\beta_2 + \varpi)$	152°08'06"	ϖ	121°24'42"
22	$\sin(\varphi_1 + \varphi_2)$	0,46738985	S_{1-p}	2471,868
23	S_{2-p}	1990,419	S_{3-p}	1515,860
24	m_β	5"	$\tau_1 = S_{1-p} / S_{2-1}$	1,1495584
25	ρ	206265	$\tau_2 = S_{3-p} / S_{2-3}$	1,4882134
26	M_p	0,194	$\sqrt{(\tau_1^2 + \tau_2^2)}$	1,8804954

Тоді знаходять дирекційний кут α_1 сторони $I-P$:

$$\alpha_1 = \alpha_B - \beta_1, \quad (12.73)$$

де $\alpha_{\%}$ – дирекційний кут вихідної сторони $I-2$.

Далі, вирішуючи пряму геодезичну задачу, знаходять координати точки P :

$$\left. \begin{aligned} x_p &= x_1 + S_1 \cos \alpha_1 \\ y_p &= y_1 + S_1 \sin \alpha_1 \end{aligned} \right\} \quad (12.74)$$

Для контролю обчислень визначають горизонтальний кут

$$\cos \beta_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{S_2} + \frac{S_2}{B} - \frac{S_1^2}{S_2 B} \right), \quad (12.75)$$

і дирекційний кут α_2 сторони $2-P$:

$$\alpha_2 = \alpha_B + \beta_2 \pm 180^\circ. \quad (12.76)$$

Після цього визначають контрольні значення координати точки P :

$$\left. \begin{aligned} x_P^k &= x_2 + S_2 \cos \alpha_2 \\ y_P^k &= y_2 + S_2 \sin \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (12.77)$$

Таблиця 12.11

Відомість обчислення лінійної засічки

№ пор.	Позначення	Числові значення	Позначення	Числові значення
1	x_1	18979,654	x_2	19626,267
2	y_1	42678,256	y_2	40021,936
3	S_1	1893,39	S_2	2394,77
4	B	2733,888	α_B	283°40'52"
5	B/S_1	1,4439117	B/S_2	1,1416077
6	S_1/B	0,69256312	S_2/B	0,87595765
7	$-S_2^2/S_1 \cdot B$	-1,1079159	$-S_1^2/S_2 \cdot B$	0,54756493
8	$\cos \beta_1$	0,51427945	$\cos \beta_2$	0,73500025
9	β_1	59°03'02"	β_2	42°41'34"
10	$\alpha_1 = \alpha_B - \beta_1$	224°37'50"	$\alpha_2 = \alpha_B + \beta_2 - 180^\circ$	146°22'26"
11	$\Delta x_{1-P} = S_1 \cdot \cos \alpha_1$	-1347,435	$\Delta x_{2-P} = S_2 \cdot \cos \alpha_2$	-1994,050
12	$\Delta y_{1-P} = S_1 \cdot \sin \alpha_1$	-1330,168	$\Delta y_{2-P} = S_2 \cdot \sin \alpha_2$	1326,155
13	$x_P = x_1 + \Delta x_{1-P}$	17632,219	$x_P^k = x_2 + \Delta x_{2-P}$	17632,217
14	$Y_P = y_1 + \Delta y_{1-P}$	41348,088	$Y_P^k = y_2 + \Delta y_{2-P}$	41348,091
15	γ	78°15'24"	$\sin \gamma$	0,97906917
16	m_{SI}	0,03	M_P	0,04

Середня квадратична похибка M_P планового положення точки P , яку визначаємо лінійною засічкою, визначається за формулою:

$$M_P = \frac{m_s}{\sin \gamma} \sqrt{2}, \quad (12.78)$$

де m_s – середня квадратична похибка вимірювання сторони засічки; γ – кут між сторонами $1-P$ і $2-P$ (кут засічки).

Для забезпечення надійнішого контролю застосовують багаторазову лінійну засічку, коли вимірюють віддалі до трьох і більше вихідних пунктів.

Обчислення лінійних засічок ведуть у спеціальних відомостях (табл. 12.11) і допустимих нев'язок (як кутових, так і лінійних).

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 12

1. Назвіть способи побудови знімальної основи.
2. Пряма та зворотна геодезичні задачі.
3. У яких випадках можна знехтувати поправкою за нахил лінії?
4. Чому дорівнює теоретична сума вимірних горизонтальних кутів, коли виміряно всі внутрішні кути?
5. Чому дорівнює кутова нев'язка теодолітного ходу, обчислена за виправленими кутами?
6. Чому дорівнює відносна нев'язка теодолітного ходу?

7. Що служить вихідними даними для обчислення тригонометричного нівелювання?
8. Чому повинна дорівнювати висотна нев'язка за абсолютною величиною при виконанні технічного нівелювання?
9. За якою формулою знаходять допустиму кутову нев'язку в діагональному теодолітному ході.
10. У яких випадках застосовують пряму засічку?
11. Коли застосовують зворотню засічку?
12. За якими формулами обчислюють пряму засічку?
13. За якими формулами обчислюють зворотню засічку?
14. За якою формулою визначають середню квадратичну помилку планового положення точки, яку визначають лінійною засічкою?
15. За якою формулою визначають середню квадратичну помилку планового положення точки, яку визначають прямою засічкою?
16. За якою формулою визначають середню квадратичну помилку планового положення точки, яку визначають зворотною засічкою?

ТЕМА 13. ТЕОДОЛІТНЕ ЗНІМАННЯ

- 13.1. Сутність теодолітного знімання і вимоги до її виконання.
- 13.2. Елементи ситуації, які підлягають зніманню.
- 13.3. Методи виконання теодолітного знімання.
- 13.4. Камеральна обробка теодолітного знімання.
- 13.1. Сутність теодолітного знімання і вимоги до її виконання.

13.1. Сутність теодолітного знімання і вимоги до її виконання

Теодолітним зніманням називається контурне знімання місцевості, у результаті якої отримують план із зображенням елементів ситуації без рельєфу. При проведенні цього знімання кутові вимірювання виконуються теодолітами, лінійні – стальними стрічками і рулетками, віддалемірами або віддалемірними насадками.

Теодолітні знімання частіше виконуються у масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500, рідше у масштабі 1:5000 і застосовуються на рівнинній місцевості, в умовах складної ситуації та під час знімань забудованих територій (у населених пунктах, на будівельних майданчиках, на територіях різних підприємств).

Знімальною основою для виконання теодолітних знімань є точки теодолітних ходів, при цьому, як правило, знімання виконується одночасно з прокладенням ходу.

Середні похибки у положенні на плані зображень предметів і контурів місцевості з чіткими контурами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0,5 мм, а в гірських та лісових районах – 0,7 мм [4]. Відповідно до інструкції [4], зв'язок між середньою θ і середньою квадратичною m похибками виражається формулою:

$$m = 1,4\theta . \quad (13.1)$$

Тому залежно від масштабу знімання вищевказані вимоги характеризуються середніми квадратичними похибками безпосередньо на місцевості, що наведені у табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Вимоги до знімання ситуації залежно від масштабу

Масштаб знімання	Середні квадратичні похибки у положенні контурних точок відносно точок знімальної основи на місцевості, м	
	рівнинній	гірській
1:500	0,4	0,5
1:1000	0,7	1,0
1:2000	1,4	2,0
1:5000	3,5	4,9

Теодолітне знімання супроводжується веденням схематичного креслення – *абрису*.

Абрис складається від руки у достатньо великому довільному масштабі. На ньому показують опорні пункти і лінії, з яких проводилось знімання,

розміщення місцевих предметів і контурів з пояснювальними написами (нива, дорога і т.д.) та результати вимірювань, зроблених під час знімання.

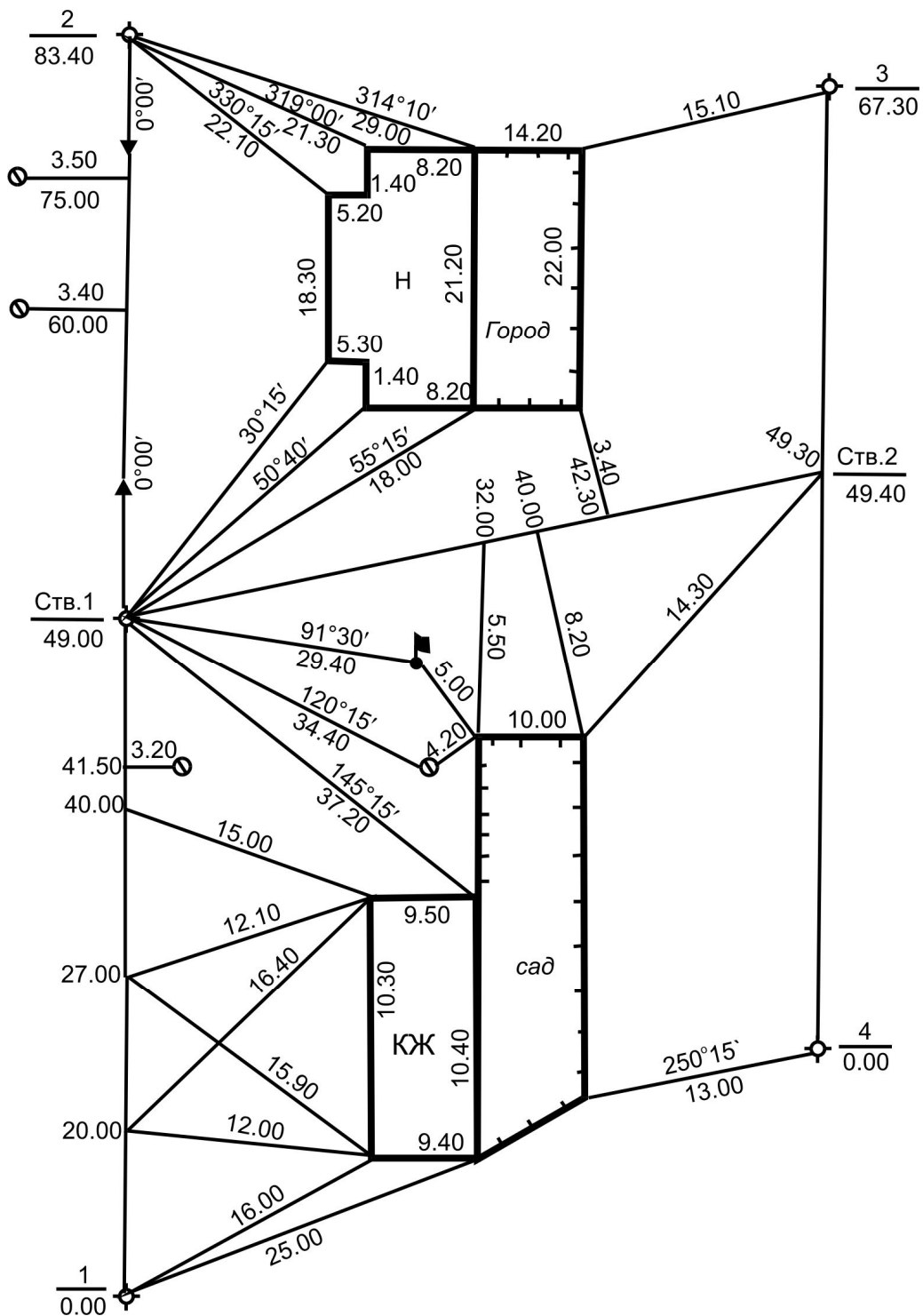


Рис. 13.1. Приклад абрису згідно [12]

При веденні абрису потрібно керуватися такими правилами:

1. Зарисовку в абрисі роблять простим олівцем (в літній час – олівцем $2T$, в осінній та зимовий час – T).
2. Знімальний хід наносять в абрисі однією або двома лініями.
3. Усі контури і предмети місцевості, що знімаються, зарисовують в абрис у довільному масштабі, дотримуючись прийнятих для складання плану умовних знаків.

4. Записи цифр повинні легко читатися, прямі лінії креслять під лінійку, криві – старанно від руки. У контурах ситуації роблять пояснювальні написи.
5. При наявності предметів, призначення яких невідоме, в абрисі дають опис або зарисовку їх зовнішнього вигляду.
6. При наявності дрібних деталей, які не виражаються на абрисі, роблять виноски в більшому масштабі.
7. Усю ситуацію, що знімається, рекомендується викреслювати в абрисі товстими лініями, а всі допоміжні проміри – тонкими. При зарисовці будівель скорочено вказують поверховість, матеріал стін та номери будинків.
8. Перерисовка абрису у камеральних умовах забороняється.

Приклад абрису наведено на рис. 13.1. Залежно від способів знімання, які розглядаються далі, в абрисі підписуються ті чи інші величини, що виміряють. Підкреслимо, що абрис – це немасштабне зображення ділянки знімання, на якому наводяться усі величини, що необхідні для відтворення плану місцевості у камеральних умовах.

13.2. Елементи ситуації, які підлягають зніманню

Залежно від масштабу плану одні й ті ж контури будуть мати різні розміри. Тому вимоги до об'єктів знімання та її детальності змінюються. Зніманню у масштабах 1:5000 і більше підлягають об'єкти ситуації, які виражаються у масштабі плану і передбачені діючими умовними знаками [20]. До них належать:

- пункти геодезичних мереж, закріплені постійними знаками;
- будинки і споруди;
- дорожні мережі та споруди на ній;
- гідрографія і гідротехнічні споруди;
- закріплені на місцевості межі та огорожі;
- рослинний покрив, ґрунти.

Під час знімань забудованих територій на планах показують межі кварталів забудови, усі будинки і споруди, житлові та нежитлові, із зазначенням їх поверховості, призначення і матеріалу стін. Архітектурні виступи і уступи будинків і споруд відображаються, якщо величини їх на плані більші 0,5 мм. На планах у масштабах 1:2000 – 1:500 показують межі володінь, ситуацію всередині кварталу (сади, городи, дерева, які стоять окремо та ін.), ситуацію на вулицях і площах, пам'ятники, рейкові колії, ліхтарі, решітки дощоприймачів, водостоку, виходи підземних мереж, люки оглядових колодязів водопроводу, каналізації, тепломережі, газопроводів, телефонної мережі та інших підземних інженерних комунікацій.

З промислових об'єктів зніманню підлягають комплекси будівель і споруд заводів, фабрик, електростанцій, шахт, кар'єрів і т.д., бурові та експлуатаційні свердловини, нафтові та газові вишки, наземні трубопроводи, лінії електропередач

високої та низької напруг, лінії зв'язку (телефонні і телеграфні), мережі підземних комунікацій (водопровід, каналізація, газифікація, тепломережі, електрокабелі та ін.).

На планах усіх масштабів обов'язково відображаються шляхи сполучення: залізничні, шосейні та ґрунтові дороги усіх видів і споруди на них (станції, мости, тунелі, переїзди, переправи, шляхопроводи, віадуки і т.п.).

Під час знімання автомобільних доріг у масштабах 1:1000 – 1:500 на планах показують кілометрові та пікетажні стовпи, а у масштабах 1:2000 – 1:5000 – тільки кілометрові.

Для зображення водної мережі знімають берегову лінію морів, озер, рік, струмків, каналів з місцевими предметами і забудовою біля неї. Зйомка рік, струмків, каналів та водостоків при ширині їх зображення на плані більшій ніж 3 мм проводиться по двох берегах, а при ширині до 3 мм – по одному березі.

Підлягають зніманню та відображенню на планах контури і характеристики угідь (ліс, чагарник, вигін, лука, розсадники та ін.). Найменша площа контурів, які підлягають зніманню, 20 мм² на плані – для сільськогосподарсько-цінних угідь, 50 мм² – для ділянок, які не мають господарського значення. На плані показують породу лісу, середню висоту дерев, товщину їх на висоті 1.5 м від поверхні землі, середні віддалі між деревами, контури зрубів, згарищ, полян і сільськогосподарських угідь, які знаходяться серед лісу.

Дерева, що стоять окремо, підлягають зніманню і нанесенню на плані в усіх масштабах.

Під час знімання огорож їх поділяють на металеві, кам'яні, дерев'яні, рослинні і т.д.

При зніманню боліт визначають їх глибину, прохідність і характер рослинного покриву.

Під час знімання територій з карстовими явищами на плані повинні показуватися усі воронки. На зсувних ділянках знімають контур зсуву і вказують стрілкою напрямком його переміщення.

Умовні знаки доповнюють пояснювальними написами на плані. На планах повинні вказуватися офіційні назви населених пунктів, озер, джерел, боліт, лісів, гір та інших географічних об'єктів.

На територіях міст і селищ не підлягають зніманню усі тимчасові та переносні споруди (ятки, палатки, кіоски, огорожі і т.п.), які знаходяться всередині проїздів і дворів, а також на будівельних майданчиках.

Під час знімання у масштабах 1:5000 забудованих територій не знімають межі володінь та паркани всередині забудованих кварталів, індивідуальні присадибні городи, палісадники за червоною лінією кварталів, тротуари, виходи колодязів підземних споруд (якщо нема завдання на їх знімання), лінії зв'язку та електролінії низької напруги, стінні репери і нежитлові будівлі індивідуального користування.

13.3. Методи виконання теодолітного знімання

Знімання ситуації полягає у вимірюваннях, які визначають положення

контурів і окремих предметів ситуації на плані. Визначення положення може проводитися різними способами. Застосування того чи іншого способу залежить від конкретних умов місцевості.

Найчастіше застосовуються такі способи:

- перпендикулярів;
- полярний;
- прямих кутових засічок;
- лінійних засічок;
- обходу;
- створів.

Спосіб перпендикулярів (спосіб абсцис і ординат) застосовується при зніманні об'єктів ситуації, розміщених біля сторін теодолітного ходу. Положення точки визначається двома величинами (рис. 13.2.):

- віддалю по стороні теодолітного ходу від точки знімальної основи – абсцисою x ;
- довжиною перпендикуляра, який побудовано з сторони теодолітного ходу до точки, що визначається, – ординатою Y .

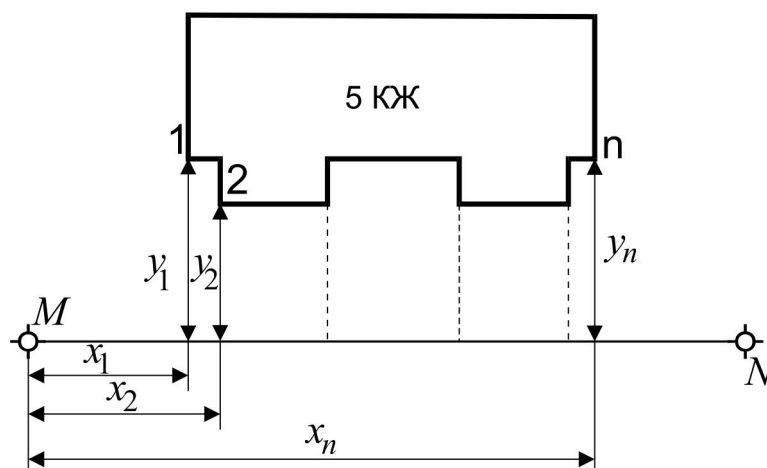


Рис. 13.2. Спосіб перпендикулярів (спосіб ординат)

Віддалі x від початку знімальної сторони до основи перпендикуляра вимірюють стальною стрічкою або рулеткою, яка укладається по створу лінії MN , а довжину перпендикулярів Y – рулеткою з точністю до 0,01 м при зніманні чітких контурів і до 0,1 м – в інших випадках.

Перпендикуляри на місцевості можуть будуватися такими методами:

- на око;
- за допомогою рулетки або стрічки;
- за допомогою спеціального приладу – екера.

При побудові перпендикуляра на око спостерігач стає у створі лінії, на яку повинен бути опущений перпендикуляр, обличчям до точки, з якої опускається перпендикуляр, витягує руки в боки за напрямком лінії. Тоді зводить руки спереду і переміщується у створі лінії до тих пір, поки зведені

долоні не будуть направлені на точку, з якої опускається перпендикуляр. У цей момент спостерігач знаходиться у точці, що є основою перпендикуляра.

При побудові перпендикуляра за допомогою рулетки нуль рулетки суміщають з точкою, що знімається, і з неї, як з центра, описують дугу до стрічки, покладеної у створі сторони знімального обґрунтування MN (рис. 11.3). Отримують точки a' і a'' . Шукана точка a , що відповідає основі перпендикуляра, розміщується посередині між ними. Перпендикуляр у цьому випадку опускається з точністю близько 1° .

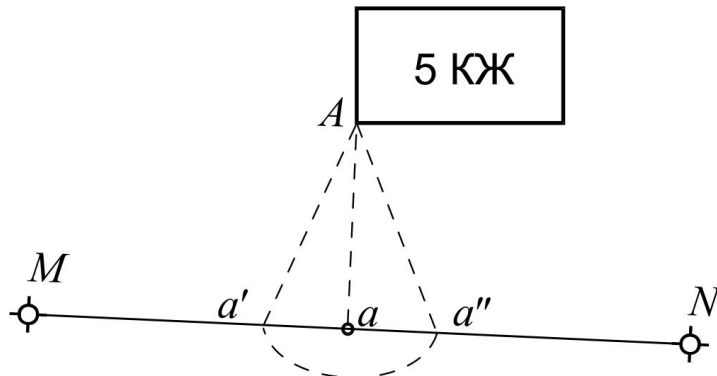


Рис. 13.3. Побудова перпендикуляра за допомогою рулетки



Рис. 13.4. Загальний вигляд однопризмового екера

Побудову перпендикулярів при їх великій довжині виконують за допомогою екера – спеціального приладу для побудови на місцевості прямого кута. Залежно від конструкції розрізняють дводзеркальні, однопризмові і двопризмові екери. На рис. 13.4 показано загальний вигляд однопризмового екера, а хід променів у ньому – на рис. 13.5, *a*.

