

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ГЕОДЕЗІЯ
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Київ - 2024

УДК 528 (075.8)

Підготовлено відповідно до програми курсу “Геодезія”, затвердженою для студентів спеціальності «Лісове господарство» та «Садово-паркове господарство». Наведено програмний матеріал з курсу “Геодезія”, що вивчається студентами ННІ лісово та садово-паркового господарства на першому курсі навчання, зокрема: загальні геодезичні поняття, системи координат, орієнтування ліній місцевості, теодолітне знімання, методи обчислення площ, нівелювання, тахеометричне знімання.

*Рекомендовано до друку Вченою радою ННІ лісового та садово-паркового господарства НУБіП України
(протокол №3 18 від вересня 2024 р.)*

*Укладачі: доц. Жук О.П., доц. Богданець В.А., доц. Кривов'яз Є.В.,
ас. Степчук Я.А.*

Рецензенти: О.В. КОНСТАНТИНОВА – к.е.н., доцент кафедри геодезії та землеустрою Одеської державної академії будівництва та архітектури;
І.А. ОПЕНЬКО – д.е.н., професор кафедри геодезії та картографії Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Навчальне видання

Конспект лекцій з дисципліни «Геодезія» студентів спеціальностей «Лісове господарство» та «Садово-паркове господарство»

Укладачі: **ЖУК Олексій Павлович,
БОГДАНЕЦЬ В'ячеслав Анатолійович,
КРИВОВ'ЯЗ Євгенія Вікторівна,
СТЕПЧУК Яніна Анатоліївна**

Відповідальний за випуск доц. **О.П. Жук**

Підписано до друку 31.10.24.

Ум. друк. арк. 11,5.

Тираж 50 пр.

ЦП «Компринт»

Формат 60×84^{1/16}.

Обл. вид. арк. 11,9.

Зам. № 3021

Лекція 1. Вступ. Загальні відомості про геодезію.

1. Предмет і задачі та геодезії. Роль геодезії у лісовому та садово-парковому господарстві.

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 зйомку 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, економії 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 натуру проектів і проводити зйомку 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 натуру 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 цих 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 контрольних робіт і комп'ютерного тестування.

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 економікогосподарських, 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.

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, рекультивація).

При виконанні лісової зйомки 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.

Основними задачами геодезії є:

- визначення розмірів і форми Землі;
- побудова на поверхні Землі мережі опорних геодезичних пунктів, тобто точне визначення положення окремих точок земної поверхні, які мають назву геодезичних пунктів; горизонтальне положення цих пунктів визначається їх географічними координатами (широтами і довготами) або координатами в іншій, доцільно обраній системі; вертикальне положення геодезичних пунктів визначається їх висотами, відстанями по вертикальній лінії від поверхні, яка взята за початкову (нульову);
- вивчення змін, які відбуваються на поверхні Землі, деформацій земної кори, рухів материків, переміщення берегових ліній і т. ін.;
- визначення на основі державної геодезичної мережі (ДГМ) пунктів розрядних геодезичних мереж, точок (пунктів) зйомочної мережі відносно яких безпосередньо визначають положення об'єктів місцевості;
- вивчення методів вимірювання ліній і кутів на поверхні землі, під землею (в шахтах, тунелях) за допомогою спеціальних геодезичних приладів;
- виконання різних вимірювальних робіт при вишукуванні, які виконуються з метою проектування і будівництва споруд, перенесення проектів цих споруд у натуру;
- вивчення методів обчислювальної обробки результатів вимірювань з використанням ЕОМ.

До загальних науково-технічних задач геодезії можна віднести:

- розробку й удосконалення методів вимірювань із різною, необхідною у відповідних випадках, точністю;

- встановлення й розробку типів інструментів і приладів, необхідних для вимірювань;
- розробка питань наукової організації всього комплексу геодезичних робіт з урахуванням вимог, які пред'являються до їх результатів та фізикогеографічних умов районів робіт;
- розробка й удосконалення методів математичної обробки результатів вимірювань.

Основними задачами геодезії в Україні на сучасному етапі розвитку є:

- забезпечення функціонування та розвитку державної геодезичної мережі – створення національної геодезичної системи відліку, пов'язаної з європейськими та світовими системами координат;
- модернізація і розвиток державної геодезичної та гравіметричної мереж, згущення та оновлення державної висотної мережі;
- розвиток мережі постійно діючих станцій для супутникових радіонавігаційних спостережень;
- моніторингові дослідження на геодинамічних полігонах і територіях інтенсивного антропогенного навантаження для вдосконалення системи попередження про сейсмічні та інші небезпечні процеси і явища;
- розвиток фундаментальних досліджень і прикладних наукових розробок, геодезичне та фотограмметричне приладобудування – дослідження планетарної еволюції Землі (рухи земної кори та переміщення полюсів, варіації гравітаційного поля, швидкість обертання тощо);
- розроблення методів створення національної референтної системи відліку;
- теоретичне обґрунтування побудови та функціонування мережі перманентних СРНС-станцій;
- розроблення схем та методів побудови геодезичних мереж і геодинамічних полігонів із застосуванням СРНС-технологій;
- розроблення методів математичної обробки результатів геодезичних вимірів;
- розвиток фундаментальних досліджень фігури Землі.

2. Історія розвитку геодезії.

Потреба у проведенні геодезичних робіт виникла у глибокій давнині, коли людина почала займатись землеробством і будувати постійне житло. Народи древнього Єгипту, Греції, Індії за кілька тисячоліть до народження Христа (Н.Х.) проводили вимірювання з метою поділу земельних ділянок на частини, будівництва зрошувальних каналів, храмів, палаців. Про високий розвиток геодезичної науки у древньому Єгипті свідчить той факт, що основа спорудженої 5 тис. років тому піраміди Хуфу має форму квадрата із стороною 255 м, відхилення від якої не перевищують 20 см. В Індії біля 3 тис. років до Н.Х. існували міста з правильним плануванням кварталів. Знайдені археологами на території древнього Вавилону глиняні таблички з зображеними на них картами свідчать, що геодезичні роботи там виконувались за 2500 років до Н.Х. Грецький історик Геродот стверджує, що за 1400 років до Н.Х. після кожного розливу Нілу

доводилось проводити вимірювання з метою відновлення меж земельних ділянок. Будівництво каналу, що з'єднавав Ніл з Червоним морем, відносять до VI віку до Н.Х. Старий Завіт (VI–II віки до Н.Х.) містить багато згадок про межі володінь та межові знаки. Найдавнішою картографічною пам'яткою на території сучасної України є доісторична “Межиріч-карта” – рисунок на уламку бивня мамонта. У стародавні часи землі сучасної України відображались на давньогрецьких та давньоримських картах.

Значний внесок у розвиток геодезії в давні часи зробив грецький вчений-бібліотекар Ератосфен, якого часто називають “батьком геодезії”. Ще за 230 років до Н.Х. він висловив здогадку про сферичну форму Землі й визначив довжину екватора, яка лише на 16 % більша від встановленої зараз. Ератосфен складав карти земної поверхні з паралелями та меридіанами. Птоломей (87–150 роки до Н.Х.) склав карти, які охоплювали територію від Нілу до Скандинавії і на схід до Китаю та Індії, застосовуючи при цьому метод проєкцій. У 1482–86 роках виходили його “Географії” з картами, на яких зображена й територія, яку зараз займає Україна. Птоломей же вперше ввів поділ кола на 360 градусів.

Перші згадки про геодезичні роботи в Київській Русі містить літопис 996 р., де йдеться про порядок користування землею. “Руська правда” Ярослава Мудрого свідчить, що в XI–XII ст. на Русі проводились вимірювання з метою встановлення меж землекористування. Камінь, знайдений біля міста Тамань (“тмутараканський камінь”), містить напис про те, що у 1068 р. князь Гліб виміряв відстань між містами Тмутаракань і Корчев (нині Тамань і Керч) по льоду через Керченську протоку (біля 20 км).

Геодезичні роботи, які проводились впродовж XIII–XVI ст., пов'язані з земельними переписами з метою впорядкування збору податків. У середині XVII – другій половині XVIII ст. зростає потреба в геодезичних роботах, створенні карт для військової справи та господарського освоєння земель. Більша частина України входила тоді до складу Польського королівства. У 1639 р. французький інженер-картограф Гійом де Боплан, який перебував на службі в польського короля, склав карту під назвою “Tabula Geographica Ukrainika” (Українська географічна карта). Один з варіантів цієї карти він використав у 1660 р. як додаток до книги “Опис України”. “Генеральна карта України”, як її часто називали, довгі роки слугувала в західній Європі картографічним матеріалом для укладання карт, що охоплювали територію України у тодішніх її межах.

За короткий період державного відродження України в 1918–1919 роках було створено Головну геодезичну управу в складі Військового міністерства, планувалось створення Корпусу українських геодезистів. Проте розвиток історичних подій не дозволив реалізувати ці задуми. За час свого існування геодезична управа видала 54 аркуші спеціальної карти України в масштабі 1:1050000, фізичну карту України та два плани Києва.

Зі здобуттям Україною незалежності в листопаді 1991 року при Кабінеті Міністрів України було створено Головне управління геодезії, картографії та кадастру, яке згодом перетворили в департамент, підпорядкований Міністерству охорони навколишнього середовища, що функціонувало до 2012 року.

Важливим завданням Укргеодезкартографії є опрацювання напрямів розвитку топографо-геодезичного виробництва, картографічних і маркшейдерських робіт, кадастрових зніманих, геодезичного та фотограмметричного приладобудування, провадження картографічного моніторингу території України, забезпечення потреб держави у топографо-геодезичних та картографічних матеріалах, здійснення державного геодезичного нагляду тощо. Не менш важливим завданням геодезичної служби є створення великомасштабних топографічних карт, необхідних аграрному та лісовому секторам економіки, іншим галузям народного господарства. Суттєву роль у вирішенні цих завдань відіграє Науково-дослідний інститут геодезії та картографії. Сучасний етап розвитку геодезії та картографування характеризується інтенсивним впровадженням геоінформаційних систем і технологій, цифрових методів укладання карт. Найбільші обсяги робіт по створенню карт виконує державне науково-виробниче підприємство “Картографія”. У 2005 році ним видано перший детальний загальногеографічний атлас незалежної України, в який, крім традиційних карт, включено карти регіонів України, загальногеографічні карти міст-мільйонників, карту етнографічних українських земель, політичну карту Європи. Це підприємство опублікувало також серію атласів (включно з Національним атласом України).

3. Зв'язок геодезії з іншими дисциплінами.

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, ґрунту, 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 і 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. Карты є основою для відображення результатів наукових досліджень і практичної діяльності в геології, географії, геофізиці та інших науках. Карты різного призначення і змісту є засобом пізнання природи і життя на Землі, джерелом різноманітних відомостей про світ.

4. Елементи вимірювань на місцевості. Одиниці мір, що використовують у геодезії.

Для того, щоб нанести контур якогось об'єкта місцевості на папір, необхідно знати взаємне розташування характерних точок цього об'єкта. Його визначають шляхом вимірювань довжин ліній між точками та кутів, утворених цими лініями. Будуючи план, на папері слід відкладати не виміряні на місцевості відстані, а їхні горизонтальні проекції. Для цього необхідно знати кути нахилу ліній. *Кутом нахилу ν* називається кут між лінією місцевості (земної поверхні) та горизонтальною площиною. Кути нахилу ліній можуть бути додатними і від'ємними («нависаючими»), вони позначаються знаками “+” (плюс) і “-” (мінус).

Горизонтальну проекцію (прокладення) лінії d визначають як добуток її довжини D на косинус кута нахилу ν (рис. 1.2):

$$d = D \cdot \cos \nu. \quad (1.1)$$

Часто на практиці обчислюють не прокладення лінії, а різницю між довжиною лінії місцевості та її горизонтальною проекцією, так звану поправку x за нахил лінії:

$$x = D - d = D - D \cdot \cos v = D \cdot (1 - \cos v), \text{ або } x = 2D \cdot \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (1.2)$$

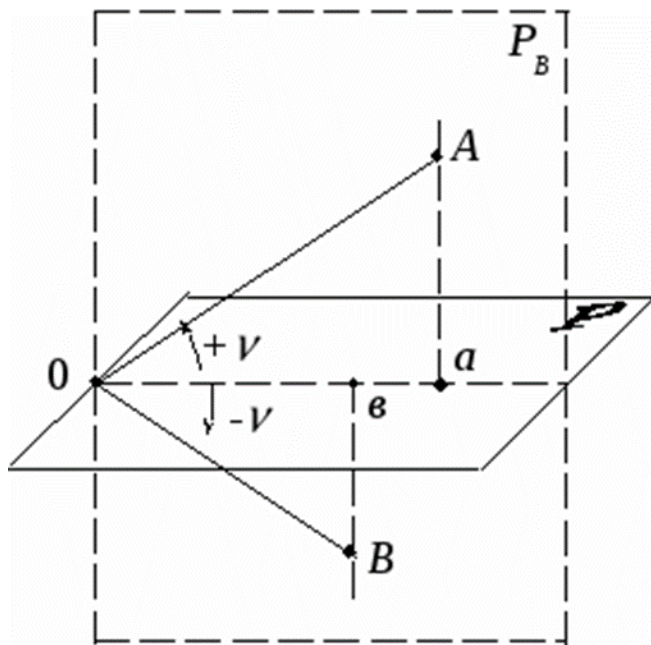


Рис. 1.1. Кут нахилу ліній місцевості OA та OB

Кути нахилу ліній враховують тоді, коли вони перевищують 2° . При менших кутах поправки за нахил будуть незначними і ними нехтують.

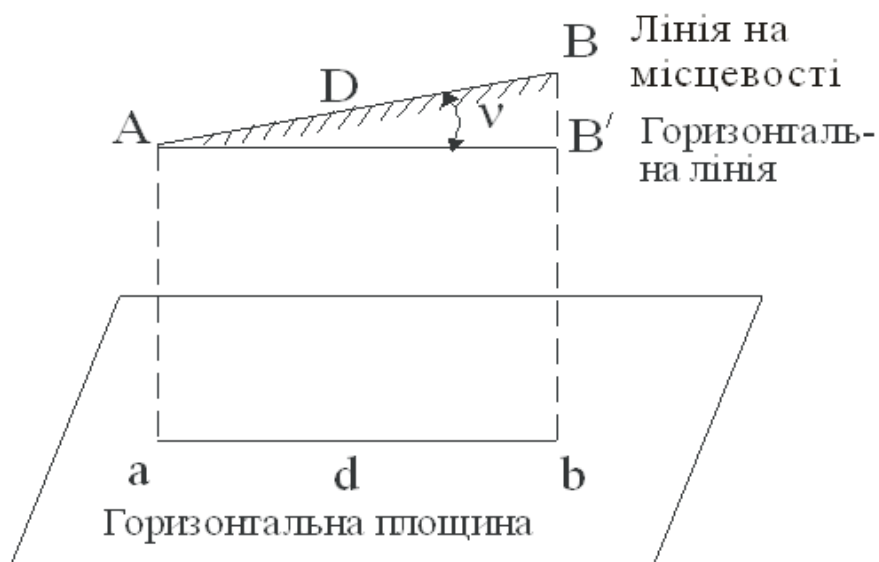


Рис. 1.2 Горизонтальна проекція

В Україні, як і в більшості країн світу, всі лінійні виміри проводять у метричній системі мір, в якій основною одиницею вимірювань служить метр –

одна десятимільйонна частина довжини чверті паризького меридіану. Десяту частину метра називають дециметром, соту – сантиметром, тисячну – міліметром. Великі відстані вимірюють у кілометрах ($1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$). Еталоном одиниці довжини служить жезл, виготовлений з платино-іридієвого сплаву, який зберігається в Міжнародному бюро мір та ваг у Севрі (Франція). Потреба в еталоні більш високої точності змусила прийняти у 1960 році нове визначення одиниці довжини. Метром стали вважати $1650763,73$ довжин хвилі оранжевої лінії випромінювання ізотопу криптону 86. Цей, так званий, “світловий метр”, був затверджений у нас як новий державний еталон у 1968 році.

Горизонтальним кутом, який відповідає напрямам із точки А на точки В і С, є кут bac (рис. 1.3), що лежить в горизонтальній площині й виражає величину двогранного кута, утвореного вертикальними площинами, які проходять через прямовисну лінію Аа в точці А і через точки В і С. Іншими словами, горизонтальний кут – це плоский кут між проекціями ліній місцевості на горизонтальну площину. Горизонтальні кути вимірюють з різною точністю кутомірними приладами – бусоллю (гоніометром), теодолітами.

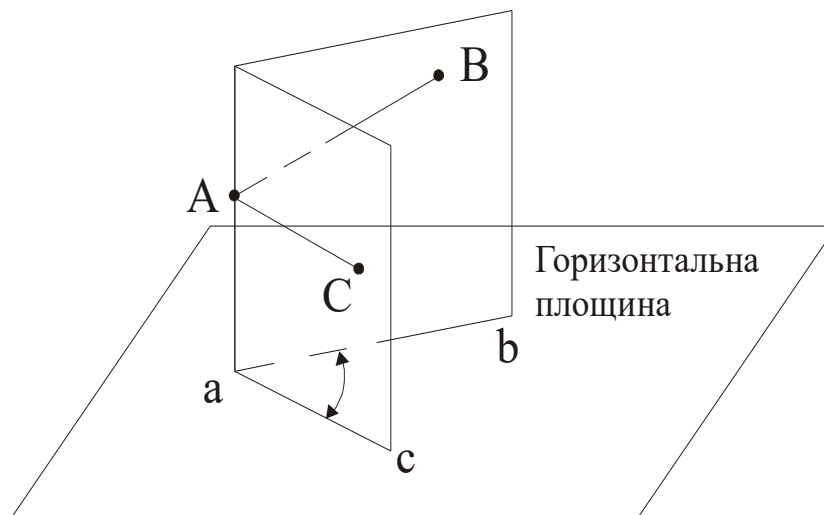


Рис. 1.3 Горизонтальний кут

Для вимірювання кутів в геодезії застосовують, як правило, градусну міру. Градус дорівнює $1/360$ частині кола і ділиться на 60 мінут ($'$), а мінута – на 60 секунд ($''$). У зв'язку з переходом на метричну систему мір в кінці XVIII ст. було запропоновано вимірювати кути в гонах (градах). Гоном називають $1/100$ частину прямого кута, він містить 100 гонових мінут, кожна з яких ділиться на 100 гонових секунд. Така децимальна система застосовується в електронних теодолітах і тахеометрах закордонного виробництва. Один гон ($1g$) містить $0,9^\circ$ або $0^\circ 54'$. Він містить 1000 мгон; $1 \text{ мгон} = 3,24''$. Часто в процесі геодезичних розрахунків користуються радіанами. Один радіан дорівнює $57^\circ 17' 44,8''$ або $206\,265''$.

За одиницю вимірювання площі прийнято квадратний метр. Сто квадратних метрів становлять ар, а сто арів – гектар, який дорівнює 10000 квадратним метрам; один квадратний кілометр має сто гектарів.

5. Поняття про форму та 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 відрізнятися 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.

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 (рис. 1.4), яка збігається з незбуреною поверхнею Світового океану і подумки продовжену під материками.

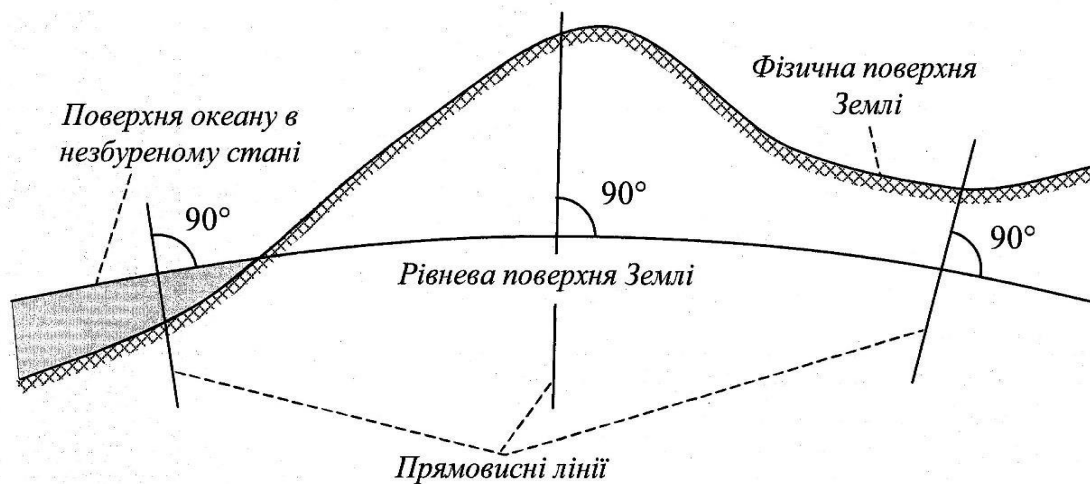


Рис. 1.4 Рівнева поверхня

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.

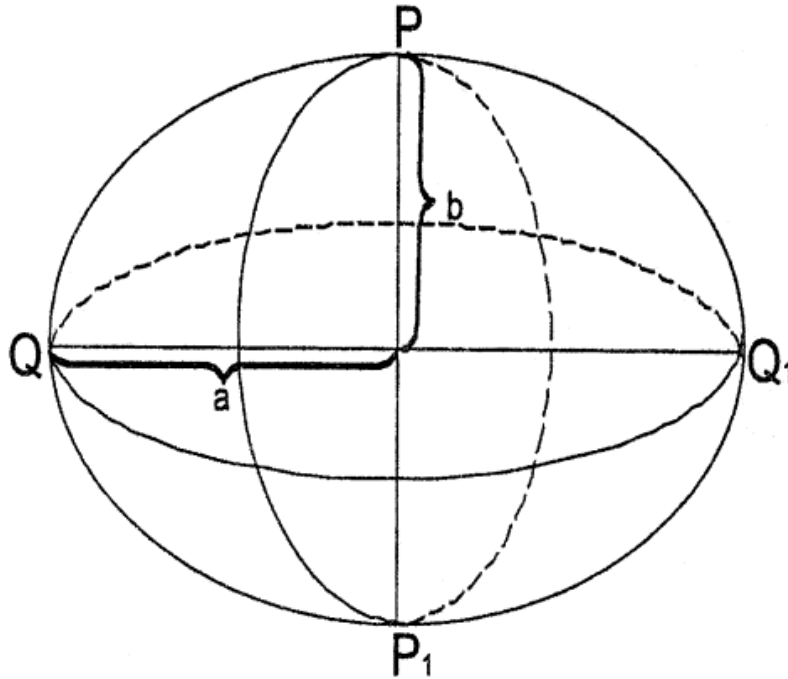


Рис. 1.5 Еліпсоїд обертання

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. 1.5).

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 Делаμβера (Д'аламбера), Бесселя, Хейфорда, Кларка, Красовського і ін.).

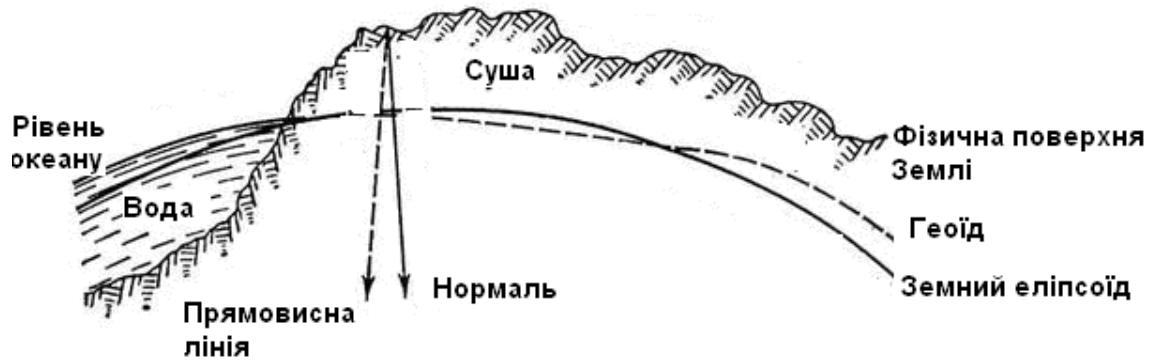


Рис. 1.6 Геоїд та земний еліпсоїд

Еліпсоїд Делаμβера має тільки історичне значення як основа для встановлення метричної системи мір (на поверхні еліпсоїда Делаμβера 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.

Таблиця 1.1 Розміри земного еліпсоїда

Дослідник	Рік	Довжини півосей, м		Полярний стиск α
		великої (a)	малої (b)	
Делаंबर	1800	6 375 653	6 356 564	1:334,0
Бессель	1841	6 377 397	6 356 079	1:299,2
Кларк	1866	6 378 206	6 356 584	1:295,0
Хейфорд	1910	6 378 388	6 356 912	1:297,0
Красовський	1940	6 378 245	6 356 863	1:298,3
GRS-80	1980	6 378 137	6 356 752	1:298,3
WGS 84	1984	6 378 137	6 356 752,314	1:298,257

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.

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.

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.

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 (полярн). 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.

6. Основні лінії та 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. 1.7).

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.

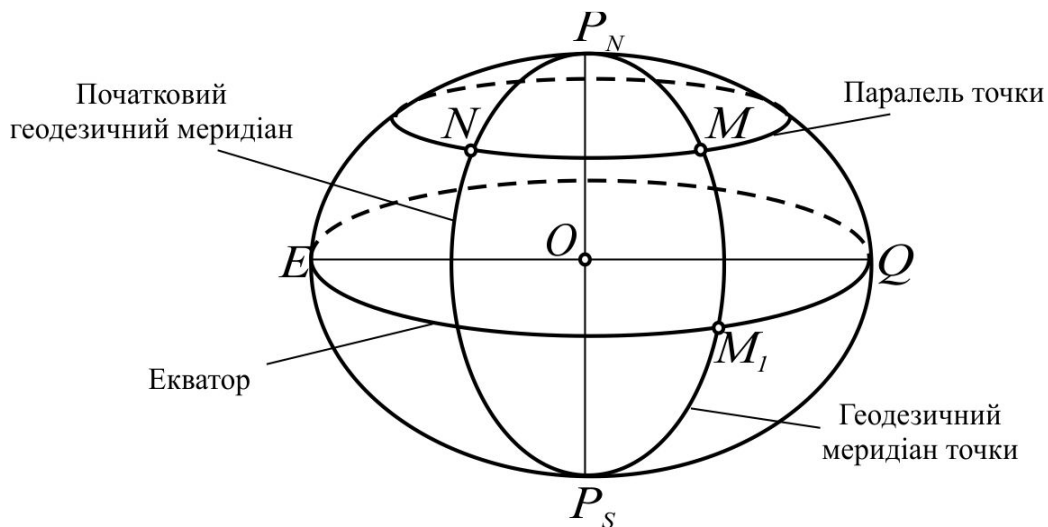


Рис. 1.7 Основні лінії та площини еліпсоїда

Лекція 2. Системи координат. Орієнтування ліній місцевості.

1. Загальні поняття про системи координат

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.

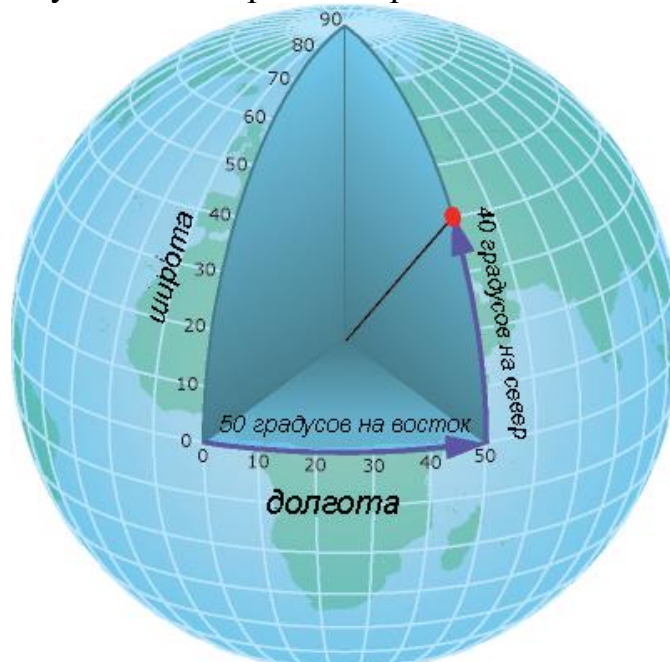


Рис. 2.1 Система географічних координат

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. 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.

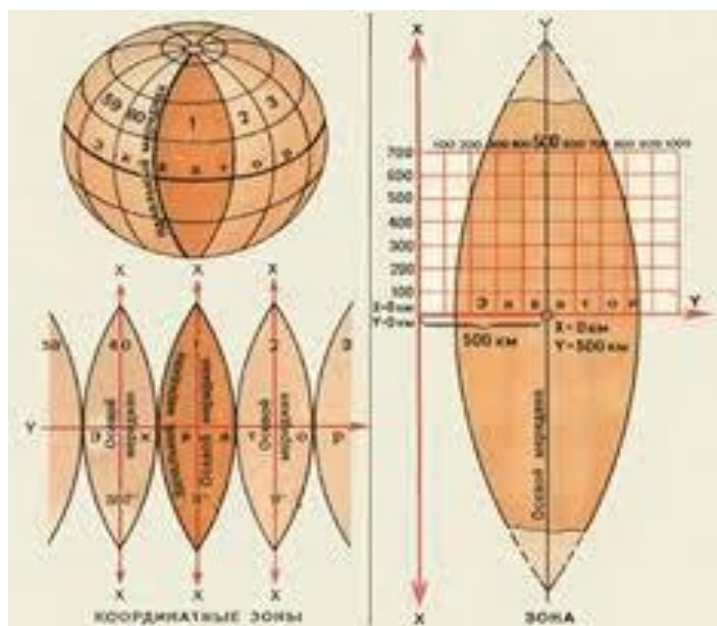


Рис. 2.2 Система прямокутних координат

2. Система географічних координат

Географічні координати – це узагальнене поняття про астрономічні і геодезичні координати.

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. *Астрономічною 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 прямовисної лінії (сили тяжіння) від нормалі різне в різних точках Землі. Так, наприклад, у районі Кавказу відхилення прямовисних ліній від нормалей досягають 35 ", а різниця

відхилень прямовисних ліній на протилежних берегах озера Байкал досягає 40". У середньому величина відхилень дорівнює 4 - 5 "(рис. 2.3).

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

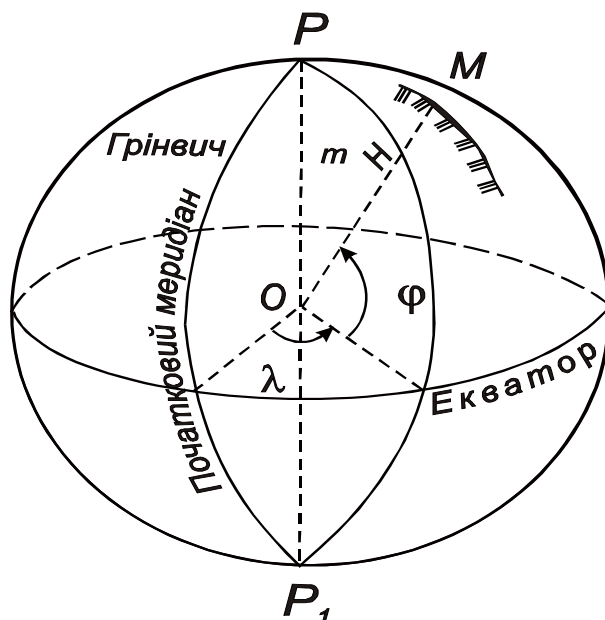


Рис. 2.3 Система астрономічних координат

Оскільки площина астрономічного меридіана проходить через прямовисну лінію 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 прямовисної лінії від нормалі, а також у тих точках геоїда, де його поверхня більш віддалена від поверхні еліпсоїда.

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, $\pm 90^\circ$.