Якщо потрібно у точці C побудувати перпендикуляр до лінії AB , то спостерігач з екером стає над точкою C обличчям у той бік, куди потрібно побудувати перпендикуляр (рис. 13.5, *a*), направляє відкриту частину призми на віху, встановлену у точці A або B . Побачивши у призмі зображення віхи, виставляє віху у точці D так, щоб її зображення було продовженням зображення віхи A у призмі (рис. 13.5, *б*).

Щоб опустити перпендикуляр з деякої точки D на пряму AB , діють так. У точках A і D встановлюють віхи. Спостерігач, пересуваючись по лінії AB від точки A до точки B , дивиться на віху в точці A через призму екера. Коли спостерігач дійде до точки C – основи перпендикуляра, опущеного з точки D , він побачить зображення віхи у точці D на одній вертикальній лінії з видимою через призму екера віхою A . Точка C проектується на поверхню землі виском, який підвішується до ручки екера і закріплюється кілком.

Точність побудови перпендикуляра за допомогою екера – близько 5 см.

Перш ніж розпочати роботу з екером, необхідно виконати його перевірку, тобто переконатися у тому, що кути між гіпотенузою і катетами тригранної прямокутної призми призматичного екера по 45° . Для перевірки цієї умови стають з екером у точці C (рис. 11.6), яка знаходиться у створі лінії AB , і будують кути ACD_1 і BCD_2 . Якщо в обох випадках виставлені віхи D_1 та

D_2 займуть одне і те саме положення – D , то екер справний. У іншому випадку екер потрібно виправити.

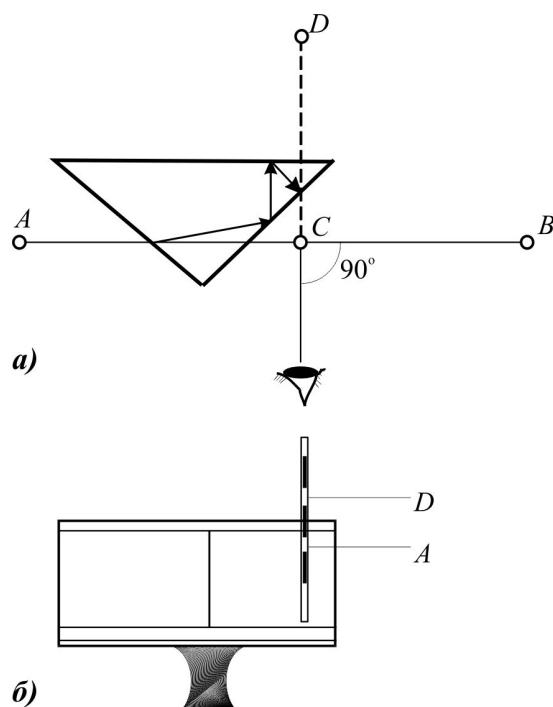


Рис. 13.5. Побудова перпендикуляра екером

У всіх випадках довжини перпендикулярів вимірюються одноразово. Допустимі значення довжин перпендикулярів під час знімання у різних масштабах наведені у табл. 3.2.

Однак під час виконання знімання потрібно мати на увазі, що надмірно короткі перпендикуляри створюють труднощі при накладенні ситуації на план, тому їхня мінімальна довжина у масштабі плану не повинна бути меншою 4 мм.

Спосіб перпендикулярів переважно застосовують при зніманні витягнутих у довжину контурів водостоків, доріг, вулиць, ситуації на переїздах і т.д.

Таблиця 13.2

Допустимі довжини перпендикулярів

Масштаб знімання	Допустима довжина перпендикуляра (м) при його побудові	
	на око	за допомогою екера
1:500	4	20
1:1000	6	40
1:2000	8	60

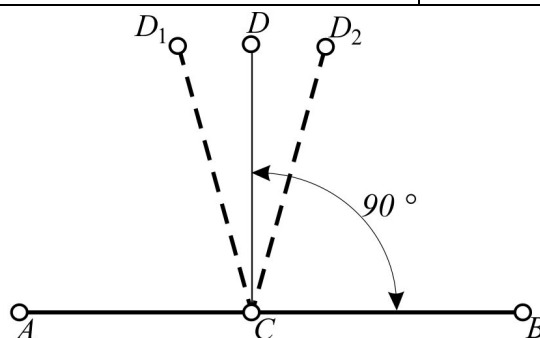


Рис. 13.6. До перевірки екера

При зніманні криволінійних контурів перпендикуляри потрібно брати настільки часто, щоб між кожною парою точок, які знімаються, лінія була близькою до прямої або характеризувалась односторонньою опуклістю.

При проведенні знімання методом перпендикулярів необхідно керуватися такими правилами ведення абрису. Ординати викреслюють пунктиром або тонкими суцільними лініями. Абсциси підписують на лінії знімальної основи, що зображена в абрисі біля основи перпендикулярів з протилежного боку, а довжини ординат – в їх середині (рис. 13.7).

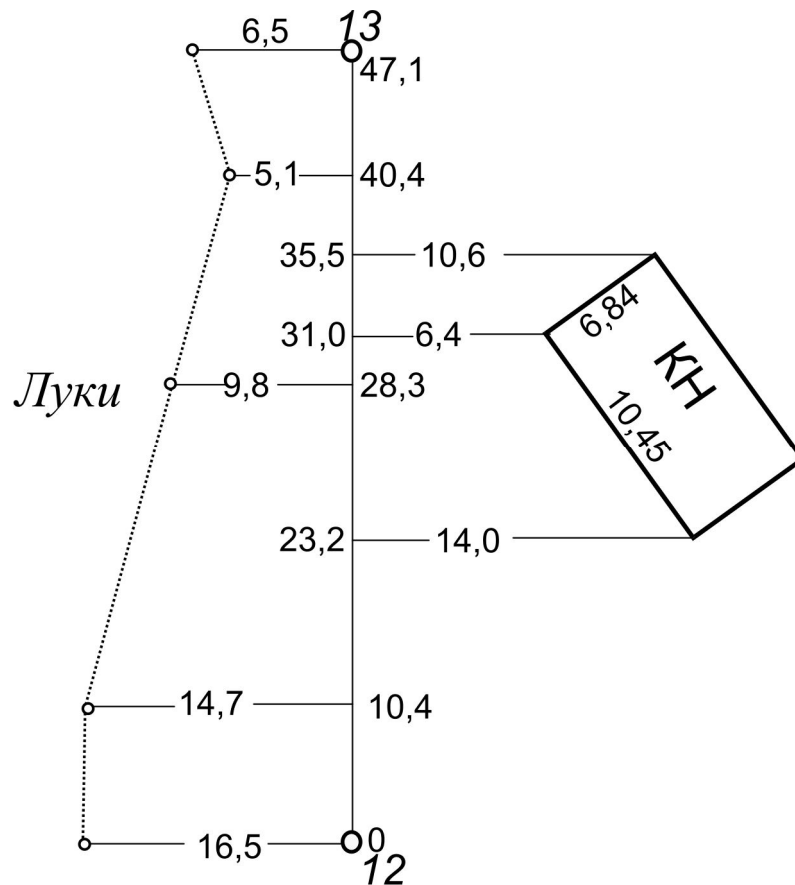


Рис. 13.7. Приклад ведення абрису при зніманні способом перпендикулярів

Для контролю, що здійснюється при складенні плану, необхідно виміряти стальною рулеткою параметри (розміри) усіх будівель, які також заносяться в абрис (м ал. 13.7).

Полярний спосіб (спосіб полярних координат). Положення точки визначається кутом β_i , вимірним від сторони теодолітного ходу MN (яка приймається за полярну вісь) і віддаллю D_i , від точки теодолітного ходу, яка приймається за полюс (рис. 13.8).

Для знімання полярним способом встановлюють теодоліт над точкою теодолітного ходу, наприклад, над точкою N (рис. 13.8) і орієнтують лімб за напрямком на попередню (або наступну) точку ходу (точку M).

Орієнтувати лімб – це значить розмістити лімб теодоліта, встановленого над точкою N так, щоб при візуванні на точку M відлік по лімбу дорівнював $0^\circ 00'$. Для орієнтування лімба за заданим напрямком відпускають закріпний гвинт алідади і повертають алідаду доти, поки відлік по лімбу не буде близький

до нуля. Закріплюють алідаду і встановлюють за допомогою навідного гвинта алідади відлік, що дорівнює $0^{\circ}00'$. Тоді, відпустивши закріпний гвинт лімба, наводять зорову трубу приблизно на точку M , закріплюють закріпний гвинт лімба і точне наведення на точку M здійснюють за допомогою навідного гвинта лімба.

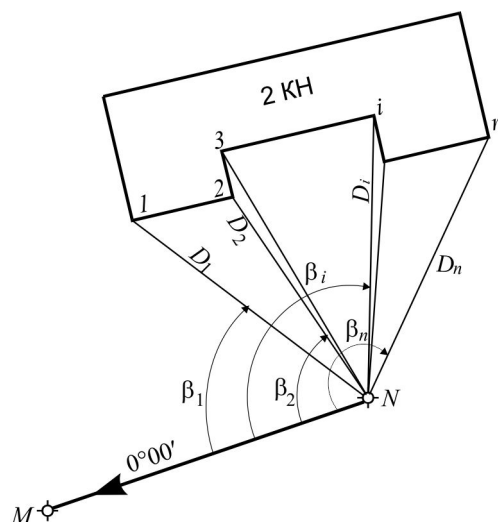


Рис. 13.8. Полярний спосіб знімання

При виконанні знімання поворотом алідади наводять трубу послідовно на всі точки, що визначаються, роблячи кожний раз відліки по горизонтальному кругу теодоліта з точністю $1'$. Ці дії виконують при одному положенні вертикального круга. Тож відліки по лімбі при візуванні на кожену точку будуть горизонтальними кутами β_i , відносно прийнятої сторони теодолітного ходу.

Віддалі до точок можуть вимірюватися світловіддалеміром, рулеткою, нитковим або оптичним віддалеміром. Допустимі значення віддалей при зніманні полярним способом, залежно від типів мірних приладів і масштабу знімання, наведені у таблиці 13.3.

При зніманні нечітких контурів віддалі, вказані у таблиці 11.3, можуть бути збільшені у 1.5 рази. Перевагою полярного способу є незалежне визначення місцезнаходження кожної контурної точки, завдяки чому не виникає накопичування похибок вимірювань.

Таблиця 13.3

Допустимі значення віддалей при зніманні полярним способом

Масштаб знімання	Максимальна віддаль (м) до чітких контурів при вимірюванні віддалей			
	світловіддалеміром	рулеткою (стрічкою)	нитковим віддалеміром	оптичним віддалеміром
1:2000	750	250	100	180
1:1000	400	180	80	120
1:500	250	120	60	80

Спосіб кутових засічок (рис. 13.9). Спосіб застосовується на відкритих ділянках, там, де неможливо проводити безпосереднє вимірювання віддалей від вершини теодолітного ходу до точки, яка знімається (протилегний берег водоймища, яру і т.д.).

Для визначення положення точки I вимірюються два кути β_1 і β'_1 , які

примикають до базису MN . Базисом може служити сторона теодолітного ходу або будь-які два пункти знімальної основи, між якими є видимість. Кути β , що примикають до базису, вимірюються одним напівприйомом з точністю до $1'$. Головна вимога до кутової засічки полягає в тому, щоб кут біля визначуваної точки був у межах від 30° до 150° .

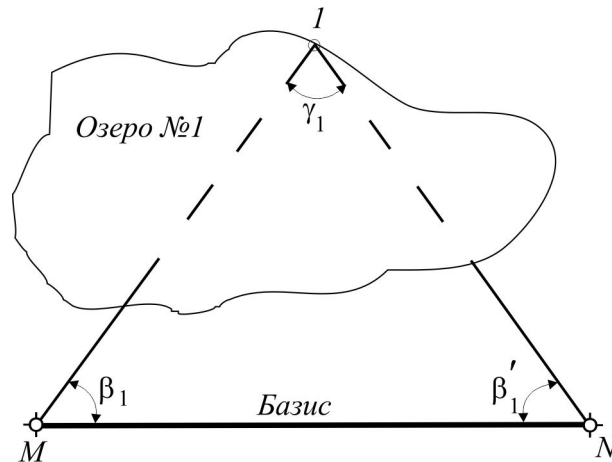


Рис. 13.9. Знімання способом кутових засічок

Спосіб лінійних засічок. Застосовується для знімання об'єктів ситуації з чіткими контурами (обрисами), коли відстані до точок не перевищують довжини мірного приладу та умови місцевості дозволяють легко проводити лінійні вимірювання. Положення точки при зніманні способом лінійних засічок визначається як вершина трикутника aAb (рис. 13.10), в якому відомі три сторони aA , bA , ab .

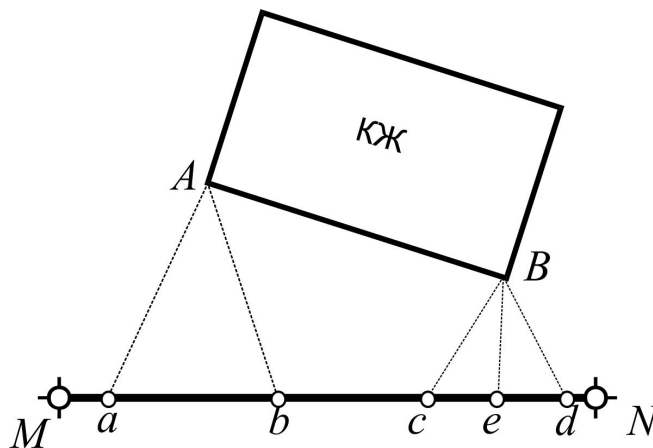


Рис. 13.10. Знімання способом лінійних засічок

При виконанні знімання стрічку кладуть у створі лінії знімальної основи. На стрічці відмічають точки основи засічок a , b , c , e , d . Укладення стрічки виконують за допомогою теодоліта або на око. Щоб полегшити нанесення точок на план, рекомендується віддалі від початку знімальної лінії до основи засічок (відрізки Ma , Mb , ..., Md і т.д.) виражати цілим числом метрів. Крім того, відліки по стрічці вибирають так, щоб утворювався трикутник, близький до рівностороннього. Кути між суміжними напрямками засічок біля точки ситуації, як і у способі кутових засічок, повинні бути не меншими 30° і не більшими 150° . Лінії засічок вимірюються рулеткою одноразово з округленням до $0,01$ м.

Визначення положення точки за допомогою двох засічок є

безконтрольним. Для забезпечення контролю рекомендується робити третій промір, тобто для визначення положення точки B (рис. 13.10) вимірюють три відрізки Bc , Be , Bd .

Спосіб обходу. Спосіб застосовується для знімання таких об'єктів, які через віддаленість або перешкоди не можуть бути зняті з точок і сторін основного теодолітного ходу.

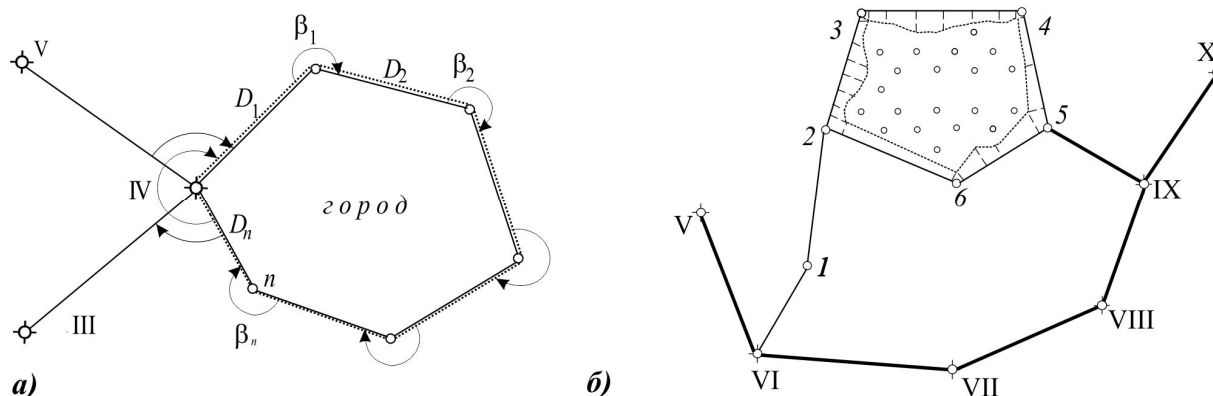


Рис. 13.11. Знімання способом обходу

Якщо контур об'єкта, що знімається, має прямолінійні межі, то знімальний хід прокладають безпосередньо по них (рис. 13.11, *а*).

У цьому випадку контур ходу - це контур об'єкта, який знімається. Коли контур має складну форму, то його межі знімають способом перпендикулярів від сторін знімального ходу (рис. 13.11, *б*).

При зніманні площинних контурів (садиби, плантації, культур і т.п.) прокладають замкнені знімальні теодолітні ходи, а під час знімання витягнутих контурів (доріг, меж і т.п.) прокладають окремі витягнуті ходи.

При зніманні методом обходу кути $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ вимірюють при одному положенні вертикального кола, а довжини ліній D_1, D_2, \dots, D_n - одноразово мірною стрічкою і контролюють за віддалеміром. Віддалі записують до 0,1 м. Запис робиться в журналі теодолітних ходів прийнятої форми.

Перевага способу обходу - це наявність зайвих вимірювань, що дозволяє перевірити правильність як кутових, так і лінійних вимірювань.

Спосіб створів. Сутність способу полягає в тому, що у створі двох відомих точок M та N за допомогою теодоліта і мірного приладу визначають положення контурів (рис. 13.12, *а*). Кінцями створної лінії можуть бути пункти геодезичної знімальної основи, вже зняті кути кварталів, будинків і т.п.

Цей спосіб широко застосовується під час знімання забудованих територій. Наприклад, для випадку, показаного на рис. 13.12, *б*, створ лінії AB виносять на стіну будинку 2, отримуючи точку C .

Від створу BC проводять знімання ситуації методом перпендикулярів і лінійних засічок.

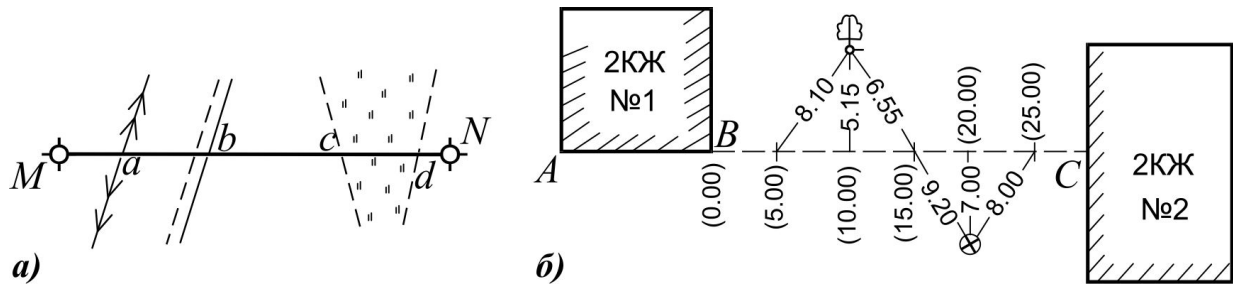


Рис. 13.12. Знімання способом створів

При виконанні теодолітного знімання виміряні віддалі у всіх способах приводяться до горизонту, якщо кут нахилу лінії ν перевищує 2° .

Вертикальні кути від 2° до 10° можна виміряти екліметром з точністю 15-20', а кути нахилу більше 10° – теодолітом з точністю до 1'.

При зніманні будівель розглянутими вище способами визначають положення тільки деяких кутів будинків (рис. 13.3, 13.8, 13.10), а для нанесення на план інших кутів проводять обмір будинку рулеткою.

При проведенні теодолітного знімання застосовують усі вказані способи. Це робить теодолітне знімання достатньо гнучким, що є його перевагою.

Так знімання ділянки, абрис якої наведено на рис. 13.1, виконане способом створів, перпендикулярів, лінійних засічок та полярним способом. Ці вимірювання доповнені обміром елементів ситуації.

На рис. 13.13 показано приклад знімання ділянки усім комплексом способів теодолітного знімання. Знімання виконувалась відносно точок знімальної основи, представлені основним теодолітним ходом (точки I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII) та діагональним (точки IX, X).

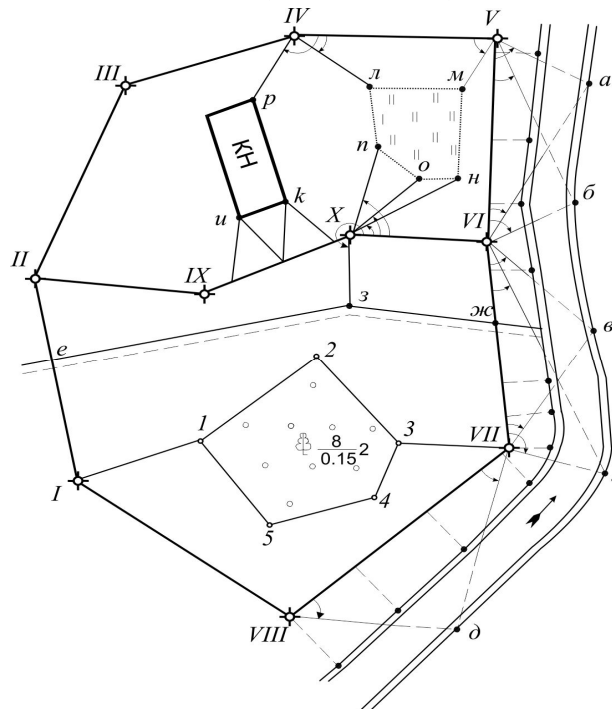


Рис. 13.13. Приклад комплексного використання всіх способів теодолітного знімання

Для знімання лівого берега річки використано спосіб перпендикулярів. Зйомка виконувалась відносно сторін V-VI, VI-VII, VII-VIII. Протилежний берег річки знято способом кутових засічок з точок VI, VII, VIII. У результаті отримані знімальні точки *a*, *b*, *в*, *г*, *д*. Точки дороги *e* і *ж* зняті методом створів. Точка з цієї ж дороги, контури луку *л*, *м*, *н*, *о*, *п*, а також один кут будівлі *p* отримані полярним способом з точок знімальної основи IV, V, X. Кути будівлі *и*, *к* зняті способом лінійних засічок відносно сторони IX-X. Для знімання березового гаю використано спосіб обходу (точки 1, 2, 3, 4, 5), представлений у вигляді замкнутого ходу, прив'язаного до двох точок знімальної основи.

13.4. Камеральна обробка теодолітного знімання

Камеральна обробка теодолітного знімання полягає у побудові плану знятої ділянки. Для побудови плану місцевості беруть креслярський папір доброї якості. Формат аркуша А1 (594×841 мм).

Послідовність виконання роботи:

- побудова координатної сітки;
- нанесення пунктів ходів за прямокутними координатами;
- нанесення ситуації;
- оформлення плану тушшю.

Побудова координатної сітки – це дуже відповідальна робота, яка потребує великої уваги і акуратності. Від точності побудови координатної сітки залежить точність плану.

Сітка будується у вигляді системи квадратів зі сторонами 10 см. Загальні її розміри – 50×50 см.

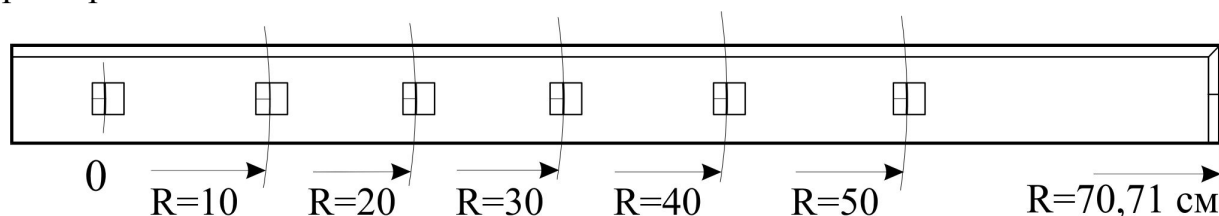


Рис. 13.14. Лінійка проф. Ф.В. Дробишева

Існує декілька способів побудови координатної сітки, однак найбільше поширення отримав спосіб побудови сітки за допомогою лінійки проф. Ф.В. Дробишева. Ця лінійка – своєрідний циркуль (рис. 13.14).

У тілі лінійки є шість вирізів – віконечок. Один з країв кожного віконечка скошений. Скошений край першого вирізу зроблено по прямій, а скошені краї інших вирізів – по дугах кіл, радіуси яких відповідно дорівнюють 10, 20, 30, 40, 50 та 70,71 см. Центром цих кіл є кінець штриха на скошеному краю першого вирізу.

Для усвідомленої побудови координатної сітки за допомогою лінійки необхідно згадати з геометрії порядок побудови прямокутного трикутника з катетами, що дорівнюють 50 см, і гіпотенузою – 70,71 см. Побудова такого трикутника показана на рис. 13.15, *a*.

Послідовність побудови координатної сітки за допомогою лінійки Ф. В. Дробишева показана на рис. 13.15.

Проводять гостро заструганим твердим олівцем лінію, паралельну до

нижнього краю паперу, на відстані від нього 5-6 см. Це місце залишають для виконання необхідних підписів. На проведену лінію накладають лінійку, щоб вона проглядалась через віконця. При цьому відрізок, який дорівнює 50 см, повинен розміщуватися симетрично відносно країв паперу. Гострим олівцем по скошених краях віконечок проводять дуги, які розділяють лінію на п'ять рівних частин по 10 см (рис. 13.15, б).

Кладуть лінійку перпендикулярно до лінії AB , сумістивши кінець нульового штриха з точкою A (рис. 13.15, в). Олівцем проводять дуги по скошених краях віконечок. Для побудови лівої верхньої вершини квадрата лінійку кладуть по діагоналі (рис. 13.15, г). Сумістивши кінець нульового штриха з точкою B , засікають дугоподібним кінцем лінійки дугу BC . Аналогічно отримують і верхню праву вершину квадрата D (рис. 13.15, д та 13.15, е).

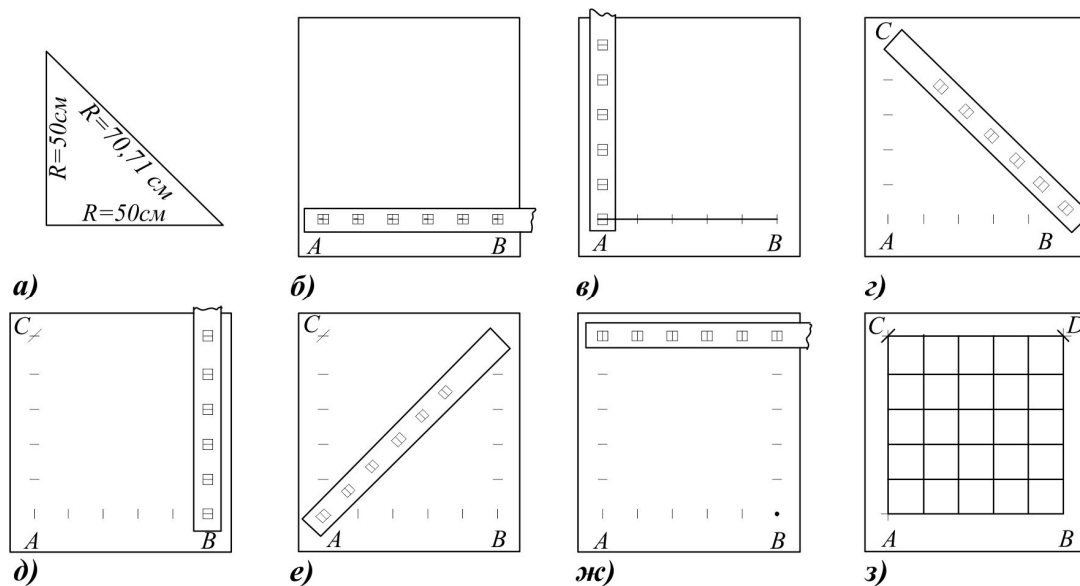


Рис. 13.15. Послідовність побудови координатної сітки за допомогою лінійки Ф.В. Дробишева

Для контролю побудови суміщають нульовий штрих з точкою C і дивляться, чи проходить дуга шостого віконця через точку D (допустиме розходження не повинно перевищувати 0,2 мм). Якщо проходить, то через усі скошені краї віконця проводять дуги (рис. 13.15, ж). Наприкінці вздовж скошеного краю лінійки прокреслюють лінії координатної сітки (рис. 13.15, з).

Правильність побудови перевіряється вимірюванням довжин діагоналей кожного квадрата за допомогою вимірювача і масштабної лінійки. Відхилення не повинні перевищувати 0,2 мм.

За описаним способом лінійкою Ф. В. Дробишева можна побудувати координатну сітку розміром 30×40 см, використовуючи для цієї мети четверте, п'яте та шосте віконечко.

Накладка вершин теодолітного ходу по їх прямокутних координатах.

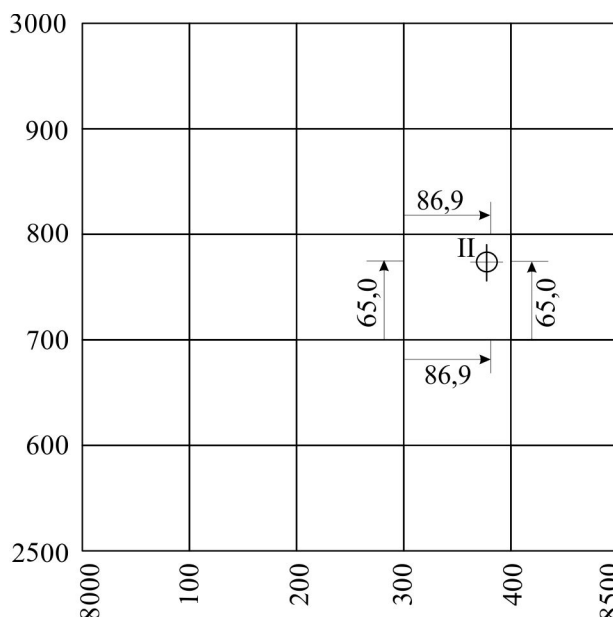


Рис. 13.16. Накладка точок по їх прямокутних координатах

Для накладки точок за координатами спочатку потрібно визначити квадрат, у якому повинна бути розташована ця точка. Наприклад, треба накласти точку II, координати якої дорівнюють: $x_{II} = 2764,95$ м; $y_{II} = 8386,91$ м. Точка розміститься (рис. 13.16) у квадраті зі сторонами:

- нижня $x_{н} = 2700$ м;
- верхня $x_{в} = 2800$ м;
- ліва $y_{л} = 8300$ м;
- права $y_{п} = 8300$ м.

На обох вертикальних сторонах вказаного квадрата відкладають уверх за допомогою поперечного масштабу та вимірювача залишок абсциси точки II над абсцисою нижньої сторони вказаного квадрата: $x_{II} - x_{н} = 64,95 \approx 65,0$ м (рис. 13.16). На горизонтальних сторонах вправо відкладають залишок ординати точки II над ординатою лівої сторони квадрата $y_{II} - y_{л} = 86,91 \approx 87,0$ м. Приклавши ребро лінійки до горизонтальних міток, прокреслюють коротку лінію у передбачуваному місці розміщення точки. Прикладають лінійку до вертикальних рисок, прокреслюють короткий штрих так, щоб він пересік перший. Перетин цих штрихів і визначає положення точки II.

Наклавши аналогічно наступну точку полігона, необхідно відразу перевірити правильність накладання точок.

Правильність нанесення двох сусідніх пунктів перевіряють за довжиною горизонтального прокладення між ними та дирекційному куту цієї лінії. Для цього беруть за поперечним масштабом у розхил вимірювача відрізок, який відповідає значенню горизонтального прокладення, одну ніжку вимірювача ставлять у попередній нанесений пункт і перевіряють, чи співпадає друга ніжка з тільки що нанесеною точкою. Розходження не повинне перевищувати 0,2 мм.

При нанесенні точки по координатах може бути використана лінійка з міліметровими поділками замість поперечного масштабу.

Правильність напрямку нанесеної лінії у відповідності з її дирекційним кутом перевіряють за допомогою транспортира. Треба взяти собі за правило: не

перевіривши правильність накладання двох точок по віддалі між ними, не приступати до нанесення наступної точки.

Нанесення ситуації. Нанесення на план знімальних точок проводиться за допомогою звичайного транспортира і масштабної лінійки.

При накладанні точок, знятих полярним способом, цю трудомістку роботу можна прискорити за допомогою спеціального транспортира-тахеографа. Тахеограф (рис. 13.17) – це круговий транспортир з лінійкою з прозорого матеріалу (целулоїду або плексігласу), по колу якого нанесені градусні поділки через 30', при цьому позначки поділок збільшуються проти годинникової стрілки. Вздовж лінійки нанесена міліметрова шкала з початковими поділками в центрі кола. (рис. 13.17).

Для нанесення знімальної точки центр тахеографа суміщається на плані зі станцією, з якої виконувалась зйомка. Транспортир повертають так, щоб поділка, яка дорівнює куту на знімальну точку, співпала з початковим напрямком станції. Міліметровою лінійкою відкладають полярну віддаль від станції до точки у масштабі плану. Біля отриманої точки надписують її номер.

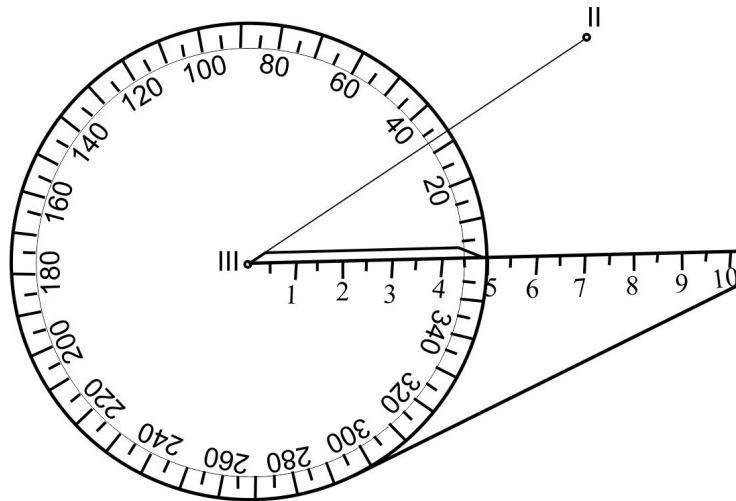


Рис. 13.17. Транспортир-тахеограф

При накладанні точок, положення яких визначалось способом куткових засічок, у вершинах базисів відкладають кути і прокреслюють напрямки, перетин яких визначає положення шуканої точки на плані.

Нанесення точок способом лінійних засічок виконується за допомогою циркуля-вимірювача і зводиться до побудови трикутника за трьома сторонами, довжини яких виміряні при зніманні.

Для точок, знятих способом обходу, можуть бути обчислені координати і їхнє нанесення на план проводиться так само, як і точок знімальної основи. При графічному способі нанесення послідовно виконують дії так само, як і при нанесенні точок, що зняті полярним способом.

При побудові контурів місцевості на плані усі допоміжні креслення виконують тонкими лініями. Значення кутів і віддалей, наведених в абрисі, на плані не показують.

У міру нанесення точок на план, відповідно до абрисів, викреслюють предмети місцевості і контури та заповнюють їх встановленими умовними знаками. Нанесення ситуації безконтрольне, тому від виконавця вимагається

велика увага. Нанесення найважливіших об'єктів необхідно повторити, щоб упевнитися у відсутності грубих помилок. Складений план бажано звірити з місцевістю.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 13

1. Що називається теодолітним зніманням?
2. Для чого складають абрис?
3. Назвіть основні способи знімання ситуації.
4. Що означає «орієнтувати лімб»?
5. Де застосовується спосіб кутових засічок?
6. Де застосовується спосіб лінійних засічок?
7. У чому полягає спосіб створів?
8. У чому полягає камеральна обробка теодолітного знімання?
9. Як контролюють правильність побудови координатної сітки?
10. Для чого використовують тахеограф?

ТЕМА 14. ТАХЕОМЕТРИЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

- 14.1. Суть та область застосування тахеометричного знімання.
- 14.2. Основні формули тахеометричного знімання.
- 14.3. Прилади тахеометричного знімання.
- 14.4. Робота на станції тахеометричного знімання.
- 14.5. Складання плану тахеометричного знімання.

14.1. Суть та сфера застосування тахеометричного знімання

Тахеометрія (від грецької: *tachys* – швидкий і *metric* – вимірюю) – це один з видів топографічного знімання, коли разом визначають планове і висотне положення точок місцевості, яку знімають. Вимірювання виконують теодолітами – тахеометрами.

Станція – це точка, над якою встановлений прилад. Точка, положення якої визначається під час знімання за встановленою на ній тахеометричною рейкою, називають рейковою точкою (*знімальним пікетом*).

Суть тахеометричного знімання полягає в тому, що зі станції (рис. 14.1) одночасно визначають три просторові полярні координати: горизонтальний кут β , який відраховується за лімбом горизонтального круга, вертикальний кут (кут нахилу) ν , який відраховується за лімбом вертикального круга, і віддаль D від станції до рейкової точки, що вимірюється віддалеміром.

Горизонтальне прокладення d і перевищення h обчислюють. При застосуванні електронних та номограмних тахеометрів горизонтальне прокладення і перевищення (висота точки) можуть бути отримані безпосередньо на станції. Метод тахеометрії передбачає, що шукані точки місцевості доступні для встановлення тахеометричної рейки.

Знімальна основа тахеометричного знімання є топографічною, тобто положення знімальних точок визначено трьома координатами X , Y та H . Планове положення цих точок визначається прокладанням теодолітних ходів, геодезичними засічками та ін. Висотне положення знімальних точок визначається геометричним нівелюванням технічної точності або тригонометричним нівелюванням.

Під час тахеометричного знімання щільність пунктів знімальної мережі повинна забезпечувати можливість прокладення тахеометричних ходів.

Теодолітні ходи, висоти вершин яких визначаються тригонометричним нівелюванням, називаються тахеометричними.

При зніманні у масштабі 1:1000 їх максимальна довжина не повинна перевищувати 300 м, максимальне число ліній – не більше 3. Сторони тахеометричних ходів можуть бути виміряні мірними стрічками і віддалемірами. При зніманні у масштабі 1:500 лінії вимірюють мірними стрічками.

Кути в тахеометричних ходах вимірюють одним повним прийомом. При цьому кутові нев'язки у тахеометричних ходах не повинні перевищувати:

$$f_{\beta_{\text{дон}}} = 1'\sqrt{n}, \quad (14.1)$$

де n – кількість кутів у ході.

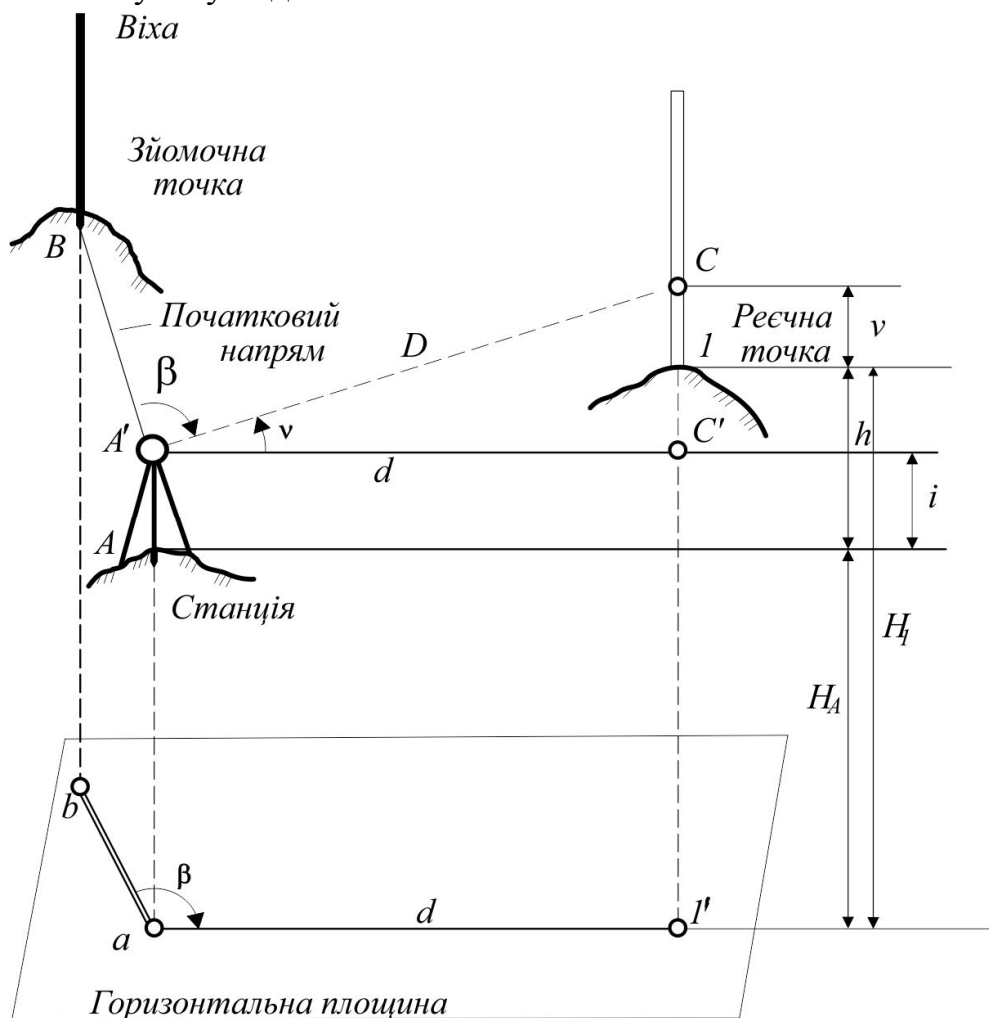


Рис. 14.1. Геометричні елементи тахеометричного знімання

Допустимі лінійна $f_{\text{доп.}}$ і висотна $f_{h_{\text{доп.}}}$ нев'язки визначаються за формулами:

$$f_{\text{доп.}} = \frac{P}{4\sqrt{N}}, \text{ м}; \quad (14.2)$$

$$f_{h_{\text{доп.}}} = \frac{0,04P}{\sqrt{N}}, \text{ м}, \quad (14.3)$$

де P – довжина ходу у сотнях метрів; N – число ліній у ході.

Тахеометричне знімання застосовується: як основний вид топографічного знімання у великих масштабах (1:5000 – 1:500); для знімання невеликих ділянок, вузьких смуг місцевості під час вишукувань залізниць та автомобільних шляхів, високовольтних ліній передач, трас трубопроводів і т.п. Тахеометричне знімання застосовується у поєднанні з іншими методами топографічного знімання: наземного та повітряного стереотопографічного, теодолітного, мензульного та ін.

14.2 Основні формули тахеометричного знімання

Планове положення рейкової точки (рис. 14.1) визначається плоскими

полярними координатами β та d , а висотне положення визначається за формулою:

$$H_i = H_A + h, \quad (14.4)$$

де H_A – висота станції; h – перевищення пікетної точки I над станцією A і обчислюється за формулою тригонометричного нівелювання:

$$h = dtg\nu + i - v, \quad (14.5)$$

де i – висота теодоліта, v – висота візування на рейці; d – горизонтальне прокладення віддалі $A'C'$ до пікетної точки I .

Планове положення рейкової точки у прямокутній системі координат може бути обчислене за формулами прямої геодезичної задачі (див. підрозділ 10,2), або визначається графічно на плані за кутом β і віддалю d .

Кути при тахеометричному зніманні вимірюють при одному положенні вертикального круга при крузі ліво (K/L). Горизонтальні кути визначають відносно початкового напрямку $A'B$, з яким суміщають нуль горизонтального круга тахеометра. Значення горизонтальних кутів округлюють до $10'$, кутів нахилу – до $1'$.