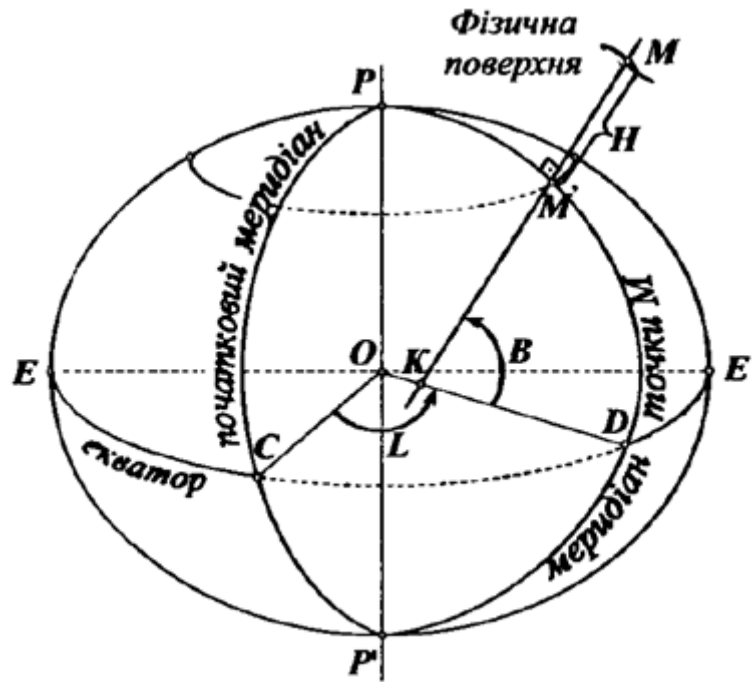


Рис. 2.4 Система геодезичних координат

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).



Рис. 2.5 Кронштадтський фуштовок

Висотою точки H_B земної поверхні називається відстань по прямовисній лінії (нормалі) між рівневою поверхнею точки В і рівневою поверхнею, прийнятою за початкову.

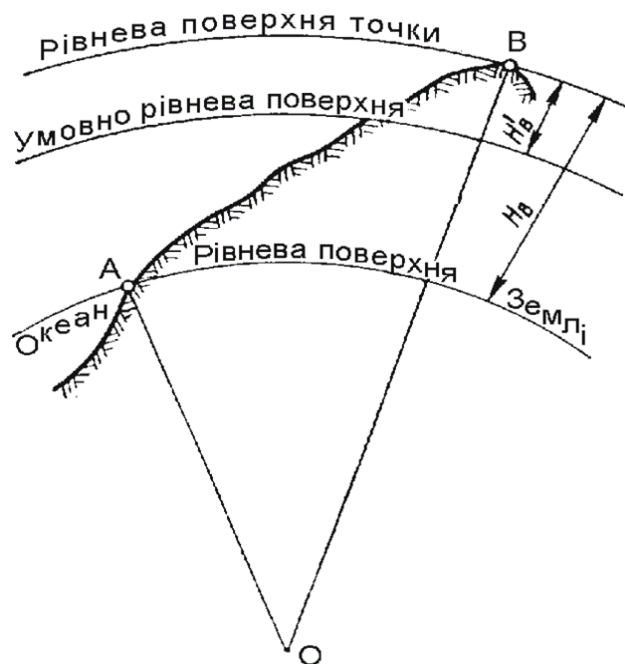


Рис. 2.6 Система визначення висот точок

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 прямовисних ліній від нормалей, що визначається астрономо-геодезичним методом або за спеціальними гравіметричними картами.

3. Проекція та прямокутні координати Гаусса.

Якщо геодезичні роботи виконуються на невеликих ділянках земної поверхні та не потребують сферичності Землі, положення точок можна визначити в системі прямокутних координат.

Для складання топографічних планів використовують плоску прямокутну систему координат. Як відомо, у геодезії, на відміну від математики, абсциса X направлена на північ, а ордината Y – на схід. Нумерація чвертей виконується за ходом годинникової стрілки. У цьому випадку положення точки A місцевості визначається абсцисою X_A і ординатою Y_A на площині (рис. 2.7).

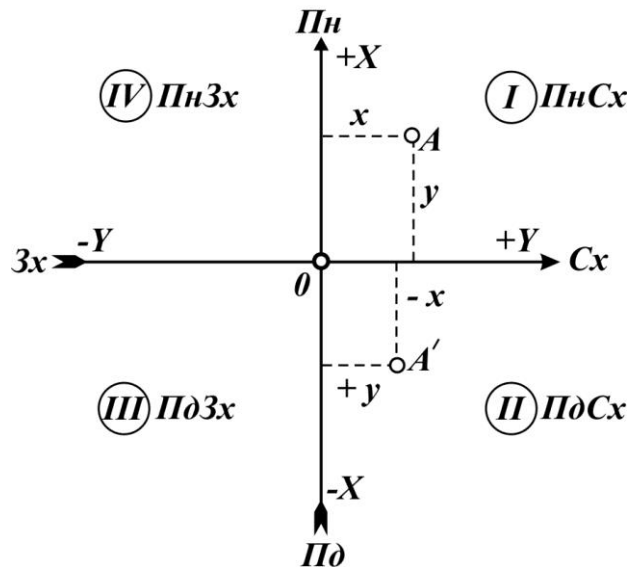


Рис. 2.7 Система прямокутних координат

Дві взаємно перпендикулярні лінії утворюють осі координатної системи. Точка їх перетину є початком координат. Додатні осі абсцис і ординат спрямовані на північ і схід, а від'ємні – на південь і захід. Осі ділять координатну систему на чотири частини, які називають чвертями: I – ПнСх, II – ПдСх, III – ПдЗх, IV – ПнЗх.

Крім того, для невеликих за площею ділянок земної поверхні прямокутна система координат може мати умовний початок.

Широкого поширення в практиці геодезичних робіт набула поперечно-циліндрична проекція Гаусса. У цій проекції найбільш зручнішою у застосуванні прийнято вважати прямокутну систему координат, причому в кожній зоні береться своя система координат: за вісь абсцис приймається осьовий меридіан, а за вісь ординат – екватор. Початок ординат розміщений у точці перетину екватора з осьовим меридіаном даної зони. В цій системі положення точки A на площині визначається плоскими прямокутними координатами X_A та Y_A , які називають координатами Гаусса. Тобто, плоскими прямокутними координатами точки A ($X_A; Y_A$) в системі координат Гаусса-Крюгера називають відстані від осей координат (екватора і осьового меридіана зони відповідно), які і характеризують положення точки A на земній поверхні (рис. 2.8).

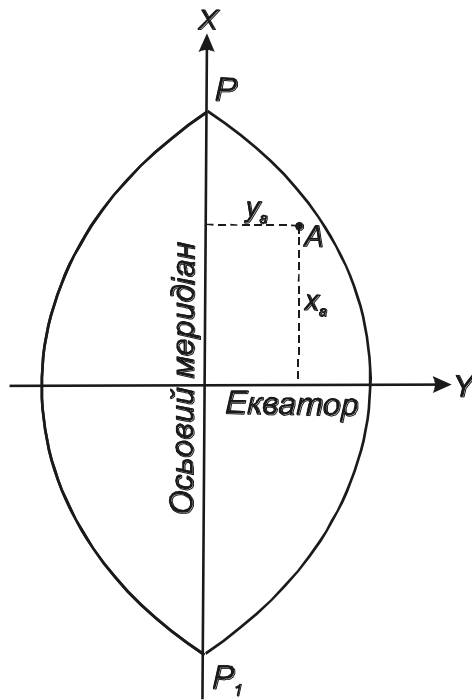


Рис. 2.8 Плоскі прямокутні координати Гаусса

У кожній зоні координати X та Y можуть бути як від'ємні, так і додатні за значенням. Абсциси вважають додатними, якщо відраховуються від екватора на північ і від'ємними, якщо на південь. Ординати, які відраховуються від осьового меридіана на схід, вважають додатними, а на захід – від'ємними.

У системі координат Гаусса-Крюгера для всіх точок на території України абсциси мають додатні значення, а для того, щоб позбутися від'ємних значень в ординатах, прийнято умовно вважати ординату осьового меридіана рівну не нулю, а +500 км, при цьому, попереду ординати обов'язково вказують номер зони. Одержані таким чином ординати називають умовними і позначають y' .

Умовні ординати обчислюють за формулою:

$$y' = 500 \text{ км} + y.$$

Якщо $y_A = 147,514$ км, $y_B = -42,823$ км, то $y_A' = 647,514$ км, $y_B' = 457,177$ км. При зворотному переході під наведених умовних ординат необхідно підняти 500 км. Такі координати називаються *перетвореними*.

Для зручності визначення прямокутних координат при розв'язанні практичних задач на планах і картах нанесена координатна сітка (рис. 2.9), яка являє собою систему взаємно перпендикулярних ліній, проведених через певні відстані паралельно осьовому меридіану зони (вісь x) та екватору (вісь y).

Якщо задані плоскі прямокутні координати x і y деякої точки A , то цього недостатньо для однозначного визначення положення точки, тому що точка з такими координатами є в кожній зоні. Отже, необхідно вказувати ще й номер зони, в якій розміщена точка.

Він указується перед кожною ординатою. Наприклад, точка A знаходиться в 7-ій зоні, тоді її повна умовна наведена ордината $y_A' = 7647,514$ км.

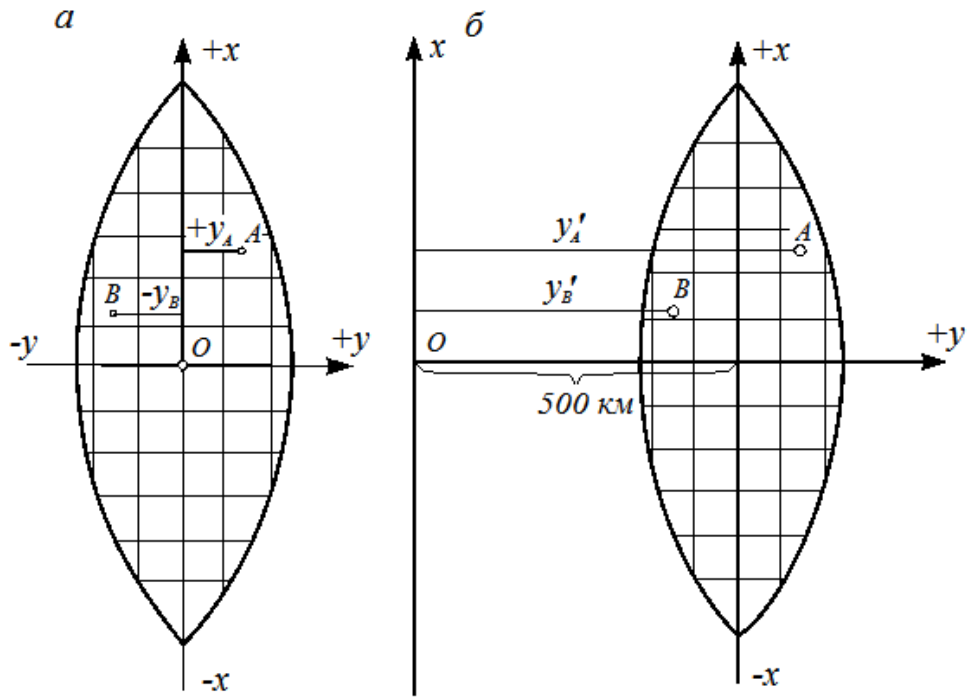


Рис. 2.9 Умовні ординати у шестиградусних зонах

4. Просторова система прямокутних координат

Геодезичні координати можуть бути поширені на всю поверхню земного еліпсоїда, і в цьому їх переваги. Однак важко застосовувати їх при значних геодезичних роботах, оскільки пов'язано це з громіздкими обчисленнями навіть при невеликих відстанях. Тому ці координати мають широке застосування лише при дрібномасштабному картографуванні.

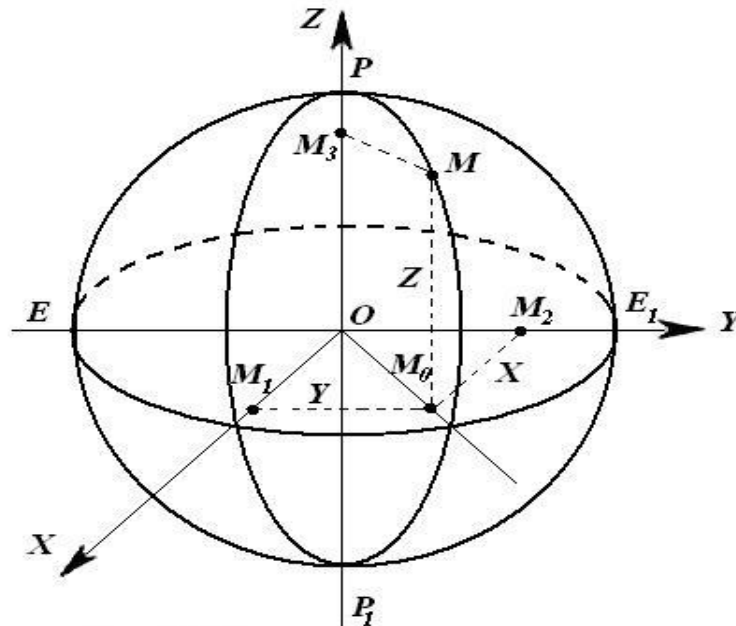


Рис. 2.10 Геоцентрична система прямокутних просторових координат

На сучасному етапі з використанням супутникових навігаційних систем (SNS) при розв'язанні геодезичних задач використовують геоцентричну систему

прямокутних просторових координат (рис. 2.10).

Початок координат точку O вибирають у центрі мас Землі. Тому система тримала назву «геоцентрична», на відміну від топоцентричної, у якій початок координат на поверхні Землі. Вісь OZ спрямована вздовж осі обертання Землі до Північного полюса. Вісь OX лежить на лінії перетину площини початкового меридіана з площиною екватора. Вісь OY – лінія перетину площини меридіана, перпендикулярного до початкового меридіана з площиною екватора. координати довільної точки M в цій системі визначаються відрізками $X = OM_1 = M_0M_2$; $Y = OM_2 = M_1M_0$; $Z = OM_3 = M_0M$.

Щоб побудувати відрізок M_0M , що дорівнює Z , спроектуємо точку M на площину екватора. В площині екватора матимемо точку M_0 . Далі з точки M_0 проведемо в площині екватора лінії, паралельні до осей OX та OY . Тоді на осях отримаємо точки M_1 , та M_2 , а також матимемо відрізки $M_0M_2 = X$ та $M_1M_0 = Y$.

В Україні для вирішення народногосподарських завдань міждержавного рівня запроваджену світову систему просторових координат WGS – 84.

У недалекому минулому просторова система прямокутних координат мало застосовувалась у практиці геодезичних робіт. Але в ході космічних досліджень виникли геодезичні задач з визначенням координат точок не тільки на поверхні, а й у зовнішньому просторі Землі. Тому тепер ця система координат використовується в космічній геодезії.

5. Орієнтування ліній місцевості

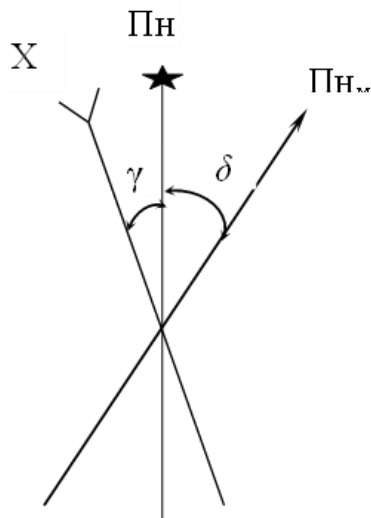


Рис. 2.11. Схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів

Під час виконання проектних робіт потрібно знати розташування об'єктів місцевості відносно сторін світу, оскільки плани й карти складають так, що їх верхні краї є північними. Під орієнтуванням ліній розуміють визначення її напрямку відносно якогось початкового напрямку. У геодезії такими початковими напрямками є географічний (істинний), магнітний та осьовий меридіани. Географічним меридіаном називають лінію перетину земної поверхні площиною, яка проходить через вісь обертання Землі та дану

точку. Його напрям знаходять за астрономічними спостереженнями або за допомогою спеціальних приладів. Магнітним меридіаном є лінія перетину землі площиною, яка проходить через магнітні полюси Землі й дану точку. Напрямок магнітного меридіану в будь-якій точці Землі показує магнітна стрілка. Оскільки географічні та магнітні полюси Землі знаходяться в різних точках, то географічний і магнітний меридіани в кожній даній точці земної поверхні не співпадають, а перетинаються під деяким кутом, який називають схиленням

магнітної стрілки δ . Розрізняють східне (додатне) і західне (від'ємне) магнітне схилення. Його величина залежить від географічних координат точки на земній поверхні. Так, у районі Києва магнітне схилення східне й дорівнює $+5^{\circ}15'$, Одеси – східне $+8^{\circ}$. Магнітне схилення змінюється протягом доби на величину до $15'$. Відомо також про річні та вікові зміни магнітного схилення s про його коливання під час так званих магнітних бур.

Прилади з магнітною стрілкою не можна використовувати в місцях зосередження металевих конструкцій і механізмів, поблизу ліній електропередач високої напруги та залізниць.

В наслідок цього положення магнітного меридіана визначається лише приблизно, а орієнтування ліній за допомогою магнітної стрілки допускається лише при складанні планів невеликих ділянок місцевості.

У геодезичній практиці спочатку визначають напрям магнітного меридіана за допомогою приладів, оснащених магнітною стрілкою, а потім, у разі потреби, обчислюють напрям географічного (справжнього) меридіана, додавши або віднявши величину магнітного схилення.

Виконуючи геодезичні роботи на значній території, за початковий приймають напрям осьового меридіану 6-градусної зони, на які розбивають поверхню земного еліпсоїда. Кут в даній точці між її географічним меридіаном і лінією, паралельною до осьового меридіану зони, називається *зближенням меридіанів* γ . Зближення меридіанів буває західним (-) і східним (+). Схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів завжди показують на схемі під рамкою топографічної карти (рис. 2.11).

Від меридіанів вимірюють кути орієнтування – азимути, дирекційні кути й румби.

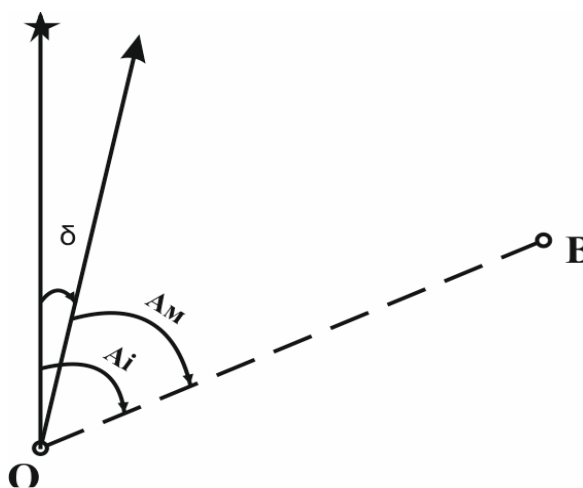


Рис. 2.12. Істинний, магнітний азимути, магнітне схилення

Азимутом (A) називають кут між північним напрямом меридіана й напрямом даної лінії, відрахований за годинниковою стрілкою. Якщо азимут відраховують від магнітного меридіана, його називають магнітним (A_m), якщо від географічного – істинним (A_i). Магнітний і істинний азимути даної лінії відрізняються між собою на величину магнітного схилення (рис 2.12). Величини азимутів змінюються від 0 до 360° .

При зображенні земної поверхні в проекції Гаусса-Крюгера для орієнтування ліній в межах кожної зони за вихідний напрямок приймають осьовий меридіан, тобто вісь ОХ (рис. 2.9).

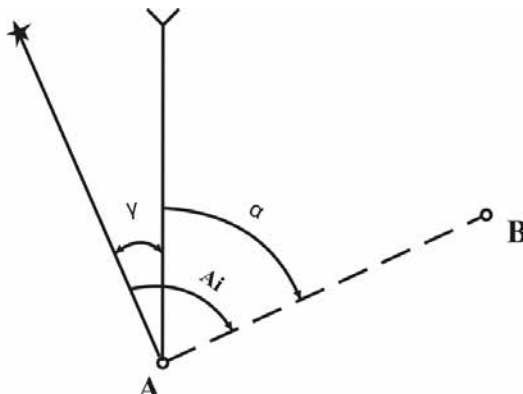


Рис. 2.13. Дирекційний кут та зближення меридіанів

Дирекційним кутом (α) називають відрахований за годинниковою стрілкою кут між північним напрямом осьового меридіана b° -ної зони (або паралельної йому лінії) і напрямом даної лінії (рис.2.13). Як і азимут, дирекційний кут змінюється від 0 до 360°. Дирекційний кут лінії відрізняється від її азимута на величину зближення меридіанів. Для порівняно невеликих ділянок земної поверхні вона незначна і нею можна знехтувати, вважаючи поняття “азимут” і “дирекційний кут” синонімами.

Румб (R) – це кут, відрахований від найближчого (північного або південного) напрямку меридіана до напрямку даної лінії. Його кутова величина може змінюватись в межах від 0 до 90°; перед нею вказують напрям румба, наприклад, ПнС: 65°, ПнЗ: 89°, ПдС: 12°, ПдЗ: 40°.

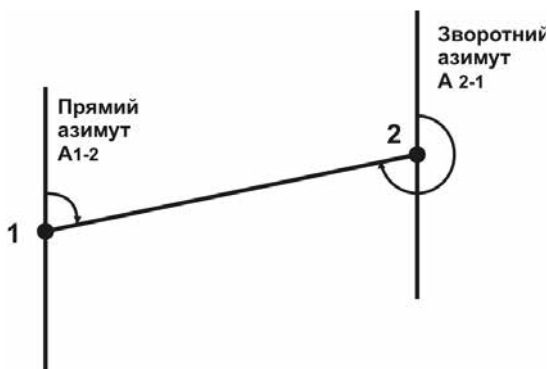


Рис. 2.14. Прямий та зворотний азимути

Азимути та румби бувають *прямими* і *зворотними*: прямі визначають на початку лінії, а зворотні – в кінці. Неважко зрозуміти, що прямий азимут лінії відрізняється від зворотного на $\pm 180^\circ$, а румби мають однакову кутову величину, але протилежні за напрямом. Наприклад, прямий азимут лінії – 140°, зворотний – 320°; її прямий румб – ПдС: 40°, зворотний – ПнЗ: 40°.

Знаючи азимут лінії, можна знайти її румб і, навпаки, за відомим румбом лінії можна визначити її азимут (рис. 2.15).

Між азимутами сторін та внутрішніми кутами полігону

(багатокутника) існує залежність, яку можна виразити формулою:

$$A_{n+1} = A_n + 180^\circ - \angle\beta, \quad (2.16)$$

тобто азимут наступної сторони (A_{n+1}) дорівнює азимуту попередньої сторони (A_n) плюс 180° і мінус внутрішній кут (β), який лежить праворуч між цими сторонами. Цю залежність легко простежити за схемою, наведеною на рис. 2.5. Наприклад, якщо азимут лінії 1–2 $A_{1-2} = 45^\circ$, кут між лініями 1–2 і 2–3 $\angle\beta = 110^\circ$, то азимут лінії 2–3 складатиме: $A_{2-3} = 45^\circ + 180^\circ - 110^\circ = 115^\circ$.

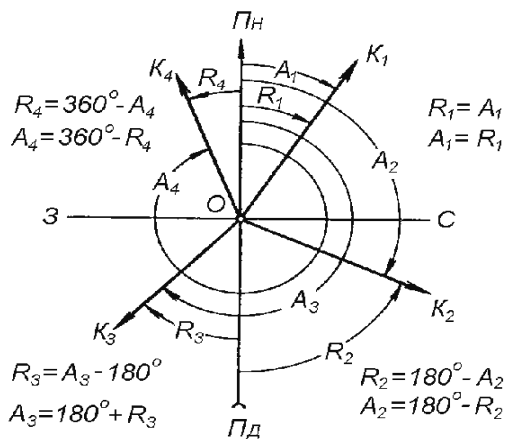


Рис. 2.15. Залежність між азимутами і румбами

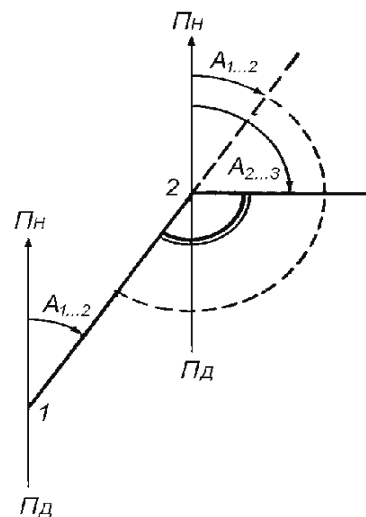


Рис. 2.16 Залежність між азимутами і внутрішніми кутами полігону

Лекція 3. Масштаби. Способи зображення земної поверхні.

1. Масштаб топографічної карти

При складанні карт і планів горизонтальні проекції 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.

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

Масштаб зображення невеликих ділянок на всій топографічній карті практично постійний. При невеликих кутах нахилу фізичної поверхні (на рівнині) довжина горизонтальної проекції 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 дроби з чисельником рівним 1.

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

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, немає 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. 3.1).

Таблиця 3.1

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

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: «в 1 сантиметрі 500 метрів». Цифра 500 у цьому прикладі є величина іменованого масштабу.

Використовуючи іменованій 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. Іменованій масштаб карти – «в 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. 3.1).

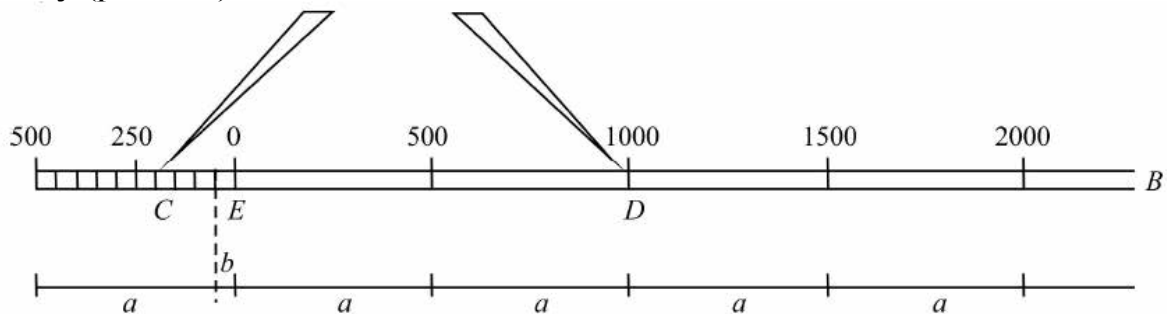


Рис. 3.1. Лінійний масштаб.

Вимірюваний відрізок на місцевості $CD = ED + CE = 1000 \text{ м} + 200 \text{ м} = 1200 \text{ м}$

Основу відкладають на прямій лінії необхідне число раз, крайню ліву основу ділять на частини (відрізок b), які будуть найменшими поділками лінійного масштабу. Відстань на місцевості, яка відповідає найменшій поділці 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. 3.1).

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

Для більш точних вимірювань користуються поперечним масштабом (рис. 3.2, 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*.

Найменша поділка поперечного масштабу дорівнює величині відрізка C_1D_1 , (рис. 3.2, а). На таку довжину відрізняється сусідній паралельно розташований відрізок при русі вгору по трансверсалі oC і по вертикальній лінії oD .

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.

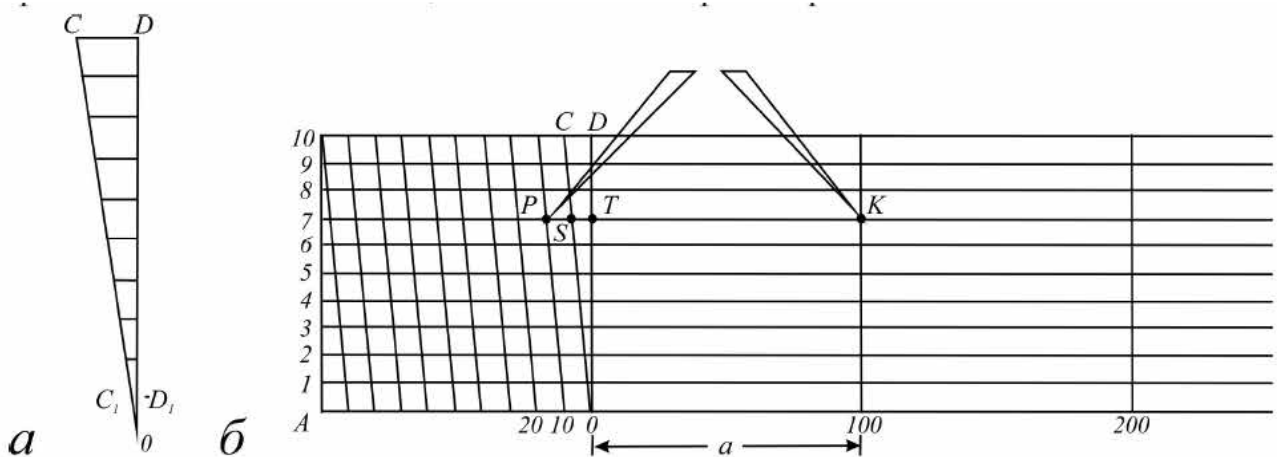


Рис. 3.2. Поперечний масштаб, вимірювання відстаней

$$PK = TK + PS + ST = 100 + 10 + 7 = 117 \text{ м}$$

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.

2. 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.

Таблиця 3.2

Точність масштабів планів і карт

Числовий масштаб	Величина найменшої поділки (аб) сотенного масштабу, м	Точність масштабу, м
1:500	0,1	0,05
1:1000	0,2	0,1
1:2000	0,4	0,2
1:5000	1,0	0,5
1:10000	2,0	1,0
1:25000	5,0	2,5

3. 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.

Карти 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 зйомок 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.

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

де R – радіус земної кулі – 6371 км; Δl і Δh – задана точність точок опорної мережі по горизонтальному прокладанню 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.

Профілем називають зменшене зображення вертикального розрізу земної поверхні. Щоб підкреслити рельєф місцевості, вертикальні відрізки (висоти, перевищення) на профілі зображують у декілька разів крупнішими від горизонтальних, тобто вертикальний масштаб збільшують.

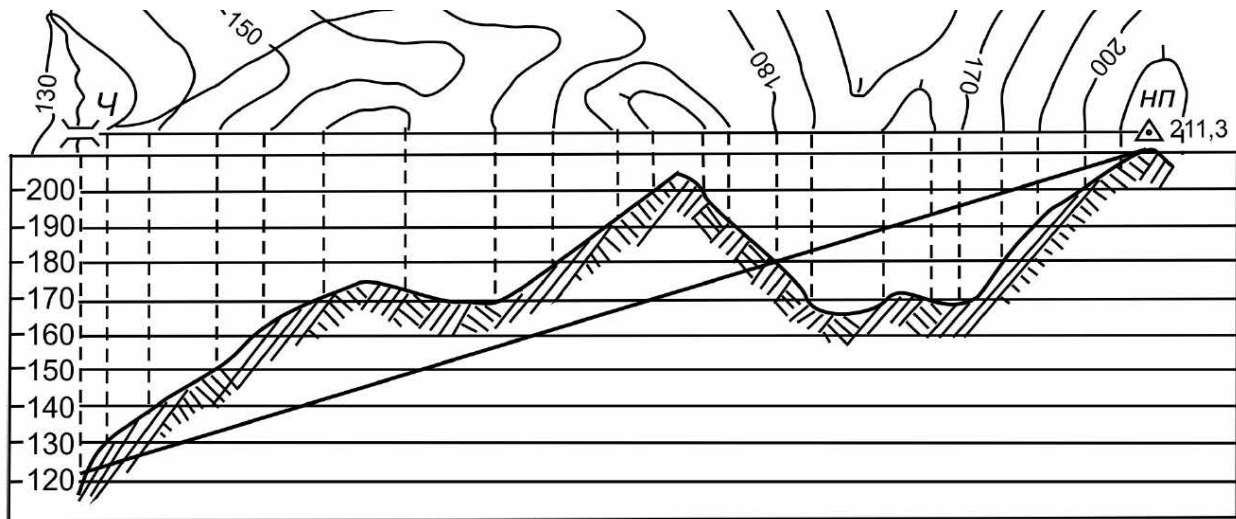


Рис. 3.3 Профіль місцевості

4. Види геодезичних зніманих

Основною метою геодезичних робіт на місцевості є створення планово-картографічних матеріалів за результатами геодезичних зніманих. Знімання можна розділити на наземні та надземні й класифікувати в залежності від основного інструменту, який при цьому використовується: теодолітне, бусольне, нівелірне, барометричне тощо. Крім того, наземні види зніманих поділяють на *горизонтальні* (наприклад, теодолітне), за якими визначають планові положення точок, *вертикальні* (нівелірне), за якими отримують висоти точок над рівневою поверхнею, та *комбіновані* або *топографічні* (тахеометричне, мензульне), в ході яких встановлюють як планові, так і висотні положення точок земної поверхні. До надземних видів зніманих належить аерофотознімання, яке виконують літаючими апаратами. Матеріали таких зніманих використовують з метою складання карт значних територій земної поверхні.