Віддалі до рейкових точок можуть бути виміряні безпосередніми та непрямыми методами. При тахеометричному зніманні віддалі визначають за допомогою ниткового чи номограмного віддалеміра, або світловіддалеміра.

При горизонтальному розміщенні осі візування зорової труби віддаль D за нитковим віддалеміром визначається за допомогою формули:

$$D = kl + c,$$

де l – відрізок на рейці між штрихами віддалеміра (відлік за віддалеміром); k і c – відповідно коефіцієнт і постійний додатак віддалеміра.

У сучасних зорових трубах з внутрішнім фокусуванням постійний додатак c практично дорівнює нулю, тому шукана віддаль визначається з виразу:

$$D = kl. \quad (14.6)$$

Якщо відлік l по рейці становить n (см), а коефіцієнт віддалеміра дорівнює 100, то віддаль в метрах дорівнює числу " n " у сантиметрах.

Отримана формула визначення віддалі нитковим віддалеміром справедлива тільки у випадку горизонтального візування, причому рейка перпендикулярна до візирної осі. В інших випадках візирна вісь утворює з рейкою кут $A'CM$, відмінний від 90° (рис. 14.2) і відрізок $l = MN$ між нитками віддалеміра на рейці не можна застосовувати у формулі (14.6).

Повернемо рейку на кут ν навколо точки перетину C осі візування і прямовисно встановленої рейки. Тоді по відрітку $l' = M'N'$ між нитками віддалеміра за формулою (14.6) можна обчислити похилу віддаль

$$D = kl'. \quad (14.7)$$

Кут γ між нитками віддалеміра менший $35'$, тому кути у трикутниках $M'MC$ та NCN' у вершинах M' і N' близькі до 90° . У цьому випадку з достатньою для практики точністю можна приймати, що

$$l' = l \cos v . \quad (14.8)$$

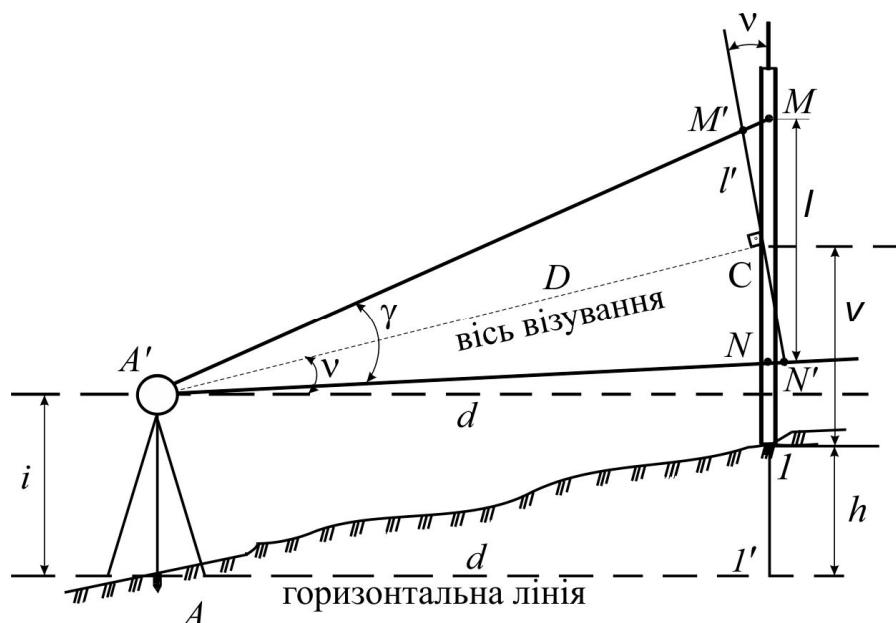


Рис. 14.2. Визначення віддалі та перевищення

Тоді похила віддаль D до рейки буде визначатися з виразу:

$$D = l \cos v . \quad (14.9)$$

З урахуванням формули (14.9) отримаємо вираз для обчислення горизонтального прокладення:

$$d = k \cdot l \cdot \cos^2 v . \quad (14.10)$$

Тоді перевищення h точки I над точкою A з урахуванням формули (12.10) буде визначатися виразом:

$$h = k \cdot l \cdot \cos^2 v \cdot \operatorname{tg} v + i - v ,$$

або

$$h = \frac{1}{2} k \cdot l \cdot \cos 2v + i - v . \quad (14.11)$$

Формули (14.10) і (14.11) є основними формулами тахеометричного знімання під час вимірювання віддалей нитковим віддалеміром.

Похибки, які виникають через допущені спрощення під час виведення формули (14.10), не перевищують 1 см біля кутів нахилу до 45° . Значно більший вплив на точність горизонтального прокладення має відхилення рейки від вертикалі. Тому під час крупномасштабного топографічного знімання рекомендується правильність встановлення рейки контролювати за круглим рівнем.

Горизонтальне прокладення d і перевищення h під час тахеометричного знімання знаходять з спеціальних таблиць за аргументами l і v – відповідно різниця відліків за рейкою та кут нахилу [5].

Для виключення цього обчислювального процесу застосовують номограмні тахеометри, які дозволяють під час візування на рейкову точку за лініями сітки відраховувати горизонтальне прокладення і перевищення.

Це досягається за рахунок того, що віддаль між нитками сітки

змінюється у відповідності з кутом нахилу осі візування. Причому коефіцієнт віддалеміра k залишається постійним за величиною. На рис. 14.3 показане поле зору номограмного тахеометра, де крім вертикальної нитки сітки видні криві номограми, нанесені на вертикальний круг тахеометра. Крива 2 називається основною і проходить через нуль-пункт рейки, криві 1 і 3 відповідно визначають горизонтальне прокладення і перевищення, які обчислюються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} d &= k_d l_d, \\ h &= k_h l_h, \end{aligned} \right\} \quad (14.12)$$

де l_d і l_h – відліки, тобто відрізки, що відсікаються на рейці; і k_d , k_h – коефіцієнти відповідних кривих. Коефіцієнт горизонтальних прокладань рівний 100, щоб віддаль у метрах дорівнювала відліку у поділках рейки у сантиметрах. Коефіцієнт k_h підписаний біля кривої перевищень, за якою береться відлік.

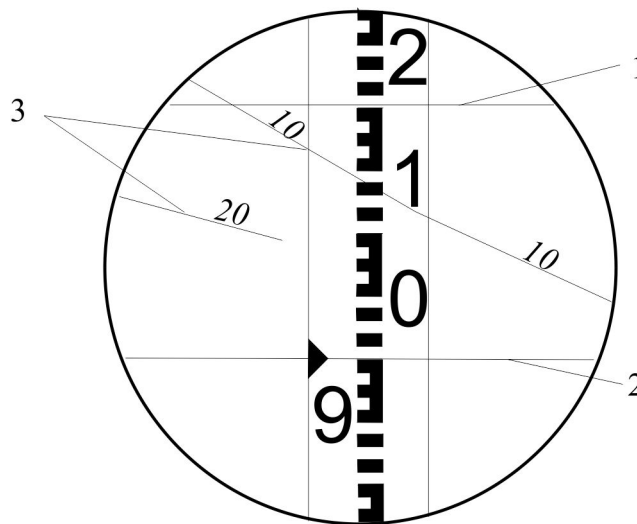


Рис. 14.3. Поле зору номограмного тахеометра

На рис. 14.3 показане $k_h = +10$, а $l_h = 14,5$, отже, вимірюване перевищення дорівнює

$$h = +10 \times 14,5 = +145 \text{ см} = +1,45 \text{ м},$$

а $l_d = 20,0$, тоді горизонтальне прокладання буде дорівнювати

$$d = 100 \times 20,0 \text{ см} = 20,0 \text{ м}.$$

14.3. Прилади тахеометричного знімання

Сучасний *тахеометр* - це геодезичний прилад, який містить кутомірний та віддалемірно-висотний пристрій, що дозволяє визначати горизонтальне прокладання і перевищення за рейкою або відбивачем без допоміжних операцій. Найширше розповсюдження отримали оптико-механічні перетворювачі у вигляді номограм, зображення яких введено у поле зору труби тахеометра.

Відповідно до ГОСТу 10812-82 випускається номограмний тахеометр

2ТаН (2ТН), що призначений для вимірювання кутів, похилих віддалей і горизонтальних прокладень, перевищень і магнітних азимутів (рис.12.4, а).

Кутомірна частина приладу виготовлена на базі теодоліта типу 2Т5К. Тахеометр має компенсатор вертикального круга, зорову трубу прямого зображення, круглий і циліндричний рівні біля алідади, шукач напрямків, співвідносно суміщені закріпні і навідні гвинти. Прилад пристосований для роботи з картографічним столиком (рис. 14.4, б). Столик встановлюють у підставку, а тахеометр – у посадочне гніздо столика. Передача повороту алідадної частини тахеометра до планшета столика виконується за допомогою кронштейна і водила.

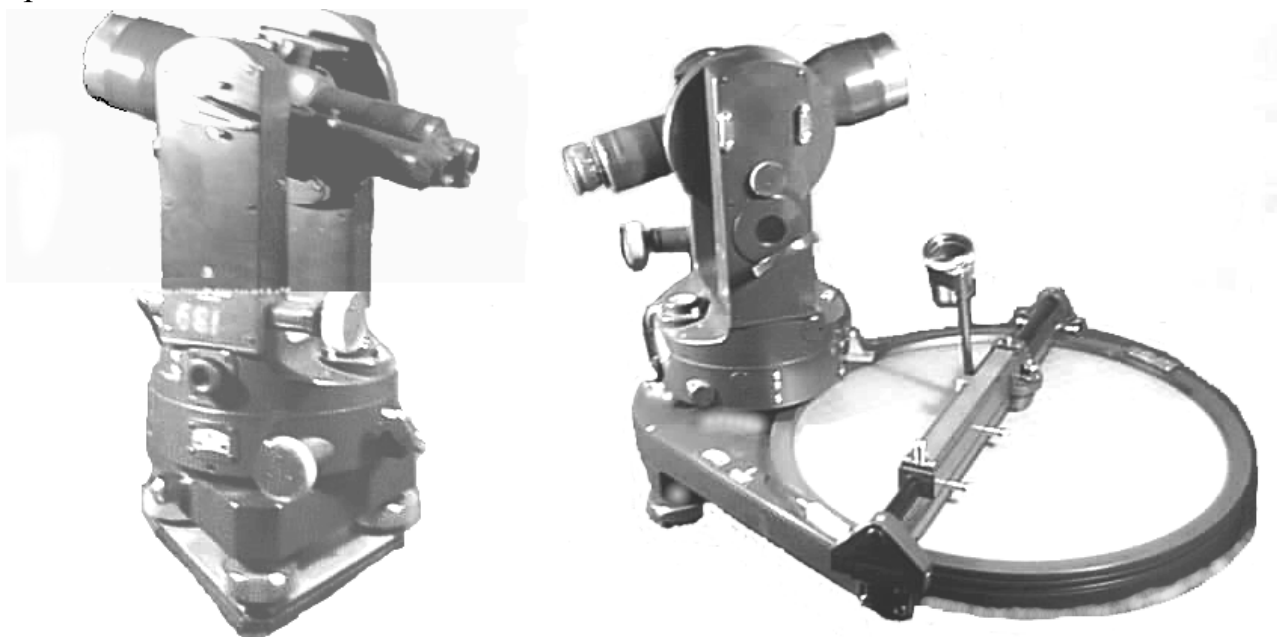


Рис. 14.4. Номограмний тахеометр 2ТаН

Картографічний столик дозволяє безпосередньо на станції складати на прозорій основі (калька, лавсан) план місцевості, що не тільки служить надійним контролем, але й значно прискорює складення загального плану ділянки знімання.

У комплект тахеометра входять дві складні рейки з рівнями і розсувними п'ятками для встановлення початкового індексу рейки на висоту приладу.

При положенні "круг ліво" у полі зору окуляра зорової труби одночасно видно вертикальну нитку сітки (рис. 14.3), зображення рейки і криві номограми.

Тахеометр 2ТаН має два вертикальні круги (рис. 14.5). Круг 1 є кутомірним для вимірювання кутів, а додатковий круг 2 називається номограмним. Обидва круги встановлені нерухомо співвідносно з горизонтальною віссю зорової труби 3.

На номограмний круг нанесені криві (рис. 14.6) розраховані таким чином, щоб віддаль між ними за радіусом лімба з точки O відповідала горизонтальному прокладенню або перевищенню при постійному коефіцієнті. Зображення сектора номограмного круга призматичною системою 4 (рис.

14.10) передається у полі зору труби тахеометра.

Оскільки призматична система жорстко скріплена з трубою, то під час її нахилу у поле зору попадає відповідний сектор номограмного круга.

Відліки за горизонтальним та вертикальним кутомірними кругами беруться за допомогою мікроскопа, у полі зору якого призми 5 і 6 направляється зображення поділок лімбів. Збільшення мікроскопа дозволяє відраховувати з точністю до $0,1'$.

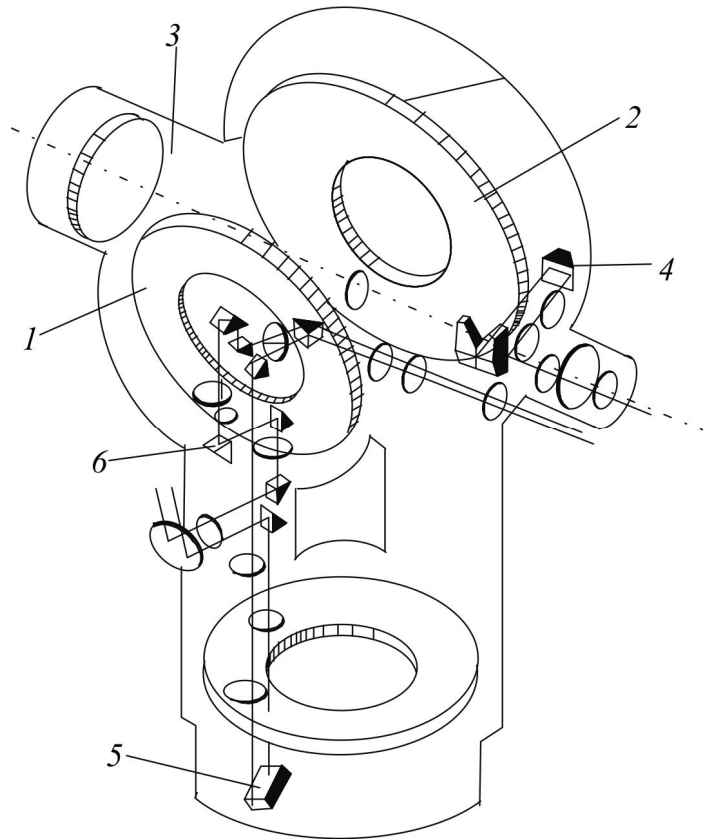


Рис. 14.5. Оптична схема тахеометра 2ТаН

На виробництві широко застосовувалися номограмні тахеометри «Дальта-010» і «Дальта-020» (фірма Цейс Йєна, НДР) (рис. 14.7). Вони принципово не відрізняються від тахеометра 2ТаН, характеризуються надійністю і високою точністю.

Тахеометр 2ТаН забезпечує середню квадратичну похибку перевищення при віддалі до 100 м і кутах нахилу від 0° до 10° не більше 3 см. Відносна похибка горизонтального прокладення для віддалі до 100 м – не більша 1:500.

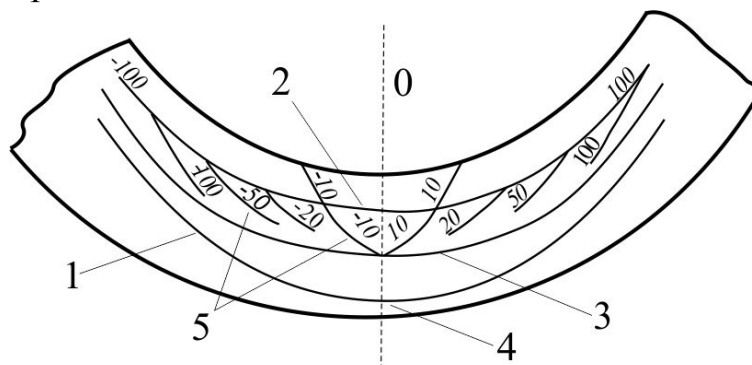


Рис. 14.6. Номограмний круг тахеометра 2ТаН

На сьогодні широко застосовуються на виробництві електронно-оптичні тахеометри типу Та5 та їхні аналоги.

Електронно-оптичний тахеометр Та5 відноситься до приладів напівавтоматичного типу. Він призначений для вимірювання кутів і віддалей, отримання горизонтальних прокладань, перевищень, приростів координат під час топографічних знімачів та згущення знімальних мереж. Тахеометр Та5 – це шкаловий теодоліт (2Т5К) з компенсатором вертикального круга конструктивно поєднаний з світловіддалеміром СТ-5, обчислювач на мікропроцесорах та клавіатуру управління (рис. 14.8).

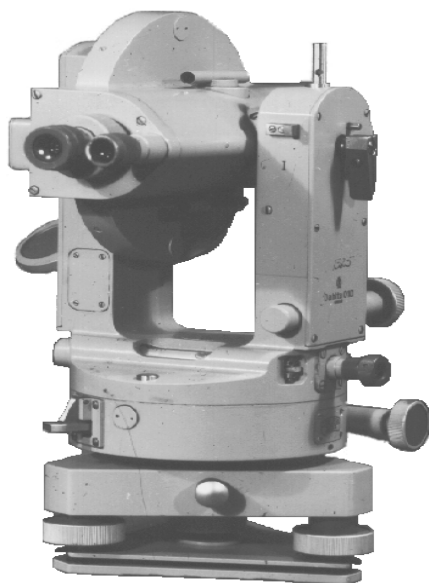


Рис. 14.7. Тахеометр Delta-020

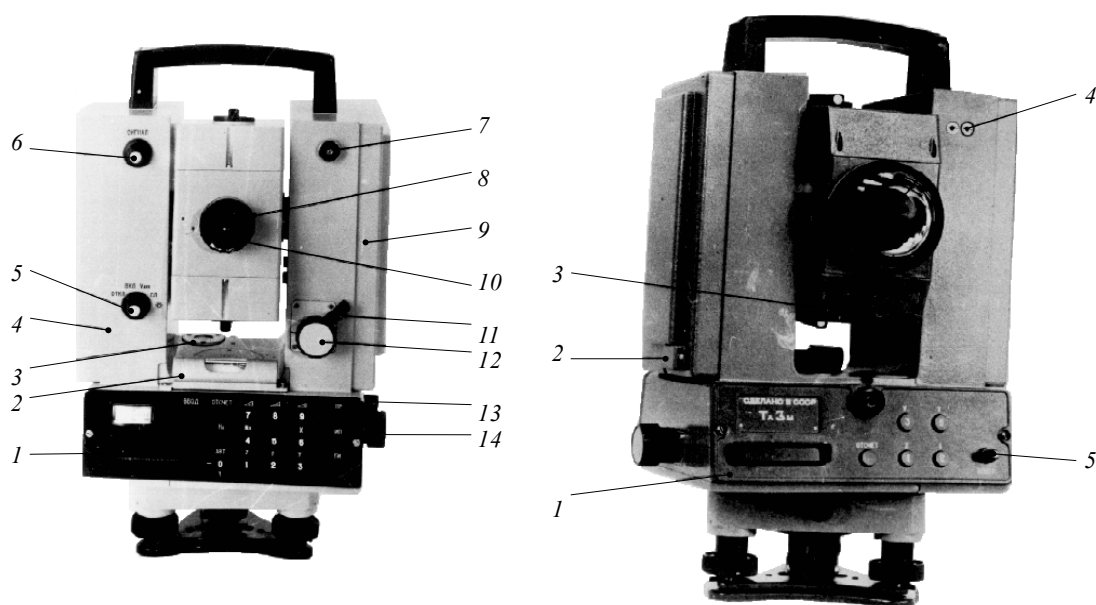


Рис. 14.8. Тахеометр Та5: 1 – цифрове табло; 2 – циліндричний рівень; 3 – круглий рівень; 4 – перемикач режиму роботи; 5 – регулювання сигналу; 6 – окуляр; 7, 8 – пристрій точного візування зорової труби; 9, 10 – пристрій точного орієнтування приладу; 11 – табло горизонтального кута; 12 – оптичний візир

Відліки з лімбів знімаються візуально і вносяться в обчислювач за допомогою клавіатури набірного поля. Результат вимірювання віддалей вводиться в обчислювач автоматично. Відповідно із заданою програмою обчислювач розв'язує задачу і видає на табло результат вимірювання:

- горизонтальне прокладання;
- перевищення;
- приріст прямокутних координат;
- зенітну віддаль із врахуванням поправки за місце нуля.

Результати вимірювань і обчислень можуть автоматично передаватись на зовнішній пристрій реєстрації – накопичувач інформації для подальшої обробки на ЕОМ.

14.4. Робота на станції тахеометричного знімання

При тахеометричному зніманні вимірювання ситуації і рельєфу може виконуватися одночасно із прокладенням тахеометричних ходів або після того, як вони прокладені. Оскільки порядок вимірювань під час прокладення ходів загальний, то зупинимось тільки на методиці знімання ситуації і рельєфу.

Допустимі віддалі до пікетів встановлюються технічною інструкцією і залежать від масштабу знімання, висоти перерізу рельєфу і типу знімального пікету (табл. 14.1). Як правило, залежно від характеру місцевості, спочатку знімають ситуацію, а тоді – пікетні точки, необхідні і достатні для зображення рельєфу на плані. Знімальні пікети для зображення рельєфу обирають на місцевості так. Спочатку виявляють скелет рельєфу місцевості, тобто визначають положення ліній водостоку, вододілу і схилів. Геодезист повинен вміти грамотно виділяти геоморфологічні елементи рельєфу місцевості, враховувати геологічну будову ділянки. Щільність пікетів обирається такою, щоб між сусідніми пікетами схил поверхні можна було вважати постійним. Однак пікети не повинні розміщуватися рідше, ніж як вказано у табл. 14.1.