Для складання планів невеликих земельних ділянок і порівняно невисокої точності проводять екерне та бусольне знімання. Для одержання точніших планів території розміром у декілька сотень і тисяч гектарів, застосовують теодолітні та мензульні знімання. Знімання, яке виконується з метою отримання перевищень і висот точок земної поверхні називається нівелюванням. За потреби зобразити на плані рельєф невеликих ділянок земної поверхні застосовують тахеометричне знімання.

Основним видом знімань великих територій є аерофотознімання. Воно полягає у послідовному фотографуванні місцевості спеціальним аерофотоапаратом, встановленим на літаку або гелікоптері. Для виготовлення планів за аерофотознімками застосовують фотограмметричні та стереофотограмметричні прилади, при цьому положення основних точок геодезичних мереж визначають методами теодолітного знімання.

Для гірської і горбистої місцевості застосовують фототеодолітне знімання, під час якого місцевість фотографують за допомогою фототеодоліта, а потім на спеціальних приладах за фотознімками складають план місцевості.

Будь-яке знімання проводять за основним правилом – від загального до часткового, інакше кажучи, спочатку визначають взаємне положення основних точок – створюють так звану знімальну геодезичну мережу, а після цього знімають деталі місцевості (ситуацію).

Залежно від поставленої мети, виділяють сільськогосподарські, ґрунтові, лісові, геологічні, геоботанічні, будівельні, гідротехнічні та інші геодезичні знімання. Об'єктами сільськогосподарських знімань можуть бути межі землекористувань та адміністративні границі, населені пункти, сільськогосподарські угіддя, ліси, чагарники, окремі дерева, болота, піски, сади, шляхи сполучення, лінії електропередач та телефонного зв'язку, рельєф місцевості тощо.

5. Стадії геодезичних робіт

Усі геодезичні роботи виконуються на двох стадіях – польовій, пов'язаній з безпосередніми вимірюваннями на місцевості, та камеральній, під час якої обробляють результати польових робіт, будують та оформляють карти, плани, профілі.

Лекція 4. Топографічна карта. Умовні знаки об'єктів місцевості

1. Номенклатура топографічних карт

Розграфленням називається поділ карти на окремі аркуші. Позначення окремих аркушів такої карти за визначеною системою називається **номенклатурою**. В основі номенклатури лежить аркуш карти масштабу 1:1000000, яку називають *міжнародною*.

Для міжнародного розграфлення аркушів карт поверхню земної кулі ділять меридіанами через 6° на колони та паралелями через 4° на пояси. Колони нумерують арабськими цифрами від 1 до 60 проти ходу годинникової стрілки від меридіана з довготою 180°. Пояси позначають великими буквами латинського алфавіту від А до Z, починаючи від екватора до північного й південного полюсів.

Назва кожного аркуша карти масштабу 1:1000000 складається з букви, що позначає пояс, і номера колони. Наприклад, аркуш карти 1:1000000, де знаходиться Київ, має номенклатуру М-36 (рис. 4.1).

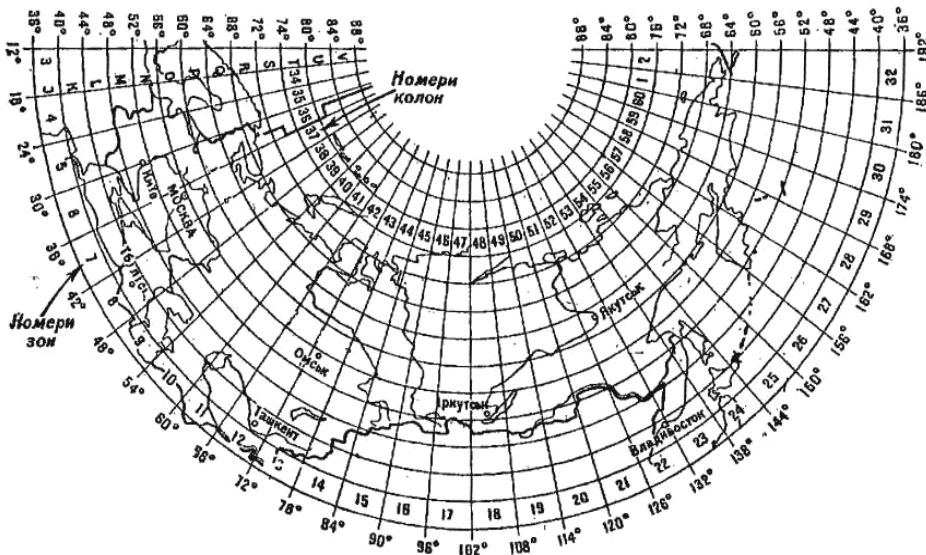


Рис. 4.1 Розграфлення та номенклатура карт масштабу 1:1000000

При переході до аркушів крупних масштабів територію, що охоплює карта масштабу 1:1000000, ділять на частини так, щоб аркуші карт різних масштабів були приблизно однакових розмірів. Так, аркуш карти масштабу 1:1000000 відповідає 4-ом аркушам карти масштабу 1:500000, які позначають буквами *A, B, B і Г*, 9-ти аркушам карти масштабу 1:300000 (*I, II..., IX*), 36-ти аркушам масштабу 1:200000 (*I, II..., XXXVI*), 144-ом аркушам масштабу 1:100000 (*1, 2 3..., 144*). Щоб отримати номенклатуру аркуша карти будь-якого із цих масштабів, крім 1:300000, потрібно до номенклатури аркуша масштабу 1:1000000 додати справа букву або номер відповідної трапеції, наприклад, *M-36-A; M-36-XIV; M-36-112*. Для карт масштабу 1:300000 номер трапеції ставлять перед номенклатурою карти масштабу 1:1000000, наприклад, *IV-M-36*.

На рис. 4.2 а показано принцип розграфлення міжнародної карти на аркуші карт масштабу 1:100000. Для розграфлення і позначення топографічних карт більших масштабів використовують карти масштабу 1:100000, наприклад, *N-37-54*. Аркуш карти такого масштабу вміщує 4 аркуша карти масштабу 1:50000, які позначають буквами *A, B, B, Г*, наприклад, *N-37-54-B*. Поділивши аркуш карти цього масштабу на чотири частини, отримують 4 аркуші карти масштабу 1:25000. Кожен з них позначають буквами *a, б, в, г*, наприклад, другий аркуш карти масштабу 1:25000 має номенклатуру *N-37-54-B-б*. Поділивши дану карту на чотири частини, отримують аркуші карти масштабу 1:10000, які нумерують цифрами 1, 2, 3, 4. Так, номенклатура третього аркуша карти масштабу 1:10000 – *N-37-54-B-г-3* (рис. 4.2, б).

Аркуші топографічних карт у широтному поясі 60°–76° здвоюють. Розмір такого аркуша по довготі становитиме 12°, а номенклатура карти, наприклад, масштабу 1:50000, буде *P-36-24-A,Б*. У смузі, обмеженій паралелями 76° і 88° аркуші карти об'єднують по чотири так, що розмір одного аркуша по довготі складає 24°. Номенклатура такого аркуша карти, наприклад, масштабу 1:100000, має вигляд *S-37-13,14,15,16*. Ділянка 88°–90° зображується одним аркушем.

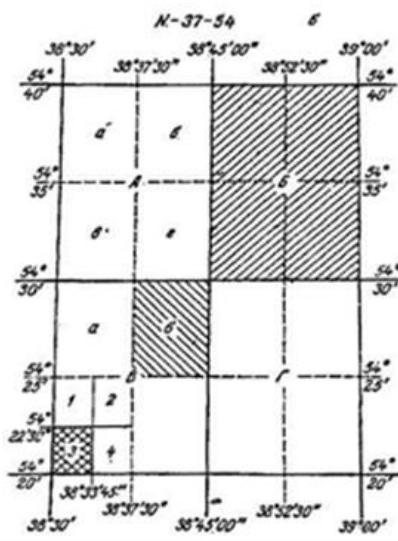
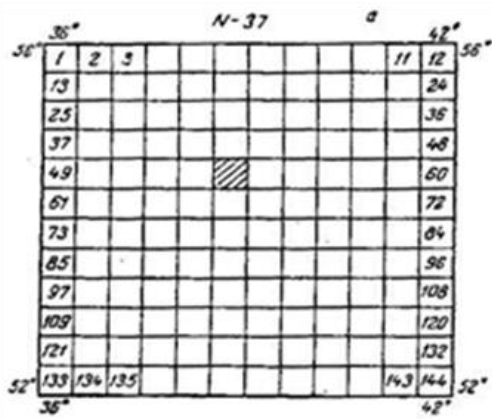


Рис. 4.2 Розграфлення топокарт на аркуші масштабів:
а – 1:100000; б – 1:10000

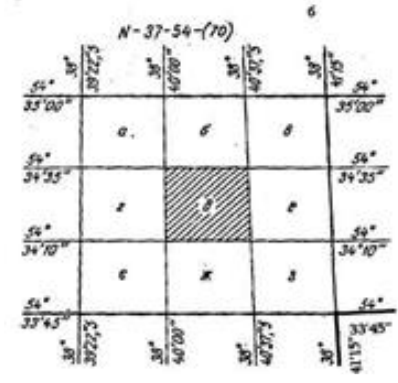


Рис. 4.3 Розграфлення на аркуші топографічних карт масштабів:
а – 1:5000; б – 1:2000

Слід пам'ятати, що для складання топографічних карт масштабів 1:10000 – 1:500000 використовуються шестиградусні зони, а для масштабів 1:5000 – 1:2000 – триградусні.

2. Умовні знаки та їх класифікація

На топографічних картах і планах відображають контури сільськогосподарських угідь (ріллі, сіножатей, пасовищ, городів тощо), лісові масиви, чагарники, зруби, піски, дороги, ріки, струмки, озера, господарські споруди та інші об'єкти місцевості. Сукупність цих об'єктів називають *ситуацією*.

Наочність топографічних карт і планів досягається використанням *умовних знаків* – спеціальних графічних символів, цифрових, кольорових та літерно-цифрових позначень, якими відображають предмети місцевості та характеризують їх. Знання умовних знаків та їх властивостей – необхідна умова розуміння зображеного на карті, уміння “читати” карту та проводити на ній вимірювальні роботи.

Графічні умовні знаки – різноманітні графічні побудови у вигляді фігур (значків) та ліній, що відрізняються за формою, розмірами, кількістю складових елементів, орієнтуванням тощо. *Колір*, як умовний знак, застосовують для відображення якісних відмінностей об’єктів місцевості за видовими ознаками (наприклад, для об’єктів гідрографії використовують синій колір, для рослинності – зелений і т. д.), а також внутрішньовидовими (наприклад, природні форми рельєфу показують коричневим кольором, а штучні – чорним). *Літерні позначення* застосовують, передусім, для інформації про географічні назви об’єктів, показаних на карті. При цьому змістове навантаження несе також шрифт літер і їх розмір. Наприклад, різним шрифтом виділяють тип населених пунктів (місто, сільське поселення), його адміністративне значення (столиця, обласний центр тощо), розмір літер інформує про кількість жителів у даному населеному пункті. Крім того, за допомогою літер також додатково характеризують об’єкти місцевості. Так, біля значка заводу чи фабрики вказують галузь промислового підприємства (*цукр.* – цукровий завод), на зеленому фоні лісового масиву – назву деревних порід, які переважають у ньому (*сосна, бер.* – береза), біля мостів та інших споруд вказують матеріал, з якого вони виготовлені (*ЗБ* – залізобетон). *Цифрові знаки* застосовують для кількісної характеристики предметів ситуації (кількість дворів у населеному пункті, ширина і глибина річки, швидкість течії, ширина дороги тощо). У деяких випадках цифрові і літерні знаки пишуться поруч. Наприклад, напис *8(12)А* у розриві смуги дороги означає, що вона завширшки 8 м, а разом з обочинами – 12 м і покрита асфальтом.

Усе різноманіття умовних знаків ділять на три групи:

– *площинні* – застосовують для заповнення контурів, які відокремлюють площу об’єктів, що виражається в масштабі карти (рис. 4.4, а). Наприклад, сільськогосподарські угіддя, населені пункти, чагарники, ліси, болота, піски тощо;

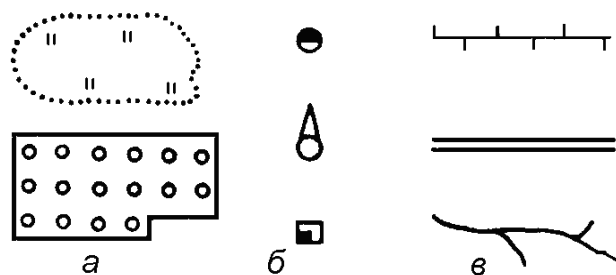


Рис. 4.4 Приклади умовних знаків:
а – площинні; б – позамасштабні; в – лінійні

– *позамасштабні* – використовують для позначення об’єктів, площа яких не може бути виражена в масштабі карти (рис. 4.4, б). Положенню об’єкта на місцевості відповідає певна точка знаку – найчастіше його центр. (рис. 4.5);

– *лінійні* – застосовують для відображення лінійно-втягнутих об’єктів, довжину яких виражають в масштабі карти, а ширину, як правило,

перебільшують (рис. 4.4, в). Положення таких об'єктів на місцевості визначається напрямком осі знака.

Умовні знаки для топографічних карт всього масштабного ряду стандартні. Таких знаків біля 400 і вони є обов'язковими для використання всіма відомствами й установами, які проводять топографічні роботи, складають і видають плани та карти. Це забезпечує можливість вільного читання карт і планів, незалежно від відомчого підпорядкування. Видаються умовні знаки Державною службою геодезії, картографії та кадастру у вигляді зведених таблиць, зброшурованих у книгу за масштабом або групою масштабів. У таблицях умовні знаки розподілені по групах: населені пункти, місцеві предмети, залізниці та споруди біля них, шосейні і ґрунтові дороги, межі й огорожі, гідрографія, рельєф, рослинність та ін. Кожний умовний знак у таблиці має свій порядковий номер, назву і розміри.

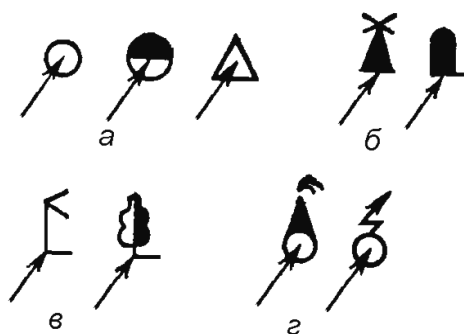


Рис. 4.5. Положення об'єктів на місцевості:

а – у центрі умовного знаку; б – посередині широкої основи; в – у вершині прямого кута при основі знаку; г – у центрі нижньої фігури складного знаку

Крім топографічних, існують також умовні знаки, що розробляються окремими відомствами (галузеві) і використовуються для потреб їх організацій, щоб відобразити найважливіші для даної галузі предмети. Такі умовні знаки є обов'язковими тільки в межах даного відомства. Так, специфіка земельного картографічного матеріалу визначила необхідність розробки спеціальних умовних знаків, які застосовують для складання планів землекористувань. Незважаючи на велику подібність топографічних і розроблених на їх основі земельного картографічних умовних знаків, існує й цілий ряд відмінних особливостей: це стандартизація розмірів земельного картографічних умовних знаків, розширення розділу умовних знаків для об'єктів, що проектуються (населені пункти, сільські дороги, стави, водосховища, фруктові сади, ягідники, сільськогосподарські угіддя тощо), можливість детальніше охарактеризувати усе різноманіття сільськогосподарських угідь (наприклад, пасовищ нараховується 35 видів, ріллі – 12 видів). Для більшої наочності та кращого розпізнавання зображуваних об'єктів місцевості їх фарбують певним кольором. Наприклад, умовний знак сіножатей розміщують на жовто-зеленому фоні, лісу – на синьо-зеленому, саду – на жовтому фоні і т.д.

Розроблені спеціальні умовні знаки, які використовують для складання тематичних карт (лісових, ґрунтових тощо).

3. Способи зображення рельєфу на планах і картах

Рельєфом називають сукупність нерівностей поверхні Землі. Рельєф земної поверхні формується під дією ендегенних (тектонічних, сейсмічних і вулканічних) та екзогенних (ерозійні, карстові, зсувні, лавинні тощо) сил. Ендегенні (внутрішні) сили спричиняють утворення у земній корі складок, розривів і тріщин. Чинниками екзогенних сил є: повітря, вода, температура, живі організми та діяльність людини. Їхній вплив на рельєф призводить до зміни його стану.

Особливо потужний вплив на рельєф справляє діяльність людини. Будівництво великих ГЕС, штучних морів, каналів, зрошення в посушливих районах, осушення боліт, вирубування лісів, заліснення ярів і пісків, добування корисних копалин впливають на мікроклімат, спектр та інтенсивність розвитку геоморфологічних процесів і, в кінцевому підсумку, на рельєф. Щорічний обробіток землі сільськогосподарськими машинами також призводить до змін рельєфу. Неправильний обробіток, зокрема оранка вздовж схилів, призводить до ерозії ґрунту під дією стікаючої води (атмосферних опадів), а на рівнинах – під дією вітру.

Особливості рельєфу враховують під час проектування населених пунктів і промислових підприємств, доріг, каналів, меліоративних робіт. Він відіграє важливу роль у ґрунтоутворенні, в ерозії ґрунтів, впливає на їх родючість. Так, на верхніх частинах схилів ґрунти бідні на поживні речовини, які вимиваються стікаючою водою до підніжжя схилів. продукти ерозії схилів акумулюються біля їх підніжжя, у днищах балок, руслах малих річок, тим самим погіршуючи їх екологічний стан.

З рельєфом пов'язана агротехніка обробітку ґрунту й вирощування сільськогосподарських культур, розміщення їх на різних елементах рельєфу і т. д. Особливо важливу роль відіграє рельєф при створенні полезахисних лісосмуг, проведенні різних меліоративних робіт. Щоб найкраще використати рельєф у сільськогосподарському виробництві, треба добре вивчити його особливості в даному господарстві, для чого треба мати плани й карти з детальним відображенням рельєфу.

Рельєф місцевості на планах і картах відображають умовними знаками. Існує декілька способів зображення рельєфу. Деякі з них можна розглядати лише в історичному плані, оскільки зараз їх при складанні карт та планів не використовують. Так, наприклад, рельєф можна передати *написами висот характерних точок*, за якими можна судити про форми рельєфу та крутизну схилів, але за великої кількості написів карту чи план важко читати. Наочну уяву про рельєф та крутизну схилів давав спосіб *штрихів (гашюр)*, яким користувались у давнину. Штрихи наносили паралельно схилу за принципом: чим крутіший схил, тим товстіший штрих (рис. 4.6). Недоліком цього способу є те, що за штрихами



Рис. 4.6 Зображення рельєфу штрихами

важко судити про величину перевищень між точками земної поверхні. Крім того, велика їх кількість затрудняє читання планів і карт, а саме нанесення штрихів – дуже трудомістка й копітка робота.

Чітке та об'ємне відображення рельєфу місцевості на географічних картах дає спосіб *відмивки схилів*, тобто фарбування схилів коричневою фарбою (чим крутіший схил, тим темніший тон фарби), та спосіб *кольорової пластики*. Метод кольорової пластики передбачає фарбування карт різними тонами в залежності від висот точок місцевості: низини – зеленим кольором, гори та передгір'я – коричневим. Таким способом зображення рельєфу місцевості користуються і зараз для створення географічних карт.

Способи відмивки й кольорової пластики, як і спосіб штрихів, не дають точного уявлення про перевищення між точками земної поверхні, тому вимірювальні роботи за такими картами виконувати дуже важко.

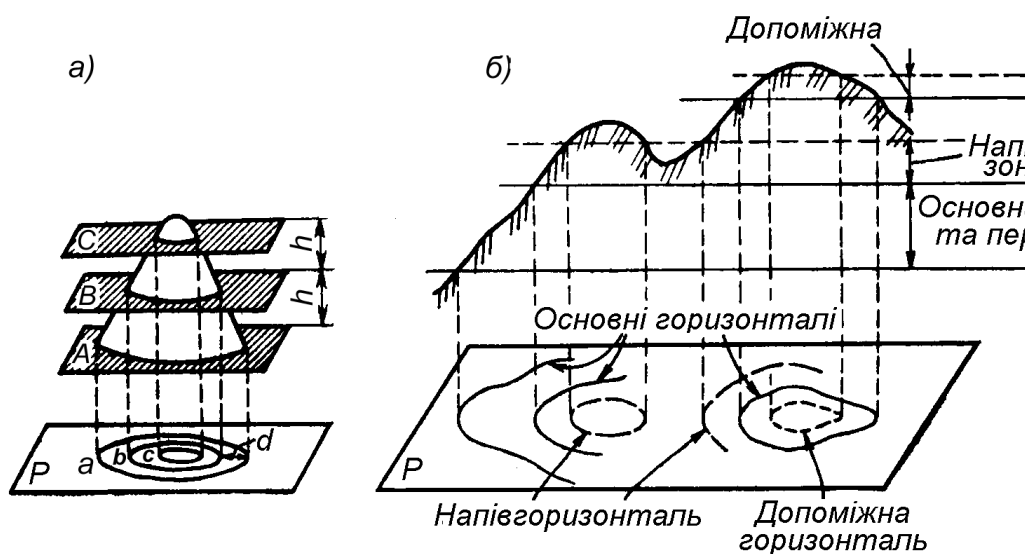


Рис. 4.7 Принцип зображення рельєфу горизонталями (а) та види горизонталей на топографічних картах (б)

На сучасних топографічних картах і планах рельєф відображають за допомогою горизонталей. Горизонталь можна уявити як слід перетину рельєфу рівневими поверхнями, паралельними між собою (поверхні А, В, С на рис. 4.7, а). Отже, *горизонталь – це лінія на земній поверхні, що з'єднує точки з однаковими абсолютними висотами*. Задану відстань між двома суміжними горизонталями по висоті (сусідніми січними поверхнями) називають *висотою перерізу* рельєфу h , а відстань між ними на карті – *закладанням* d .

Щоб передати закономірності зміни морфології форм рельєфу, висоту перерізу приймають постійною для карт певного масштабу. Крім масштабу, значення h визначає характер рельєфу місцевості (табл. 4.1). Вибираючи висоту перерізу рельєфу, виходять також із необхідної точності та детальності відображення рельєфу, які зумовлюються господарськими потребами.

Висоти перерізу рельєфу, які використовують при зйомках

Характер місцевості	Масштаби карт і планів			
	1:2000	1:5000	1:10000	1:25000
	Висота перерізу рельєфу, м			
Рівнинна	0,5	0,5	1	2,5
Горбиста	1	1	2,5	5
Гірська	2	2,5	5	10

4. Основні форми рельєфу

Рельєф земної поверхні доволі складний за своєю будовою, але все різноманіття його форм може бути зведено до п'яти основних: гора, котловина, лощина, хребет та сідловина (рис. 4.8).

Гора. Це форма рельєфу конічної або куполоподібної форми висотою більше 200 м з добре вираженими й порівняно стрімкими схилами. Вода під час дощу й танення снігу стікає по схилах гори в усі боки. Найвищу точку гори називають *вершиною*. Схили гори у нижній частині закінчуються *підшовою*. Невелику височину, відносна висота якої не перевищує 200 м, з пологими схилами називають горбом.

Котловина (улоговина) – заглиблення конічної або чашоподібної форми. Вода з усіх боків стікає до найнижчої точки котловини – *дна*, звідки немає виходу. Схили котловини у верхній частині закінчуються *брівкою*.

Хребет – витягнуте в одному напрямку підвищення з двома схилами, нахиленими у протилежні сторони. Лінію, яка сполучає найвищі точки хребта, називають *вододілом* (рис. 4.9, а).

Лощина – витягнуте в одному напрямку заглиблення з дном, що поступово знижується. Характеризується вона тим, що вода стікає з трьох сторін всередину лощини і з однієї (четвертої) має вихід. Лінію, яка сполучає найнижчі точки по дну лощини, називають *віссю водотоку* або *тальвегом* (рис. 4.9, б). Широкі лощини з пологими схилами називаються долинами, а з крутими кам'янистими – ущелинами. Лощини у вигляді глибоких промоїн з крутими оголеними схилами, які утворили потоки води атмосферних опадів, називають ярами. Круті схили яру поступово обвалюються, стають пологими й покриваються травою, чагарником, лісом. Такі зарослі яри називають балками.

Сідловина – це понижена частина вододілу, розміщеного між двома суміжними вершинами та двома лощинами, що розходяться в протилежні

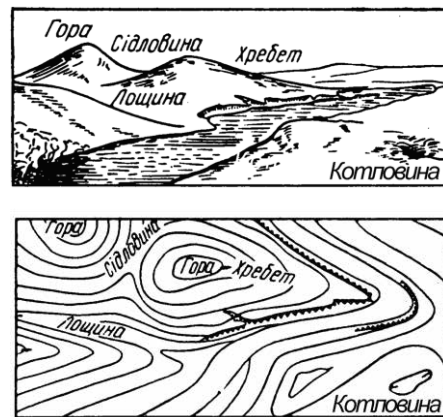


Рис. 4.8 Основні форми рельєфу

сторони. Найнижчу точку сідловини називають *точкою сідловини*. У горах через сідловини проходять дороги й стежки, тому їх називають перевалами

Вершина гори, дно котловини та найнижча точка сідловини є характерними точками, а вододіл і тальвег – характерними лініями рельєфу.

Горизонталі, якими зображують форми рельєфу у відповідності з прийнятою висотою перерізу називають *основними*. Ці горизонталі креслять тонкими суцільними лініями. Їхні висоти завжди кратні висоті перерізу рельєфу. Наприклад, за висоти перерізу $h = 2,5$ м позначки основних горизонталей мають значення 2,5; 5; 7,5; 10 м і т.д., за $h = 10$ м, відповідно, 10; 20; 30 м і т.д.

Основними горизонталями не завжди можна виразити всі деталі рельєфу. Для відображення його характерних особливостей часто через половину перерізу подовженими штриховими лініями проводять *напівгоризонталі*, а іноді, короткими штрихами, й допоміжні *чвертьгоризонталі* (рис. 4.7, б).

Слід зазначити, що самі горизонталі не завжди дають вірне уявлення про рельєф місцевості. Так, гора й котловина за горизонталями мають однакову форму й відрізнити їх можна тільки за напрямком схилів. Для цього на одній або декількох горизонталях проводять *скатштрихи* (*бергштрихи*), які вказують напрям стоку води по схилу.

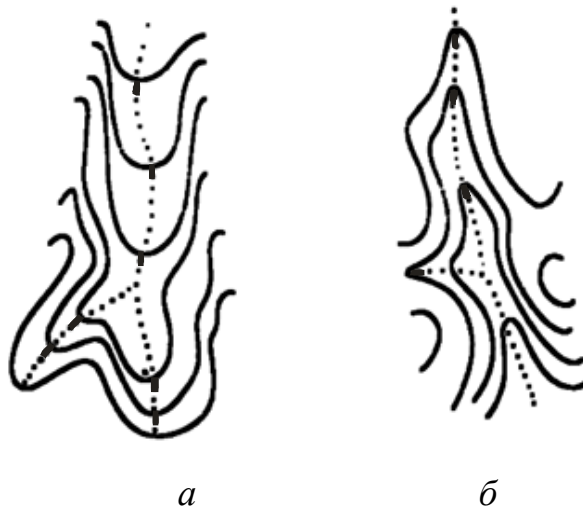


Рис. 4.9 Характерні лінії рельєфу:
а – вододіл; б – тальвег

Читання рельєфу полегшують також вказані на карті висоти характерних точок місцевості та висоти горизонталей. Останні підписують так, щоб основа цифри була направлена до підосви схилу.

Для зручності підрахунку горизонталей деякі з них проводять потовщеними. Це, як правило, горизонталі, позначки яких кратні 5 або 10 м.

Обриви, промивини, ями й круті схили ярів зображують на планах і картах зубцями, а насипи та виїмки – рисочками. Природні форми рельєфу показують коричневим кольором, а штучні – чорним.

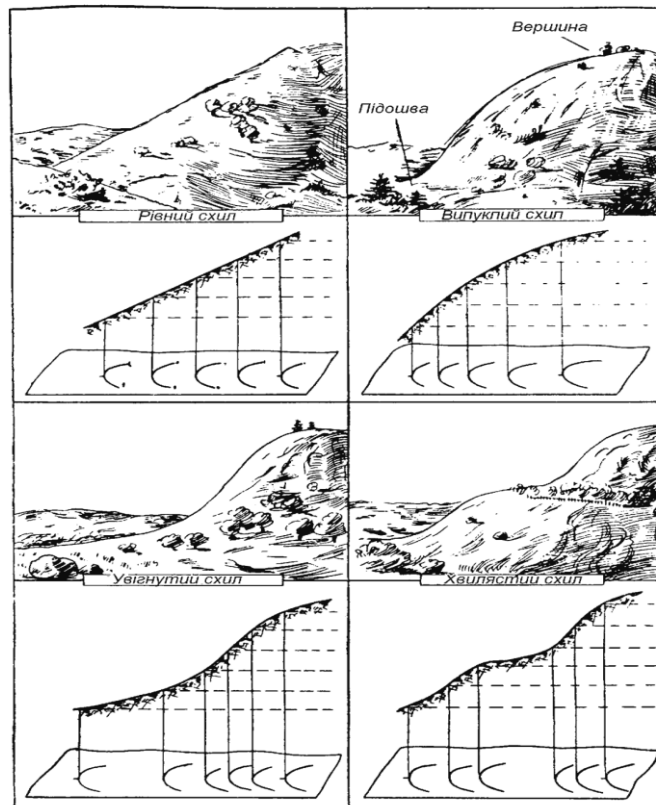


Рис. 4.10 Відображення форм схилів горизонталями

Читаючи по топографічній карті рельєф місцевості та вирішуючи інженерні задачі, потрібно враховувати властивості горизонталей. Основними з них є такі:

- усі точки місцевості, що лежать на одній горизонталі, мають однакові висоти. Сусідні суцільні горизонталі можуть відрізнитись за своїми позначками тільки на одну висоту перерізу або бути однаковими;

- горизонталі не можуть обриватись або перетинатись (рідке виключення з цього правила – нависаюча скеля в гірській місцевості);

відстані між горизонталями на плані чи карті характеризують форму і крутизну схилів місцевості: чим вона менша (чим менше закладення), тим стрімкіший схил. Розрізняють чотири форми схилів: рівний (прямий), випуклий, увігнутий і хвилястий (ступінчастий) (рис. 4.10). Рівний схил відображають горизонталями, відстань між якими однакова. Якщо схил випуклий, відстань між горизонталями зменшується від вершини до підощви. При увігнутому схилі, навпаки, зменшення відстані між горизонталями йде від підощви до вершини. Хвилястий схил являє собою чергування перших трьох форм.