Таблиця 14.1

Нормативні параметри тахеометричного знімання

Масштаб знімання	Висота перерізу рельєфу, м	Максимальна віддаль між пікетами, м	Максимальна віддаль від інструменту до рейки при зніманні рельєфу, м	Максимальні віддалі від інструменту до рейки при зніманні контурів, м
1: 500	0,5	15	100	60
	1.0	15	150	50
1:1000	0,5	20	150	80
	1.0	30	200	80
1:2000	0,5	40	200	100
	2.0	50	250	100

Примітка: При визначенні положення нечітко виражених або другорядних контурів віддаль збільшується у 1.5 рази

Тахеометр встановлюють над точкою знімальної основи і горизонтують, орієнтують нуль лімба горизонтального круга на іншу точку основи. Вимірюють і записують в журнал висоту приладу (табл. 14.2). Виконують вимірювання для визначення MO вертикального круга, як і під час теодолітного знімання. На рейці від п'ятки відкладають і відмічають висоту приладу, а якщо рейка має висувну п'ятку, то встановлюють початковий індекс на висоту i .

Знімання об'єктів і контурів ситуації виконується полярним методом, як і під час теодолітного знімання. Рейка встановлюється у точці, що знімається, і труба наводиться на мітку висоти приладу. Беруться відліки за нитковим віддалеміром, горизонтальним кругом та за вертикальним кругом. Відліки записуються у журнал (табл. 14.2). У колонці "Примітка" напроти кожного пікету вказується його розміщення (наприклад, вісь дороги, кут будинку, контур чагарнику та ін.).

Тахеометричне знімання ведеться звичайно двома спостерігачами і двома-трьома робочими реєсниками. Коли один спостерігач виконує вимірювання тахеометром на станції, другий визначає встановлення рейок і складає кроки.

Кроки – це схематичне зображення ситуації і рельєфу. Рельєф зображається умовними горизонталями, а стрілками на пікетах вказують напрям схилів.

Кроки відрізняються від абрису тим, що на них крім ситуації зображається рельєф. Складання кроків потребує певного навичку, тому на перших порах їх зручно складати на круговій діаграмі (рис. 14.9), де положення пікету наносять за горизонтальним кутом і віддалю.

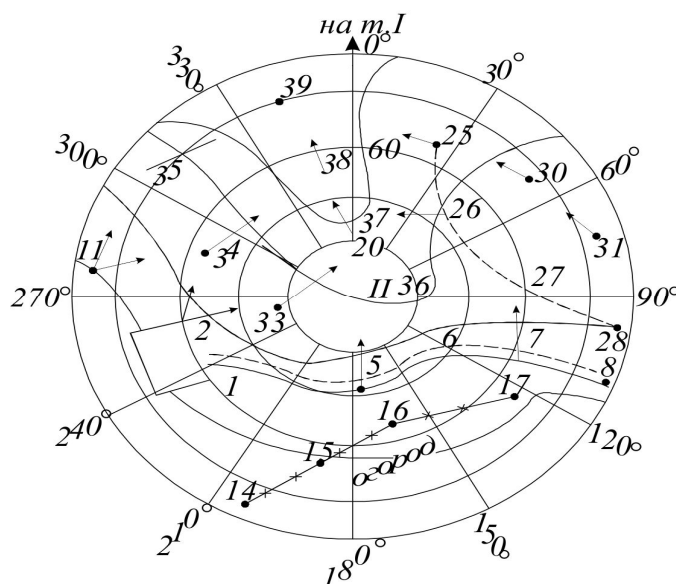


Рис. 14.9. Кроки тахеометричного знімання

Спостерігач, який знаходиться біля приладу, записує в журнал (табл. 14.2) номери точок, відповідно з їх номерами на кроках і періодично звіряє їх відповідність. На практиці можлива й інша кількість виконавців та розподіл обов'язків між ними, але зміст робіт на станції повинен відповідати описаному.

Особлива увага під час знімання повинна приділятися контролю за незмінністю орієнтування лімба горизонтального круга на точку знімальної основи.

Контроль здійснюється періодично і обов'язково наприкінці роботи на станції. Допускається відхилення орієнтування приладу за час знімання з точки не більше 15'.

Дуже важливо не допустити пропусків ("вікон") між сусідніми станціями, тому рекомендується з кожної станції визначати декілька пікетів, розміщених у зоні перекриття. Ці пікети служать хорошим загальним контролем точності знімання.

Тахеометричне знімання може бути застосоване як один з етапів комбінованого аерофототопографічного знімання, коли план місцевості отримують у вигляді фотоплану. У цьому випадку за основу для кроків беруть крупномасштабні аерофотознімки. Стереоскопічне розглядання аерофотознімків, які перекриваються, дозволяє чіткіше і правильніше виділити форми рельєфу.

Виконання польових робіт під час тахеометричного знімання необхідно поєднувати з повною камеральною обробкою.

14.5 Складання плану тахеометричного знімання

Камеральна обробка тахеометричного знімання включає у себе такі етапи:

- а) перевірку польових журналів і складання детальної схеми знімальної основи;
- б) обчислення координат і висот точок теодолітних (тахеометричних) ходів;
- в) обчислення у польових журналах висот усіх пікетів на станції;
- г) накладку точок знімальної основи, пікетних точок; нанесення ситуації, проведення горизонталей.

Пункти а) та б) виконуються так само, як і під час теодолітного знімання.

Обчислення журналу тахеометричного знімання виконують за формулами (14.10), (14.11) і (14.4).

Горизонтальне прокладання і перевищення обчислюють за допомогою мікрокалькулятора або за допомогою спеціальних тахеометричних таблиць.

Результати обчислень заносять у колонки з 6 по 10 (табл. 14.2).

Побудова плану виконується у тій самій послідовності, що і при теодолітному зніманні. Відмінність полягає у побудові горизонталей рельєфу за висотами нанесених на план пікетів.

Рельєф на плані викреслюють після того, як на ньому позначені усі контури ситуації. Горизонталі будують у такій послідовності. Використовуючи кроки, з'єднують прямими лініями пікети, що належать до вододілів, тальвегів і схилів. Отримані лінії обмежують ділянки з приблизно однаковими кутами нахилу земної поверхні. Тоді на цих лініях скелета рельєфу знаходять точки, відмітки яких кратні до прийнятої висоти перерізу рельєфу. Цю операцію називають інтерполюванням висот (рис. 14.10).

Градування виконується графічно різними способами. Нехай на плані є два пікети a і b з висотами 150,6 м та 154,4 м (рис. 14.10, a). Необхідно на прямій ab знайти точки з висотами, кратними одному метру, якщо висота перерізу прийнята 1 м. Побудуємо профіль за лінією ab (рис. 14.10, b).

Таблиця 14.2

Журнал тахеометричної зйомки

Станції	Точки вимірювань	Відліки			МО	Горизонтальне прокладання, м	Висота віхи, м	Перевищення, м	Висота точки, м	Примітка і абрис	
		по віддалеміру	по горизонтальному кругу	по вертикальному кругу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	A		КП КЛ	4° 15' 30" 355° 45' 00"	0° 00' 2						
II i=1.34	I 31		0° 00'	357° 44' 00"	-2° 16'	74.3		-2.92	180,68	будинок "	
	32	74.4	219° 17'	357° 31' 30"	-2° 29'	62.6		-2.73	180,87	дорога "	
	33	62.7	236° 09'	358° 09' 00"	-1° 51'	64.9		-2.10	181,50		
	34	65.0	226° 54'	358° 47' 30"	-1° 13'	54.0		-1.15	182,45		
	.....	54.0	213° 40'							
	70	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	71	75.0	320° 33'	2° 16' 30"	+2° 16'	74.8		+2.96	186,56	лука	
	I	77.0	348° 15'	1° 57' 30"	+1° 58'	76.9		+2.62	186,22	лука	
			0° 02'								контроль орієнтування

Від лінії умовного горизонту з висотою 150 м, на якій відкладений відрізок ab , у довільному масштабі по перпендикулярах відкладаємо перевищення точок a і b над умовним горизонтом. Отримаємо профіль лінії AB . У тому ж масштабі на лінії bB знайдемо точки, які відповідають висотам 151 м, 152 м, 153 м, 154 м і проведемо через них лінії, паралельні до умовного горизонту. Перетин цих ліній з профілем відповідає точкам c , d , e , f з висотами, кратними висоті перетину рельєфу.

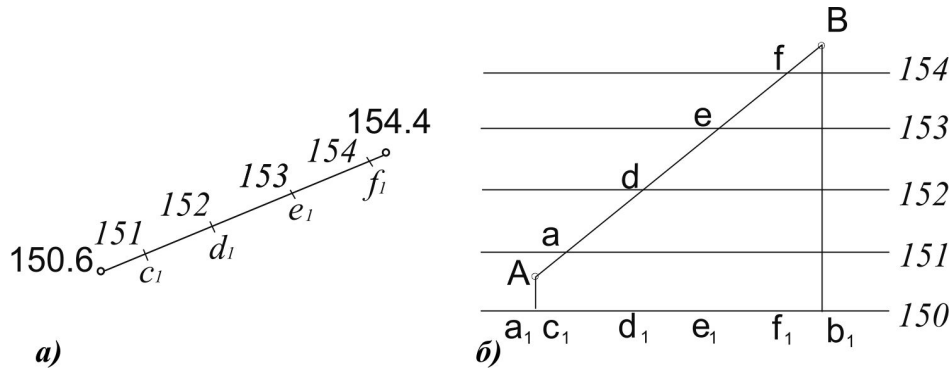


Рис. 14.10. Інтерполювання висот

Описаний спосіб малопродуктивний, оскільки потребує додаткових графічних побудов. Задача розв'язується простіше за допомогою палетки у вигляді паралельних ліній на кальці. Розглянемо рішення такої задачі за допомогою палетки.

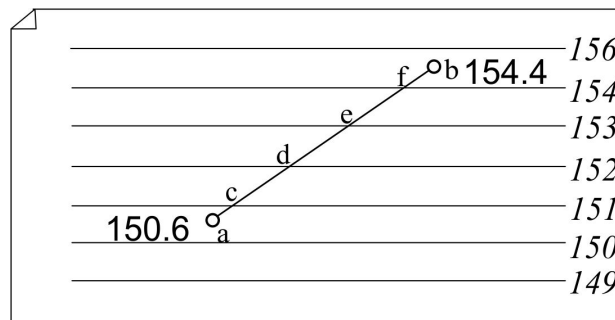


Рис. 14.11. Інтерполювання висот за допомогою палетки

На кальці прокреслюють ряд рівновіддалених паралельних ліній (рис. 14.11). Біля кожної лінії олівцем підписують числа, залежно від прийнятої висоти перерізу горизонталей і величин висот точок. У нашому випадку лінії підписані числами 149, 150, ..., 155.

Прозору палетку накладають на план так, щоб кінці градуйованої лінії виявились між лініями з відповідними відмітками точок. Так точка a має висоту 150,6м, що на 0,6м більше, ніж лінія палетки з написом 150 і на 0,4м менше, ніж сусідня лінія 151. Тому положення точки a повинне ділити віддаль між лініями пропорційно до величин 0,6 і 0,4. Воно вибирається на "око" (рис. 14.11).

Добившись потрібного положення точки a між лініями палетки, її повертають навколо точки a так, щоб і точка b зайняла положення, яке відповідає її висоті. Точки перетину c , d , e , f ліній палетки з відрізком ab

переколюють на план і підписують їх висоти. Аналогічно діють під час градування інших ліній скелета рельєфу. Досвідчений спеціаліст, як правило, виконує інтерполювання "на око", застосовуючи палетку тільки у складних випадках, коли перевищення між пікетами велике.

На рис. 14.12 показані горизонталі, побудовані за результатами інтерполювання висот на лініях скелета рельєфу. Тут лінії: 1-2 – вододіл, 5-7 – тальвег, 1-4, 1-7, 6-7 – схили. Горизонталі накреслюються шляхом з'єднання плавними кривими точок з однаковими висотами на сусідніх лініях скелета рельєфу.

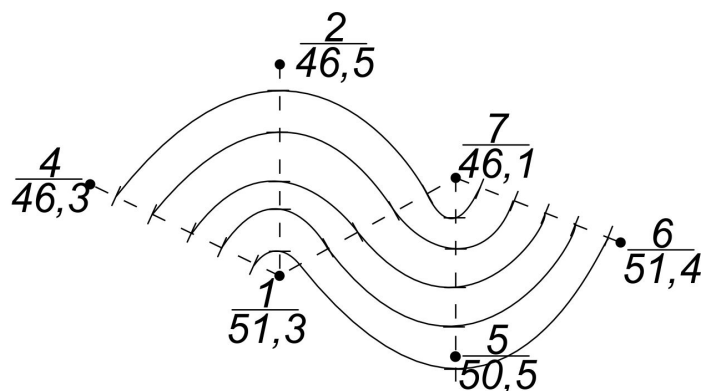


Рис. 14.12. Горизонталі побудовані за інтерполюванням висот

Складений олівцем план тахеометричного знімання до його креслення тушшю підлягає звірці з місцевістю. Точність знімання перевіряється інструментально.

Тахеометричне знімання відрізняється порівняно простою логічною структурою даних, тому виконання пункту б) може бути ефективно автоматизоване за допомогою ПЕОМ.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 14

1. Суть тахеометричного знімання.
2. Які методи створення знімальної основи ви знаєте?
3. Вимоги до тахеометричного знімання.
4. Назвіть основні формули тахеометричного знімання.
5. Основні прилади для тахеометричного знімання.
6. Будова електронного тахеометра типу Та5.
7. Робота на станції при тахеометричному зніманні.

ТЕМА 15. ОКОМІРНЕ ЗНІМАННЯ ТА БАРОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

- 15.1. Суть окомірного знімання.
- 15.2. Інструменти і прилади для окомірного знімання.
- 15.3. Визначення віддалей під час окомірного знімання.
- 15.4. Методика виконання окомірного знімання.
- 15.5. Загальні основи барометричного нівелювання.
- 15.6. Прилади для барометричного нівелювання.
- 15.7. Головні способи виконання барометричного нівелювання.

15.1. Суть окомірного знімання

Окомірне знімання місцевості – це знімання, при якому застосовуються найпростіші прилади. Вона дає можливість отримати у короткий строк наблизений план місцевості.

Результати окомірного знімання використовують для поповнення і виправлення застарілих карт. Це деколи необхідно у геологорозвідувальних роботах, при попередніх інженерних вишукуваннях: дорожніх, ґрунтових і т.д. При окомірному зніманні віддалі оцінюються на око, кроками або найпростішими приладами. Кути визначаються графічним способом, тому окомірне знімання відноситься до кутонарисного. Його виконують для знімання значних ділянок – *площинне окомірне знімання* і незначних витягнутих ділянок земної поверхні – *маршрутне знімання*.

Для знімання ділянок прокладають один або декілька основних замкнених ходів. У разі необхідності у середині основного прокладають ще і діагональний хід. Для складання окомірного плану вліво і вправо від ходу виконують окомірне знімання поверхні землі так, щоб зніманням була покрита уся ділянка.

Маршрутне окомірне знімання виконують на порівняно широкій смузї земної поверхні.

15.2. Інструменти і прилади для окомірного знімання

При виконанні окомірного знімання застосовують планшет, креслярський папір, компас, крокомір, екліметр, візирну лінійку, штатив, вимірювач.

Планшет - це картон або фанера розміром 30x40см. На планшеті прикріплюють латунними шпильками або наклеюють лейкопластиром аркуш паперу. На аркуші має бути нанесена координатна сітка у заданому масштабі, та пункти геодезичної мережі нанесені за координатами, якщо такі є на ділянці. Під час знімання планшет звичайно тримають у руках, що не завжди зручно. Краще планшет укласти під час роботи на легкий переносний штатив.

Компас служить для орієнтування планшета на місцевості за координатною лінією X під час виконання окомірного знімання.

Крокомір служить для підрахунку кількості кроків.

Екліметр – прилад для точного визначення крутизни схилів під час окомірного знімання.

Візна лінійка служить для візування і креслення напрямку і відкладання віддалей. У поперечному перерізі лінійка - це трикутник. Візування виконують за верхнім ребром лінійки по її бокових гранях, на краях яких нанесені міліметрові поділки, прокреслюють напрямки і відкладають віддалі.

Вимірювач служить для відкладання віддалі у заданому напрямку при вимірюванні її кроками.

15.3. Визначення віддалей під час окомірного знімання

Під час окомірного знімання віддалі можна визначати кроками, "на око" та за допомогою крокоміра. При визначенні віддалі кроками попередньо встановлюють довжину кроку і будують масштаб кроків лінійний або клиновий. Здебільшого на пішому маршруті рахують не кожний крок, а пари кроків.

Для оцінки довжини пари кроків діють наступним чином. На горизонтальній ділянці місцевості відкладають віддаль 100м, кінці відрізка закріплюють кілками. Тоді знімальник проходить не менше трьох разів цей відрізок спокійним рівним кроком, рахуючи пари кроків. Визначає середнє число кроків, яке відповідає 100м, і довжину пари кроків.

Для зручності роботи на планшеті будують лінійний масштаб пари кроків. Попередньо виконують розрахунок основи масштабу у мм.

Нехай масштаб карти окомірного знімання – 1:10 000. З вимірювань отримано, що відрізок довжиною у 100м відповідає 66 пар кроків. Відрізок на місцевості у 100м на карті масштабу 1:10 000 складає 10 мм. Тоді для обчислення основи лінійного масштабу пар кроків складають пропорцію:

10 мм – 66 *n.* кроків;

x мм – 100 *n.* кроків.



Рис. 15.1. Масштаб кроків

Отже, віддалі у 100 пар кроків на карті масштабу 1:10 000 відповідає лінійний відрізок 15 мм, який і буде основою лінійного масштабу.

Для побудови лінійного масштабу пар кроків з такою основою у правому нижньому куті планшета проводять горизонтальну лінію і на ній від точки, прийнятої за початок, відкладають відрізки у 15 мм довжиною (рис. 15.1). Перший відрізок зліва зазвичай ділять на десять рівних частин.

Віддаль на місцевості, яка відповідає найменшій поділці цього масштабу, називають його точністю.

Слід мати на увазі, що на підйомах і спусках довжина кроку помітно зменшується.

Наприклад, при крутизні 10° – на підйомі на 20 %, при спуску – 5 %;

- при крутизні 20° – на підйомі на 35 %, при спуску – 15 %;
- при крутизні 30° – на підйомі на 50 %, при спуску – 35 %.

При невеликій крутизні спуску (до 2°) на рівному твердому ґрунті довжина кроку збільшується на 3-5 %.

Довжина кроку залежить від твердості верхнього шару ґрунту і зменшується при русі по піску на 10 %, по траві – на 3-7 %.

Віддалі поза віссю маршруту знімання оцінюються на око шляхом співставлення їх з довжиною виміряного відрізка, наприклад, довжиною землемірної стрічки або користуючись прийомом "артилерійської вилки". Суть цього прийому полягає у визначенні середнього значення між двома граничними значеннями: найменшим і найбільшим. Наприклад, оцінювана на око віддаль явно більша 100м, але менша 200м. Обирають середню – 150м.

15.4. Методика виконання окомірного знімання

Окомірне знімання виконується обходом ділянки по маршруту. Початкову точку маршруту краще сумістити з пунктом геодезичної основи, положення якої вказано і на планшеті, наприклад, пункт *I* (рис. 15.2).

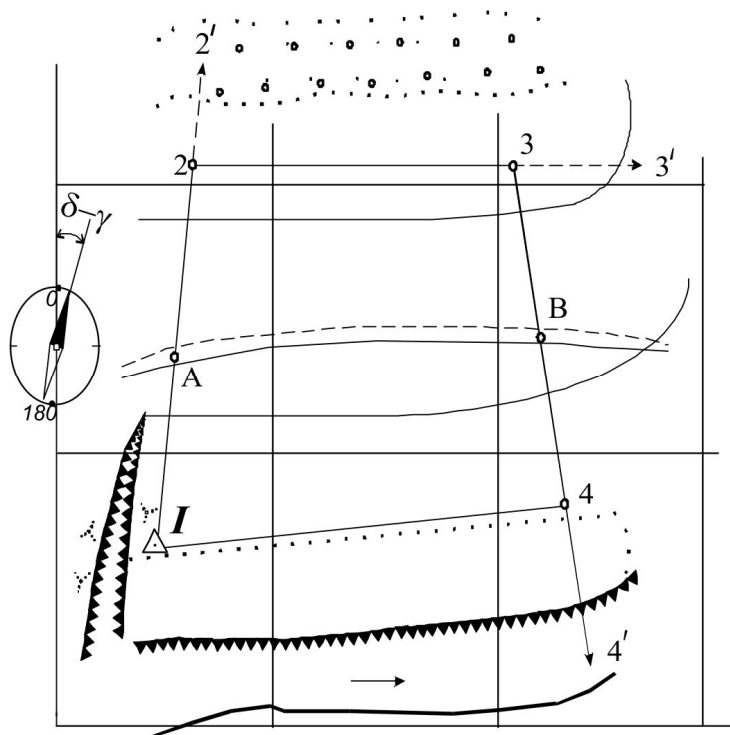


Рис. 15.2. План окомірного знімання

На станції *I* робота включає такі кроки:

- а) приводять планшет у горизонтальне положення на око;

б) за допомогою компаса орієнтують планшет на місцевості за координатною лінією X , для цього компас укладають на планшет так, щоб лінія $0^\circ - 180^\circ$ компаса співпадала з додатковим напрямком осі X , а стрілка компаса відхилилась на поправку $(\delta - \gamma)$ вправо, якщо $(\delta - \gamma) > 0$ і вліво, якщо $(\delta - \gamma) < 0$, де δ є магнітне схилення, а γ – Гауссове зближення меридіанів.