Лекція 5. Розв'язування задач на топографічних картах

1. Визначення відстаней між заданими точками.

Відстані на карті можна вимірювати з графічною точністю 0,01 см. Довжину прямолінійного відрізка між точками на карті визначають, виходячи з її масштабу, за допомогою лінійки з міліметровими поділками або циркуля-вимірника та графічних масштабів – лінійного чи поперечного.

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

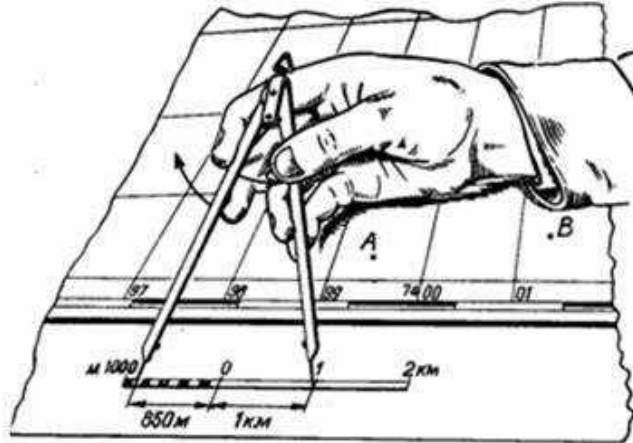


Рис. 5.1 Вимірювання відстаней циркулем-вимірником за лінійним масштабом

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.

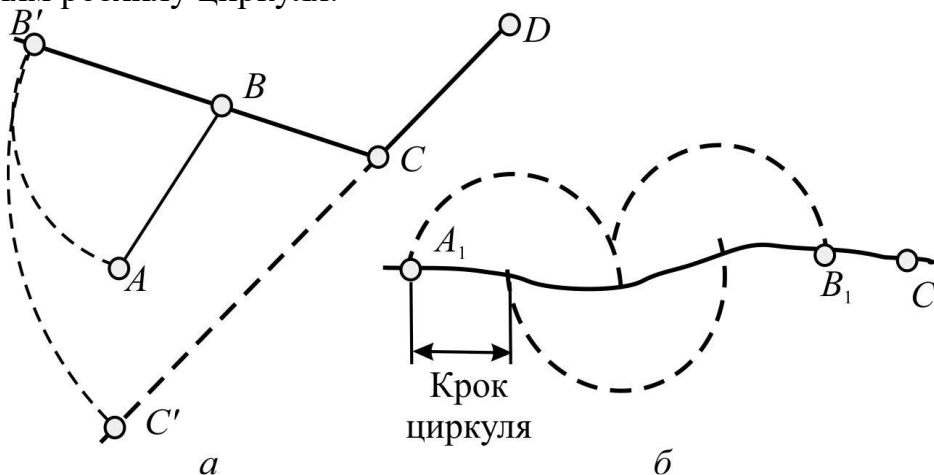


Рис. 5.2 Вимірювання довжини лінії: а – ламаної ABCD; б – кривої A₁B₁C₁; B'C' - допоміжні точки

Довжину ламаної лінії можна визначити як суму її прямих відрізків, набираючи їх послідовно у розхил циркуля-вимірника, а довжину звивистої лінії (річки, струмка, ґрунтової дороги) – спеціальним приладом – курвиметром (рис. 5.3). Рух коліщатка 1 по лінії через шестірню передається на циферблат 2, на якому й читають довжину лінії за шкалою, котра відповідає даному масштабу карти.

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, отримаємо точність 0,2 – 0,3 мм на 10 см довжини лінії.

2. Визначення масштабу карти.

Часто доводиться працювати не з цілою топографічною картою, а з її фрагментом, на якому відсутня інформація про масштаб. Його можна визначити кількома способами:

а) *за кілометровою сіткою.* Як було сказано вище, на топографічних картах нанесена кілометрова сітка, лінії якої проведені через ціле число кілометрів: через 1 км на картах масштабів 1:10000 – 1:50000, 2 км – 1:100000, 4 км – 1:200000. Для визначення масштабу карти лінійкою вимірюють відстань між ними й визначають, скільки метрів міститься в одному сантиметрі. Наприклад, на топографічній карті відстань між суміжними лініями кілометрової сітки дорівнює 2 см, на місцевості – 1 км. Звідси, одному сантиметру карти на місцевості відповідає 500 м. Отже, масштаб такої карти – 1:50000;

б) *за географічною сіткою.* Широти й довготи точок на топокарті знаходять за мінутною рамкою, утвореною двома паралельними лініями, розташованими на відстані 2 мм одна від одної і поділеними на мінутні інтервали. У наших широтах одній мінуті дуги меридіана приблизно відповідає відстань на місцевості 1855 м. Вимірявши довжину мінутного відрізка на східній або західній стороні рамки карти, обчислюють її масштаб. Наприклад, довжина однієї мінуты на східній рамці топографічної карти дорівнює 3,7 см. Звідси, $\frac{3,7\text{ см}}{185500\text{ см}} = \frac{1}{50135}$, що відповідає найближчому стандартному масштабу 1:50000;

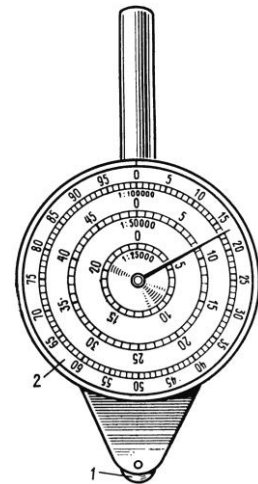


Рис. 5.3 Курвиметр:
1 – коліщатко;
2 – циферблат

в) за номенклатурою аркуша карти. Знаючи номенклатурне позначення аркушів топографічних карт різних масштабів, в основі якого лежить міжнародна карта масштабу 1:1000000, можна встановити масштаб даної карти (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Розграфлення топографічних карт і їх номенклатура

Масштаб аркуша карти	Вміщує аркушів		Розмір рамок аркуша		Номенклатурне позначення
	масштаб у	кількість	за широтою	за довготою	
1:1 000 000	–	1	4°	6°	M-36
	1:500 000	4	2°	3°	M-36-A
	1:300 000	9	1°20'	2°	IV-M-36
	1:200 000	36	40'	1°	M-36-XXII
	1:100 000	144	20'	30'	M-36-87
1:100 000	1:50 000	4	10'	15'	M-36-87-A
1:50 000	1:25 000	4	5'	7'30"	M-36-87-A-a
1:25 000	1:10 000	4	2'30"	3'45"	M-36-87-A-a-1

3. Визначення географічних координат точки.

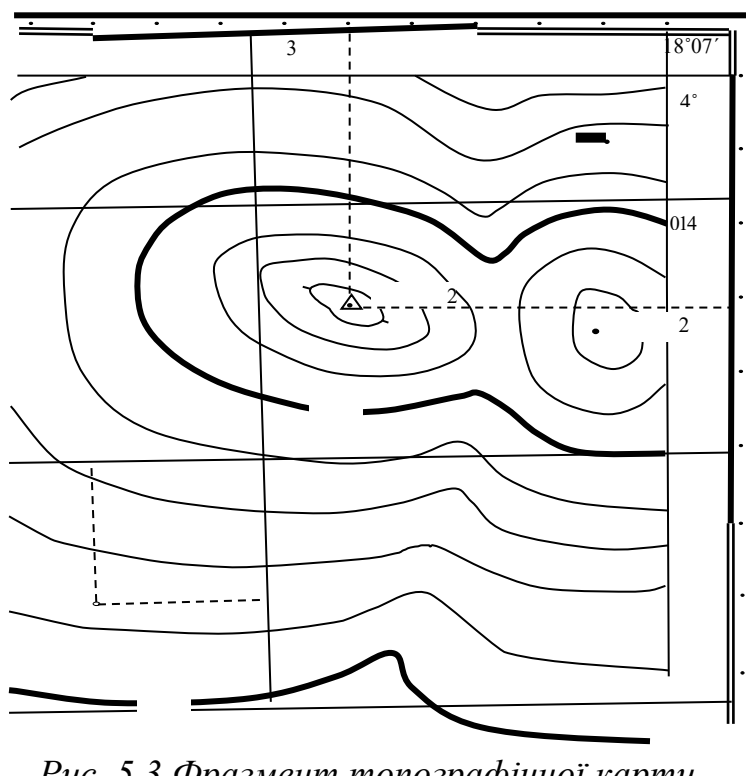


Рис. 5.3 Фрагмент топографічної карти

Географічну широту φ та довготу λ заданої на карті точки визначають за картографічною сіткою. По кутах внутрішньої рамки топографічної карти вказані широти та довготи її граничних ліній. Окрім того, що рамка географічної сітки карти розділена на мінутні відрізки, кожен із них крапками поділений на шість частин по 10" кожна. Географічні координати точки знаходять, опустивши з неї перпендикуляри на мінутну рамку. Так, довгота зображеного на фрагменті

топографічної карти (рис. 5.3) пункту триангуляції з висотою 268,2 м – східна $18^{\circ}06'40''$, а широта – північна $54^{\circ}44'28''$.

4. Визначення прямокутних координат точки.

Поняття про зональну систему прямокутних координат дано у другій главі. Абсцису та ординату точки на топокарті знаходять за лініями кілометрової сітки. Кілометрові лінії, найближчі до кутів рамки аркуша карти, підписані повним числом кілометрів, решту – скорочено, останніми двома цифрами. Наприклад, підпис 6014 біля верхньої горизонтальної лінії (рис. 5.3) означає, що вона проходить на 6014 км північніше екватора. Перша цифра підпису 3010 – “3” біля крайньої вертикальної кілометрової лінії означає, що вона знаходиться у третій зоні. Наступні цифри “010” свідчать про те, що вона віддалена на захід від осьового меридіану цієї зони на 490 км (500–10). Для визначення прямокутних координат точки з неї опускають перпендикуляри на найближчі сторони квадрата і до значень їхніх абсциси й ординати додають визначені за масштабом відстані від них до основ цих перпендикулярів. Наприклад, координати точки *M* на даному фрагменті такі:

$$X = 6012450 \text{ м}; Y = 3009535 \text{ м.}$$

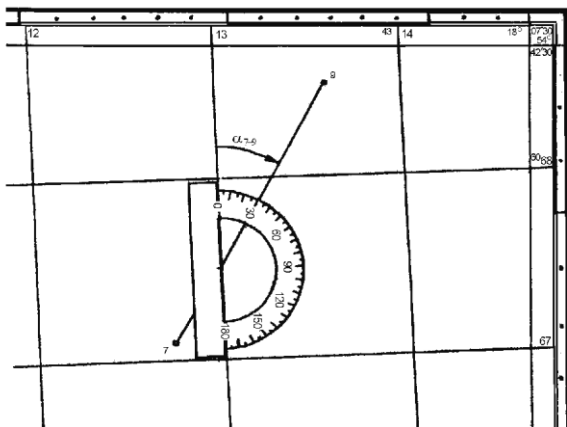


Рис. 5.4. Визначення дирекційного кута лінії

5. Визначення дирекційних кутів, істинних та магнітних азимутів і румбів.

Для визначення дирекційного кута лінії через її початок проводять пряму, паралельну до вертикальної лінії кілометрової сітки, або продовжують цю лінію до перетину з найближчою лінією кілометрової сітки і вимірюють кут транспортиром. Наприклад, для визначення дирекційного кута лінії 7–8 (рис. 5.4) транспортир накладають на карту так, щоб його нульовий штрих співпав з точкою перетину даного

напрямку з вертикальною лінією кілометрової сітки (у даному випадку – 4313), а краї лінійки транспортира сумістились би з нею. Відрахований від лінії кілометрової сітки за ходом годинникової стрілки кут α є дирекційним кутом даної лінії – $\alpha_{7-8} = 31^{\circ}15'$. Визначаючи дирекційні кути, слід пам'ятати, що кожна лінія має два напрямки – прямий та зворотний і, відповідно, прямий та зворотний дирекційний кути, які відрізняються між собою на 180° .

Для визначення істинного (географічного) азимута A необхідно знати зближення меридіанів (гауссове зближення) γ_2 , величина якого залежить від віддаленості даної точки від осьового меридіану зони й може мати значення від 0° до $\pm 3^{\circ}$. Значення γ_2 наводяться в лівому кутку під південною рамкою топографічної карти (рис. 5.5). Для східної половини зони значення гауссового зближення меридіанів вважається додатним, а для західної – від'ємним. Якщо

відомий дирекційний кут лінії, то істинний азимут буде дорівнювати: $A = \alpha + \gamma_2$.
 У наведеному прикладі зближення меридіанів західне, тобто $\gamma_2 = -2^\circ 22'$, тоді

$$A_{7-8} = \alpha_{7-8} + \gamma_2 = 31^\circ 15' + (-2^\circ 22') = 28^\circ 53'.$$

Геодезичне зближення меридіанів з достатньою для топографічних цілей точністю визначається за формулою:

$$\gamma = (L_k - L_n) \sin \frac{B_n + B_k}{2}, \quad (5.1)$$

де B_n, B_k, L_n, L_k – відповідні широти й довготи початкової та кінцевої точок лінії.

Для визначення магнітного азимута A_m необхідно знати величину схилення магнітної стрілки δ .

Залежність між магнітним A_m та істинним A азимутами та дирекційним кутом виражається формулою:

$$A_m = A - \delta = \alpha + \gamma_2 - \delta. \quad (5.2)$$

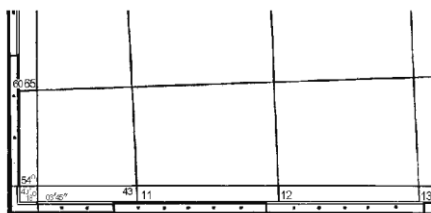
Схилення магнітної стрілки та її річна зміна вказуються на топографічних картах у нижньому лівому куті (рис. 5.5). Обчислюючи магнітний азимут, обов'язково враховують річну зміну схилення. У нашому випадку схилення магнітної стрілки дано на 1965 рік ($+6^\circ 12'$), річна його зміна східна $0^\circ 02'$, отже, за станом на 2005 рік воно дорівнюватиме:

$$\delta = 6^\circ 12' + 0^\circ 02' \cdot (2005 - 1965) = 7^\circ 32'.$$

Тоді:

$$A_m = 28^\circ 53' - 7^\circ 32' = 21^\circ 21'.$$

б. Вирішення задач за горизонталями



Схилення на 1965 р. східне $6^\circ 12'$.
 Середнє зближення меридіанів західне $2^\circ 22'$. При прикладанні бусолі (компасу) до вертикальних ліній координатної сітки середнє схилення магнітної стрілки східне $8^\circ 36'$. Річна зміна схилення східна $0^\circ 02'$. Поправка в дирекційний кут при переході до магнітного азимуту мінус $8^\circ 36'$.



Рис. 5.5 Визначення кутів орієнтування та їх взаємозв'язок

Визначення висоти перерізу рельєфу. Висоту перерізу рельєфу h на топографічних картах завжди вказують внизу аркуша, під лінійним масштабом. Для карт одного масштабу вона є постійною. Якщо працюють із фрагментом карти, на якому відсутні дані про прийнятну висоту перерізу рельєфу, то її можна визначити:

а) за горизонталями з підписаними висотами. Знаходять на одному схилі дві підписані горизонталі й різницю їхніх висот ділять на кількість проміжків між ними. На рис. 5.3 на одному схилі підписані позначки горизонталей 225 та 250 м, а між ними – 5 проміжків. Отже, висота перерізу рельєфу на цій карті: $h =$

25 м : 5 = 5 м. Допоміжні та напівгоризонталі при підрахунку не враховуються.

б) за двома точками з відомими висотами. На одному схилі знаходять дві точки з підписаними висотами й різницю цих висот ділять на кількість горизонталей, розміщених між ними. Одержане число буде близьким до висоти перерізу рельєфу. Наприклад, розділивши різницю позначок вершини гори (261,7 м) та розташованої на схилі будівлі (240,4 м) на кількість горизонталей між ними, отримують $21,3 \text{ м} : 4 \approx 5,3 \text{ м}$ (рис. 5.3). Отже, висота перерізу рельєфу – 5 м.

Визначення висот горизонталей. Розв'язуючи цю задачу, до уваги беруть напрям схилу, висоту перерізу рельєфу, підписи висот характерних точок та горизонталей. Наприклад, на зображеному на рис. 5.6 а фрагменті карти найближча до вершини гори горизонталь має позначку 245 м: вона менша від висоти гори й кратна висоті перерізу рельєфу (5 м). Щоб визначити висоту горизонталі з точкою N (рис. 5.6 б), до уваги беруть напрям схилу, який визначають за підписом позначки горизонталі (основи цифр направлені в сторону пониження). Отже, висота цієї горизонталі дорівнює: $200 \text{ м} - 3 \times 10 \text{ м} = 170 \text{ м}$.

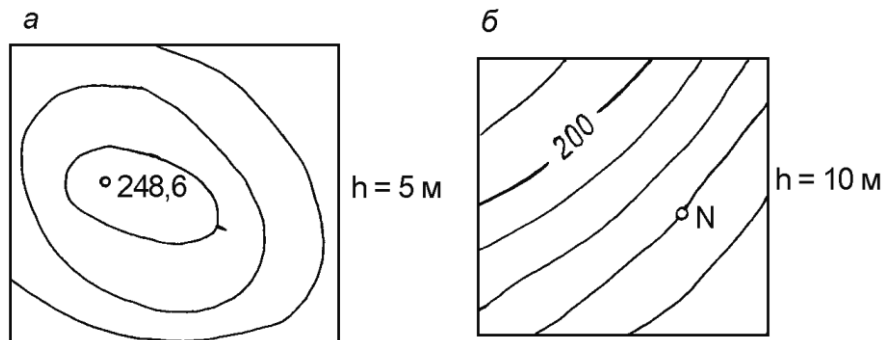


Рис. 5.6 Визначення позначок (висот) горизонталей:
а – за висотою точки; б – за позначкою горизонталі

Визначення висот точок місцевості за горизонталями. Якщо точка лежить на горизонталі, вона має її висоту. Висоту точки, розташованої між горизонталями, знаходять способом інтерполяції за найкоротшим напрямком між цими горизонталями. Наприклад, відстань від точки С до горизонталі з позначкою 155 м по найкоротшому напрямку дорівнює 36 м. Закладання d (відстань між горизонталями) по цьому ж напрямку дорівнює 60 м. Перевищення точки С над горизонталлю 155 за $h = 2,5 \text{ м}$ складає $(36:60) \times 2,5 = 1,5 \text{ м}$.

Отже, $H_C = 155 + 1,5 = 156,5 \text{ м}$ (рис. 5.7). Як правило, визначаючи висоту точки місцевості, відстань від неї до горизонталі оцінюють “на око”. Наприклад, висота точки М, розміщеної на третині відстані між горизонталями з висотами 230 та 235 м (рис. 5.3), становить 231,7 м.

Визначення ухилів та кутів нахилу ліній місцевості. Стрімкість схилу в геодезії виражають кутами нахилу або ухилами. *Кутом нахилу* називають вертикальний кут ν , утворений лінією місцевості та горизонтальною площиною.

Ухил лінії i – це відношення перевищення між висотами її кінців до горизонтальної проекції. Як правило, його виражають у тисячних (‰), а часом – у відсотках (%). У верхній частині рис. 5.8 зображений вертикальний розріз ділянки місцевості по лінії АВ, де катет прямокутного трикутника h є перевищенням між точками А і В, а катет d – горизонтальним прокладанням лінії АВ. Отже, ухил лінії АВ – це тангенс її кута нахилу:

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}. \quad (5.3)$$

Залежно від знаку перевищення, ухил може бути додатним або від'ємним.

Для визначення ухилу довжину лінії на карті визначають за допомогою циркуля-вимірника й масштабної лінійки, а перевищення – за різницею висот її початку та кінця.

Наприклад, дві точки А та В (рис. 5.9) мають висоти $H_A = 87,5$ м, $H_B = 90,0$ м, а відстань між ними $d = 100$ м. Ухил цієї лінії дорівнює:

$$i = \frac{90,0 - 87,5}{100} = +0,025 = +25 \text{ ‰}.$$

Кути нахилу, що не перевищують 20° – 25° , можна обчислити за формулою:

$$\nu = \frac{h}{d} \rho,$$

де $\rho = 57,3^\circ (\operatorname{arctg} i)$.

У наведеному прикладі $\nu = 0,025 \times 57,3^\circ = 1^\circ 26'$.

Спрощує визначення кутів нахилу графік закладань, який розміщують у правому нижньому кутку топографічної карти. Цей графік показує залежність між величиною закладання схилу та кутами нахилу (рис. 5.10): довжини вертикальних відрізків між горизонтальною основою графіка та розміщеною над нею кривою дорівнюють закладанню при певному значенні кута нахилу, яке вказане під основою. Закладання для побудови графіка обчислюють за формулою:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} \nu} = h \cdot \operatorname{ctg} \nu, \quad (5.4)$$

де h – висота перерізу рельєфу.

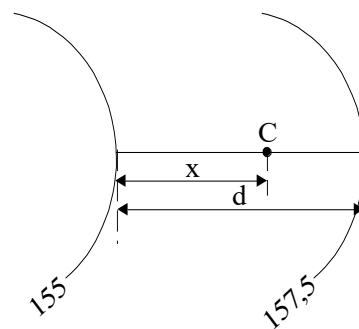


Рис. 5.7 Визначення висоти точки за горизонталями

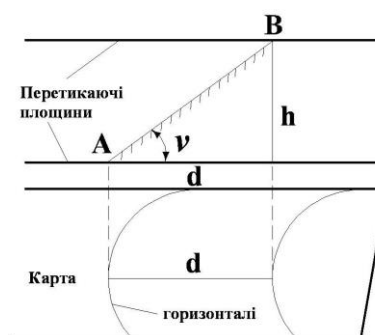


Рис. 5.8. Ухил лінії АВ

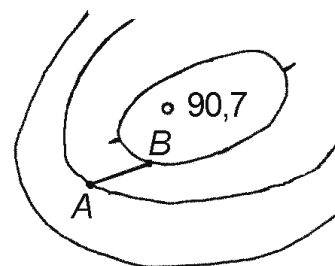


Рис. 5.9 Визначення ухилу лінії

Набравши у розхил циркуля-вимірника закладання лінії, його ведуть по графіку так, щоб одна голка рухалась по горизонтальній лінії до тих пір, поки друга не досягне кривої. Тоді внизу читають кут нахилу цієї лінії (на рис. 5.10 він дорівнює $1^{\circ}30'$).

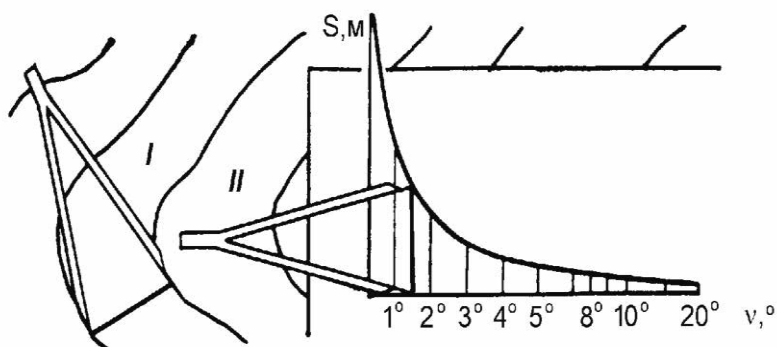


Рис. 5.10 Визначення стрімкості схилу за допомогою графіка закладань

На карті графік закладань складається із двох частин (рис. 5.10). Одну з них, побудовану для основної висоти перерізу, яка прийнята для даної карти, використовують для визначення кутів нахилу між двома сусідніми горизонталями; другу, із збільшеною в десять разів висотою перерізу рельєфу, для визначення кутів нахилу стрімких схилів, коли в розхил циркуля-вимірника набирають десять горизонталей.

Проведення лінії заданого ухилу. Під час проектування доріг та інших інженерних споруд виникає необхідність проведення на плані або карті лінії із заданим граничним ухилом. Наприклад, між точками К і L (рис. 5.11) на карті масштабу 1:10000 із висотою перерізу рельєфу $h = 2,5$ м потрібно запроектувати дорогу за найкоротшим напрямом з граничним ухилом $i = 0,025$. Заданому ухилу відповідає закладання $d = h : i = 2,5 : 0,025 = 100$ м (1 см на карті).

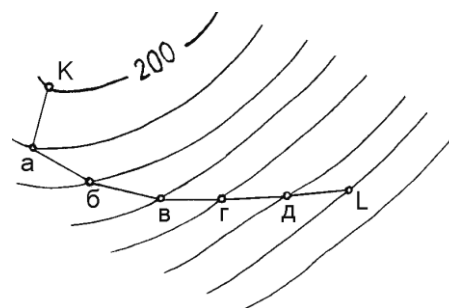


Рис. 5.11. Проведення лінії заданого ухилу

Розхилом циркуля-вимірника, який відповідає обчисленому значенню d , від початкової точки К послідовно роблять засічки на сусідніх горизонталях у точках а, б, в і т. д. за напрямом траси на точку L. Ламана лінія, яка з'єднує ці точки, і є лінією заданого ухилу.

Побудова профілю за заданим на карті напрямом. Для побудови профілю місцевості за заданою на карті лінією АВ (рис. 5.12) відмічають і нумерують точки її перетину з горизонталями та характерні точки рельєфу, які вона перетинає. На аркуші міліметрового паперу проводять лінію умовного горизонту й переносять на неї місцеположення всіх намічених точок. Нижче цієї лінії креслять спрощену профільну сітку, куди у відповідні графи вписують визначені за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки відстані між точками та їхні висоти. Відмітку лінії умовного горизонту беруть із таким розрахунком, щоб

точка профілю з мінімальною висотою розмістилася на 2–3 см вище від неї. На побудованих угору від позначених на лінії умовного горизонту точок перпендикулярах відкладають у вибраному вертикальному масштабі їхні висоти. Ламана лінія, яка з'єднає кінці отриманих відрізків, і є поздовжнім профілем місцевості за наміченим напрямом.

Визначення водозбірної площі, висоти греблі та площі дзеркала ставка. Потреба у розв'язуванні даної задачі пов'язана з проектуванням та будівництвом штучних водойм, мостів, інших гідротехнічних споруд. Водозбірною площею (басейном) називають обмежену лініями вододілу територію, із якої вода атмосферних опадів стікає до даної штучної споруди. На рис. 5.13 такою спорудою є запроєктована в лощині по лінії АВ гребля. Водозбірна площа обмежена лініями вододілу AN та BM, лінією, яка проходить через вершини M, N і точку сідла C, та самою греблею. Площу території у межах визначеного контуру визначають планіметром або палеткою.

Максимальну висоту греблі можна встановити за різницею позначок верхніх її точок А і В та дна лощини. На даній топографічній карті з висотою перерізу рельєфу $h = 2,5$ м вона дорівнюватиме:

$$H_{gp} = 180 - 176 = 4 \text{ (м)}.$$

Водне дзеркало майбутнього ставка обмежене горизонталлю з позначкою 180 м та греблею АВ. Його площу, як і площу басейну, можна визначити за допомогою палетки або планіметра.

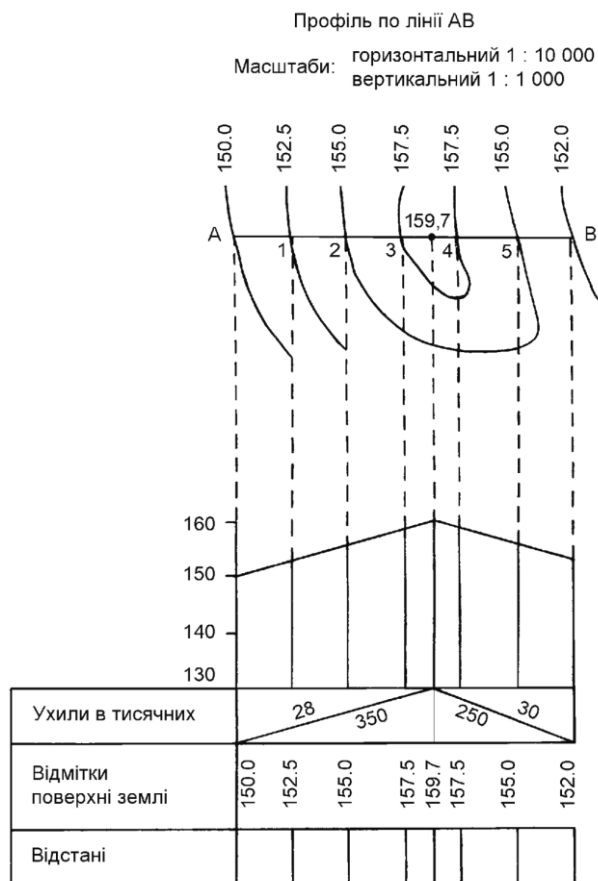


Рис. 5.12 Побудова профілю по лінії АВ

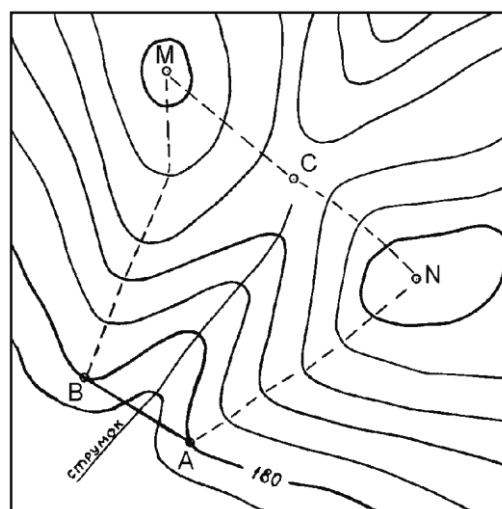
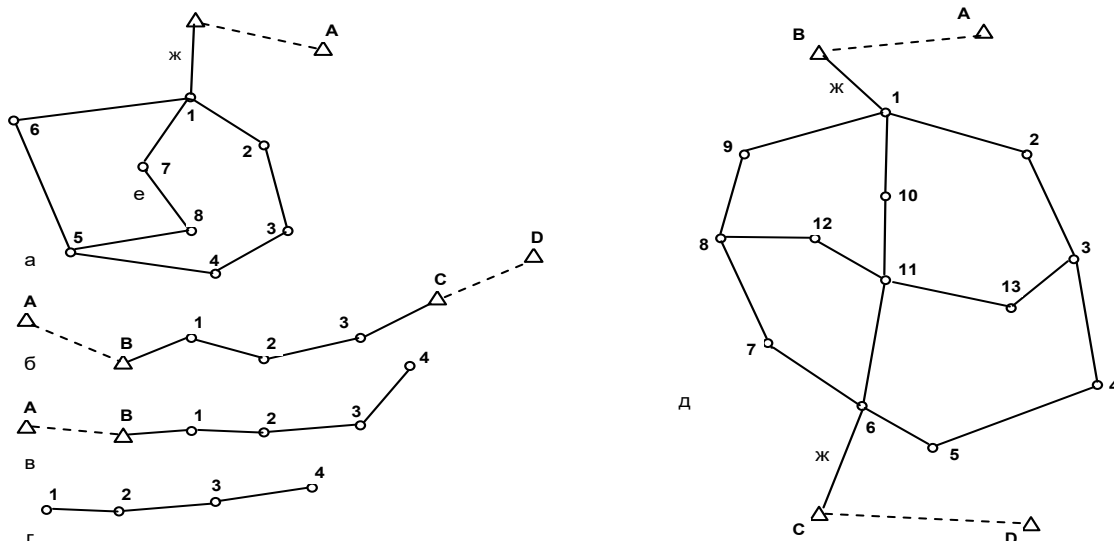


Рис. 5.13 Визначення площ водозбору та водного дзеркала

Лекція 6. Будова та принцип роботи теодолітів.

1. Загальні поняття про теодолітне знімання місцевості

Теодолітним зніманням називають сукупність польових вимірювань, які виконуються теодолітом та іншими інструментами для одержання контурного плану місцевості. Воно є основним видом горизонтального знімання, в результаті



Теодолітні ходи:

а) зімкнений (полігон); б) розімкнений; в) висячий; г) вільний; д) система ходів з вузловими точками; е) діагональний; ж) прив'язувальний. А, В, С, D – вихідні геодезичні пункти; 1, 2, 3 ... – точки ходів

якого отримують планові положення точок (прямокутні координати). Його застосовують на рівнинній місцевості з метою складання і коригування планів землекористувань сільськогосподарських і несільськогосподарських підприємств та організацій, а також фермерських господарств.

Для виконання роботи спочатку створюють опорну геодезичну мережу, а потім знімають подробиці місцевості (внутрішню ситуацію). Знімальною геодезичною мережею може слугувати сітка трикутників чи теодолітних полігонів, які складають групу суміжних багатокутників, або мережа теодолітних ходів, які повинні опиратись на геодезичні пункти з відомими координатами. Для порівняно невеликих ділянок знімальна мережа може бути представлена одним полігоном або одним ходом.

Прокладений всередині теодолітного полігона хід називають *діагональним*. Основним його призначенням є полегшення знімання внутрішньої ситуації, а також виявлення помилок вимірювання кутів.

У процесі підготовки до теодолітного знімання підбирають планово-картографічні матеріали минулих років, складають схеми розміщення пунктів державної геодезичної мережі, з каталогів виписують їхні координати.

Проводять перевірки приладів. Під час рекогносцировки оглядають місцевість, намічають напрям теодолітних ходів, кути повороту, ходи прив'язки. Вершини кутів мають бути зручними для встановлення теодоліта, з них повинні бути чітко видні сусідні точки та місцевість для знімання ситуації. Результати рекогносцировки оформляють у вигляді схеми ходів.

Точки повороту ліній закріплюють кілками, стовпами чи іншими знаками. Для вимірювання ліній застосовують сталеві мірні стрічки, рулетки, віддалеміри різних видів та інші прилади, які дозволяють вимірювати лінії з відносною похибкою не більше 1:2000 довжини лінії.

Кути в теодолітних полігонах і ходах вимірюють з помилкою не більше 0,5' (30").

Разом з теодолітами у процесі знімання внутрішньої ситуації використовують екліметри, екери, бусолі (гоніометри).

2. Теодоліти, їх класифікація та будова

Теодоліт – геодезичний прилад, призначений для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів, відстаней і кутів орієнтування.

Теодоліти бувають різних конструкцій, але основні частини в усіх типах теодолітів і їх призначення однакові (рис. 6.1).

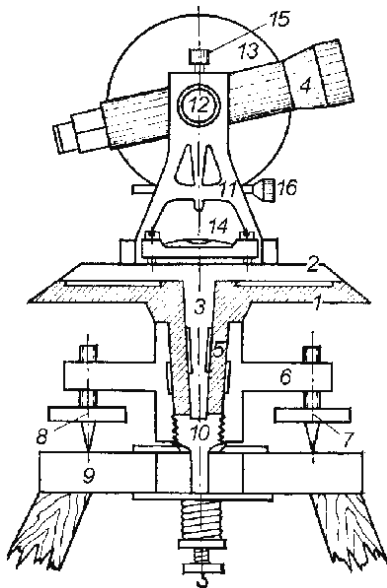


Рис. 6.1 Будова теодоліта

Штатив 9 служить для встановлення приладу над вершиною кута. До верхньої його частини (головки) за допомогою *станового гвинта 10* прикріплюють теодоліт. На головку штатива опирається *підставка (трегер) 6* з трьома *піднімальними гвинтами 7, 8*, якими прилад приводять у горизонтальне положення. Роль горизонтальної площини, на яку проектують напрями ліній під час вимірювання кутів, виконує нижній круг теодоліта – *лімб 1*, градусні поділки якого підписані від 0° до 360° за ходом годинникової стрілки. Проекції напрямів ліній відмічають на нерухомому під час вимірювання кута лімбі за допомогою другого круга – *алідади 2*, вісь обертання якої *3* називають *вертикальною віссю теодоліта*. Алідада має *відліковий пристрій*

у вигляді штриха або шкали, за допомогою якого читають відлік по лімбу. Лімб з алідадою складають *горизонтальний круг* теодоліта.

До верхньої площини алідади прикріплені дві *колонки 11*, в яких закріплена вісь зорової труби. Разом із *зоровою трубою 4* навколо *горизонтальної осі 12* при нерухомій алідаді обертається лімб *вертикального круга 13*, яким вимірюють кути нахилу ліній.

Для приведення вертикальної осі теодоліта у прямовисне положення слугують один або два *рівні 14*, прикріплені до алідади або до колонки труби. Циліндричним рівнем оснащена також і алідада вертикального круга.

Зорова труба має закріплювальний 15 і навідний 16 гвинти. Першим з них закріплюють трубу перед читанням відліків, а другий, який ще називають мікрометричним, дозволяє повільно й плавно обертати трубу під час візування на потрібну точку. Такі ж гвинти мають лімба і аліада горизонтального круга.

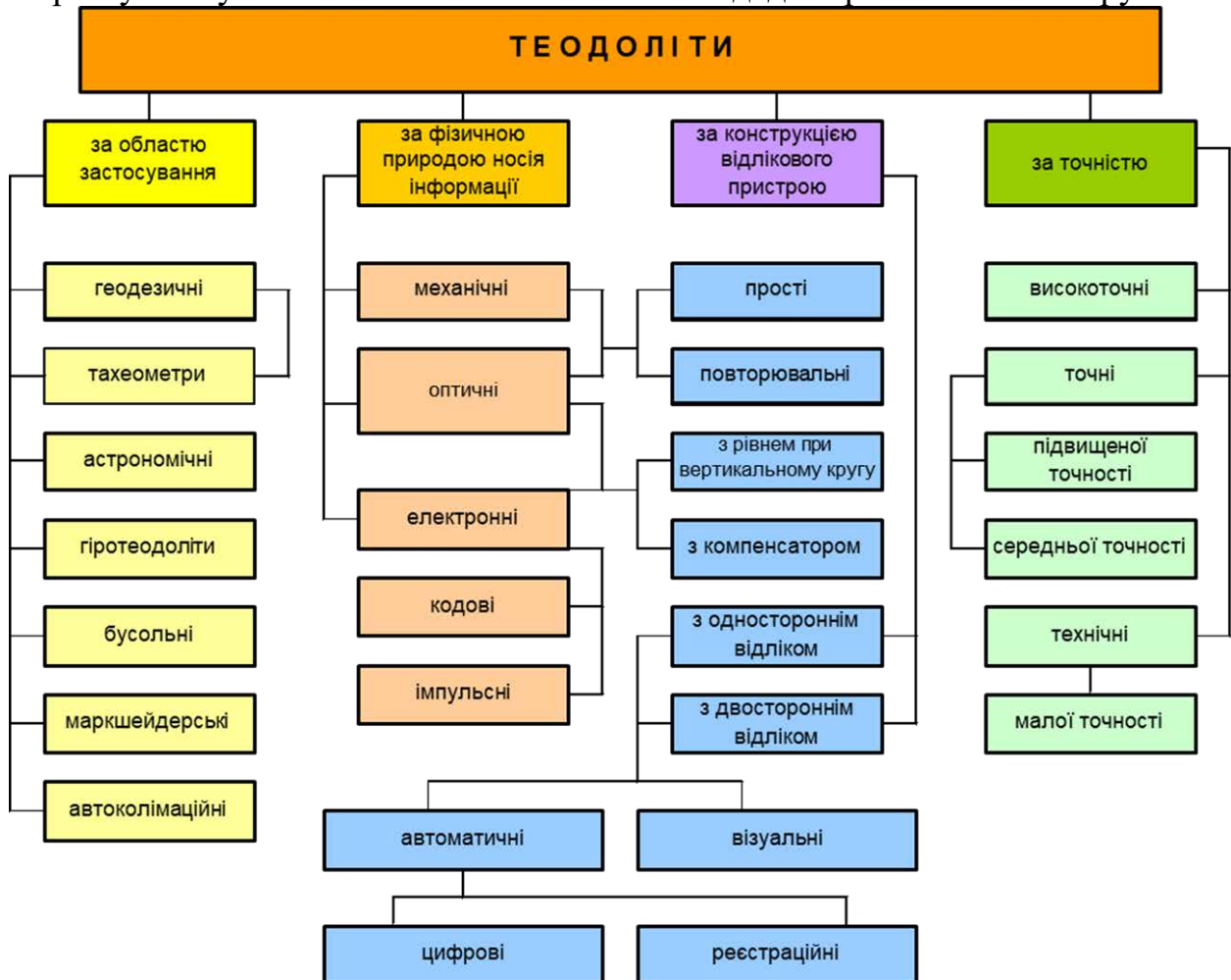


Рис. 6.2 Класифікація теодолітів

До теодолітів додається кругла або прямокутна *орієнтир-бусоль*, яку кріплять до колонки зорової труби і яка слугує для вимірювання магнітних азимутів ліній. Для полегшення читання відліків теодоліти оснащують мікроскопами або лупами.

Згідно з ДЕСТ 10529-86, теодоліти поділяють на *високоточні* (Т1, Т2), *точні* (Т5, Т15), *технічні* (Т30). Технічна характеристика вітчизняних теодолітів різної точності наведена у табл. 6.1.

Існує багато інших теодолітів вітчизняного та зарубіжного виробництва, які за точністю відповідають наведеним маркам приладів. Так, до групи високоточних теодолітів відносяться ОТ-02, УВК, УВКТ, ДКМ-3, ДКМ-3А, Т-3, які мають таку ж точність, як теодоліт Т1, теодоліти 2Т2, 2Т2А, ТБ-1, ТБ-3, Theo-010, Theo-010А, 3Т2КП, ТеВ1, ТеВ3, точність яких – 2". До точних теодолітів належать 2Т5, 2Т5К, 2Т5КП, 3Т5КП, Theo-020, Theo-020А, точність яких – 5", та

T15K, T15MK, Theo-080, Theo-080A з точністю 15". Технічними теодолітами є 2Т30, 2Т30П, 4Т30П, Theo-120.

Таблиця 6.1

Технічна характеристика теодолітів

Параметр	T1	T2	T5	T15	T30
Середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом, секунд					
горизонтального	1	2	5	15	30
вертикального	1,5	3	12	25	45
Поле зору труби, градусів	1	1,5	1,5	1,5	2
Збільшення зорової труби, разів	30–40	25	25	25	18
Межі вимірювання вертикальних кутів, градусів	+60 ↔ -55				
Маса теодоліта, кг	11	5	4,5	3,5	3

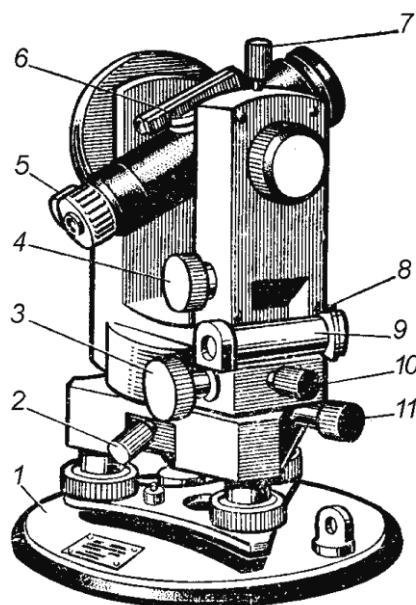


Рис. 6.3. Оптичний теодоліт Т-30:

- 1 – основа теодоліта (дно футляра); 2 – закріплювальний гвинт горизонтального круга (лімба); 3 – навідний гвинт алідади горизонтального круга; 4 – навідний гвинт зорової труби; 5 – окуляр штрихового мікроскопа; 6 – оптичний візир; 7 – закріплювальний гвинт зорової труби; 8 – виправний гвинт циліндричного рівня; 9 – циліндричний рівень; 10 – закріплювальний гвинт алідади горизонтального круга; 11 – навідний гвинт горизонтального круга (лімба)

В інженерній геодезії застосовують технічні теодоліти, здебільшого теодоліт Т30 та його модифікації. Теодоліт Т30 дозволяє вимірювати горизонтальні кути з точністю до 30". Його будова показана на рис. 6.3.

За конструктивною особливістю відрізняють *прості* теодоліти (лімб наглухо прикріплений до підставки) та *повторювальні* (лімб може повертатись навколо своєї осі). У даний час теодоліти випускають із скляними кутомірними кругами та оптичною системою, яка передає зображення поділок лімба й відлікових пристроїв у поле зору розміщеного поруч із зоровою трубою мікроскопа. Такі теодоліти називають *оптичними*. До них відноситься і теодоліт Т30 та його модифікації. У теодолітів старих конструкцій, наприклад, ТТ-5, ТТ-50 кутомірні круги – металеві. Для читання відліків у кожусі цих теодолітів вирізані віконця, через які видно частину лімба та алідаду (рис. 6.4).

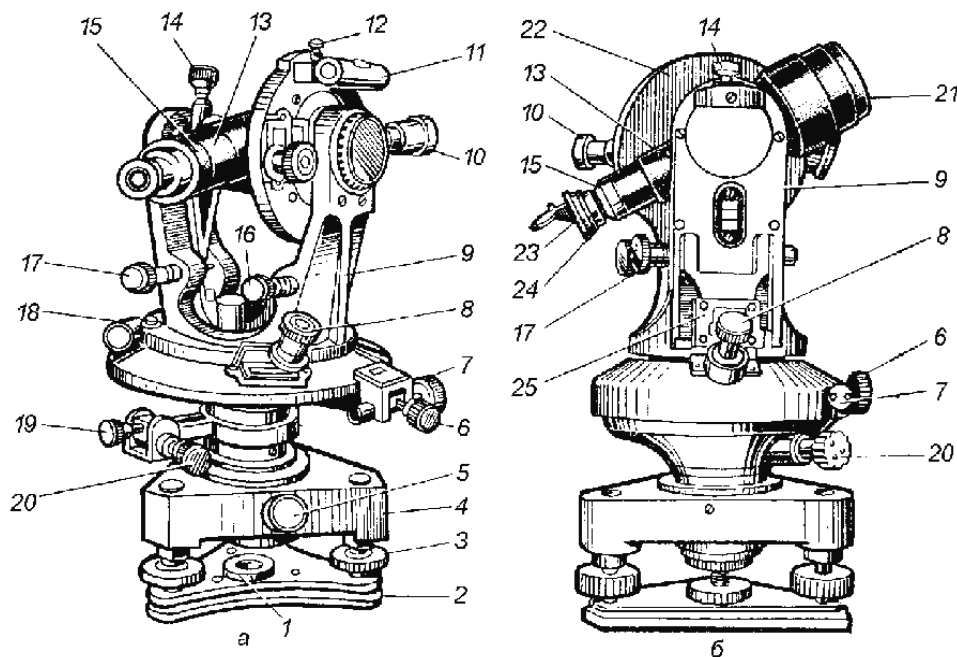


Рис. 6.4. Теодоліти з металевими кругами:

а – ТТ-50; б – ТТ-5; 1 – гайка станового гвинта; 2 – пластина; 3 – підіймальний гвинт; 4 – підставка; 5 – закріплювальний гвинт підставки; 6 – закріплювальний гвинт алідади; 7 – навідний гвинт алідади; 8 – луна для читання відліків по верньєру; 9 – підставка зорової труби; 10 – луна вертикального круга; 11 – рівень алідади вертикального круга; 12 – штифт для насадки бусолі; 13 – кільце кремальєри; 14 – закріплювальний гвинт зорової труби; 15 – ковпачок сітки ниток; 16 – навідний гвинт рівня алідади вертикального круга; 17 – навідний гвинт труби; 18 – рівень горизонтального круга; 19 – закріплювальний гвинт горизонтального круга; 20 – навідний гвинт горизонтального круга (лімба); 21 – об'єктив зорової труби; 22 – вертикальний круг; 23 – призма для спостереження високих предметів; 24 – окулярна трубка; 25 – пластинка для підсвічування верньєрів

Деякі модифікації базових марок теодолітів оснащені компенсаторами – пристроями, які забезпечують автоматичне приведення візирної осі зорової труби в горизонтальне положення. До марки теодоліта в цьому випадку додають букву К (наприклад, Т15К). Здебільшого зорові труби теодолітів дають обернене зображення. Проте є модифікації приладів, у яких зорові труби з прямим

зображенням. До марки теодоліта у такому разі додають букву П (наприклад, 2Т30П).

Останнім часом у геодезичній практиці все ширше застосування знаходять **електронні теодоліти**, в яких оптико-механічна конструкція оптичного теодоліта поєднана з електронною кутомірною системою. Результати вимірювань зчитуються автоматично й виводяться на цифрове табло або автоматично реєструються в нагромаджувачі інформації. Нахил вертикальної осі, колімаційна похибка, місце нуля вертикального круга враховуються автоматично. До найвідоміших фірм, які випускають електронні теодоліти, слід віднести швейцарську LEICA (теодоліти Т-3000, ТМ-5000, якими вимірюють кути з точністю 0,5"-0,6"), японські фірми SOKKIA та NICON, перша з яких пропонує електронні теодоліти DT-2, DT-4, DT-5 і DT-6, а друга – NE-1, NE-10L, NE-10LA, NE-1020S, точність вимірювання кутів якими від 1" до 20". На ринку України присутні електронні теодоліти американської фірми Hewlett-Packard та швейцарської KERN. Використання електронних теодолітів суттєво спрощує та пришвидшує польові спостереження, а також робить вимірювання менш суб'єктивними.

Лазерним називають теодоліт, в якому паралельно або вздовж візирної осі зорової труби направлений вузький пучок лазерного випромінювання. Лазерні теодоліти дозволяють підвищити продуктивність інженерно-геодезичних робіт під час будівництва споруд, розбивочних робіт, монтажу та встановлення промислового обладнання.

3. Кутомірні круги. Пристрої для читання відліків

Для вимірювання кутів теодолітом треба вміти правильно прочитати відлік по лімбу. У теодолітів різних марок круг лімба поділено на 360, 720, 1080, або 2160 поділок, кожна з яких відповідає 1° або 30', 20', 10'. Градусну величину однієї поділки лімба називають її **ціною**.

Поділки на лімбі підписані через 1, 5 або 10°. На рис. 6.5 показано поле зору *штрихового мікроскопа*, розміщеного поруч з окуляром зорової труби оптичного теодоліта Т-30, на якому видно відліковий штрих і частину лімбів вертикального (позначено літерою В), та горизонтального (позначено літерою Г) лімбів. Поділки на обох лімбах підписані через 1°, а інтервал між градусними поділками розділено на 6 рівних частин. Отже, ціна поділки обох лімбів становить 10'. Відлік мінут в межах поділки оцінюється на око. Ціна поділки лімбів горизонтального та вертикального кругів теодолітів з *шкаловим мікроскопом* (теодоліти 2Т30, Т15 та інші) дорівнює 1° (рис. 6.6). Довжина шкали, за допомогою якої беруть відліки, дорівнює довжині поділки лімба. Вона розділена на 12 поділок по 5' у кожній. Десяті частки мінути оцінюють "на око". Поділки шкали вертикального круга мають подвійні підписи: зверху для додатних відліків, знизу – для від'ємних. Знак відліків визначається знаком штриха лімба.

Наприклад, на рис. 6.5 у межах шкали знаходиться поділка лімба 0° зі знаком "–", отже відлік читають за нижніми цифрами зправа наліво.

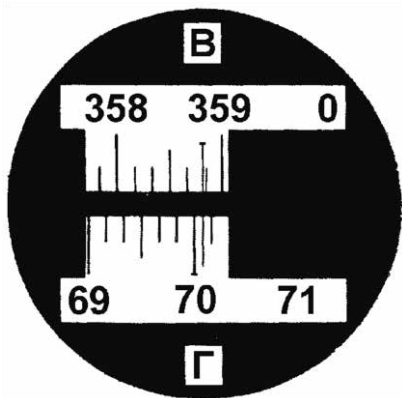


Рис. 6.5. Поле зору штрихового мікроскопа теодоліта Т30.
Відліки: по горизонтальному колу – $70^{\circ}05'$; по вертикальному – $358^{\circ}48'$

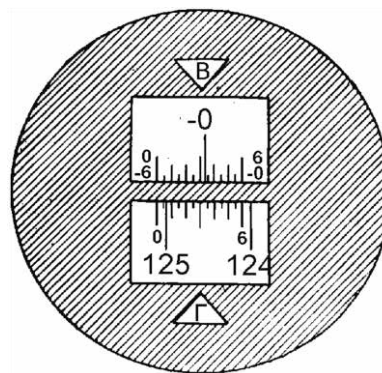


Рис. 6.6. Поле зору шкалового мікроскопа теодоліта 2Т30.
Відліки: по горизонтальному колу – $125^{\circ}06'$; по вертикальному – $-0^{\circ}27'$

У деяких типів теодолітів (наприклад, ТТ-5, ТТ-50) відліковим пристроєм слугує **верньєр (ноніус)** – допоміжна шкала, яка дозволяє оцінити частину поділки основної шкали. Різниця між цінами поділок лімба μ та верньєра ν називається точністю верньєра t :

$$t = \mu - \nu.$$

Для побудови верньєра з найменшою поділкою ν довжина його шкали з кількістю поділок n має дорівнювати такій же довжині дуги лімба з кількістю поділок $n - 1$, тобто $\nu \cdot n = \mu(n - 1)$. Звідси

$$\nu = \frac{\mu(n - 1)}{n}.$$

Підставивши значення ν , отримаємо величину точності верньєра:

$$t = \mu - \frac{\mu(n - 1)}{n} = \frac{\mu}{n}.$$

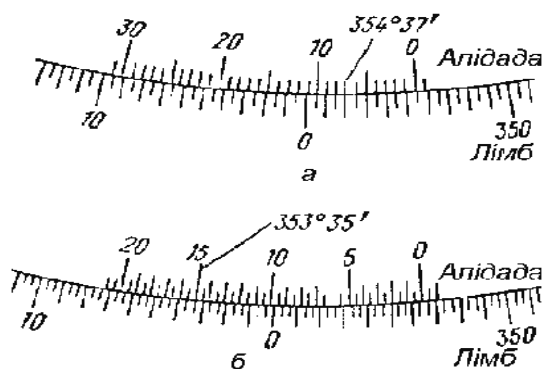


Рис. 6.7. Верньєри одномінутного (а) і тридцятисекундного (б) теодолітів

Таким чином, *точність верньєра дорівнює ціні поділки лімба поділений на кількість поділок алідади (верньєра)*. У теодоліта ТТ-50 $\mu = 20'$, а $n = 40$, отже, точність цього приладу – $30''$. Верньєр такого тридцятисекундного теодоліта показаний на рис. 6.7 б.

Відлік по верньєру складається з відліку по лімбу до нуля алідади та відліку по самій алідаді. На рис. 6.7, а відлік по лімбу – $354^{\circ}30'$. До нього додають відлік по алідаді. Його визначають по штриху, який точно співпав з якоюсь поділкою лімба. У

наведеному прикладі це сьомий штрих. Оскільки кожна поділка алідади містить $1'$, то відлік по ній – $7'$. Таким чином, загальний відлік – $354^{\circ}37'$.

Для підвищення точності читання відліків та усунення впливу *ексцентриситету* (несумісності осей лімба та алідади), відліки в теодолітах з металевими кутомірними кругами беруть за двома діаметрально розміщеними верньєрами. У журнал записують взятий по першому верньєру відлік градусів та середнє арифметичне значення мінут і секунд, прочитаних по двох верньєрах. Наприклад, відлік по першому верньєру – $135^{\circ}40'$, а по другому $41'$. Значення відліку, позбавленого ексцентриситету, буде $135^{\circ}40'30''$.

В оптичних теодолітів вплив ексцентриситету виключається вимірюванням кута за двох положень вертикального круга відносно зорової труби: за положення “круг праворуч” від труби (*КП*) і ліворуч від неї (*КЛ*).

У точних теодолітів, будова і принцип роботи яких розглядається в курсі вищої геодезії, відліковим пристроєм слугує *оптичний мікрометр*, а в сучасних електронних приладах відліки висвічуються на *дисплеї*.

4. Повірки теодоліта

Перед роботою потрібно переконатися у справності теодоліта: оцінити його зовнішній стан, дієздатність рухомих частин та окремих функціональних елементів, звірити комплектність теодоліта з технічним паспортом, перевірити зручність укладання його в футляр для перенесення.

Теодоліти мають відповідати певним оптико-механічним і геометричним умовам. Як вимірювальні прилади теодоліти регулярно повинні проходити метрологічний контроль та атестацію.

Під час попереднього огляду, який називають *випробуванням*, виявляють пошкодження оптичних і механічних частин теодоліта, перевіряють установку рівнів і виправних пристроїв, чіткість зображення та рівномірність освітлення у полі зору труби і відліковій системі. Підіймальні гвинти не повинні хитатись у підставці, а положення теодоліта на штативі має бути стійким. Обертання теодоліта навколо вертикальної осі й зорової труби навколо горизонтальної має бути вільним, а при роботі мікрометричними гвинтами – плавним. Вертикальний круг повинен бути міцно з'єднаним із зоровою трубою. Труба має давати чітке зображення, а при роботі кремальєрою положення її візирної осі має бути незмінним. Бульбашка рівня повинна пересуватись у трубці плавно.

Точні та високоточні теодоліти досліджують і випробовують за особливою програмою.

Після випробувань проводять *перевірки* відповідності осей теодоліта певним геометричним умовам. На рис. 6.8 наведена схема розміщення основних осей теодоліта: ZZ_1 – вертикальна вісь (головна вісь теодоліта); HH_1 – горизонтальна вісь (вісь обертання зорової труби); WW_1 – візирна вісь зорової труби; UU_1 – вісь циліндричного рівня.

При роботі з сучасними технічними теодолітами виконують наступні перевірки:

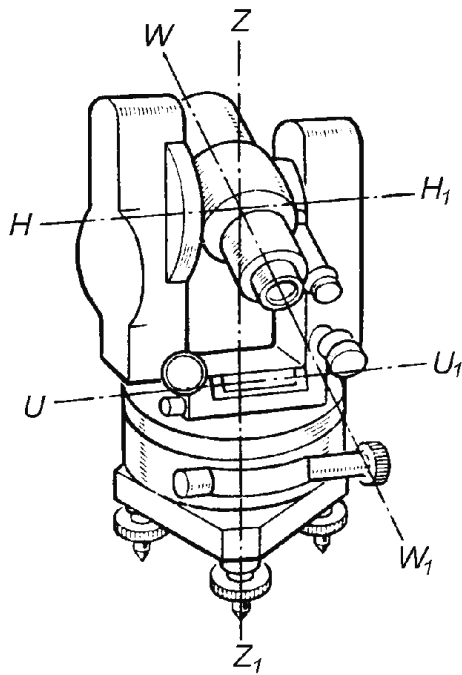


Рис. 6.8. Геометричні осі теодоліта

Останнім часом у геодезичній практиці широкого розповсюдження набули прилади, у яких рівні замінені *компенсаторами* – оптико-механічними пристроями у вигляді дзеркал, лінз та призм, вільно підвішених у приладі на шляху проходження світлового пучка від об'єкта до ока спостерігача. Використання таких пристроїв суттєво підвищує продуктивність роботи, однак знижує точність геодезичних зніманих.

2. Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі теодоліта (осі обертання зорової труби). Відхилення від цього положення до осі обертання називається *колімаційною похибкою* зорової труби. Вона має дорівнювати нулю або не перевищувати подвійну точність приладу. Для виконання перевірки перехрестя сітки ниток зорової труби наводять на добре видиму віддалену точку, розташовану приблизно на одній висоті з інструментом і беруть відліки по горизонтальному колу при крузі праворуч (КП) та ліворуч (КЛ) від

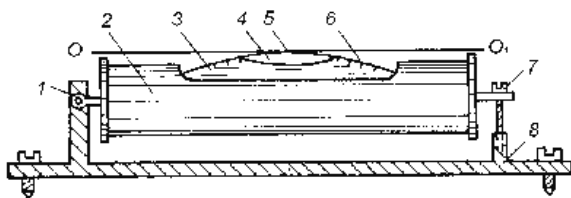


Рис. 6.9 Циліндричний рівень:

- 1 – шарнір; 2 – оправа; 3 – ампула;
- 4 – бульбашка; 5 – нуль-пункт шкали;
- 6 – шкала поділок;
- 7 – виправний гвинт; 8 – підставка

зорової труби. Різниця відліків повинна бути рівною 180° . Відхилення від цього вказує на наявність колімаційної похибки. Якщо вона перевищує подвійну точність приладу, положення візирної осі слід виправити. Для цього на горизонтальному крузі встановлюють середнє значення відліків, взятих при КП та КЛ. Зображення точки пересунеться з центра сітки ниток. Діючи бічними виправними гвинтами

сітки, суміщають перехрестя сітки ниток з точкою. Наприклад, відлік при наведенні на точку при положенні зорової труби *КП* був $204^{\circ}30'$, а *КЛ* – $24^{\circ}20'$. Різниця відліків склала $10'$. Мікрометричним гвинтом алідаду встановлюють на відлік, який дорівнює $24^{\circ}25'$. Знявши ковпачок, який закриває виправні гвинти сітки ниток і відпустивши вертикальні гвинти, горизонтальними гвинтами перехрестя сітки ниток суміщають з точкою наведення. Після цього перевірку повторюють.

3. Горизонтальна вісь обертання зорової труби має бути перпендикулярною до вертикальної осі теодоліта. Для перевірки цієї умови теодоліт встановлюють на відстані 10–20 м від стіни будівлі, на якій вибирають точку *1* під кутом 25 – 30° до горизонту (рис. 6.10). Наводять зорову трубу на цю точку й при положеннях зорової труби *КП* і *КЛ* проєктують її на нижню частину стіни, де позначають точки *2* і *3*. Якщо відстань між ними не перевищує подвійної ширини бісектора сітки ниток, умова вважається виконаною. У противному разі прилад ремонтують у майстерні.

4. Вертикальна нитка сітки повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі теодоліта. Вертикальну нитку суміщають із довільно вибраною точкою і повільно повертають трубу у вертикальній площині. Якщо вертикальна нитка сітки не зміщується з вибраної точки, то умова виконується. У противному разі, послабивши гвинти сітки ниток, діафрагму повертають у потрібну сторону й закріплюють гвинти.

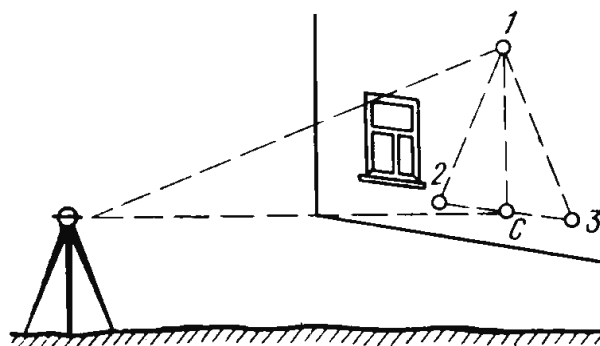


Рис. 6.10 Перевірка горизонтальності осі обертання труби

Лекція 7. Організація виконання теодолітного знімання.

1. Підготовчі роботи. Рекогностування

Для виконання роботи спочатку створюють опорну геодезичну мережу, а потім знімають подробиці місцевості (внутрішню ситуацію). Знімальною геодезичною мережею може слугувати сітка трикутників чи теодолітних полігонів, які складають групу суміжних багатокутників, або мережа теодолітних ходів, які повинні опиратись на геодезичні пункти з відомими координатами. Для порівняно невеликих ділянок знімальна мережа може бути представлена одним полігоном або одним ходом.