Встановлення положення стрілки компаса відносно осі X досягають поворотом планшета з розміщеним на ньому компасом у горизонтальній площині;

в) вибирають напрям ходу $I-2$ за яким-небудь помітним на місцевості орієнтиром: деревом, вершиною пагорба, стовпом і т.п.

За допомогою тригранної візирної лінійки прокреслюють на планшеті напрям $I-2$. Тоді знімальник зарисовує ситуацію і рельєф навколо станції. При зніманні відмічають головним чином характерні форми рельєфу: вододіл, яр, пагорб, схил і т.д. Зображують рельєф у горизонталях без висот або умовними знаками. Напрямок схилів показують стрілками.

Знімання ситуації і рельєфу виконують способами створів, засічок, полярним. Віддаль оцінюють кроками або на око. Після закінчення зарисовки знімальник йде по маршруту у напрямку $I-2$, рахуючи пари кроків або скориставшись крокоміром.

У наступному пункті, точці 2, знімальник повторює дії а, б, в. На маршруті можливі додаткові зупинки для зарисовки ситуації (т. А, рис. 15.2).

Віддаль на маршруті, що виміряна кроками, за допомогою вимірювача та лінійного масштабу пар кроків, відкладають на планшеті у заданому напрямі і отримують точку наступної станції. Після закінчення знімання на станції на планшеті після його орієнтування прокреслюють новий напрям 2-3 і т.д.

Якщо знімання виконують за замкненим маршрутом або між двома геодезичними пунктами, то внаслідок помилок орієнтування і вимірювання віддалей отримують лінійну нев'язку ходу, яка не повинна перевищувати $1/50$ довжини ходу.

Окомірне знімання можна виконувати і без опори на геодезичні пункти. У такому разі на вихідному пункті маршруту спочатку прокреслюють напрям маршруту і вибирають положення початкової станції з таким розрахунком, щоб ділянка місцевості, яка підлягає зніманню, розмістилася на одному планшеті або на його більшій частині. Орієнтування планшета виконують візирною лінійкою за початковим напрямком, а тоді за допомогою компаса прокреслюють напрям "північ-південь" за магнітним меридіаном. На наступній станції орієнтування планшета вже виконують за компасом, при цьому стрілка повинна співпасти з лінією " $0^\circ - 180^\circ$ " компаса і напрямком магнітного меридіана.

Орієнтування планшета на місцевості за допомогою компаса біля лінії електропередач, залізниць та інших великих металевих предметів можливе на віддалі 50-100м від останніх.

15.5. Загальні основи барометричного нівелювання

При виконанні окомірного знімання, а також при інших роботах, які потребують швидкого визначення висот точок, розташованих на значних відстанях одне від одного, особливо в гірській місцевості, застосовують *барометричне нівелювання*.

Барометричне нівелювання успішно застосовується при геоморфологічних і географічних дослідженнях, геофізичних зніманнях та пошуках корисних копалин, попередніх вишукуваннях залізних шляхів та в інших роботах, де необхідна висока продуктивність. При цьому виді нівелювання не вимагається взаємна видимість між точками – це головна перевага барометричного нівелювання. Воно може бути виконане як пішим порядком, так і за допомогою транспорту – автомобілів та вертольотів.

Наукові дослідження та виконання робіт на виробництві показують, що точність визначення висот барометричним нівелюванням складає 0,5 – 1.0 м у рівнинних районах і 1.0 – 2.5 м у передгірських та гірських.

В основу барометричного нівелювання покладена залежність атмосферного тиску від висоти над рівнем моря. Ця залежність у строгому вигляді достатньо складна, враховує багато факторів фізичного стану атмосфери – атмосферний тиск, температуру і вологість повітря, а також широту місця спостереження. Вона носить назву *повної барометричної формули* і має наступний вигляд:

$$h = 18428(1 + \alpha \bar{t}) \left(1 + 0.378 \frac{\bar{e}}{\bar{P}} \right) (1 + 0.002642 \cos 2\bar{\varphi}) (1 + 2 \cdot 10^{-7} \bar{H}) \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad (15.1)$$

де $\alpha = \frac{1}{273}$ – температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря, \bar{e} – середній парціальний тиск водяної пари, яка знаходиться у повітрі, \bar{P} – середній атмосферний тиск, $\bar{\varphi}$ – середня широта місця спостереження, \bar{H} – середня висота, P_1, P_2 – спостережені величини атмосферного тиску на точках.

У цій формулі середні значення обчислюються для двох точок (1 та 2), між якими визначається перевищення.

Як видно, повна барометрична формула дуже громіздка і трудомістка для обчислень, тому для практичного застосування їй надають більш простий і зручний для роботи вигляд.

Для території України ($\bar{\varphi} = 49^\circ$, $\bar{H} = 150$ м) барометрична формула (15.1) може бути наведена у такому вигляді:

$$h = 18423(1 + \alpha \bar{t}) \left(1 + 0.378 \frac{\bar{e}}{\bar{P}} \right) \lg \frac{P_1}{P_2}. \quad (15.2)$$

Застосування цієї формули забезпечує обчислення перевищень з похибкою не більше 0,10 м на 100 м перевищення у порівнянні з повною барометричною формулою.

Якщо знехтувати впливом вологості повітря, то барометрична формула ще більш спроститься:

$$h = 16000 \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} (1 + \alpha \bar{t}). \quad (15.3)$$

Ця формула має назву *формули Бабіне*, за ім'ям французького вченого, який її вивів.

Отже, для визначення перевищення між двома точками за методом барометричного нівелювання необхідно виміряти атмосферний тиск, температуру та вологість оточуючого повітря в цих точках.

Для обчислення перевищень за барометричними формулами використовуються таблиці або номограми, а при великих об'ємах обчислень – ПЕОМ. Таблиці для обчислення перевищень складають за скороченими формулами. Для цього формула Бабіне виглядає так:

$$h = \Delta H (P_1 - P_2), \quad (15.4)$$

де ΔH - баричний ступінь висоти.

Баричний ступінь висоти – це відстань по вертикалі, на яку атмосферний тиск змінюється на одиницю (1 мм рт. ст. або 1 гПа), зменшуючись вгору і зростаючи вниз. Баричний ступінь має розмірність м/мм рт.ст. або м/гПа.

Таблиці баричних ступенів висот складають за аргументами \bar{P} і \bar{t} .

(Див. Хренов Л.С. Таблицы для барометрического нивелирования. М. "Недра", 1970).

15.6. Прилади для барометричного нівелювання

Для вимірювання атмосферного тиску застосовують різні прилади, які за принципом своєї роботи діляться на чотири групи:

- Рідинні барометри.
- Газові барометри.
- Гіпсотермометри.
- Пружинні барометри.

Практично для барометричного нівелювання застосовуються головним чином пружинні барометри і мікробарометри.

Пружинний барометр вимірює тиск атмосфери шляхом зрівноваження його силами пружності пружини, деформація якої залежить від величини тиску. Пружинні барометри мають назву *барометри-анероїди*. Приймачем тиску у барометра-анероїда є мембранна коробка. Це систему з двох спаяних тонкостінних гофрованих мембран. Коробка наповнена при певному тиску інертним газом.

Зовнішній тиск атмосфери значно перевищує внутрішній тиск коробки і, прагнучи її здавити, зрівноважується пружиною. При зміні атмосферного тиску мембранна коробка деформується, міняючи натягування пружини. За величиною цього натягування визначають атмосферний тиск. Межі вимірювання тиску барометром-анероїдом – 600-800 мм рт.ст. Ціна найменшої поділки шкали становить 0,5 мм рт.ст. Відлік виконується з точністю до 0,1 мм

рт.ст. Точність визначення тиску 0,2 – 0,3 мм рт.ст.

Для визначення атмосферного тиску необхідно прилад встановити в горизонтальне положення. Відкривши кришку футляра, відліковують по термометру при анероїді температуру з точністю до десятих часток градуса. Відлік по термометру необхідно виконати у першу чергу тому, що показники термометра можуть змінитись через присутність спостерігача. Тоді, постукавши злегка пальцем по склу анероїда, виконують відлік положення кінця стрілки по шкалі з точністю до десятих часток мм рт.ст. При відліку положення стрілки, око необхідно розміщати так, щоб воно знаходилось якраз над її кінцем. У цьому випадку кінець стрілки бачиться спостерігачу у вигляді дуже тонкої риски. Після того, як виконані відліки по анероїду, закривають кришку футляра.

Для одержання дійсної величини атмосферного тиску по відліку, взятому по анероїду, його виправляють трьома поправками: шкаловою – $\Delta_{ш}$, температурною – Δ_t та додатковою Δ_{δ} . Ці поправки наведені у перевірному посвідченні, яке додається до приладу (табл.15.1). У перевірному посвідченні шкалові поправки наведені для всієї шкали через кожні 10 мм тиску. Щоб обчислити необхідну поправку для конкретного відліку, її слід знайти шляхом інтерполювання між двома сусідніми величинами поправок для тих точок шкали, між якими знаходиться взятий відлік.

Щоб виключити вплив температури анероїда на його показники, їх приводять до нуля градусів. Для цього температуру анероїда множать на температурний коефіцієнт і отриману величину додають до показань приладу.

У додаткову поправку входить шкалова при тиску 760 мм рт.ст. та поправка, викликана зміною властивостей пружини і анероїдної коробки.

Шкалові поправки і температурні коефіцієнти визначають до початку і після закінчення польового сезону шляхом зрівняння показань приладу з еталоном у спеціальних барокамерах та термокамерах і вписують у посвідчення приладу. Додаткова поправка визначається як різниця між тиском, отриманим по ртутному барометру і відліком по шкалі барометра-анероїда, попередньо виправленим шкаловою і температурною поправками.

Атмосферний тиск обчислюється за формулою:

$$P = P_o + \Delta_{ш} + \Delta_t + \Delta_{\delta}, \quad (15.5)$$

де P_o – відлік по анероїду.

Додаткова поправка сильно змінюється з часом, особливо при вібраціях приладу, тому її слід визначати перед прокладанням ходу барометричного нівелювання і після його закінчення.

Пружинні барометри більш високого класу точності, призначені для барометричного нівелювання, називаються *мікробарометрами*. Відмінність цих приладів від розглянутого вище барометра-анероїда, який вимірює тиск атмосфери в абсолютних одиницях, полягає у застосуванні дзеркально-лінзової відлікової системи, призначеної для високоточного вимірювання відносної деформації анероїдної коробки. Тому таким приладом вимірюється різниця

атмосферного тиску між точками барометричного ходу. Точність визначення різниці тиску мікробарометрами становить 0,02-0,03 мм рт.ст.

Таблиця 15.1

Зразок перевірного посвідчення на анероїд

Анероїд № 18653

Поправки анероїда виведені із звірення його з нормальним барометром обсерваторії, приведеним до нормальної ваги.

Поправки шкали:

При мм	Поправка, мм	При мм	Поправка, мм	При мм	Поправка, мм
790,0	-0,1	720,0	+0,6	650,0	+3,0
780,0	-0,2	710,0	+0,8	640,0	+3,2
770,0	-0,3	700,0	+1,0	630,0	+3,2
760,0	0,0	690,0	+1,4	620,0	+3,1
750,0	+0,1	680,0	+1,8	610,0	+2,8
740,0	+0,1	670,0	+2,3	600,0	+2,4
730,0	+0,4	660,0	+2,7	590,0	–

Поправка для приведення показань до $0^\circ = -0,13t$, де t – температура анероїда.

Додаткова поправка +1.5. Визначена в травні 1998р.

Примітка: поправки додаються, якщо мають знак + та віднімаються при знаку -.

Головні прилади, які застосовуються для вимірювання температури при барометричному нівелюванні, термометр-праць, аспіраційний психрометр та термометри опору різних конструкцій.

Термометр-праць ТМ-8 – це ртутний термометр, який має пристосування для його обертання. Ціна поділок шкали термометра становить $0,5^\circ$ або 1°C , а діапазон вимірювання температури від -36° до $+50^\circ\text{C}$.

Вимірювання температури виконують шляхом обертання термометра-праця над головою в площині паралельній поверхні землі з швидкістю

1-2 об/сек. Зробивши не менш 100 обертів, виконують відлік температури, не доторкаючись резервуара термометра руками і ставши спиною до сонця. Температуру визначають кілька разів, при цьому відліки не повинні розходитись більш ніж $0,3^\circ$ - $0,4^\circ\text{C}$

Аспіраційний психрометр Ассмана - найбільш розповсюджений прилад для вимірювання температури при барометричному нівелюванні, оскільки ним одночасно з визначенням температури можливо визначити і вологість навколишнього повітря.

Вологість визначається на основі показань двох однакових термометрів, поверхня резервуара одного з них весь час підтримується у змоченому водою стані. З поверхні резервуара вологого термометра відбувається випаровування води, інтенсивність якого залежить від вологості навколишнього повітря. Чим більша нестача насичення водяною парою навколишнього повітря, тим інтенсивніше випаровування води з поверхні резервуара змоченого термометра і нижче його показники, оскільки на випаровування витрачається тепло. Тому

різниця у показниках "сухого" та "вологого" термометрів характеризує вологість повітря.

Аспіраційний психрометр (рис. 15.3) складається з двох термометрів, закріплених у металевій оправі. На нижній частині оправі закріплені дві трубки, які є захистом резервуарів термометрів. Ці трубки за допомогою спеціального повітропостачального каналу з'єднані з аспіратором, який прокачує зовнішнє повітря крізь них повз резервуари термометрів. Аспіратор має пружинний двигун, який обертає вентилятор.

Резервуар одного з термометрів обв'язаний батистом, коротко обрізаним під резервуаром.

Діапазон вимірювання температур від -35° до $+50^{\circ}$ С. Ціна поділок шкал термометрів $0,2^{\circ}$ С.

Вимірювання температури виконують так. Психрометр підвішують не нижче чим 2м над землею за 15 хвилин до початку вимірювань (взимку – за 30 хвилин). За 4 хвилини до зняття відліків (взимку – за 15-20 хвилин) акуратно змочують батист на резервуарі термометра. Для змочування беруть гумову грушу, яка додається до психрометра, і наповнюють її дистильованою водою. Обережно вводять піпетку в трубку, де знаходиться обв'язаний батистом резервуар термометра. Почекавши (3-5 сек.), поки батист промокне, грушу прибирають.



Рис. 15.3. Аспіраційний психрометр

До краю заводять пружину двигуна вентилятора і на четвертій хвилині після його пуску беруть відліки по термометрах. При виконанні відліків спочатку слід швидко брати відліки десятих часток градусів по сухому та змоченому термометрах, записати результати і тільки після цього взяти та записати цілі градуси. При виконанні відліків необхідно стояти з підвітряного боку від психрометра. Узимку за мінусових температур після відліку слід переконавшись, що на батисті термометра знаходиться лід чи переохолоджена вода.

При виконанні робіт у рівнинних районах психрометр використовують тільки для вимірювання температури. У гірських районах у разі потреби ним вимірюють вологість повітря. Вологість обчислюють за показниками сухого та змоченого термометрів, користуючись спеціальними таблицями.

Відліки по термометрах виправляють поправками, які беруться з перевірних посвідчень термометрів. У табл. 15.2 наведений зразок перевірного посвідчення на термометр.

Зразок перевірного посвідчення на термометр

Термометр № 639453 КЗ (567)

Поправки для приведення показань термометра до міжнародної температурної шкали:

При °С	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
Поправка					-0,05	+0,08	-0,08	0,00
При °С	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70	+80
Поправка	-0,09	+0,08	-0,08	+0,01	-0,10			

Для зручності користування поправками нижче наведена таблиця у десятих долях градусів.

Від	до	поправка	Від	до	Поправка
-30,0	-22,4	0,0	+12,4	+18,2	0,0
-22,3	-18,2	+0,1	+18,3	+21,8	+0,1
-18,1	-11,9	0,0	+21,9	+28,1	0,0
-11,8	-6,3	-0,1	+28,2	+33,3	-0,1
-6,2	+5,5	0,0	+33,4	+45,6	0,0
+5,6	+12,3	-0,1	+45,7	+50,0	-0,1

В основу конструкції *термометрів опору* покладена залежність зміни електричного опору провідників з зміною їх температури. Термометр опору дозволяє здійснити дистанційне вимірювання температури повітря на віддалі від поверхні землі до 10-15 метрів. Це дає можливість значно послабити вплив ґрунту і його покриву на результати визначення температури у приземному шарі повітря та поліпшити точність визначення висот при барометричному нівелюванні. Межі вимірювання температури дистанційним термометром опору складають від -40° до $+40^{\circ}$ С. Точність його – $0,2^{\circ}$ - $0,4^{\circ}$ С.

15.7. Головні способи виконання барометричного нівелювання

Досягнута сучасними приладами точність визначення атмосферного тиску, температури і вологості дозволяє досягти перевищення між точками з похибкою 0,2-0,3 м. Однак практично таку точність не вдається отримати, оскільки реальна атмосфера не відповідає тій моделі, для якої розраховані барометричні формули. Тому розроблені способи виконання барометричного нівелювання прагнуть урахувати або звести до мінімуму цю різницю, а саме:

- зміну тиску і температури повітря у часі і у просторі;
- нерівновагу атмосфери;
- похибки визначення середньої температури і вологості повітря.

Сьогодні найбільш поширені такі *способи барометричного нівелювання*:

- спосіб замкнених ходів з опорою на тимчасову барометричну станцію;
- спосіб ходів без тимчасової барометричної станції;
- спосіб пересувної барометричної станції;
- спосіб кількох опорних станцій.

Вибір способу барометричного нівелювання залежить від необхідної точності, наявності приладів, об'єму робіт та кількості спостерігачів.

Розглянемо скорочено суть вказаних способів барометричного нівелювання.

Спосіб замкнених ходів з опорою на тимчасову барометричну станцію

Суть цього способу полягає в наступному. Перший спостерігач, який знаходиться на тимчасовій барометричній станції (ТБС), через певні інтервали часу вимірює тиск та температуру повітря. Другий спостерігач проходить у цей час всі намічені точки, на яких також вимірює тиск і температуру повітря.

Показники приладів, які знаходяться на станції і в рейсі, приводяться до єдиної системи шляхом порівняння між собою як на початку рейсу, так і після його закінчення. На підставі результатів цих порівнянь вводяться поправки за незбіг початкових відліків і зміщення нуля шкал приладів. Поправки вводяться прямо пропорційно інтервалам часу між спостереженнями на сусідніх точках ходу.

Спосіб замкнених ходів з опорою на ТБС припускає, що атмосферний тиск на польових точках і на ТБС змінюється однаково. Насправді це не так. У районах з різко виявленим рельєфом розбіжність тиску та температури може бути значною, тому в гірській місцевості ТБС розташовують на середньому рівні відносно точок, які визначають, і в однакових умовах.

Спосіб ходів без тимчасової барометричної станції

При цьому способі припускають, що тиск змінюється лінійно з часом. Тому роботу виконує один спостерігач, який, вимірявши тиск і температуру на деякій початковій точці, де відома висота, послідовно обходить усі точки ходу, вимірюючи на них тиск і температуру, та завершує роботу на тій же початковій точці, де знову вимірює метеорологічні параметри.

Різниця тиску на початку вимірювань і у кінці рейсу - це нев'язка, яка виникла через сповзання нуля-пункту приладу, зміни додаткової поправки та добового ходу атмосферного тиску. Оскільки припускається, що ці фактори змінюються пропорційно часу по лінійному закону, то нев'язку розподіляють пропорційно часу з протилежним знаком.

Головним недоліком цього способу є неповне урахування зміни атмосферного тиску з часом, тому необхідно прагнути до мінімально можливої тривалості рейсів. Довжину ходів обмежують до 5-7 км, а їх тривалість – до 4-5 годин.

Розглянутий спосіб застосовують у випадках, коли треба забезпечити точність визначення висот у рівнинних районах 2-2.5 м.

Спосіб пересувної барометричної станції

Цей спосіб застосовується при визначенні висот по маршруту великої протяжності, причому початкові та кінцеві точки ходу повинні мати відомі висоти.

Увесь хід ділиться на секції, кінцеві точки секції є сполучними, між ними розмічаються проміжні точки.

Барометричним нівелюванням визначаються висоти проміжних і сполучних точок.

На початковій точці секції спостерігачі порівнюють показники

барометрів між собою, після цього один спостерігач залишається на ній та визначає тиск і температуру через певні інтервали часу, а другий переміщується по маршруту і виконує аналогічні вимірювання на точках.

У певний час цей спостерігач досягає кінцевої точки секції, залишається на ній і виконує роль спостерігача за тиском та температурою на цій станції.

Перший спостерігач, закінчивши спостереження на початковій точці, йде по точках, які вже пройшов другий спостерігач. Після зустрічі на сполучній точці секції вони порівнюють показники приладів. Тоді один з них залишається на точці зустрічі, а другий переміщується далі за наміченим маршрутом.

Так барометричне нівелювання по маршруту виконується двічі, що дещо підвищує точність визначення висот. Однак недоліки розглянутого способу - низька продуктивність праці та складність організації польових робіт.

Спосіб кількох опорних станцій

Цей спосіб застосовується при нівелюванні на великих площах. Суть його полягає в тому, що на кількох опорних станціях, які утворюють у цьому випадку трикутник в одні і ті ж, заздалегідь визначені моменти часу, виконують вимірювання тиску та температури.

Точки, висоти яких треба визначити, знаходяться всередині трикутника. На них вимірювання тиску та температури виконують у зручний час, але всередині інтервалів спостережень на опорних станціях. Перед виконанням робіт показники всіх приладів приводять у єдину систему.

Висоти пунктів обчислюють відносно кожної опорної станції, так отримують кілька значень висот, з яких беруть середнє значення.