У процесі підготовки до теодолітного знімання підбирають планово-картографічні матеріали минулих років, складають схеми розміщення пунктів державної геодезичної мережі, з каталогів виписують їхні координати. Проводять перевірки приладів. Під час рекогностування оглядають місцевість, намічають напрям теодолітних ходів, кути повороту, ходи прив'язки. Вершини кутів мають бути зручними для встановлення теодоліта, з них повинні бути чітко

видні сусідні точки та місцевість для знімання ситуації. Результати рекогностування оформляють у вигляді схеми ходів.

Точки повороту ліній закріплюють кілками, стовпами чи іншими знаками. Для вимірювання ліній застосовують сталеві мірні стрічки, рулетки, віддалеміри різних видів та інші прилади, які дозволяють вимірювати лінії з відносною похибкою не більше 1:2000 довжини лінії.

Кути в теодолітних полігонах і ходах вимірюють з помилкою не більше 0,5' (30").

Разом з теодолітами у процесі знімання внутрішньої ситуації використовують екліметри, екери, бусолі (гоніометри).

2. Закріплення кутів поворотів, провішування ліній

Перш ніж вимірювати довжини ліній чи утворений ними кут, необхідно кінцеві точки цих ліній на місцевості закріпити й позначити. Якщо точка має тимчасове призначення, її закріплюють дерев'яним кілочком або металевим стержнем завдовжки 20–25 см. Часто навколо кілочка викопують канавку, щоб його легше було знайти, або забивають біля нього довший кілок – “сторожок”, на якому підписують номер точки. Під час знімання такі точки позначають дерев'яними віхами завдовжки 2,0–2,5 м, які виготовляють із сухого дерева. Віхи фарбують поперемінно через 20 см білою і чорною (червоною) олійними фарбами. Нижній кінець віхи затісують і одягають на нього металевий башмак, який полегшує установку віхи в ґрунт (рис. 7.1).

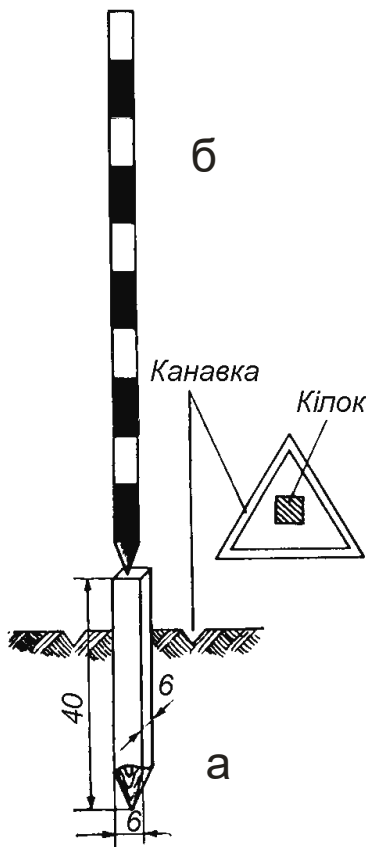


Рис. 7.1. Кілок і віха

За потреби зберегти точки протягом тривалого часу (наприклад, межові знаки землекористувань), їх закріплюють металевими чи азбестовими трубами, дерев'яними або бетонними стовпами. Для запобігання витяганню стовпа із землі в нижній його частині прикріплюють поперечний брусок (рис. 7.2, а). Верхній зріз стовпа обтісують на зрізаний конус і по центру верхньої основи його забивають цвях, головка якого і позначає точку. Навколо стовпа насипають ґрунт.

Пункти державних геодезичних мереж закріплюють спеціальними *центрами* – двома-трьома залізобетонними монолітами з вмонтованим у верхню основу чавунним диском (маркою). У центрі диска є отвір, який позначає точку місцевості. Моноліти встановлюють один над одним у котловані з таким розрахунком, щоб диск верхнього з них був розташований на 0,3 м нижче

поверхні землі, котлован засипають, обкопують канавою і зверху насипають курган.

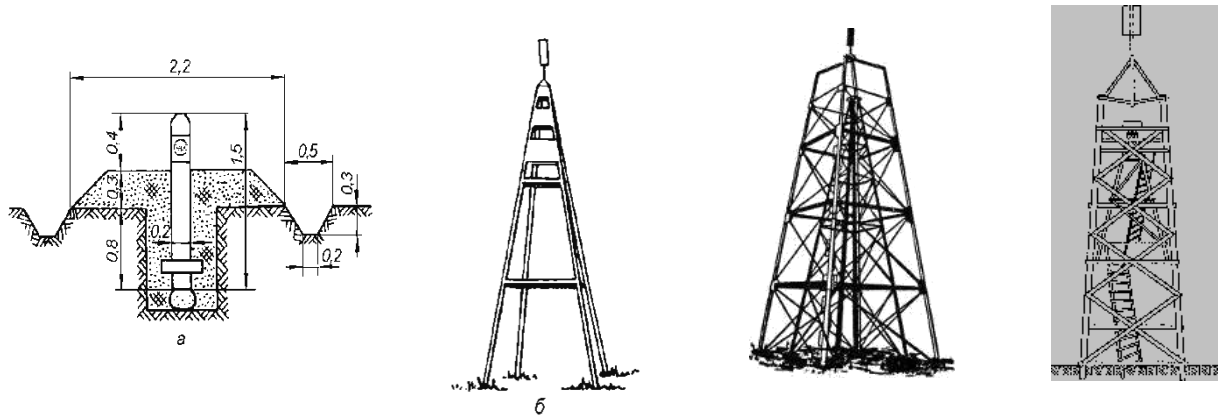


Рис. 7.2. Геодезичні знаки на місцевості:

а) межовий стовп; б) піраміда; в) сигнал звичайний; г) сигнал складний

Опорні пункти державних геодезичних мереж позначають постійними дерев'яними або металевими знаками – пірамідами (рис. 7.2, б) і більш складними спорудами – сигналами, заввишки у кілька десятків метрів (рис. 7.2, в, г).

Вимірюючи довжини ліній мірною стрічкою, слідкують за тим, щоб вона лягала у *створі* лінії, тобто у вертикальній площині, що проходить через кінці лінії. Тому, перед вимірюванням ліній довжиною більше 200 м рекомендується позначати створ через кожних 100–150 м додатковими віхами. Ця робота називається **провішуванням ліній**.

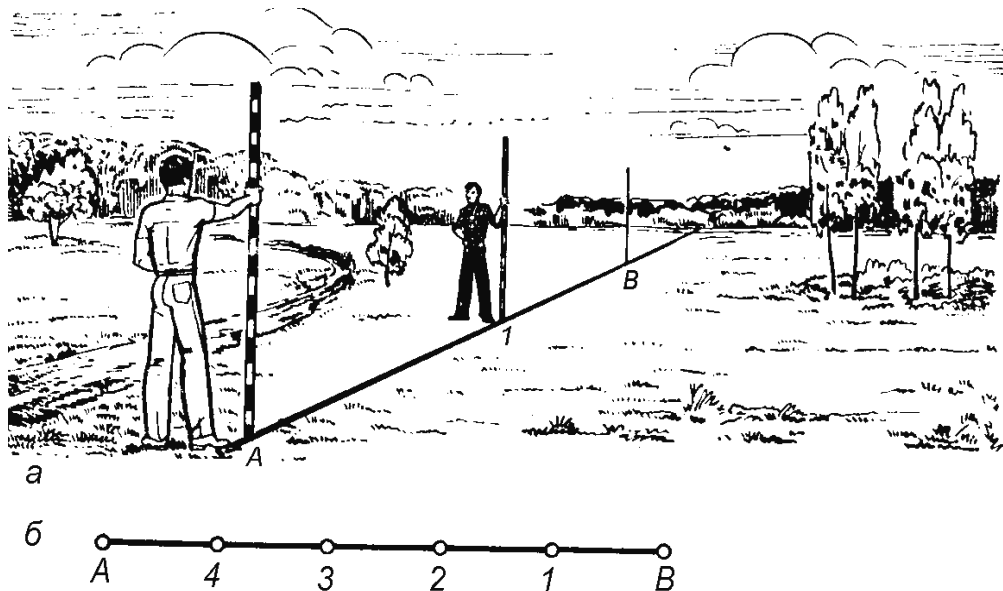


Рис. 7.3. Провішування ліній способами “на себе” та “від себе”

Встановити віхи в створі можна “на око” (якщо лінія не дуже довга) або за допомогою зорової труби приладу. Провішування можна виконати різними способами.

Провішування способом “на себе”. На початку і в кінці лінії AB встановлюють віхи. Роботу виконують два робітники. Один стає за встановленою у точці A віхою так, щоб вона закривала віху B . Другий робітник, відійшовши від кінця лінії кілька десятків метрів, за командою першого пересуває віху вправо або вліво та за умовним сигналом, коли віха опиниться в створі лінії AB , втикає її вертикально в землю (рис. 7.3, а). Аналогічно встановлюють віхи 2, 3, 4 і т. д.

Провішування “від себе” відрізняється від попереднього тим, що додаткові віхи у створі лінії встановлюють у зворотному порядку – від віхи A до віхи B : першою встановлюють віху 4, далі – 3, 2, 1 (рис. 7.3, б).

Провішування ліній “із середини” застосовують тоді, коли між кінцевими точками лінії є яка-небудь перешкода (горб, яр тощо).

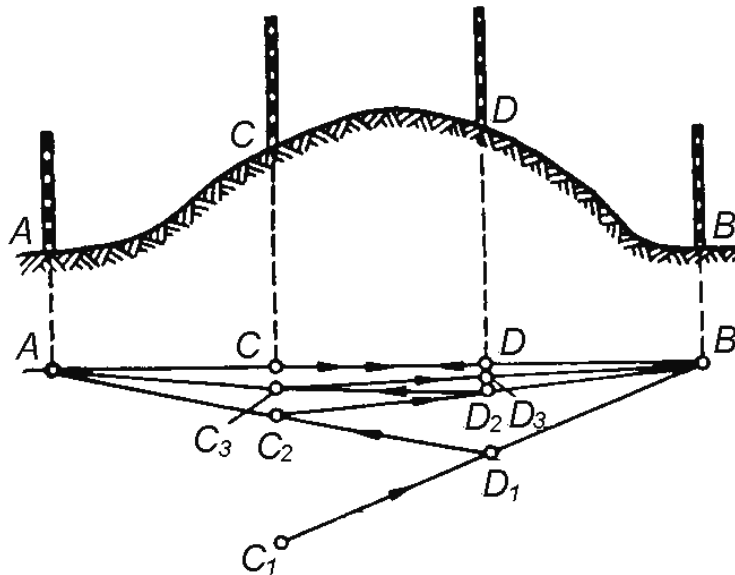


Рис. 7.4. Провішування лінії через горб способом “із середини”

Через горб лінію провішують послідовним наближенням до створу (рис. 7.4). Один робітник встановлює віху в точці C_1 , яка розміщена приблизно по лінії AB так, щоб з неї було видно віху B . Другий за його командою стає у точці D_1 , яка знаходиться у створі лінії C_1B , так, щоб бачити віху A . Після цього перший робітник за командою другого встановлює віху C_2 у створі D_1A так, щоб з точки C_2 було видно віху B . Аналогічно виставляють віхи D_2 , C_3 , D_3 і, нарешті, C і D .

Через лощину (яр) лінію провішують, поступово спускаючись її схилами (рис. 7.5). Один із робітників стає за віхою B і відправляє другого з віхою у точку I , яка знаходиться у створі віх A і B . Далі за віхами A і I встановлюють віху 2, за віхами – 1 і 2 – віху 3 і т. д.

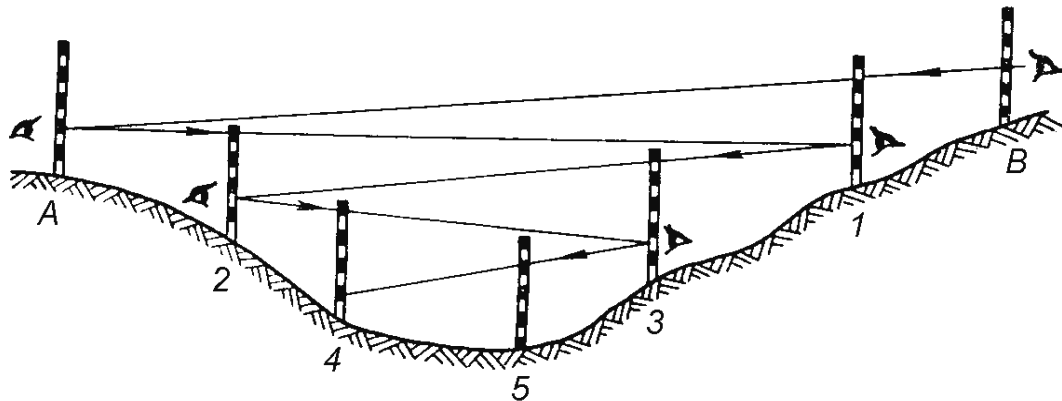


Рис. 7.5. Провішування лінії через лоцину

3. Прилади для вимірювання довжин ліній

За відсутності сучасних електронних приладів (електронних віддалемірів) довжини ліній вимірюють сталевими мірними стрічками, рулетками, дротами. Найчастіше застосовують штрихові та шкалові стрічки (рис. 7.6).

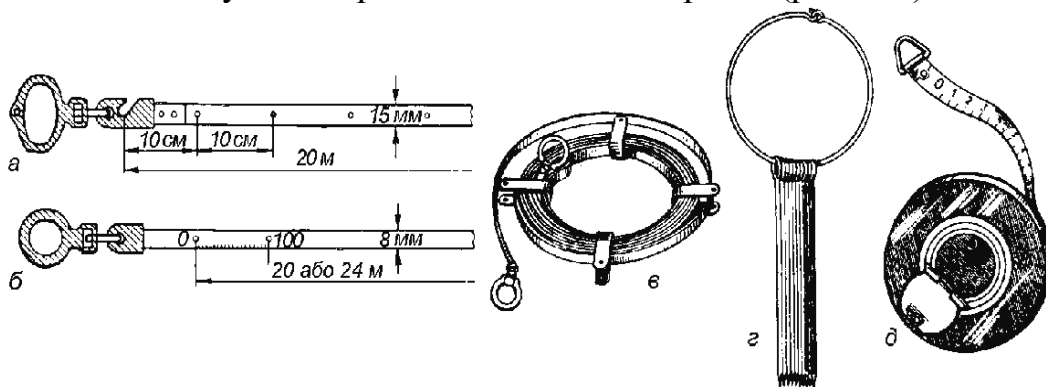


Рис. 7.6. Мірні стрічки і рулетка:

а – штрихова; *б* – шкалова; *в* – стрічка, змотана на кільце; *г* – шпильки; *д* – рулетка

Штрихова землемірна стрічка (рис. 7.6, а) має довжину 20 м, ширину 15–20 мм і товщину 0,3–0,4 мм. Металевими пластинками на стрічці позначено метрові поділки, наскрізними отворами – дециметрові. Рахунок метрів ведеться на одній стороні стрічки від одного її кінця, а на зворотній – від іншого. Довжиною стрічки вважається відстань між поперечними штрихами (рисками), які нанесено поруч з вирізами на кінцях стрічки. Для зручності транспортування стрічку змотують на залізне або пластмасове кільце. У комплект землемірної стрічки входять 6 або 11 металевих шпильок завдовжки 25–30 см.

Шкалову стрічку використовують для точніших вимірювань довжин ліній. Її довжина 20–24 м, ширина 6–10 мм і товщина 0,15–0,20 мм. На обох кінцях в межах другого дециметра нанесено міліметрові шкали завдовжки 100 мм кожна. У комплект такої стрічки входить додаткове обладнання – динамометри, ножі, голки, термометри.

Для вимірювання коротких ліній застосовують сталеві або тасьмові рулетки (рис. 7.6, д) завдовжки 5, 10, 20 і 50 м. Поділки на них нанесено на одній стороні стрічки через 1 см. Рулетки зручні в користуванні, але мають ряд недоліків. Зокрема, тасьмова рулетка витягується і часто рветься, сталева рулетка за роботи у вологих умовах швидко іржавіє. Крім того, на сталевих рулетках швидко витираються нанесені позначки. Помилки вимірювань ліній рулетками приблизно у півтора рази більші, ніж мірною стрічкою.

Перед початком вимірювання ліній мірну стрічку і рулетку треба звірити з еталоном. За еталон, як правило, слугує стрічка, довжина якої вивірена на спеціальному приладі – компараторі. Компаратори бувають лабораторними та польовими. На кінцях польового компаратора завдовжки 120 м врівень із землею закопують стовпчики або забивають металеві штирі, на яких позначають його початок та кінець. Точну довжину компаратора визначають шляхом багаторазових вимірювань.

Якщо звірення з еталоном покаже, що загальна довжина стрічки неправильна, то в результаті вимірів ліній слід вносити поправки. Довжина лінії в такому разі визначається за формулою:

$$l = 20n + m \pm nq, \quad (7.1)$$

де n – кількість повних стрічок в лінії; m – остача; q – помилка в довжині стрічки. Знак "+" беруть у тому разі, коли стрічка довша за еталон, а "-" – коли коротша. Помилкою остачі m нехтують.

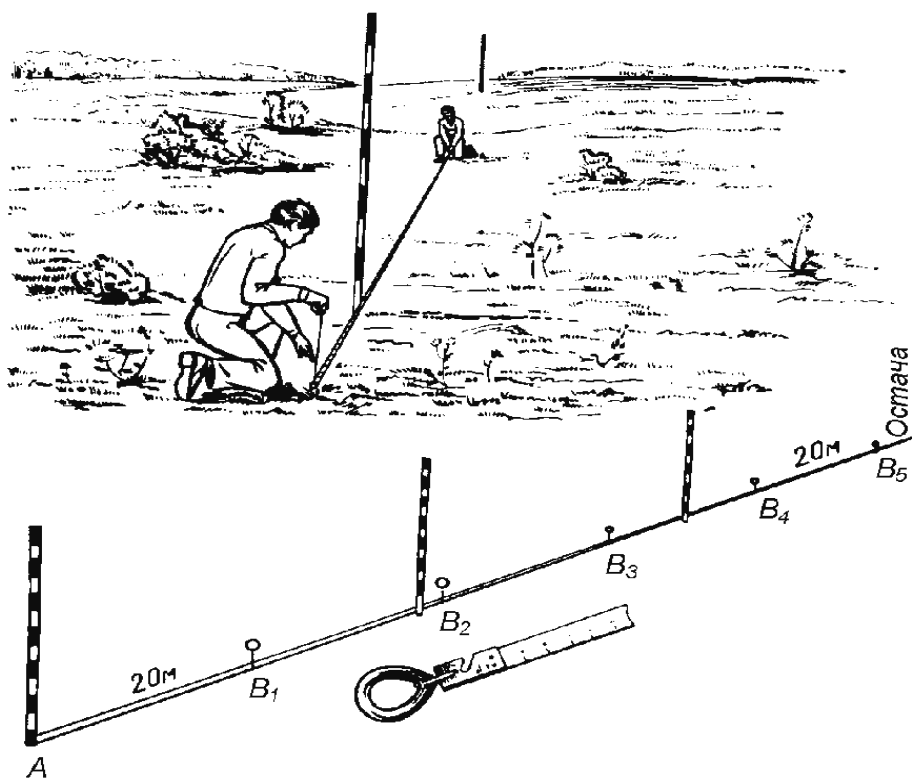


Рис. 7.7. Вимірювання лінії мірною стрічкою

Під час роботи мірну стрічку послідовно укладають вздовж провішеної лінії від її початку до кінця (рис. 7.7). Вимірювання виконують 2 робітники, задній з яких тримає кінець стрічки в початковій точці лінії А і спрямовує по лінії створу переднього, який натягує стрічку вздовж лінії і на другому кінці стрічки (навпроти штриха) встромлює в землю шпильку в точці В₁. Задній робітник знімає шпильку з точки А і рухається до точки В₁. Закріпивши кінець стрічки на шпильці в цій точці, він спрямовує переднього робітника по створу лінії. Натягнувши стрічку, той встановлює наступну шпильку на її кінці у точці В₂ і т. д. Коли у заднього робітника збереться 6 (100 м) або 11 (200 м) шпильок, він віддає їх передньому робітникові, у журналі робить відповідну відмітку й рахунок починається спочатку. У кінці лінії визначають її довжину з врахуванням остачі від останньої шпильки до кінця лінії з точністю до сантиметра.

Під час вимірювання стрічку слід укладати строго в створі лінії і натягувати із середнім зусиллям (10–15 кг). Для контролю кожен ліній вимірюють двічі. Допустиме розходження між двома вимірами однієї лінії залежить від рельєфу, стану поверхні ґрунту під час вимірювання і допускається в межах 1/1000 (за несприятливих умов) або 1/2000 і менше (за добрих умов), тобто 10 або 5 см на кожні 100 м довжини лінії.

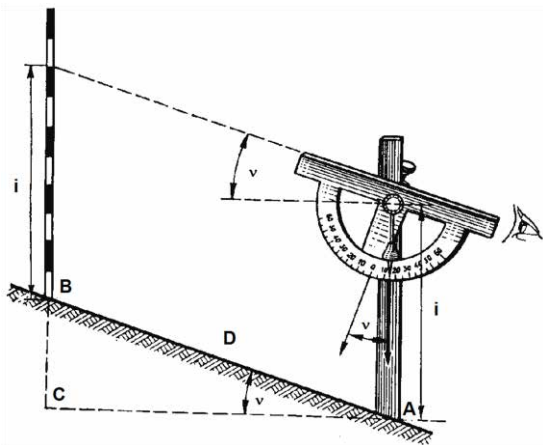


Рис. 7.8. Принцип роботи найпростішого екліметра

Як було зазначено вище, плани будують за горизонтальними проєкціями ліній. Для їх визначення потрібно знати кути нахилу цих ліній. Найпростішим приладом, який використовують для вимірювання кутів нахилу, є екліметр. Принцип вимірювання кутів нахилу v екліметром будь-якої конструкції можна зрозуміти з рис. 7.8.

У точці А встановлюють екліметр на підставці або тримають його рукою на висоті i . У точці В встановлюють віху, на якій позначають висоту i . За допомогою візирного пристрою (лінійки) екліметр наводять на цей знак i на шкалі екліметра читають кут нахилу.

На практиці найчастіше користуються екліметром конструкції Брандіса (рис. 7.9).

Вимірюючи кут нахилу цим екліметром, спостерігач наводить на умовну позначку віхи нитку предметного діоптра візирної трубки й натискає стопорну кнопку. При цьому диск з градусними поділками під дією вміщеного всередині тягарця почне коливатися. Коли диск заспокоїться, кнопку відпускають (гальмують диск) і проти нитки предметного діоптра через лупу читають по шкалі диска відлік з точністю до половини градуса ($30'$), який i є кутом нахилу.

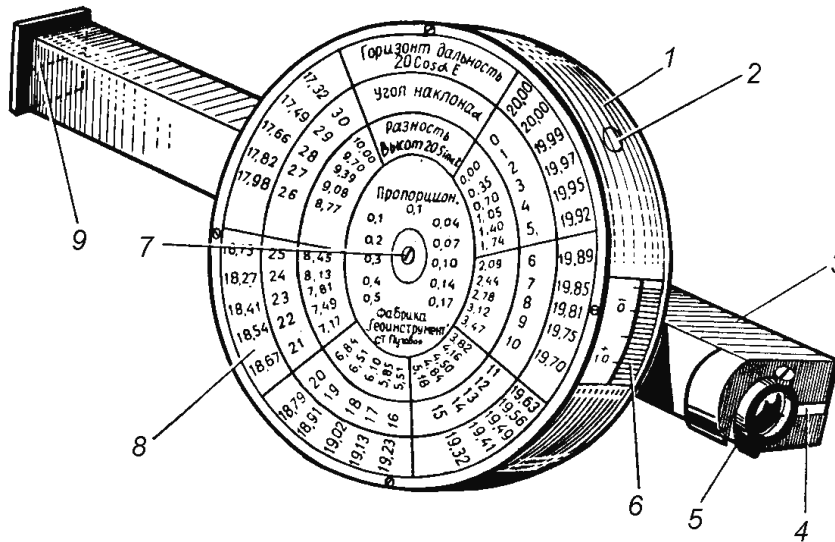


Рис. 7.9. Екліметр Брандіса:

1 – металева коробка; 2 – стопорна кнопка; 3 – візирна трубка;
4 – очний діоптр; 5 – лупа для читання відліків; 6 – диск із градусними

До простих інструментів, які використовують під час геодезичних знімачів належать *екери* – прилади для побудови на місцевості прямих кутів. Найпростішим з них є хрестоподібний екер. Він складається з двох взаємно перпендикулярних брусків, на кінцях яких вертикально встановлено голки *a*, *b*, *c*, *d*, які правлять за діоптри (рис. 7.10). Лінії візування *ab* і *cd* розміщені під прямим кутом одна до одної.

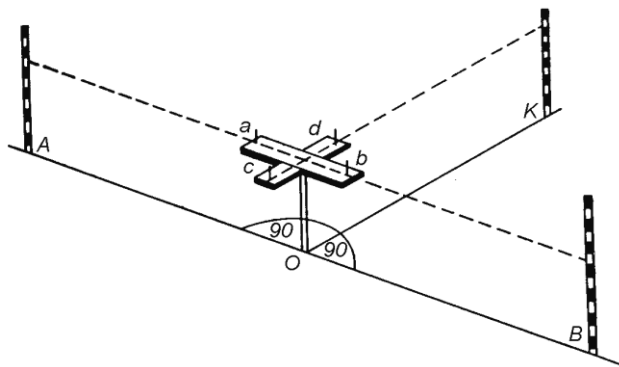


Рис. 7.10. Хрестоподібний екер

Екер прикріплюють до кілка висотою, близькою до висоти ока спостерігача у точці перетину центрів брусків. Для побудови перпендикуляра до лінії *AB* у точці *O* екер ставлять так, щоб візирна лінія *ab* проходила через віхи *A* і *B*. Після цього заходять з боку пари діоптрів *cd* і, візуючи по них, встановлюють віху в точці *K* по лінії візування. Щоб перевірити правильність побудови

перпендикуляра, екер повертають на 90° так, щоб у створі лінії *AB* були діоптри *cd*, а за двома іншими діоптрами встановлюють другу віху. Якщо вона співпадає з віхою *K*, то кути *AOK* і *BOK* є прямими. У протилежному разі віху встановлюють посередині між двома знайденими її положеннями.

Найпоширенішим у геодезичній практиці є дводзеркальний екер (рис. 7.11). Два його плоских дзеркала прикріплені до внутрішніх поверхонь, розміщених під кутом 45° пластинок коробки. У верхніх частинах цих пластинок прорізані віконця. Знизу до коробки прикріплена ручка з гачком для виска. Принцип будови екера пов'язаний із законом відбиття променів світла від плоских дзеркал. Промінь світла, відбившись від одного дзеркала, потрапляє на друге й відбивається від нього. Двічі відбитий промінь утворює з променем, який падає

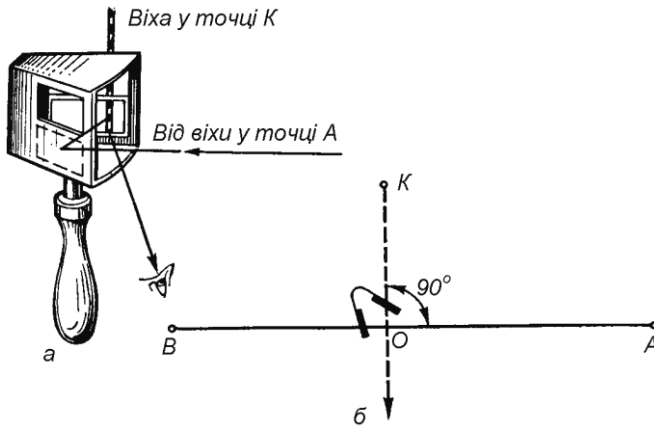


Рис. 7.11. Дводзеркальний екер і робота

на перше дзеркало, кут у два рази більший від кута між дзеркалами.

Для побудови прямого кута стають з дводзеркальним екером у точку O по лінії AB , на кінцях якої встановлено віхи A і B (рис. 7.11, б). Екер тримають так, щоб прикріплений до його ручки висок, був над точкою O й одне дзеркало було спрямоване в бік віхи A . Побачивши у другому дзеркалі відображення цієї віхи, спостерігач переміщує помічника з віхою K у таке положення, за

якого ця віха, яку видно через віконце в екері, зіллється (по вертикалі) з віхою A , яка відбивається в дзеркалі. Побудований кут KOA буде прямим.

Для проведення перпендикуляра з точки K на лінію AB (рис. 7.11, а) пересуваються з екером по лінії AB до тих пір, поки зображення віхи A у дзеркалі зіллється з видимою у віконці віхою K . Зупинившись у цьому положенні, під виском забивають кілок O , який і є основою перпендикуляра KO до лінії AB .

На практиці зустрічаються випадки, коли через якісь перешкоди (яр, річка, болото, будівля) не можна виміряти стрічкою відстань між точками. У цих випадках перешкоду можна обійти, відкладаючи екером чи якимсь кутомірним приладом прямі кути, або визначити відстань, використавши теорему синусів (відношення сторін трикутника дорівнює відношенню синусів протилежних кутів).

У першому випадку (рис. 7.12, а) довжину лінії AB визначають як суму довжин відрізків:

$$L_{AB}=l_1+l_2+l_3.$$

У другому випадку (рис. 7.12, б) відстань x визначають за базисом b_1 , який вимірюють стрічкою, та двома кутами α_1 і β_1 , які вимірюють теодолітом. Для контролю рекомендується виміряти й третій кут γ_1 . Трикутники мають бути такими, щоб кути навпроти базису та сторони, яку вимірюють, були в межах 30–

150°. Визначення відстані контролюють за результатами вимірювання другого базису b_2 та кутів α_2 і β_2 . За теоремою синусів знаходять:

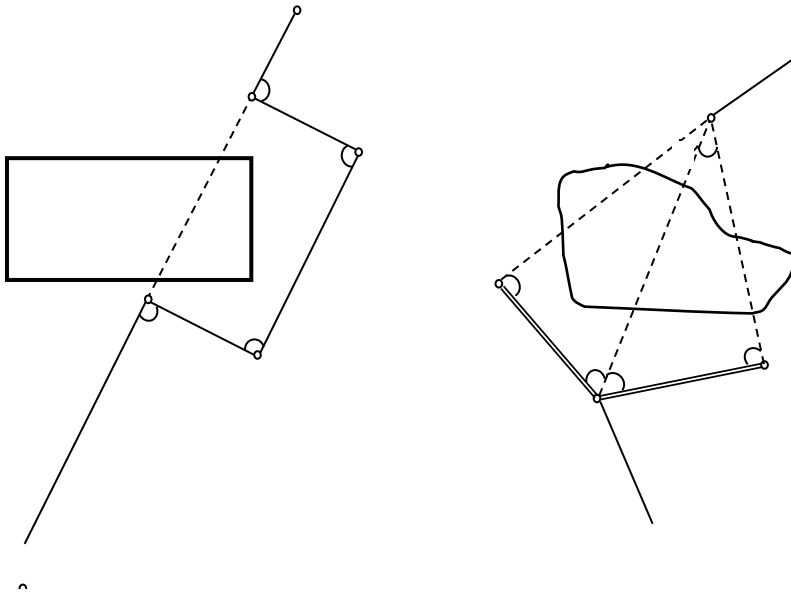


Рис. 7.12. Визначення недоступної відстані:
а) способом перпендикулярів; б) з використанням теорему синусів

$$x = \frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma_1} b_1; \quad x = \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma_2} b_2. \quad (7.2)$$

Відносна розбіжність між двома значеннями відстані не повинна перевищувати $\frac{1}{1000}$. Якщо це так – знаходять середнє значення з двох результатів.

Крім мірних стрічок, рулеток та інших приладів для безпосереднього вимірювання ліній застосовують віддалеміри – прилади, які дозволяють швидко й точно вимірювати відстань між точками місцевості непрямим способом. Застосування таких приладів особливо ефективно у важкодоступних районах, на заболоченій місцевості, за складного рельєфу, коли використання механічних приладів пов'язане зі значними ускладненнями або й зовсім неможливе. Існує багато типів віддалемірів. Одні з них виготовляють як самостійні прилади, інші – як насадки до зорових труб (віддалеміри подвійного зображення). За принципом роботи віддалеміри поділяють на радіофізичні, які дозволяють вимірювати відстань за часом її проходження світловим або радіосигналом, та оптичні, які ґрунтуються на законах геометрії та оптики.

Принцип роботи **радіофізичних** (світло- і радіо-) віддалемірів базується на визначенні часу проходження електромагнітними хвилями вимірюваного відрізка в прямому й зворотному напрямках. Швидкість поширення електромагнітних хвиль відома: у вакуумі вона дорівнює 299 792 456 м/с, а в повітрі може бути визначена з врахуванням показника заломлення, який залежить від температури, тиску й вологості повітря. Залежно від методу визначення часу, за який електромагнітні хвилі проходять відстань до точки й

назад, радіофізичні віддалеміри поділяють на фазові (з фіксованими частотами модуляції) та імпульсні. Імпульсні віддалеміри застосовують для вимірювань значних відстаней, але з невеликою точністю. Більш точними є фазові віддалеміри. До комплексу таких віддалемірів входить приймально-передавальний пристрій, який встановлюють на початку лінії, та відбивач хвиль, який розміщують у її кінцевій точці. Довжину ліній D обчислюють за формулою:

$$D = \frac{t \cdot v}{2}, \quad (7.3)$$

де t – час, за який хвилі проходять відстань від передавача до відбивача і назад – до приймача, м/с;

v – швидкість розповсюдження хвиль, с.

Світловіддалеміри – прилади для визначення відстаней за допомогою світлового променя. Джерелами випромінювання в цих приладах можуть бути лампи розжарювання, газорозрядні лампи, світлодіоди, оптичні квантові генератори – лазери.

Останнім часом на виробництві для вимірювання довжин ліній використовують лазерні віддалеміри. Вони можуть працювати без відбивачів. Сигнал посилюється у червоному спектрі видимого діапазону, що дозволяє бачити точку, до якої вимірюють відстань. Горизонтальне положення приладу контролюють круглим рівнем.

Радіовіддалеміри працюють у сантиметровому діапазоні ультракоротких радіохвиль. На відміну від світловіддалемірів вони можуть працювати за будь-якої погоди, окрім сильних дощів. Функції відбивача тут виконують станції, аналогічні передавачам. У деяких моделей передавальні й приймальні станції взаємозамінні, що значно підвищує ефективність їхньої роботи. Прикладом таких приладів може слугувати радіовіддалемір РДВ2, яким можна визначити відстані в діапазоні від 0,2 до 30 км з середньою квадратичною похибкою ± 30 мм.

Менш точними від радіофізичних є *оптичні* віддалеміри. Принцип роботи таких віддалемірів базується на розв'язанні прямокутних або рівнобедрених трикутників, утворених спостерігачем і базисом віддалеміра (рейкою). За конструктивними особливостями вони поділяються на віддалеміри подвійного зображення та ниткові віддалеміри.

Віддалеміри подвійного зображення, як правило, виготовляють у вигляді насадок до зорових труб геодезичних приладів. Точність вимірювання довжин ліній віддалемірною насадкою вітчизняного виробництва вказують у її назві. Наприклад, редуційний віддалемір ДНР-5 дозволяє вимірювати відстані від 20 до 120 м з середньою квадратичною похибкою ± 5 см на 100 м. Віддалеміром з перемінним паралактичним кутом ДН-8 можна міряти довжини ліній від 50 до 700 м з СКП ± 8 см на 100 м.

Більш поширеним і простішим за будовою є *нитковий віддалемір*, принцип роботи якого можна зрозуміти з рис. 7.13.

Якщо в точці А встановити рейку, а в точці фокуса помістити сітку ниток теодоліта, то відстань d до точки А можна визначити за відношенням:

$$\frac{d}{f} = \frac{l}{P}, \text{ звідки } d = \frac{f}{P} l, \quad (7.4)$$

де l – віддалемірний відлік по рейці (різниця відліків по рейці між нижньою і верхньою нитками зорової труби);

P – відстань між віддалемірними нитками сітки.

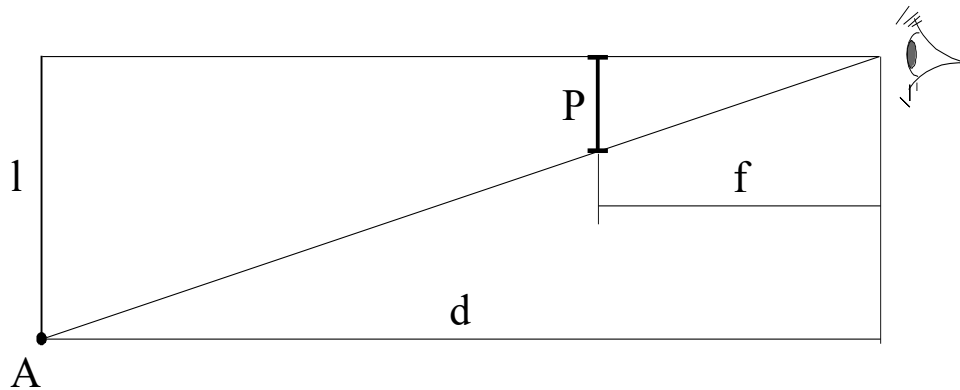


Рис. 7.13. Принцип дії ниткового віддалеміра

Ця формула показує, що за постійного відношення f/P , чим більше l , тим більше буде d .

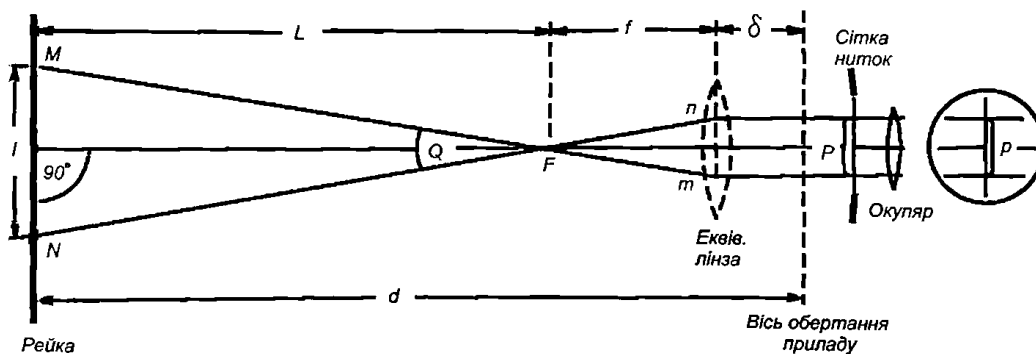


Рис. 7.14. Схема визначення відстані нитковим віддалеміром

Уявимо, що промені від ока спостерігача проходять через віддалемірні штрихи сітки ниток паралельно до оптичної осі зорової труби (рис. 7.14). Зустрівши на своєму шляху еквівалентну лінзу, вони заломляться, пройдуть через фокус цієї лінзи F і відсічуть на рейці відрізок l (віддалемірний відлік). Кут θ (паралактичний кут) з вершиною у точці F визначає основну частину L відстані, яку вимірюють. Уся відстань від вертикальної осі теодоліта до рейки дорівнюватиме:

$$d = L + f + \delta,$$

де L – відстань від рейки до вершини паралактичного кута θ ;

f – фокусна відстань еквівалентної лінзи;

$f + \delta$ – відстань від вершини паралактичного кута до вертикальної осі теодоліта.

Із подібності трикутників NMF і nmF :

$$\frac{L}{I} = \frac{f}{P}, \text{ звідки: } L = \frac{f}{P} \cdot l. \quad (7.5)$$

Відношення $f/P = K$ називають коефіцієнтом віддалеміра, який зазвичай є близьким до 100. Позначивши у виразі $f + \delta$ через c , одержимо:

$$d = K \cdot l + c. \quad (7.6)$$

Отже, для визначення відстані нитковим віддалеміром потрібно попередньо визначити коефіцієнти K і c . У зоровій труби із внутрішнім фокусуванням ці величини перемінні, оскільки під час фокусування змінюється відстань L між об'єктивом і фокусувальною лінзою (див. рис. 7.14), що призводить до зміни величин f і δ . Дослідження показують, що величина $c = f + \delta$ змінюється в межах кількох сантиметрів і не має практичного значення, однак коливання величини коефіцієнта K досить значне. Враховуючи це, на практиці часто користуються формулою:

$$d = 100 \cdot l + \Delta, \quad (7.7)$$

де Δ – величина, яка змінюється із зміною відстані від теодоліта до рейки. Вона включає перемінність величин K і c та відхилення K від 100. Величина Δ незначна й залежить від типу теодоліта (в оптичних теодолітів вона практично дорівнює нулю).

За допомогою ниткового віддалеміра відстані вимірюють швидко, однак точність результатів значно менша, порівняно з вимірюванням мірною стрічкою. На точність результатів впливає неточність читання відліків по рейці, відхилення рейки від вертикального положення, неоднакове заломлення в атмосфері променів, які відсікають відліки по рейці та коливання у спекотні дні шарів повітря, особливо прилеглих до поверхні землі (конвекційні токи). У такі дні можна вимірювати лінії невеликої довжини (100–150 м), використовуючи верхню частину рейки. Відносна помилка визначення відстані нитковим віддалеміром за сприятливих умов становить 1:300–1:400, а за несприятливих – 1:100.

Нитковим віддалеміром зручно вимірювати відстань по рейці з сантиметровими поділками, оскільки різниця відліків по нижній і верхній нитках такої рейки в сантиметрах дорівнює відстані між приладом і рейкою в метрах.

На похилій місцевості (рис. 7.15) віддалеміром визначають довжину променя OR і кут його нахилу до горизонту ν . Якби при цьому рейка стояла перпендикулярно до візирної осі приладу, то горизонтальну відстань до неї можна було б обчислити за формулою:

$$S = D \cdot \cos \nu, \text{ в якій } D = K \cdot n.$$

Оскільки рейка у точці B встановлена прямовисно, лінія візування і вісь рейки не перпендикулярні і по рейці читають відлік n' . У трикутнику MRM' кут $R = \nu$,

а кут $M' = 90^\circ$. Тому $n'/2 = n \cdot \cos v / 2$ або $n' = n \cdot \cos v$, а похила відстань $D = Kn' = Kn \cdot \cos v$. Отже,

$$S = Kn \cdot \cos v \cdot \cos v = Kn \cdot \cos^2 v.$$

Вважаючи, що $Kn \approx D$,

$$S = D \cdot \cos^2 v. \quad (7.8)$$

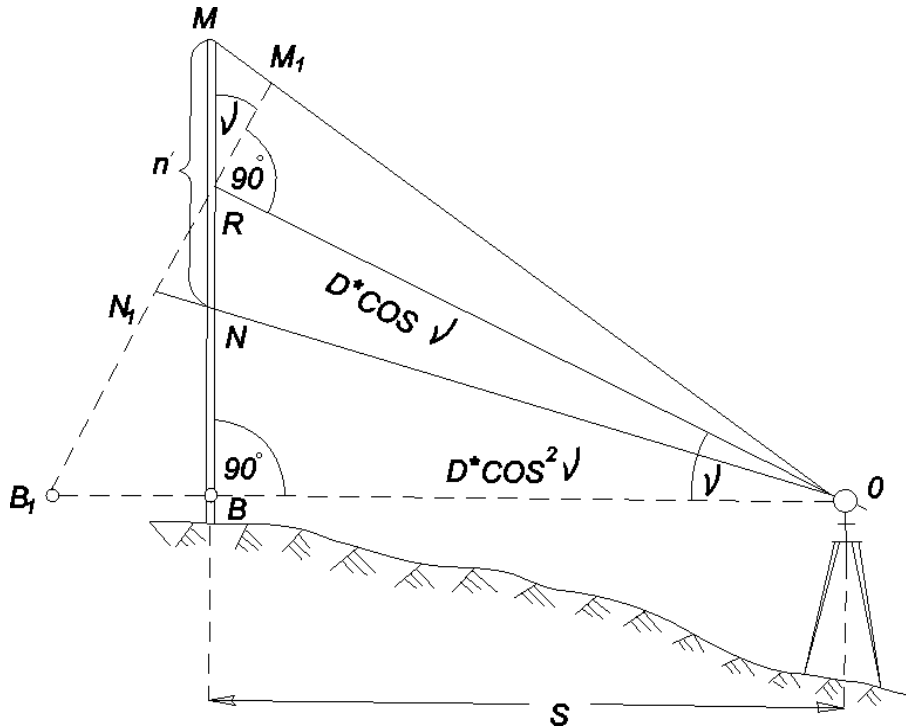


Рис. 7.15. Схема визначення відстаней нитковим віддалеміром на похилій місцевості

Як правило, замість обчислення горизонтальних проекцій ліній вводять поправки ΔD за їх нахил і неперпендикулярність рейки до візирної осі теодоліта. Формулу для обчислення цієї поправки отримують таким чином:

$$\Delta D = S - D = D \cdot \cos^2 v - D = D(\cos^2 v - 1) = -D(1 - \cos^2 v).$$

Звідси:

$$\Delta D = -D \cdot \sin^2 v. \quad (7.9)$$

Відстань D приймають за горизонтальну проекцію, коли кут нахилу візирної осі менший $2,5^\circ$, оскільки за $v = 2,5^\circ$ поправка ΔD складає значно меншу відносну похибку, ніж похибка визначення відстані нитковим віддалеміром:

$$\sin^2 2,5^\circ = 0,0019 = 1:530.$$

4. Вимірювання горизонтальних кутів полігона

Вимірювання кутів необхідно виконувати перевіреним приладом. Перед початком вимірювань теодоліт встановлюють в робоче положення у вершині вимірюваного кута.

Залежно від конструкції приладів, умов та вимог вимірювань застосовуються наступні способи вимірювання горизонтальних кутів.

1. *Спосіб прийомів* (або спосіб окремого кута) – для вимірювання окремих кутів при прокладанні теодолітних ходів, виносу проектів в натуру.
2. *Спосіб кругових прийомів* – для вимірювання кутів з одної точки між трьома і більше напрямками в мережах триангуляції та полігонометрії другого і нижчих класів (розрядів).
3. *Спосіб повторень* – для вимірювання кутів, коли необхідно підвищити точність кінцевого результату вимірювання, шляхом послаблення впливу похибки відлічування. Використовується при роботі з технічними повторювальними теодолітами.

Під час теодолітного знімання способом обходу, як правило, вимірюють внутрішні горизонтальні кути полігону, розташовані за ходом справа. При цьому трубу теодоліта наводять і беруть відліки спочатку на задню (праву за ходом) точку, а потім на передню (ліву). Наприклад, вимірюючи кут 2 полігону (рис. 7.16), спочатку наводять трубу на точку 1, а потім на точку 3. Під час вимірювання кута 3 трубу наводять, відповідно, на точки 2 і 4 і т. д.

Кути вимірюють, зазвичай, способом прийомів, суть якого полягає в тому, що вимірювання одного й того ж кута проводять двічі – при двох положеннях вертикального круга відносно зорової труби: праворуч (*КП*) та ліворуч (*КЛ*).

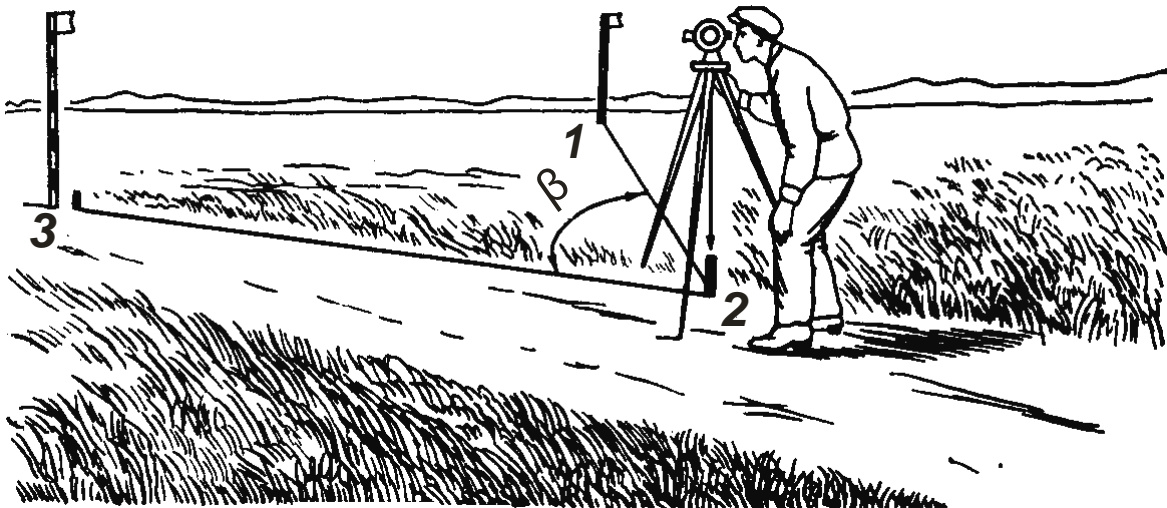


Рис. 7.16. Вимірювання горизонтального кута теодолітом

Перед вимірюванням кута теодоліт приводять у робоче положення. Для цього його встановлюють на штативі над вершиною кута, наприклад 2, і центрують за допомогою виска, підвішеного на гачку станового гвинта так, щоб вертикальна вісь обертання теодоліта проектувалась на вершину кута (центр кілка або стовпчика) з точністю 1–2 см. Після цього відпускають станований гвинт і переміщують теодоліт по головці штатива до точного суміщення виска з вершиною кута. Після центрування теодоліт приводять у горизонтальне положення за допомогою підймальних гвинтів і рівня.

Таблиця 7.1

Журнал вимірювання горизонтальних кутів
 “ ” 20 р. Теодоліт Т30 №

Номер точки		В і д л і к				К у т				Примітки
стояння	Візування	КП		КЛ		виміряний		середній		
		°	'	°	'	°	'	°	'	
2	1	134	25	49	56	99	31	99	30,5	
	3	34	54	310	26	99	30			

Обертаючи алідаду при закріпленому лімбі, перехрестя сітки ниток зорової труби наводять на низ віхи, яка позначає задню точку 1. Наведення здійснюють спочатку приблизно, “на око”, а потім, при закріпленні алідади й зоровій трубі – точно, за допомогою мікрометричних гвинтів. Після цього читають відлік n_1 по горизонтальному кругу теодоліта. Відпустивши закріплювальний гвинт алідади, зорову трубу наводять на передню точку 3 і беруть відлік n_2 . За різницею заднього й переднього відліків обчислюють значення кута: $\beta = n_1 - n_2$. У випадках, коли задній відлік менший за передній, до нього слід додати 360° . Таке вимірювання кута називається першим напівприйомом. Повернувши зорову трубу на 180° , значення кута визначають при другому положенні вертикального круга. Перед цим рекомендується змістити алідаду відносно лімба на декілька градусів. Якщо результати вимірювань кута двома напівприйомами збігаються або різниця між ними не перевищує подвійної точності відлікового пристрою – обчислюють середнє значення кута. Дані вимірювань записують у журнал (табл. 7.1).

5. Польові роботи під час теодолітного знімання

Як було сказано вище, на території, де проводиться теодолітне знімання, створюють мережу теодолітних ходів і полігонів, а потім знімають ситуацію вздовж ходів та всередині полігонів. Розімкнуті теодолітні ходи використовують для знімань з метою будівництва лінійних споруд – доріг, трубопроводів, зрошувальних систем тощо. Такі ходи періодично прив'язують до пунктів державної геодезичної мережі. На землях сільськогосподарського призначення границями землекористувань, як правило, прокладають зімкнуті теодолітні ходи (полігони), а всередині їх, за потреби, діагональні ходи. Вершини кутів повороту теодолітних ходів на місцевості закріплюють.

Розвиток знімальних геодезичних мереж може виконуватись шляхом прокладання теодолітних ходів з використанням теодолітів, мірних стрічок та рулеток або теодолітів і світловіддалемірів. Граничні похибки положення вершин теодолітних ходів Δ_{zp} відносно пунктів державної геодезичної мережі не повинні перевищувати 0,2 мм в масштабі плану на відкритій місцевості та на забудованій території і 0,3 мм – на місцевості, закритій деревною та чагарниковою рослинністю. Теодолітні ходи з використанням теодолітів та мірних стрічок прокладають з граничними відносними похибками 1:3000,

1:2000, 1:1000. Щоб забезпечити таку точність, довжина ходів між вихідними геодезичними пунктами не повинна перевищувати певної величини (табл. 7.2).

Вимірювання ліній мірною стрічкою проводять двічі – в прямому та зворотному напрямках. Відносна похибка вимірювань не повинна перевищувати 1:2000.

Довжини сторін у теодолітних ходах при вимірюванні їх мірними стрічками на забудованих територіях мають бути в межах 20–350 м, незабудованих – 40–350 м, а при вимірюванні світловіддалемірами та електронними тахеометрами, відповідно 20-1000 м та 40–1500 м. Чинна “Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500” (ГКНТА-2.04-02-98) допускає прокладання висячих теодолітних ходів, довжини яких не повинні перевищувати певних величин (табл. 7.3).

Таблиця 7.2

Допустимі довжини теодолітних ходів, м

<i>Масштаб</i>	<i>$\Delta_{гр.} = 0,2 \text{ мм}$</i>			<i>$\Delta_{гр.} = 0,3 \text{ мм}$</i>	
	<i>$\frac{1}{N} = \frac{1}{3000}$</i>	<i>$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$</i>	<i>$\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$</i>	<i>$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$</i>	<i>$\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$</i>
	<i>Допустимі довжини ходів між вихідними пунктами, км</i>				
<i>1:5000</i>	<i>6,0</i>	<i>4,0</i>	<i>2,0</i>	<i>6,0</i>	<i>3,0</i>
<i>1:2000</i>	<i>3,0</i>	<i>2,0</i>	<i>1,0</i>	<i>3,6</i>	<i>1,5</i>
<i>1:1000</i>	<i>1,8</i>	<i>1,2</i>	<i>0,6</i>	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>
<i>1:500</i>	<i>0,9</i>	<i>0,6</i>	<i>0,3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

Таблиця 7.3

Допустимі довжини висячих ходів, м

<i>Масштаб</i>	<i>Довжини, одержані з використанням мірних стрічок та рулеток</i>		<i>Довжини, одержані з використанням світловіддалемірів та електронних тахеометрів</i>	
	<i>збудовані території</i>	<i>незбудовані території</i>	<i>збудовані території</i>	<i>незбудовані території</i>
<i>1:5000</i>	<i>350</i>	<i>500</i>	<i>3000</i>	<i>4000</i>
<i>1:2000</i>	<i>200</i>	<i>300</i>	<i>1600</i>	<i>2500</i>
<i>1:1000</i>	<i>150</i>	<i>200</i>	<i>1000</i>	<i>1500</i>
<i>1:500</i>	<i>100</i>	<i>150</i>	<i>500</i>	<i>750</i>

Проект прокладання теодолітних ходів складають на топографічній карті якомога більшого масштабу, а за її відсутності – на фотосхемі чи абрисі ділянки місцевості.

Прокладаючи теодолітні ходи, горизонтальні кути вимірюють теодолітом повним прийомом, а кути нахилу ліній або окремих їх частин – одним напівприйомом. Результати вимірювання кутів і ліній заносять у польовий журнал і на абрис. Кутові нев'язки в теодолітних ходах, прокладених оптичними теодолітами, не повинні перевищувати величину

$$f_{\beta} = 1' \sqrt{n},$$

де n – кількість кутів.

Одночасно з вимірюванням кутів і ліній проводять знімання внутрішньої ситуації. За наявності всередині землекористування крупних масивів орних земель, лісу чи інших угідь по їхніх границях прокладають діагональні ходи, вимірюючи кути одним напівприйомом – КП або КЛ.

Положення точок контурів внутрішньої ситуації визначають з меншою точністю, ніж точок теодолітних ходів, які складають геодезичну опорну мережу. Тому тут часто використовують спрощені методи знімання, які забезпечують швидкість роботи. Наприклад, замість теодолітних ходів прокладають бусольні ходи, в яких вимірюють не внутрішні кути, а румби або азимути сторін, а їхні довжини часом вимірюють нитковим віддалеміром теодоліта. Результати знімання відображають на абрисах (рис. 7.17). Крім бусолі, для знімання ситуації всередині теодолітного полігону чи вздовж теодолітного ходу часто використовують інші прості геодезичні прилади.

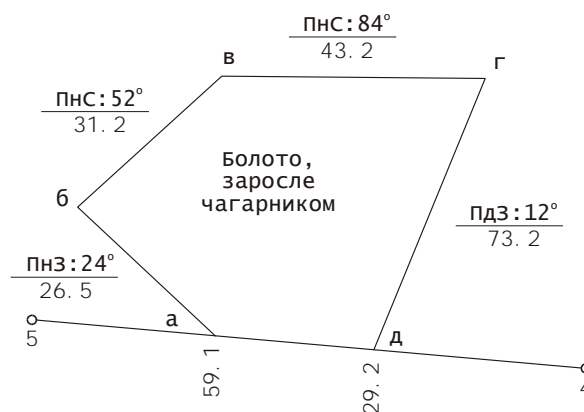


Рис. 7.17. Абрис знімання ситуації способом обходу

У деяких випадках, коли сторона теодолітного ходу проходить на значній відстані від контурів внутрішньої ситуації, для полегшення їх знімання використовують *створну лінію*, яку провішують між двома точками теодолітного ходу (рис. 7.18).

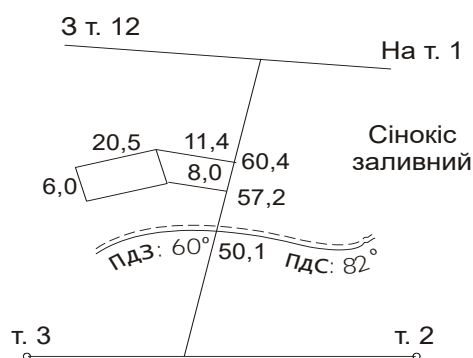


Рис. 7.18. Абрис знімання ситуації зі створної лінії

Знімання ситуації вимагає від виконавця підвищеної уваги й навичок. Помилки у визначенні положення точок і ліній у більшості випадків не контролюються, а це може призвести до помилок у визначенні меж контурів внутрішньої ситуації на плані. Дуже важливо правильно іменувати угіддя, тому їхні назви слід

узгоджувати з представником землекористувача – агрономом, бригадиром чи іншим фахівцем господарства.

6. Прив'язка до пунктів геодезичної мережі (пряма та обернена геодезична задачі)

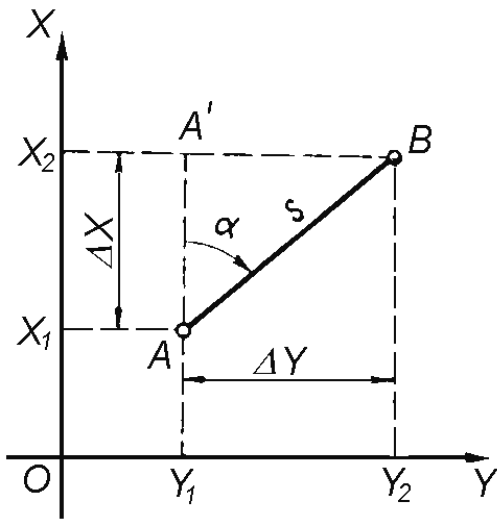


Рис. 7.19. Пряма та обернена

Обчислення прямокутних координат точок, визначення напрямів та довжин ліній пов'язані з розв'язуванням прямої та оберненої геодезичних задач. *Пряма геодезична задача* полягає у визначенні за відомими координатами початку лінії AB X_A і Y_A , її дирекційним кутом α і горизонтальною проекцією S координат кінця цієї лінії – точки B . *Обернена задача* передбачає визначення за відомими координатами початку та кінця лінії її довжини та напрямку. Розв'язуючи ці задачі, необхідно уявити поняття про *прирости координат*. Ними є довжини катетів прямокутного трикутника $AA'B$ –

ΔX та ΔY (рис. 7.19). Як видно з рисунка, прирости координат можна обчислити за формулами:

$$\Delta X = S \cdot \cos\alpha;$$

$$\Delta Y = S \cdot \sin\alpha.$$

Залежно від напрямку лінії (величини дирекційного кута чи назви румба), прирости координат можуть бути додатними або від'ємними. Координати точки B знаходять за формулами:

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB};$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB},$$

тобто, *координата наступної точки дорівнює координаті попередньої плюс відповідний приріст координат (з його знаком)*.

Для розв'язку оберненої геодезичної задачі обчислюють прирости координат лінії AB за формулами:

$$\Delta X_{AB} = X_B - X_A;$$

$$\Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A,$$

а потім знаходять її напрям.

Для цього за формулою: $\text{tg}R = \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}$ обчислюють тангенс румба цієї лінії,

$R = \text{arctg} \left| \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}} \right|$, а за ним – його кутову величину. Назву румба встановлюють

за знаками приростів координат (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Знаки приростів координат

Дирекційні кути	Координатна чверть		Знаки приростів координат	
	Номер	Назва	Δx	Δy
До 90°	I	ПнС	+	+
90° – 180°	II	ПдС	–	+
180° – 270°	III	ПдЗ	–	–
270° – 360°	IV	ПнЗ	+	–

Довжину лінії AB обчислюють за формулою:

$$S_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos R} = \frac{\Delta Y}{\sin R} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

Необхідність у розв'язуванні оберненої геодезичної задачі виникає у процесі прив'язки до опорних пунктів, тобто передачі дирекційного кута (азимута) на лінію полігону та координат на одну з його вершин від точок з відомими координатами. Визначивши таким чином румб лінії між пунктами геодезичної мережі, його переводять в азимут (дирекційний кут), а далі, використовуючи залежність між азимутами і внутрішніми кутами полігону, обчислюють азимути усіх його сторін.

Знімаючи межі великих за площею землекористувань, траси майбутніх доріг, трубопроводів чи інших лінійних споруд, часто доводиться прокладати теодолітні ходи протяжністю у кілька десятків кілометрів. Слід мати на увазі, що чим довшим є теодолітний хід, тим більше накопичується помилок у вимірюваннях та обчисленнях. Для зменшення довжини теодолітні ходи й полігони прив'язують до пунктів геодезичної мережі. Прив'язка може проводитися від одного з кінців ходу (висячий хід) або з обох його кінців. В останньому випадку початкова й кінцева точки ходу є пунктами геодезичної мережі з відомими координатами.

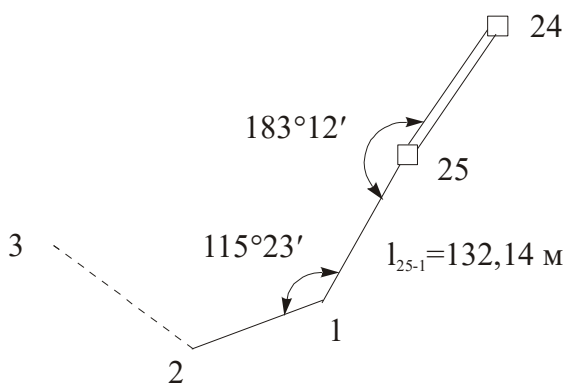


Рис. 7.20. Схема прив'язки полігону до опорних геодезичних пунктів

Метою прив'язки теодолітного ходу чи полігону до опорних геодезичних пунктів є передача від них дирекційного кута на одну із його сторін та координат на одну з його точок.