Розглянутий спосіб достатньо ефективний при виконанні барометричного нівелювання на значних територіях з відносно спокійним рельєфом.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 15

1. Суть окомірного знімання.
2. Назвіть прилади та інструменти для окомірного знімання.
3. Як визначити віддаль при окомірному зніманню?
4. Робота на станції при окомірному зніманні.
5. Назвіть прилади для барометричного нівелювання.
6. Яку залежність покладено в основу конструкції термометрії опору?
7. Назвіть найбільш поширені способи барометричного нівелювання.
8. В чому суть способу ходів без тимчасової барометричної станції?
9. В яких випадках застосовується *спосіб кількох опорних станцій*?
10. Коли застосовується *спосіб пересувної барометричної станції*.

ТЕМА 16. ОРГАНІЗАЦІЯ ЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЛІСОВПОРЯДКУВАННІ

- 16.1. Основні положення і нормативи
- 16.2. Складання проєкту квартальної та візирної мережі.
- 16.3. Забезпечення матеріалами аерофотознімання та вимоги до них
- 16.4. Знімально – геодезичні роботи.
- 16.5. Порубка та проміри меж квартальної візирної мережі.
- 16.6. Оформлення території лісовпорядними знаками.

16.1. Основні положення і нормативи

Знімально-геодезичні роботи при лісовпорядженні належать до підготовчих. Їх зазвичай виконують за рік до початку основних робіт.

Розрізняють первинне впорядкування, а, отже, і первинну знімання лісів та повторне. На сьогодні великий об'єм робіт складає повторне лісовпорядкування.

Завдання знімально-геодезичних робіт:

- встановлення в натурі і відображення на оригіналах лісовпорядних планшетів меж лісового масиву, закріпленого за лісовим підприємством, лісових і нелісових площ із складовими їх ділянками, а також об'єктів, які відносяться до лісової ситуації (доріг, просік, протипожежних ровів, ліній електропередач та зв'язку, постійних лісових складів, кар'єрів, меліоративних каналів та ін.);
- визначення кількісних і якісних характеристик об'єктів, які підлягають зніманню.

При повторному лісовпорядкуванні, крім того, відновлюють межі лісових господарств.

Зніманню передують збір геодезичних і картографічних матеріалів.

Їх отримують на підприємствах лісового господарства, управліннях та підприємствах держгеокадастру, органах державного геодезичного нагляду, підприємствах цивільної авіації.

Усі виписки, а також вкопювання з планово-картографічних матеріалів завіряються відповідальними особами відповідних установ і організацій.

Ділянки суміжних землекористувань із спірними межами, на які немає геодезичних даних, мають бути перераховані у спеціальному акті, який підписує начальник, уповноважена особа держгеокадастру в районі або головного управління в області. Порядок встановлення таких меж визначається органами держгеокадастру за участю органів лісового господарства.

При виявленні розходжень із зазначеною інформацією на межах суміжних землекористувачів, їх перевірка виконується безпосередньо в натурі

представниками лісовпорядного підприємства, органів держгеокадастру та зацікавлених сторін із складанням акту на зміну геоданих.

Лісогосподарські підприємства складають і завіряють в органах держгеокадастру акт, у якому перераховують усі ділянки, прийняті до складу підприємства після колишнього лісовпорядкування та виключені з його складу із вказівкою їх місцезнаходження, номерів і дат документів, на підставі яких виконано приймання або передачу земель, і передають його керівникові підготовчих робіт до лісовпорядкування. В акт окремо включаються також ділянки, передані у довгострокове користування іншим підприємствам, організаціям та установам.

Уточнена площа земель об'єкту лісовпорядкування звіряється з даними державного обліку лісів та земельним балансом району на рік проведення підготовчих робіт та за наявності розбіжностей з'ясовуються їх причини.

На підставі зібраних матеріалів і обстеження стану меж у натурі визначається необхідний об'єм і потреба у фінансуванні робіт з відновлення меж об'єкту впорядкування, які виконуються у підготовчий або польовий період.

Залежно від повноти геоданих, точності геодезичної основи планшетів минулого лісовпорядкування і їх стану, наявності топографічних карт відповідних масштабів головним інженером лісовпорядної експедиції визначається можливість повного або часткового їх використання і встановлюється метод складання нових лісовпорядних планшетів.

Нове знімання проводять лише там, де немає матеріалів колишніх знімань; її виконують за погодженням із керівником держгеокадастру району. При частковій зміні окружних кордонів і відсутності геоданих на них, але за наявності аерофотознімків, положення нової межі наносять на планшет за знімками без виконання геодезичних робіт у натурі. Межі, що проходять по природних рубежах, переносять на планшети з топографічних карт і аерофотознімків.

Знімально-геодезичні роботи виконують з дотриманням наступних вимог до їх точності: знімальне геодезичне обґрунтування створюють прокладанням теодолітних ходів з граничними відносними похибками 1 : 2 000 і 1 : 1 000. Для знімання місцевості прокладають знімальні ходи з точністю не нижче 1 : 300. Теодолітні ходи з похибками не більше 1 : 2 000 прокладають при зніманні окружної межі і планшетних рамок, теодолітні ходи з похибками не більше 1 : 1 000 і знімальні ходи – при зніманні кварталної мережі і внутрішньоквартальної ситуації. Довжину ходів встановлюють залежно від розряду лісовпорядкування та масштабу планшетів.

16.2. Складання проекту кварталної і візирної мережі

Проект кварталної і візирної мережі по об'єкту лісовпорядкування складається окремо по кожному лісництву в масштабі плану лісонасаджень на основі планово-картографічних матеріалів минулого лісовпорядкування, матеріалів аерофотознімання і топокарт. Розміри запроєктованих кварталів повинні відповідати встановленим розрядам лісовпорядкування (табл. 16.1).

Основні організаційно-технічні показники розрядів лісовпорядкування.

Околичні (прикордонні) квартали неправильної конфігурації, які утворені з ізольованих ділянок лісу, а також обмежені природними рубежами, можуть відхилитися від встановлених розмірів не більше ніж на +/- 50 %.

При складанні проекту кварталної мережі як кварталні просіки (кордони) можуть бути використані: магістральні дороги транспорту, лісовозні, лісгосподарські і протипожежні дороги, що постійно діють, протипожежні канали, лінії електропередач і газопроводів, річки шириною більше 5 м (у межений період).

Таблиця 16.1

Основні організаційно-технічні показники розрядів лісовпорядкування	Розряд лісовпорядкування	
	1	2
1. Нормальна величина кварталу:		
1.1. Довжина сторін, км.	1,0×0,5 1,0×1,0	0,5×0,5 1,0×0,5
1.2. Площа, га	50-100	25-50
2. Відстань між кварталними просіками, таксаційними візирями, м		
а) із застосуванням АФЗ	500	250
б) без застосуванням АФЗ	125	125
3. Розмір середнього таксаційного виділу, га	3-5	2-3
4. Мінімальна площа таксаційного виділу різних категорій земель, га:		
4.1. Насадження природного походження	1,0	0,5
4.2. Лісові культури	0,5	0,3
4.3. Стиглий ліс серед молодняків, молодняки серед стиглих і молодняки серед середнього віку насаджень і інших категорій земель	0,5	0,3
4.4. Не покриті лісовою рослинністю землі	0,5	0,3
4.5. Угіддя, землі спеціального призначення	0,1	0,1
4.6. Землі, які не використовуються	0,5	0,3

Використання цих розмежувальних ліній не повинно призводити до порушень старої нумерації кварталів (якщо вона зберігається) і недопустимого відхилення від їх нормальної площі.

Безлісні болота, кам'янисті розсипи, альпійські луки, пасовища, т.д., площа яких перевищує нормальну величину кварталу, можуть виділятися в окремі квартали (урочища) без обмеження площі.

Озера, залежно від їх розміру, форми і розташування у середині лісового масиву, включаються до складу одного із суміжних кварталів, який має найбільшу протяжність берегової лінії озера.

При впорядкуванні рівнинних лісів проектується прямокутна квартальна мережа з прокладкою просік з півночі на південь і зі сходу на захід щодо географічного (істинного) меридіану. Дрібні розкидані ділянки лісу, ізольовані від основного масиву, степові переліски об'єднуються у збірні квартали.

При впорядкуванні гірських лісів квартальна мережа проектується із врахуванням сформованих або передбачуваних вантажопотоків, з максимальним використанням природних розмежувальних рубежів.

Нумерація кварталів виконується в межах лісництв з північного заходу на південний схід.

Квартальна мережа і нумерація кварталів, які встановлені при минулому лісовпорядкуванні, при незмінному розряді лісовпорядкування, як правило, зберігається.

Перегляд їх виконується у випадках:

- значних змін території окремих лісництв або всього об'єкта лісовпорядкування в цілому;
- укрупнення всіх кварталів для приведення у відповідність з розрядом нового лісовпорядкування.

Якщо до складу лісництва прийняті ділянки лісу, що утворюють нові квартали, або навпаки, окремі квартали виключені, зміни у стару нумерацію кварталів вносяться так, щоб вона була збережена для основної частини лісництва. При цьому допускається розукрупнення окремих кварталів до розмірів менше встановлених нормативів або присвоєння новоутвореним кварталам чергових порядкових номерів незалежно від їх місцезнаходження.

Таксаційні візирі наносяться на проект квартальної мережі відповідно до вимог "Інструкції з впорядкування лісового фонду України". Замість візирів можуть бути використані будь-які добре пізнавані в природі і на аерофотознімках дороги, стежки, траси ліній зв'язку та електропередач та інші просіки, якщо їх розташування і протяжність дозволяють забезпечити проведення таксації лісу відповідно до вимог встановленого розряду лісовпорядкування.

На схему з проектом квартальної і візирної мережі наносяться межі планшетів, межі адміністративних районів, категорії захищеності лісів, старі і нові номери кварталів (у разі зміни нумерації), а також інші контурні позначення, необхідні для організації проведення польових робіт.

Складений проект квартальної і візирної мережі підписується представниками лісогосподарського підприємства і лісовпорядної експедиції. Одночасно узгоджується перелік доріг, трас, лісових стежок, річок, за якими встановлюються квартальні вказівні стовпи.

Проект квартальної і візирної мережі розглядається і затверджується на 1-й лісовпорядній нараді.

16.3. Забезпечення матеріалами аерофотознімання та вимоги до них

Матеріали аерофотознімання є технічною основою всіх видів лісовпорядних робіт.

Аерофотознімання території, яке підлягає лісовпорядкуванню, планується і організовується у встановленому порядку ВО "Укрдержліспроєкт", відповідно до перспективних і поточних планів лісовпорядних робіт, а також визначаються технічні умови знімання.

Аерофотознімання виконується, як правило, за рік до початку лісовпорядних робіт. Допускається використання матеріалів аерофотознімання на об'єктах інтенсивного ведення лісового господарства та лісоексплуатації давністю, що не перевищує 3-х років, а на об'єктах з екстенсивним веденням лісового господарства – не більше 5-ти років.

Залежно від розряду лісовпорядкування встановлюються наступні масштаби аерофотознімання:

- при 1 розряді – 1: 10 000-1: 15 000;
- при 2 розряді – 1: 5 000-1: 10 000.

У разі невідповідності масштабу аерофотознімання і розряду лісовпорядкування на цю площу виготовляються аерофотознімки збільшеного масштабу (не більше ніж у 2 рази).

Аерофотознімки використовуються для:

- виготовлення фотоабрисів, розпізнавання меж, просік, ходових ліній, топографічної ситуації і впевненого орієнтування в лісі при виконанні лісовпорядних робіт;
- контурного і лісотаксаційного дешифрування;
- складання лісовпорядних планшетів і лісових карт.

Порядок видачі, обліку, реєстрації та зберігання матеріалів аерофотознімання на польових і камеральних роботах визначається відповідними інструкціями.

16.4. Знімально-геодезичні роботи

Знімально-геодезичні роботи при лісовпорядкуванні виконуються з метою:

- відновлення меж об'єкта лісовпорядкування з юридично встановленими межами суміжних землекористувань та адміністративних районів, відповідно до наявних геодезичних даних землеустрою;
- знімання планшетних рамок;
- знімання окремих найбільш значущих лінійних елементів внутрішньої ситуації;
- меж господарсько-цінних виділів, доріг, стежок та інших ліній, які використовуються у якості таксаційних ходів.

Інструментальне відновлення окружних меж провадиться тільки на ділянках, де вони втрачені. Порядок відновлення втрачених кордонів (відсутні

геодані і граничні лінії в натурі) визначається органами держгеокадастру за домовленості з органами лісового господарства і лісовпорядної партії (експедиції).

Якщо окружні межі об'єкта розпізнаються на матеріалах аерофотознімання і проглядаються в натурі, виконується тільки очищення зарослих кордонів.

При інструментальному відновлення меж, прорубування їх проводиться на ширину, що забезпечує видимість від однієї точки на іншу, але не менше 0,5 м.

Кути повороту окружних меж при повній втраті межових знаків (стовпів і курганів) закріплюються в натурі міжгосподарськими межовими стовпами на відстані не менше 1 м від геодезичного центру межового знака, відповідно до ДСТУ 3534-97 "Знаки натурні лісовпорядні і лісogосподарські. Загальні вимоги".

На кутах повороту близьких до 180° (180 ± 2) $^\circ$ межові міжгосподарські стовпи не встановлюють.

Одночасно проводиться розпізнавання положення межових ліній і точок повороту на аерофотознімках.

Вимірювання горизонтальних кутів при зніманню планшетних рамок і відновленні меж здійснюється з точністю не нижче $1'$, а при зніманню внутрішньої ситуації – не нижче $10'$, вимірювання ліній – мірною стрічкою в одному напрямку з округленням довжини ліній до 0,1 м. Кути нахилу враховуються при величині 4° і більше. При розбіжності даних промірів ліній з наявними геоданими більше 0,2 %, виконується другий вимір у зворотному напрямку.

Усі випадки невідповідності геодезичних даних землеустрою з даними натурних вимірювань повідомляються місцевим органам землеустрою і за погодженням з ними вносяться відповідні корективи. Всі уточнення, що вносяться в матеріали землеустрою, оформляються актом, який підписується представниками місцевих органів землеустрою та лісовпорядної партії (експедиції).

16.5. Порубка та проміри меж квартальної візирної мережі

Прорубування нових квартальних просік та візирів проводиться відповідно до проекту квартальної та візирної мережі. Зміна у проекті квартальної мережі може проводитися тільки за рішенням першої лісовпорядної наради. Виконуються ці роботи лісовпорядною партією.

Прикордонні і квартальні просіки прорубуються або очищаються на ширину 0,5 м, а візирні – 0,3 м. Прикордонні (окраїнні) квартали неправильної форми не повинні відхилятися від встановлених розмірів більш ніж на $\pm 50\%$ (табл. 16.1)

Лінії прорубують у певному порядку. Встановлюють кутомірний прилад у проектній точці магістрального ходу (квартальної просіки) і відкладають від цієї лінії прямий кут. Визначають магнітний азимут (румб) лінії візування і в її напрямку починають рубку. Чагарники і тонкомірні дерева, які ускладнюють

провішування, вирубують. Великі дерева, які знаходяться на лінії провішування, не вирубуються (мінімальний діаметр дерев встановлюється першою лісовпорядною нарадою). Вони або обходяться способом паралельного провішування за перпендикулярами до основної лінії, або напрямом лінії задається знову інструментально.

На лінії візування ставлять віхи за вказівкою спостерігача. Далі теодоліт переносять якнайдалі вперед і ставлять його замість однієї з віх. У цій точці двома напівприйомами будують кут 180° від напрямку на початкову точку. У напрямку візирної осі труби продовжують вирубування просіки та установку віх. При такому способі роботи кожна ділянка просіки відхиляється від проектного напрямку не більше ніж на $\pm 1'$; при 4-кратній перестановці приладу на ділянці 1 км у кінці вона може відхилитися від заданого напрямку на 0,15 м.

Напрямок прорубки перевіряється по заданому румбу. При відхиленні лінії більш ніж на 2° прорубується заново.

Розчищення старої квартальної мережі і кордонів, заміна квартальних та інших стовпів проводиться лісогосподарськими підприємствами при підготовці об'єкта до лісовпорядкування. Лісовпорядна партія (експедиція) повинна до кінця польових лісовпорядних робіт забезпечити повну і якісну нумерацію лісовпорядних знаків.

Лісогосподарське підприємство після проведення лісовпорядкування має підтримувати в належному стані квартальні та прикордонні просіки і лісовпорядні знаки протягом усього ревізійного періоду.

Промір прямолінійних просік, візирів та інших ходових ліній, який використовуються в якості таксаційних ходів, здійснюється в межах одного кварталу. Наскрізний (безперервний) промір ліній, що проходять через кілька кварталів, забороняється. Промір ламаних ліній (доріг, стежок, різних трас) здійснюється між кутами поворотів із розпізнаванням їх на аерофотознімках і закріпленням у натурі кілками.

Вимір виконується мірної сталеву стрічкою або мірним тросом в одному напрямку із встановленням пікетних кілків через 100 м. При промірі ліній кути нахилу враховуються з 6° . Установка пікетних кілків і оцінка відстаней до твердо впізнаних на аерофотознімках орієнтирів виконується із внесенням поправки на ухил місцевості. На фотоабрисі або абрисі довжини ліній вказуються в горизонтальному прокладенні.

При промірі проїжджих просік і доріг пікетні кілки відносяться перпендикулярно від осевої лінії проміру вбік.

При перетині промірних ходових ліній з великими перешкодами (річками, озерами, трясовинами, скелями і т. п. об'єктами) визначається відстань способу обходу перешкод шляхом побудови перпендикулярів до лінії. Якщо провішування лінії за перешкодою неможливе, допускається "висячий" промір з розпізнаванням кінця лінії на аерофотознімку або вимірюванням зворотного румба.

При промірі ходових ліній на зворотному боці аерофотознімку проводиться відмітка про перетинання ними річок, струмків, доріг, стежок та інших елементів внутрішньої ситуації, що мають різку межу.

Промір граничних ліній об'єкта лісовпорядкування із збереженими межовими знаками (стовпами, курганами) проводиться від одного межового знака до іншого із зарубками виходів квартальних просік, візирів та іншої внутрішньої ситуації на межу.

При наявності фотопланшетів і аерофотознімків, на яких добре проглядається квартальна мережа, дозволяється не робити проміри ходових ліній у тих частинах масиву або окремих кварталах, де характер внутрішньої ситуації дає можливість точно встановити межі таксаційних виділів і впевнено орієнтуватися в лісі при таксації. У таких кварталах вимір проводиться тільки для встановлення масштабу аерофотознімків. Міри ліній квартальних просік, візирів та інших таксаційних ходів, а також усі необхідні прив'язки в цих кварталах визначаються графічно за планшетами минулого лісовпорядкування та фотопланшетами.

Промір просік, візирів та інших ходових ліній вважається правильним, якщо їх відхилення від контрольних промірів не більше 1/500.

Помилка прив'язки ходових ліній до твердо впізнаних на аерофотознімках точок обумовлюється заданою точністю накладки квартальної і візирної мережі на основу планшета і повинна бути:

- лінійна – до 4 м;
- кутова – до 1 °.

16.6. Оформлення території лісовпорядними знаками

При виконанні лісовпорядних робіт на території лісогосподарського підприємства встановлюються такі натурні лісовпорядні знаки:

- стовпи квартальні, квартальні вказівні, граничні господарські, візирні, візирні вказівні, на пробних площах;
- кілки пікетні і для закріплення центру майданчиків при вимірювальній та перелічувальній таксації, обстеженні природного відновлення лісових культур та інших обстежень, кутів повороту при інструментальній зніманню окремих категорій земель.

Форми, розміри, правила установки і оформлення лісовпорядних знаків, матеріали для їх виготовлення визначені ДСТУ 3534-97 "Знаки натурні лісовпорядні та лісогосподарські. Загальні вимоги".

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 16

1. Назвіть вимоги до знімально- геодезичних робіт.
2. Чому мають відповідати розміри запроєктованих кварталів?
3. Яка квартальна мережа проектується при впорядкуванні рівнинних лісів?
4. Яка квартальна мережа проектується при впорядкуванні гірських лісів?
5. Згідно з якими вимогами наносять на проект квартальної мережі таксаційні візири?
6. Коли затверджують проект квартальної візирної мережі?

7. Для яких потреб використовують аерофотознімки?
8. З якою метою виконують знімальні геодезичні роботи при лісовпорядкуванні?
9. З якою точністю вимірюють горизонтальні та вертикальні кути при відновленні меж та зніманні внутрішньої ситуації?
10. Коли проміри просік та візирів вважаються правильними?
11. Яким нормативним документом визначено форми, розміри та правила встановлення лісовпорядних знаків?

ТЕМА 17. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ

- 17.1 Правила поводження з геодезичними приладами.
- 17.2 Техніка безпеки під час геодезичних робіт.
- 17.3 Перша медична допомога при нещасних випадках.
- 17.4 Роль геодезії у заходах з охорони навколишнього середовища.

17.1 Правила поводження з геодезичними приладами

У процесі топографо-геодезичних робіт використовуються різні геодезичні прилади. Для отримання заданих результатів роботи ці прилади потребують умілого, бережливого поводження та належного догляду.

Передусім при отриманні зі складу прилади повинні бути оглянуті.

Дерев'яні частини не повинні мати тріщин та розклеєних частин. У футлярах не повинно бути пошкоджень. Необхідно переконатися в наявності у них ключів, гвинтів, викруток, гайок, воротків, маслянок, запасних рівнів і т.д. Слід упевнитися у тому, що всі гнізда у ящиках заповнені, додатки підходять до відповідних частин інструментів (наприклад, ключі, викрутки і т.д.). У приладах не повинно бути вибоїн, подряпин та інших дефектів, які впливають на роботу. Для перевезення прилад має бути акуратно вкладений у свій футляр. Під час укладення не можна докладати великих зусиль, прилад повинен входити у гніздо вільно. Усі додатки повинні знаходитися у своїх чашечках або місцях і не хитатися у футлярі під час перевезення, це може призвести до пошкоджень приладу.

Після укладення у футляр затискуються усі закріпні гвинти приладу та усі гвинти і гайки футляра, а сам футляр замикається. Футляри деяких приладів можуть бути закриті тільки при певному положенні кришки футляра. Необхідно ознайомитися окремо з такими прийомами.

Під час укладення футлярів з приладами в ящики для перевезення потрібно добре їх перекласти пружними пакувальними матеріалами. На ящиках обов'язково повинні бути мітки верху та низу, а також напис про бережливе поводження. Під час розпаковки ящика необхідно, особливо у полі, трохи нахилити кришку вверх і лише після цього її відкривати, інакше відгвинчені під час перевезення дрібні частини можуть випасти з ящика, впасти у траву, і тоді їх буде дуже важко знайти. Виймаючи прилад, завжди потрібно уважно вивчати спосіб його укладки і закріплення у футлярі та зробити на стінках футляра відповідні чіткі написи про положення частин приладу у футлярі. Останнім часом для цієї мети використовується фотографія приладу у футлярі. Це дає можливість швидко і правильно укласти прилад назад. Щоб вийняти прилад з

футляра, необхідно взятися рукою за нижню частину підставки із підйомними гвинтами.

Перш ніж ставити прилад на штатив, слід розставити штатив, затиснути баранчики, надавши на око голівці штатива горизонтальне положення. Поставивши прилад на штатив, необхідно прикріпити його становим гвинтом. Під час роботи підйомними гвинтами і центруванні необхідно становий гвинт трохи відпустити.

Інструмент не слід залишати під прямими променями сонця ні на штативі, ні у футлярі. Прилад може отримати значну деформацію і у нього порушиться надане під час юстування положення частин. Тому застосування парасолі над приладом обов'язкове.

Під час роботи з приладом усі частини повинні рухатися легко і плавно. У випадку заїдання не можна докладати значних зусиль та необхідно знайти причину і усунути її. Не можна залишати у полі прилад без охорони.

Перенесення теодоліта і нівеліра з місця на місце необхідно робити або з укладкою в ящик, або, відпустивши баранчики ніжок і склавши їх разом, переносити, тримаючи теодоліт, нівелір прямовисно, але не горизонтально.

Особливо обережно необхідно переносити прилад у лісі, щоб не зачепити за дерева. У шахті доцільно переносити його у футлярі. Під час дощу прилад потрібно накрити поліетиленовим мішком, а якщо він уже потрапив під дощ, його не слід витирати, а треба дати висохнути волозі. При ознаках грози, яка насувається, необхідно зібрати прилади і піти з ними в укриття. Розбирати прилад можна лише за великої потреби і за умови знання приладу та його конструкції. Розбирання та збирання потрібно робити у закритому світлому і чистому приміщенні. Не слід захоплюватися частим підгвинчуванням виправних гвинтів, особливо біля сітки ниток і рівня. Важливо добитися постійності положення цих частин у приладі. Під час роботи на повітрі, особливо коли ніжки недостатньо закріплені у землі, наприклад, на мостовій необхідно пильно слідкувати за тим, щоб прилад не перекинуло вітром. Під час роботи на піщаному ґрунті потрібно обережно ходити навколо приладу, щоб не визвати зсуву його у процесі вимірювань. Найкраще у цьому випадку забивати в ґрунт дерев'яні кілки і на них уже ставити ніжки штатива. Забивання кілків на рівень з ґрунтом необхідне під час роботи на болоті.

Забрудненість лінз шкідливо впливає на яскравість та ясність зображень. Пил з лінз зчищається м'якою щіточкою або старим, але чистою ганчіркою, причому потрібно ганчірку повертати, щоб уникнути подряпин на склі твердими частинками, які осіли на неї при витиранні. Дуже шкідливі жирові плями, які можуть з'явитися на лінзах, якщо до них доторкуватися пальцями рук, особливо спітнілими. Ці плями змиваються ганчіркою, змоченою чистим

винним спиртом, після чого скло протирається ганчіркою з дрібно потовченою у порошок м'якою крейдою. Коли спирт випарується, крейда зчищається пензликом або м'якою ганчіркою. Спирт не повинен попадати на оправу лінз.

Необхідно звернути увагу на правила поводження з рейками, мірними стрічками, від справності яких також залежить точність і продуктивність робіт.

Велику увагу слід приділяти рейкам. Нівелювальник повинен терпляче навчати реєчників, як поводитися з рейками, спостерігаючи у подальшому за неухильним виконанням поданих правил.

Під час переносу рейок їх не можна класти на плече плазом, а треба неодмінно носити на ребро. На рейки не можна сідати. Рейки можна класти на землю на рівній ділянці, покритій м'якою травою. Під час дощу їх бажано вкрити, намочену рейку не можна ставити для сушки до вогню або притуляти до гарячої печі. Вона повинна обсохнути поступово, бажано на вітрі або у сухому місці. Притуляючи рейку до стінки, потрібно ставити її у кут і притому за можливості прямовисно, інакше вона прогнеться. Потрібно пильно слідкувати за чистотою п'ятки рейки. Для цього слід у процесі роботи час від часу при переході на іншу станцію, проходячи повз переднього реєчника, оглядати рейку та її п'ятку, а також перевіряти установку башмаків та установку рейок на башмаки.

Особливу турботу у спостерігача повинна викликати мірна стрічка. При розкручуванні стрічки треба слідкувати за тим, щоб вона не згорталася петлями та вісімками. Полотно стрічки ні в якому разі не можна дуже згинати. Під час роботи на дорогах потрібно слідкувати за тим, щоб через стрічку не проїжджали автомобілі. Перед намотуванням стрічки на кільце треба її насухо витерти. Якщо довелось працювати у вогуку погоду, то стрічку перед згортанням потрібно протерти насухо шматком тканини, змоченим у гасі. У сиру погоду корисно змазувати стрічку маслом. На стрічці, як і на будь-якому приладі, не можна допускати появи іржі, сильного окислення і якого-небудь роз'їдання металу.

17.2. Техніка безпеки під час геодезичних робіт

Правила поводження при виконанні геодезичних робіт встановлюються відповідним законодавством. Цей розділ складений на основі "Правил з техніки безпеки на топографо-геодезичних роботах (ПТБ-88)", затверджених Колегією Головного управління геодезії і картографії при Раді Міністрів СРСР 9 лютого 1989р. №2/21 і узгоджених з Центральним комітетом профспілок робочих геологорозвідувальних робіт 16 листопада 1978р., протокол №18.

Інформація розділу орієнтована на студентів, які проходять навчальну практику з геодезії. До геодезичної практики допускаються студенти, котрі здали екзамен з геодезії і пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Головна умова, якою повинні керуватися студенти під час проведення геодезичних робіт, дотримання правил безпеки, встановлених на підприємстві або в населеному пункті, де проводяться геодезичні роботи.

Для реалізації цієї умови необхідно виконати наступне.

Пройти інструктаж і здати залік з правил безпеки геодезичних робіт, що здійснюються у процесі проведення практики. Під час виконання завдання групою у складі двох і більше осіб один з них повинен бути призначений старшим. Він відповідає за безпечне проведення робіт, а його розпорядження для усіх членів групи є обов'язковими. Кожний виконавець робіт несе відповідальність за порушення правил техніки безпеки відповідно з чинним законодавством. Кожний студент повинен знати правила дорожнього руху і заходи безпеки, які стосуються різних видів транспорту, що використовується у містах і на підприємствах. Перед початком грози студенти повинні зібрати інструменти і перейти в укриття. Деревя, геодезичні знаки, інші високі предмети, що стоять окремо, не є укриттям, оскільки можуть служити мішенню для попадання блискавок. Металеві предмети слід скласти осторонь від людей.

Для виконання цих правил керівникові навчальних геодезичних робіт рекомендується розробити індивідуальні нормативні акти, які визначають їх права, обов'язки та відповідальність за стан техніки безпеки на геодезичних роботах. Керівники повинні виконувати встановлений порядок контролю за дотриманням правил техніки безпеки. Результати контролю повинні бути занесені у спеціальний журнал. Керівник несе відповідальність за порушення цих правил, незалежно від того, призвело чи не призвело це порушення до аварії або нещасного випадку. До початку геодезичних робіт у містах, на територіях промислових підприємств, лініях залізниць та автомобільних шляхів керівник повинен отримати дозвіл на проведення робіт і погодити вимоги з безпеки, які висувають місцеві організації. Провести навчання студентів (не менше двох днів) в аудиторних умовах та інструктаж на робочому місці з правил безпечного ведення робіт. Результати навчання фіксуються у спеціальному протоколі з обов'язковим записом про це у журналі реєстрації інструктажу на робочому місці. Керівником повинна бути розроблена схема маршруту пересування бригади у район проведення робіт.

Керівник зобов'язаний повторити зі студентами правила безпечної роботи на період навчальної практики у випадках:

- отримання у процесі проведення практики нової техніки і впровадження нової технології робіт;
- виявлення грубих порушень правил безпечного ведення робіт, здатних призвести до важких наслідків. Повторне навчання здійснюється за рахунок особистого часу студента.

Роботи із світловідалемірами та радіовіддалемірами. До роботи з електроприладами допускаються тільки особи, які пройшли спеціальну підготовку та які здали іспити на знання правил з техніки безпеки.

Забороняється працювати зі світло- і радіовіддалемірами у випадках:

- якщо вони не заземлені;
- якщо бокові кришки відкриті;
- коли прилади включені, забороняється виконувати будь-який ремонт.

При включеній високій напрузі у радіодалекомірі забороняється:

- знаходитися перед параболоїдом на відстані меншій 2-х метрів;
- змінювати кристалічний детектор клістрону;
- доторкуватися до об'ємного резонатора і конденсаторів.

Слід дотримуватися особливої обережності під час роботи у вогку погоду і надійно охороняти від попадання вологи в електричні вузли і блоки. Якщо прилад вогкий, то категорично забороняється протирати вузли і деталі ганчіркою, його треба просушити.

Акумулятори повинні поміщатися у дерев'яні ящики, пробки банок – щільно загвинчуватися. У радіусі 5м від акумуляторів забороняється розводити вогонь.

17.3. Перша медична допомога при нещасних випадках

Від того, наскільки правильно і своєчасно потерпілому буде надана перша допомога, часто залежить його життя. Невміле та неправильне надання допомоги може стати причиною ускладнень під час хвороби, і навіть інвалідності.

Сонячні і теплові удари можуть траплятися в результаті дії прямих сонячних променів на голову, а також перегрівання організму при високій температурі повітря (40 і більше градусів Цельсія), підвищеній вологості. Небезпечними для людини можуть стати і більш низькі температури, якщо вона непередумано одягнена, особливо, якщо на ній одяг з синтетичних матеріалів, які погано проводять вологу. Перед тепловим ударом працівник відчуває сильну спрагу, сухість у роті, в'ялість, запаморочення, задуху, серцебиття, нудоту, деколи у нього можлива блювота, шум у вухах, миготіння перед очима. При таких симптомах необхідно покликати товаришів, припинити роботу і перейти у прохолодніше місце, лягти на підстилку, трохи піднявши голову, шию звільнити від тісного одягу, обтерти вологим рушником голову і шию, а потім змочити і оббризкати холодною водою голову і груди. Можна випити підсоленої води. Якщо дихання сильно ослабне, необхідно перейти до штучного дихання. При тепловому ударі потерпілий падає, шкіра стає сухою,

дихання і серцебиття частішим, з'являється посмикування м'язів, температура тіла піднімається до 41 градуса Цельсія і вище. Для попередження теплового удару необхідно у спекотні години дня відпочивати у захищених від сонця місцях, носити вільний одяг із світлої тканини, дотримуватися правильного режиму харчування, особливо питного режиму, не оголяти голову у спекотні дні при ясній погоді, під час роботи у зігнутому положенні захищати потилицю і шию, не спати на сонці. При переломі кісток необхідно забезпечити нерухомість місця перелому. Це досягається шляхом накладення на пошкоджену частину тіла шини, забезпечення повного спокою і нерухомості. Для цього можуть використовуватися різноманітні матеріали: палиця, тростина, шматок фанери, дошка і т.д. При накладенні шини обов'язково дотримується правило: забезпечення нерухомості двох суглобів, розміщених нижче і вище від місця перелому. При відкритому переломі слід розрізати одяг, зупинити кровотечу, спочатку накласти пов'язку на рану, а тоді – шину. Зовнішньою ознакою відкритого перелому звичайно є промочування одягу кров'ю.

При вивиху суглобів не слід намагатися вправити вивих, оскільки це правильно може зробити тільки фахівець, який знає спеціальні прийоми. При наданні першої медичної допомоги потрібно накласти пов'язку, забезпечивши нерухомість пошкодженого суглобу, а тоді направити потерпілого в лікувальний заклад. Розтягнення м'язів та зв'язок трапляється часто у голінково-ступному суглобі (коли підвертається стопа) і у кистях рук (якщо падають на зігнуту або витягнуту кисть). При розтягненні потерпілий відчуває сильний біль, в області суглобу виникає припухлість, набряклість, рухи в ньому обмежені. При пошкодженні зв'язок необхідно забезпечити потерпілому спокій і прикладати до хворого місця холод (мокрый рушник). Через 1,5-2 години, якщо біль стає слабшим і набряклість зменшилась, то пошкоджений суглоб потрібно туго забинтувати. При розтягненні м'язів пов'язка не потрібна, у цьому випадку на хворе місце зразу ж після травми необхідно накласти холодний компрес. Якщо припухлість і болючість травми виражені дуже сильно, слід негайно звернутися до лікаря. Мікротравми (намуляні місця, подряпини, незначні колоті і рвані рани) при неправильній першій допомозі можуть викликати тривалу непрацездатність. Для першої допомоги необхідно обтерти забруднені краї рани (але не рану) ватою, бинтом, змоченими у спирті, змастити йодом або брильянтовою зеленню і закрити стерильною пов'язкою.

17.4 Роль геодезії у заходах з охорони навколишнього середовища

Успішне вирішення задач з охорони природи можливе лише при високому рівні екологічних знань і культури, особливо серед інженерних кадрів. Локальні екологічні кризи, які виникають у різних точках Землі, зв'язані

з виробничою діяльністю, зобов'язують інженерів по-новому оцінити і осмислити уяву про складання ефективності виробництва, вимагають експертизи його екологічної безпеки і, що найголовніше, формування нового економічного мислення у кожної людини. Для цього практично у кожній навчальній дисципліні, яку вивчають інженери, є напрям, що присвячений конкретним завданням з охорони природи. Основна ідея – це дати можливість студентам зрозуміти, що охорона природи повинна здійснюватися на єдиній науковій основі із застосуванням комплексного системного підходу, у якому є певне місце і для геодезії. Відповідно до "Земельного кодексу України" земельне законодавство регулює земельні відносини з метою створення умов для раціонального використання і охорони земель, збереження і відтворення родючості ґрунтів, поліпшення природного середовища. Охорона земель включає систему правових, організаційних, економічних та інших заходів, спрямованих на їх раціональне використання, запобігання необґрунтованому вилученню земель із сільськогосподарського обороту, захист від антропогенних впливів, а також на відтворення і підвищення родючості ґрунтів.

Держава у загальнообов'язкових правових нормах встановлює:

- коло об'єктів природи, які підлягають охороні з боку закону;
- попереджувальні, відновлювальні заходи, що перешкоджають забрудненню об'єктів, порушенню, знищенню та іншим діям, які наносять шкоду цим об'єктам;
- відповідальність за порушення цих правових норм з боку природокористувача;
- систему контролю за виконанням встановлених правових норм охорони природи.

У реалізації цих норм певну участь бере і інженер лісового господарства.

В умовах суспільних ринкових відносин, їх широкої демократизації відбувається перехід до переважно економічних методів управління природоохоронною діяльністю.

Питання та завдання для самоконтролю до Теми 17

1. Назвіть при основні правила поведіння з геодезичними приладами.
2. На основі якого нормативного документу складено розділ «Техніка безпеки при виконанні геодезичних робіт».
3. З якою метою студенти зобов'язані пройти інструктаж з ТБ та ОП до початку виконання практичних робіт з геодезії.
4. В яких випадках забороняється працювати із світло- і радіовіддалемірами?
5. Ваші дії при виникненні симптомів теплового удару.
6. Ваші дії при переломі кісток.
7. Ваші дії при вивиху суглобу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексеєнко М. В. Основи геодезії. Курс лекцій для студентів спеціальності 5.09010303 «Зелене будівництво і садово-паркове господарство» Іллінці, 2014.
2. Войтенко С. П. Інженерна геодезія. Київ: Знання, 2009. 248 с.
3. Гриник Г. Г. Навчальна практика з геодезії. Львів: НЛТУ України, 2017. 40 с.
4. Гриник Г. Г., Гаврилук В. В. Опрацювання результатів бусольного знімання та побудова плану за румбами. Львів : НЛТУ України, 2017. 16 с.
5. Гриник Г. Г., Гаврилук В. В. Опрацювання результатів геометричного нівелювання. Львів : НЛТУ України, 2017. 22 с.
6. ДСТУ 2756-94. Геодезія. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994.
7. ДСТУ 2757-94. Картографія. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994.
8. Інструкція з топографічного знімання в масштабах 1:5000,1:2000,1:1000 та 1:500(ГКНТА-2.04-02-98)від 9.04.1998 №56
9. Инженерная геодезия : под редакцией Д.М.Михалева. Москва: Академия, 2008. 480 с.
10. Инструкция з нивелирования I, II, III и IV классов. Москва: ЦНИИГАиК, 2004. 226 с.
11. Инструкция по проведению лесоустройства в едином государственном лесном фонде СССР. Часть 1. Организация лесоустройства и полевые работы. М.: Гослесхоз СССР, 1986. 133 с.
12. Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. Геодезія: навчальний посібник. Ужгород. 2020. 268 с.
13. Калинич І.В., Калинич І.І., Ничвид М.Р. Нівелювання. Лабораторний практикум. Ужгород.: Видавництво УжНУ «Говерла», 2020. 88с.
14. Калинич І.В., Ничвид М.Р., Калинич І.І. Топографія. Лабораторни практикум. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2020. 176 с.
15. Калинич І.В., Ничвид М.Р., Туряниця М.А. Інженерна геодезія. Лабораторний практикум. "/Укл. Калинич І.В., Ничвид М.Р., Туряниця М.А. - Ужгород.: Видавництво, ФОП «Бреза» 2017. 111с.
16. Калинич І.В., Ничвид М.Р., Калинич І.І., Стасюк В.І. Навчальна практика з геодезії. Частина перша. Навчальний посібник / Калинич І.В., Ничвид М.Р., Калинич І.І., Стасюк В.І. У:Ужгород. Вид.УжНУ «Говерла» УжНУ, 2013. 105с.
17. Калинич І.В., Е. Я. Лахоцька Е.Я. Картографія. Лабораторний практикум. / І.В. Калинич, Е. Я. Лахоцька., Ужгород.: Вид.УжНУ «Говерла», 2017. 84с

18. Калужский В. А., Карпушкин А. В., Ткачев А. А. Геодезия. Саратов: Издательство «Новый проспект», 2013. 107 с.
19. Киселёв М. И., Михелев Д. Ш. Геодезия. Москва: Академия, 2010. 268 с.
20. Кулешов Д. А., Стрельников Г.Е. Инженерная геодезия для строителей. Москва: Недра, 1990. 264 с.
21. Курс инженерной геодезии / Под ред. В.Е. Новака. Москва: Недра, 1989. 212 с.
22. Кушкин И.Ф., Кушкин В.И. Геодезия. Р-на-Д. Феникс, 2009. 236 с.
23. Лукьянов В.Ф., Новак В.Е., Борисов Н.Н. Лабораторный практикум по инженерной геодезии. Москва: Недра, 1990. 184 с.
24. Могильний С. Г., Ахоніна Л. І., Гавриленко Ю. М., Гріщенко М. М., Кругліков Ю. Ф., Креніда Ю. Ф. Геодезія. Київ, 2001. 465 с.
25. Основні положення про створення Державної геодезичної мережі України. – Постанова кабінету Міністрів України від 8.06.1998 р., №144.
26. Перфилов В. Ф., Скогорева Р. Н., Усова Н. В. Геодезия. Москва: Высш. шк., 2006. 324 с.
27. Порицкий Г. О., Новак В. І., Рафальська Л. П. Геодезія. Київ: «Арістей», 2007. 260 с.
28. Ратушняк Г. С. Топографія з основами картографії. Київ: Центр навч. л-ри, 2003. 208 с.
29. Романов С. В., Кирилюк В. П., Шемякін М. В. Геодезія. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 296 с.
30. Російсько-український тлумачний словник основних термінів та понять з геодезії / Укл. Новицький В. В. Харків: ХІІМГ, 1993. 108 с.
31. Скробач Т. Б., Гриник Г. Г. Основи топографії. Дрогобич: Ред.-видавн. відділ Дрогобицького державного педагогічного університету. 2011. 44 с.
32. Скробач Т. Б., Шпек М. П., Гриник Г. Г. Картографія з основами топографії. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Іва-на Франка, 2017. 96 с.
33. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001.
34. Черепнин В. И., Соловьев А. Н., Прикладные вопросы инженерной геодезии. Часть I. «Инженерно-графические работы на топогеодезической карте-(плане)» Учебное пособие для студентов специалистов лесоинженерного и лесохозяйственного факультетов ГЛТА, Санкт-Петербург, 2005. 86 с.
35. <http://www.lisproekt.gov.ua/klenovetske-lisnitstvo>

Навчальне видання

**Іван Васильович КАЛИНИЧ,
Георгій Георгійович ГРИНИК,
Марія Романівна НИЧВИД**

ГЕОДЕЗІЯ

ПІДРУЧНИК

Підписано до друку 23.07.2021.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 16,04. Обл.вид.арк. 12,22.
Формат 60×84/16. Зам. № 57. Наклад 100 прим.

Редакційно-видавничий відділ видавництва УжНУ «Говерла».
88015, м. Ужгород, вул. Заньковецької, 89.
E-mail: dep-editors@uzhnu.edu.ua

Видавництво УжНУ «Говерла».
88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 18.
E-mail: goverla-print@uzhnu.edu.ua

*Свідоцтво про внесення до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія 3т № 32 від 31 травня 2006 року*