До опорних пунктів прив'язують будь-яку вершину й сторону теодолітного ходу, які розташовані найближче до них. Прив'язка полягає у вимірюванні прилеглих до опорних пунктів кутів і довжини лінії між точкою теодолітного ходу (полігону) та

опорним пунктом (на рис. 7.20 – кути у пункті 25 та у точці 1 теодолітного ходу й довжина лінії 25-1). Дирекційний кут лінії між пунктами 24 і 25 знаходять шляхом розв'язування оберненої геодезичної задачі.

Приклад. Відомі координати опорних пунктів 24 і 25:

$$X_{24} = -145,52 \text{ м}; X_{25} = -390,73 \text{ м};$$

$$Y_{24} = -370,45 \text{ м}; Y_{25} = -446,13 \text{ м},$$

і виміряні під час прив'язки кути та довжина лінії:

$$\angle 25 = 183^\circ 12'; \angle 1 = 115^\circ 23';$$

$$l_{25-1} = 132,14 \text{ м}.$$

Обчислюємо прирости координат лінії 24–25 як різницю відповідних координат:

$$\Delta X_{24-25} = X_{25} - X_{24} = -390,73 - (-145,52) = -245,21 \text{ (м)},$$

$$\Delta Y_{24-25} = Y_{25} - Y_{24} = -446,13 - (-370,45) = -75,68 \text{ (м)}.$$

За знаками ΔX і ΔY визначаємо, що лінія 24–25 проходить у III чверті (табл. 7.3) і тому має напрям ПдЗ.

Визначаємо величину румба лінії 24–25 за формулою:

$$\text{tg } R = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| = \left| \frac{-75,68}{-245,21} \right| = 0,3086.$$

За таблицями тригонометричних функцій або за допомогою мікрокалькулятора встановлюємо, що тангенсу 0,3086 відповідає кут $17^\circ 09'$. Отже, румб лінії 24–25 буде ПдЗ: $17^\circ 09'$, а її дирекційний кут – $197^\circ 09'$. Обчислюємо дирекційні кути сторін 25-1 і 1-2 за формулою:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^\circ - \angle \beta:$$

$$\begin{array}{r} \alpha_{24-25} \quad 197^\circ 09' \\ + \quad 180^\circ 00' \\ \hline 377^\circ 09' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -\angle 25 \quad 183^\circ 12' \\ \hline \alpha_{25-1} \quad 193^\circ 57' \\ + \quad 180^\circ 00' \\ \hline 373^\circ 57' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -\angle 1 \quad 115^\circ 23' \\ \hline \alpha_{1-2} \quad 258^\circ 34' \end{array}$$

Для обчислення координат точки 1 полігону визначаємо прирости координат лінії 25–1 за її довжиною та дирекційним кутом або румбом:

$$\Delta X_{25-1} = l_{25-1} \cdot \cos \alpha = 132,14 \cdot \cos 193^\circ 57' = 132,14 \cdot 0,9705 = -128,24 \text{ (м)},$$

$$\Delta Y_{25-1} = l_{25-1} \cdot \sin \alpha = 132,14 \cdot \sin 193^\circ 57' = 132,14 \cdot 0,2411 = -31,86 \text{ (м)}.$$

Знаходимо координати точки 1:

$$X_1 = X_{25} + \Delta X_{25-1} = -390,73 + (-128,24) = -518,97 \text{ (м)},$$

$$Y_1 = Y_{25} + \Delta Y_{25-1} = -446,13 + (-31,86) = -477,99 \text{ (м)}.$$

Результати прив'язки полігона заносять у відомість (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Відомість прив'язки до опорних пунктів

№ то-чок	Кути	Дирекційні кути	Румби	Довжини ліній, м	Прирости координат, м				Координати, м	
					обчислені		ув'язані			
					ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	X	Y
24			ПдЗ: 197°09'						-145,52	-370,45
25	183°12'		ПдЗ: 193°57'	132,14	-128,24	-31,86	-128,24	-31,86	-390,73	-446,13
1	115°23'		ПдЗ: 258°34'						-518,97	-477,99
2			78°34'							

7. Методи знімання внутрішньої ситуації

Зйомка 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 зйомці об'єктів ситуації, розміщених біля сторін теодолітного ходу. Положення точки визначається двома величинами (рис. 7.21.):

- віддалю по стороні теодолітного ходу від точки зйомочної основи – абсцисою x ;
- довжиною перпендикуляра, який побудовано з сторони теодолітного ходу до точки, що визначається, – ординатою Y .

Віддалі x від початку зйомочної сторони до основи перпендикуляра вимірюють сталю стрічкою або рулеткою, яка укладається по створу лінії MN , а довжину перпендикулярів Y – рулеткою з точністю до 0,01 м при зйомці 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.

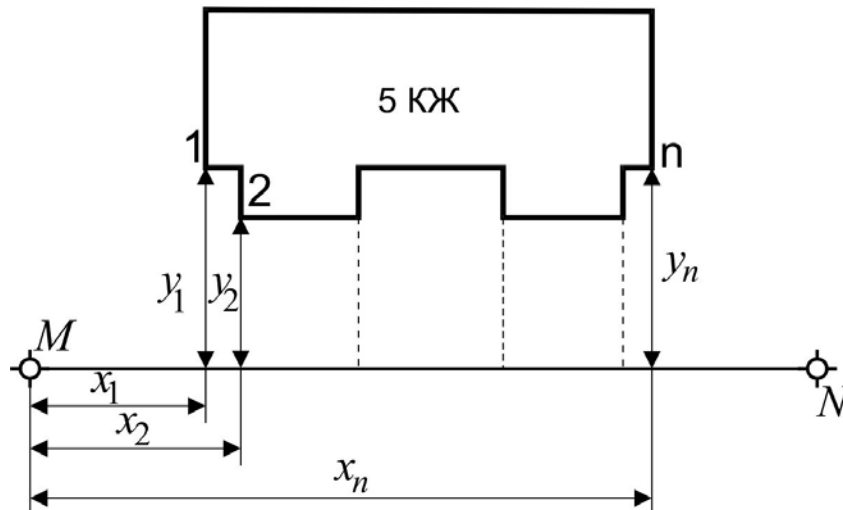


Рис. 7.21. Спосіб перпендикулярів (спосіб ординат)

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 наплавлені 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 зйомочного обґрунтування MN (рис. 7.22). 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° .

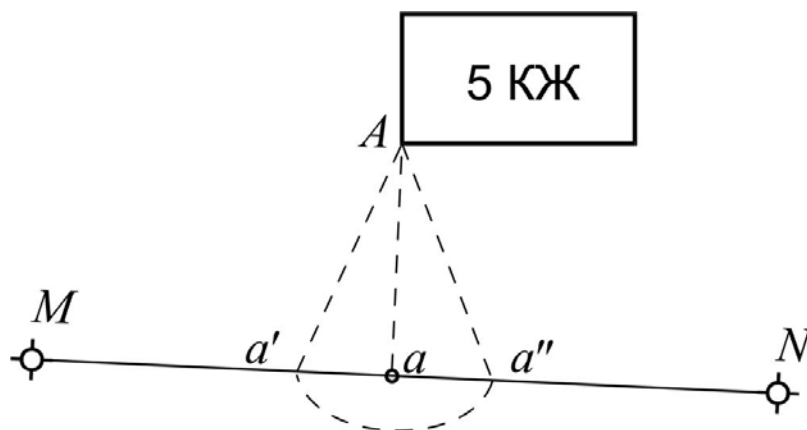


Рис. 7.22 Побудова перпендикуляра за допомогою рулетки

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.

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. 7.23, *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. 7.23, *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.

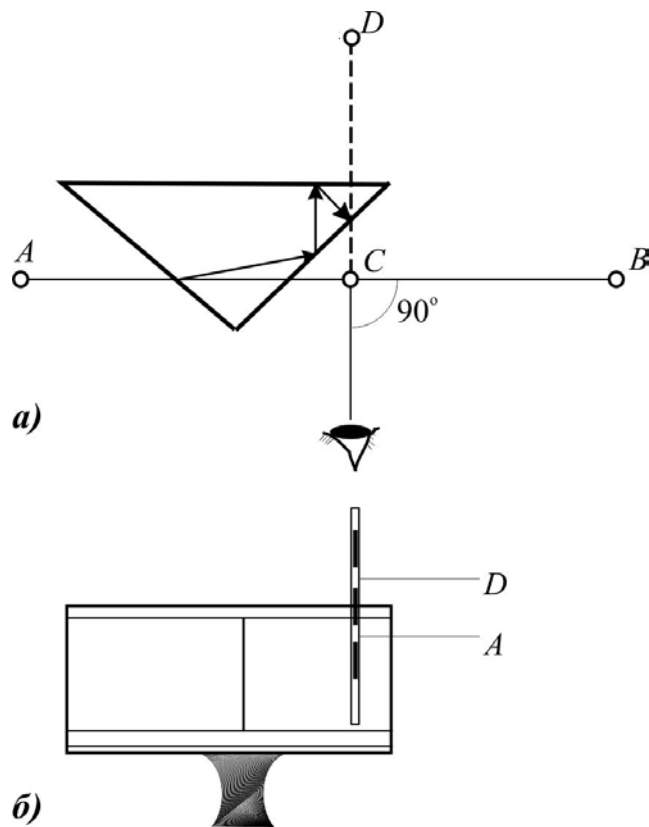


Рис. 7.23. Побудова перпендикуляра екером

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. 7.24), яка знаходиться у створі лінії AB , і будують кути ACD_1 і $B CD_2$. 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.

У всіх випадках довжини перпендикулярів вимірюються одноразово. Допустимі значення довжин перпендикулярів під час зйомки у різних масштабах наведені у табл. 7.5.

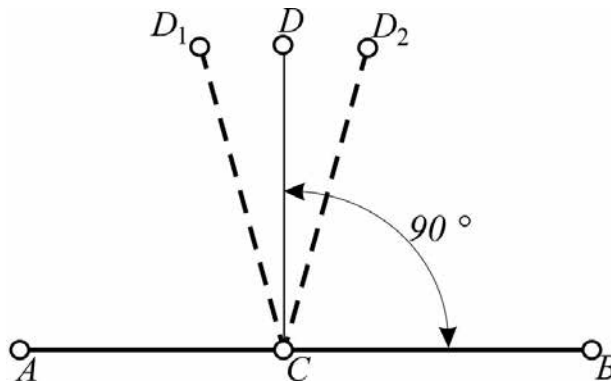


Рис. 7.24. До перевірки екера

Однак під час виконання зйомки потрібно мати на увазі, що надмірно короткі перпендикуляри створюють труднощі при накладені ситуації на план, тому їхня мінімальна довжина у масштабі плану не повинна бути меншою 4 мм.

Спосіб перпендикулярів переважно застосовують при зйомці витягнутих у довжину контурів водостоків, доріг, вулиць, ситуації на переїздах і т.п.

Таблиця 7.5

Допустимі довжини перпендикулярів

Масштаб зйомки	Допустима довжина перпендикуляра (м) при його побудові	
	на око	за допомогою екера
1:500	4	20
1:1000	6	40
1:2000	8	60

При зйомці криволінійних контурів перпендикуляри потрібно брати на стільки часто, щоб між кожною парою точок, які знімаються, лінія була близькою до прямої або характеризувалась односторонньою опуклістю.

При проведенні зйомки методом перпендикулярів необхідно керуватися такими правилами ведення абрису. Ординати викреслюють пунктиром або тонкими суцільними лініями. Абсиси підписують на лінії знімальної основи, що зображена в абрисі біля основи перпендикулярів з протилежного боку, а довжини ординат – в їх середині (рис. 7.25).

Для контролю, що здійснюється при складенні плану, необхідно виміряти стальною рулеткою параметри (розміри) усіх будівель, які також заносяться в абрис (рис. 7.25).

Полярний спосіб (спосіб полярних координат). Положення точки визначається кутом β_i , виміряним від сторони теодолітного ходу MN (яка

приймається за полярну вісь) і віддаллю D_i , від точки теодолітного ходу, яка приймається за полюс (рис. 7.26).

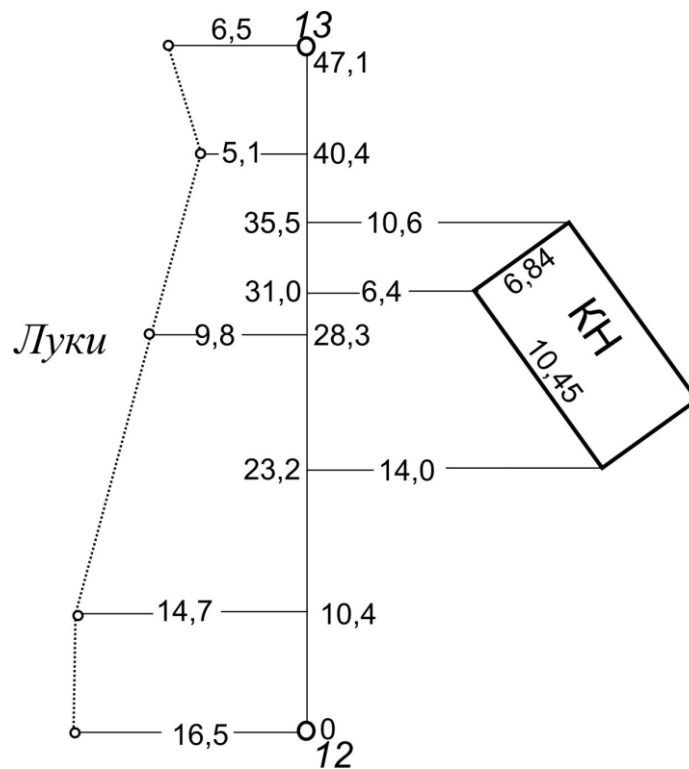


Рис. 7.25. Приклад ведення абрису при зйомці способом перпендикулярів

Для зйомки полярним способом встановлюють теодоліт над точкою теодолітного ходу, наприклад, над точкою N (рис. 7.26) і орієнтують лімб за напрямком на попередню (або наступну) точку ходу (точку M).

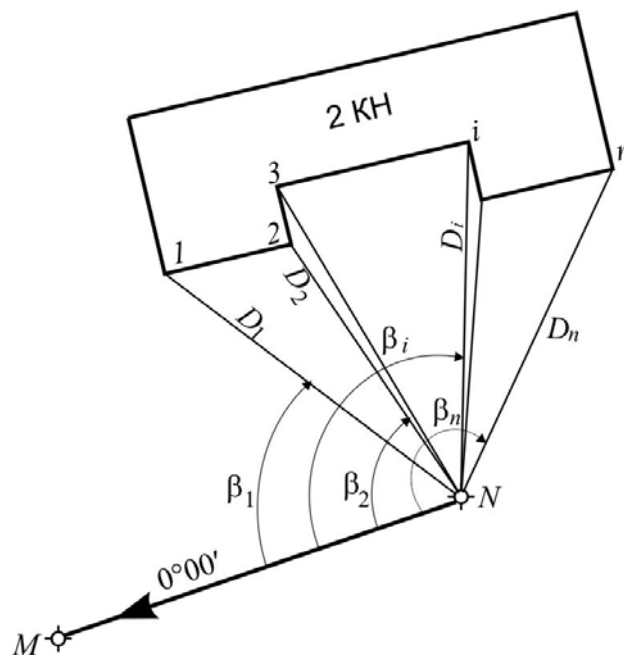


Рис. 7.26. Полярний спосіб зйомки

Орієнтувати лімба – це значить розмістити лімба теодоліта, встановленого над точкою N так, щоб при візуванні на точку M відлік по лімбі дорівнював $0^{\circ}00'$. Для орієнтування лімба за заданим напрямком відпускають закріпний гвинт алідади і повертають алідаду доти, поки відлік по лімбі 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.

При виконанні зйомки 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 кожну 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 зйомці полярним способом, залежно від типів мірних приладів і масштабу зйомки, наведені у таблиці 7.6.

При зйомці нечітких контурів віддалі, вказані у таблиці 7.6., 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 7.6

Допустимі значення віддалей при зйомці полярним способом

Масштаб зйомки	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. 7.27). Спосіб застосовується на відкритих ділянках, там, де неможливо проводити безпосереднє вимірювання віддалей від вершини теодолітного ходу до точки, яка знімається (протилежний 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° .

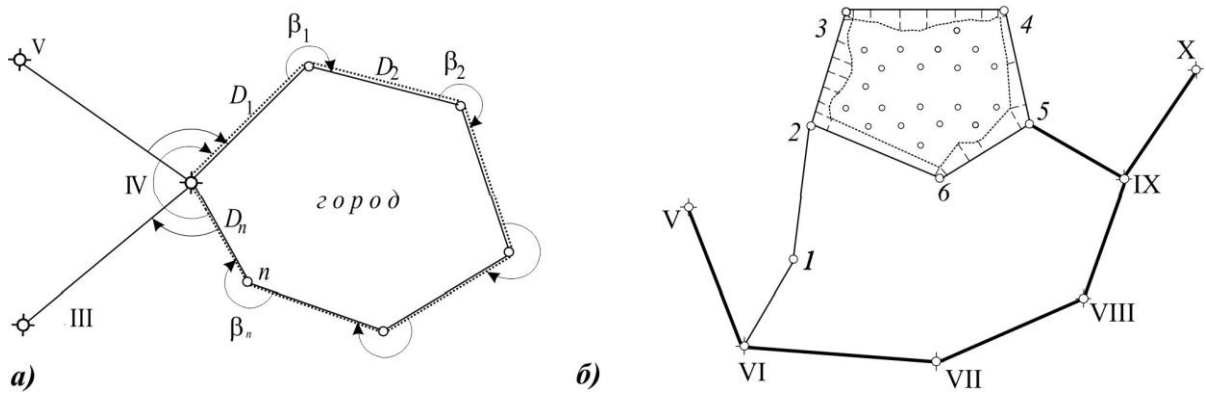


Рис. 7.27. Зйомка способом куткових засічок

Спосіб лінійних засічок. Застосовується для зйомки 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 зйомці способом лінійних засічок визначається як вершина трикутника aAb (рис. 7.28), в якому відомі три сторони aA , bA , ab .

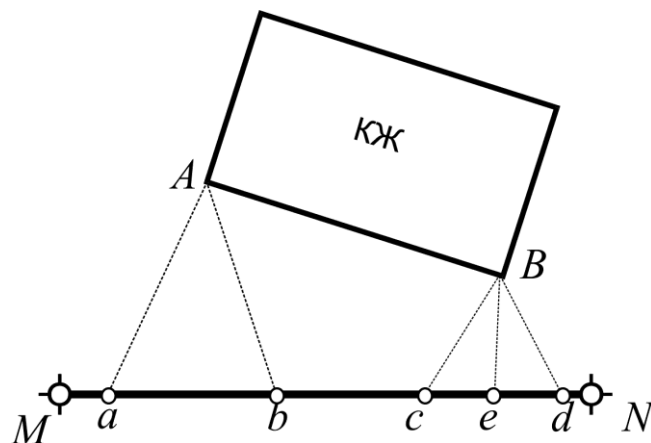


Рис. 7.28. Зйомка способом лінійних засічок

При виконанні зйомки стрічку кладуть у створі лінії зйомочної 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 зйомочної 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 куткових 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. 7.28) вимірюють три відрізки Bc , Be , Bd .

Спосіб обходу. Спосіб застосовується для зйомки таких об'єктів, які через віддаленість або перешкоди не можуть бути зняті з точок і сторін основного теодолітного ходу.

Якщо контур об'єкта, що знімається, має прямолінійні межі, то зйомочний хід прокладають безпосередньо по них (рис. 7.29, а).

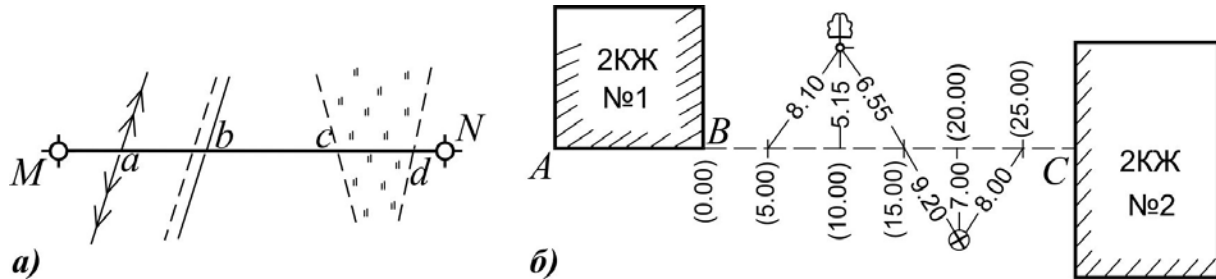


Рис. 7.29. Зйомка способом обходу

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. 7.29, б).

При зйомці площинних контурів (садиби, плантації, культур і т.п.) прокладають замкнені знімальні теодолітні ходи, а під час зйомки витягнутих контурів (доріг, меж і т.п.) прокладають окремі витягнуті ходи.

При зйомці 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. 7.30, а). Кінцями створної лінії можуть бути пункти геодезичної зйомочної основи, вже зняті кути кварталів, будинків і т.п.

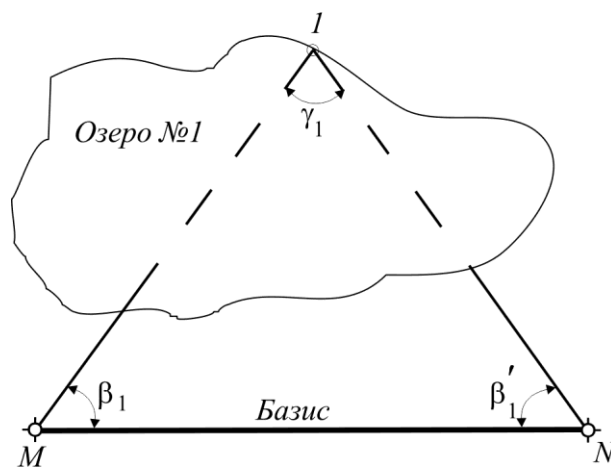
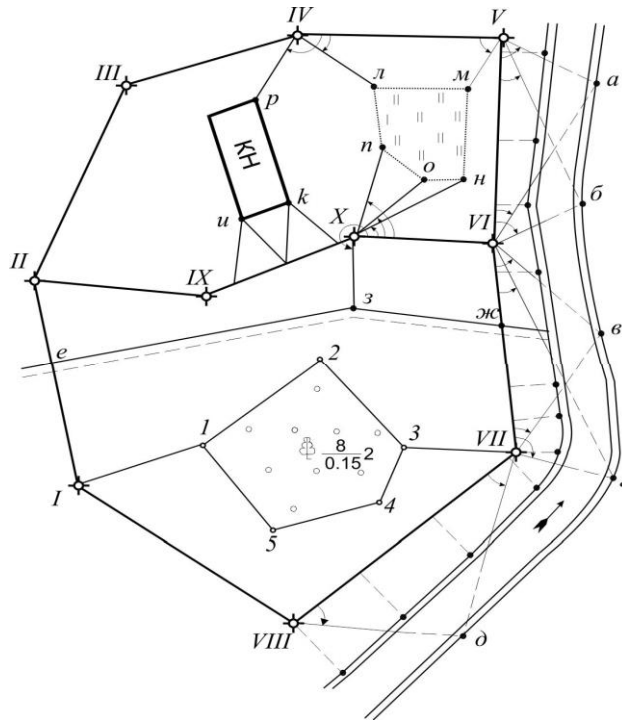


Рис. 7.30. Зйомка способом створів



Цей спосіб широко застосовується під час зйомки забудованих територій. Наприклад, для випадку, показаного на рис. 7.30, б, створ лінії *AB* виносять на стіну будинку 2, отримуючи точку *C*.

Від створу *BC* проводять зйомку ситуації методом перпендикулярів і лінійних засічок.

При виконанні теодолітної зйомки виміряні віддалі у всіх способах приводяться до горизонту, якщо кут нахилу лінії *v* 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 зйомці будівель розглянутими вище способами визначають положення тільки деяких кутів будинків (рис. 7.22, 7.26, 7.27), а для нанесення на план інших кутів проводять обмір будинку рулеткою.

При проведенні теодолітної зйомки застосовують усі вказані способи. Це робить теодолітну зйомку достатньо гнучкою, що є її перевагою. На рис. 7.31 показано приклад зйомки ділянки усім комплексом способів теодолітної зйомки. Зйомка виконувалась відносно точок зйомочної основи, представлені основним теодолітним ходом (точки I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII) та діагональним (точки IX, X).

Для зйомки 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 зйомочні точки *a, б, 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 *u, к* зняті способом лінійних засічок відносно сторони IX-X. Для зйомки березового гаю використано

спосіб обходу (точки 1, 2, 3, 4, 5), представлений у вигляді замкнутого ходу, прив'язаного до двох точок знімацької основи.

Лекція 8. Камеральне опрацювання результатів теодолітного знімання

1. Етапи виконання робіт

По завершенню польових робіт приступають до камеральної обробки їхніх результатів. Перед її початком слід скласти схему теодолітних ходів (рис. 8.1). Обчислення координат точок теодолітних ходів доцільно проводити у такому порядку:

- за результатами прив'язки обчислити дирекційний кут однієї зі сторін теодолітного ходу та координати однієї з його точок;
- обчислити горизонтальні проєкції похилих ліній і недоступні відстані між точками;
- визначити та розподілити кутову нев'язку у внутрішніх кутах;
- обчислити дирекційні кути ліній теодолітних ходів;
- обчислити прирости координат, визначити й розподілити нев'язку в приростах координат;
- обчислити координати точок теодолітних ходів.

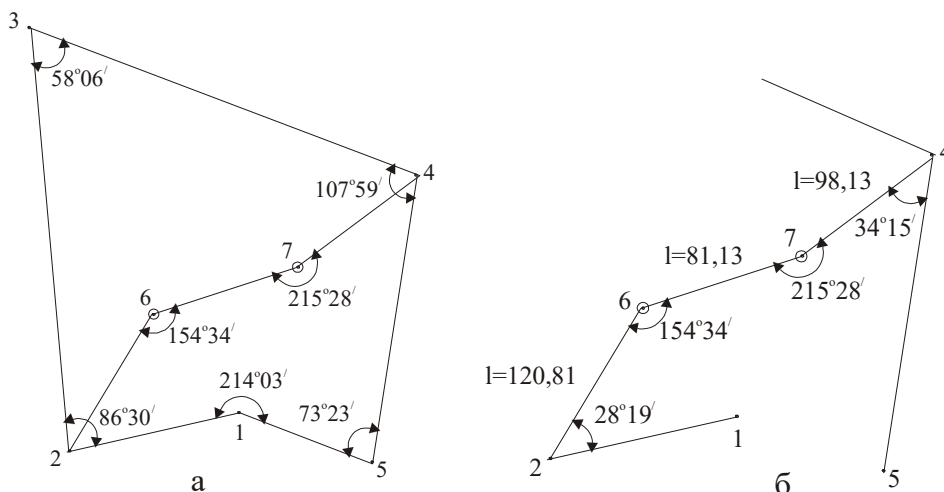


Рис. 8.1 Схема теодолітних ходів полігона (а) та діагонального ходу (б)

2. Обчислення координат точок зімкненого теодолітного ходу

Обчислення координат вершин теодолітного полігона та точок теодолітних ходів ведуть у спеціальній відомості (табл. 8.1), в яку вписують значення вимірних кутів та довжин ліній, отримані в результаті прив'язки до опорних пунктів значення дирекційного кута (азимута) лінії та координат точки полігона.

Роботу починають з визначення та усунення **кутової нев'язки**, яка виникає в результаті помилок, допущених під час вимірювання кутів. З цією метою знаходять суму вимірних внутрішніх кутів полігона $\Sigma\beta_{вим.}$ і теоретичну суму кутів $\Sigma\beta_{теор.}$. Останню обчислюють за відомою з геометрії формулою:

$$\Sigma\beta_{теор.} = 180^\circ (n - 2), \quad (8.1)$$

де n – кількість кутів полігона.

Кутову нев'язку f_β в теодолітному полігоні знаходять за різницею практичної і теоретичної сум його кутів:

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{вим.}} - \sum \beta_{\text{теор.}} \quad (8.2)$$

Переконавшись у допустимості кутової нев'язки (вона не повинна бути більшою величини $3m\sqrt{n}$, де m – середня квадратична похибка вимірювання кута теодолітом), вносять поправки у виміряні кути. Нев'язку розподіляють з протилежним знаком насамперед на кути з секундами (щоб заокруглити їх до цілих мінут), а решту – на кути, утворені короткими сторонами. Сума внесених поправок має дорівнювати величині кутової нев'язки f_β , а сума виправлених (ув'язаних) кутів – їхній теоретичній сумі. Якщо кутова нев'язка виявиться більшою від допустимої, треба спочатку переконатись у правильності обчислення кутів у польовому журналі і тільки після цього перевірити результати вимірювання кутів на місцевості.

За отриманим у результаті прив'язки дирекційним кутом однієї зі сторін полігона та виправленими внутрішніми кутами обчислюють дирекційні кути всіх наступних сторін ($\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^\circ - \angle\beta$), не забуваючи, що, за потреби, до дирекційного кута можна додавати та віднімати від нього 360° . Визначивши дирекційний кут останньої сторони полігона, необхідно провести контроль обчислень. Для цього до дирекційного кута останньої сторони додають 180° і віднімають кут між останньою і першою сторонами полігона (в наведеному прикладі – $\angle 1$). “Вихід” на початковий дирекційний кут свідчить про відсутність помилок в обчисленнях дирекційних кутів. За азимутами сторін визначають їхні румби. За дирекційними кутами або румбами й довжинами ліній обчислюють прирости координат ΔX та ΔY .

Нев'язки у приростах координат виникають через помилки вимірювань довжин ліній. У зімкнутому полігоні алгебраїчна сума приростів координат теоретично має дорівнювати нулю. Це добре демонструє рис. 8.2, з якого видно, що $A_1B_1 + B_1C_1 - C_1D_1 - D_1A_1 = \Delta Y_{AB} + \Delta Y_{BC} - \Delta Y_{CD} - \Delta Y_{DA} = 0$, тобто сума приростів координат по осі Y дорівнює нулю. Аналогічно можна встановити, що сума приростів по осі X теж теоретично дорівнює 0.

На практиці суми приростів, як правило, дорівнюють не нулю, а деяким величинам $\sum \Delta X_{np.} = f_x$; $\sum \Delta Y_{np.} = f_y$, які й називають нев'язками приростів координат по осях X і Y (рис. 8.3). Відрізок $l-l'$ називають лінійною або абсолютною нев'язкою f_{abc} приростів координат. Її величину можна визначити за теоремою Піфагора:

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (8.3)$$

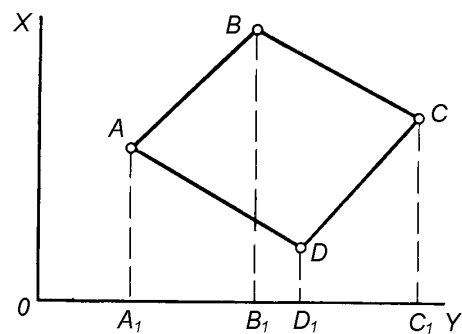


Рис. 8.2. Сума приростів координат у зімкнутому полігоні

За абсолютною нев'язкою не можна зробити висновок про допустимість нев'язок у приростах координат, оскільки чим більший периметр полігона, тим більшу нев'язку в приростах його сторін слід очікувати. Тому нев'язки приростів координат оцінюють за відношенням абсолютної нев'язки $f_{абс}$ до периметра P – відносною нев'язкою $f_{відн.}$:

$$f_{відн.} = \frac{f_{абс.}}{P}. \quad (8.4)$$

Залежно від характеру місцевості, де проводилось знімання, відносна нев'язка не повинна перевищувати: за сприятливих умов – 1/3000, середніх – 1/2000, несприятливих – 1/1000. За допустимої відносної нев'язки, f_x і f_y розподіляють по відповідних приростах координат з протилежним знаком пропорційно довжинам ліній, для чого в прирости координат вводять поправки. Суми поправок по ΔX і ΔY за абсолютною величиною повинні дорівнювати f_x і f_y , а сума виправлених приростів координат – нулю.

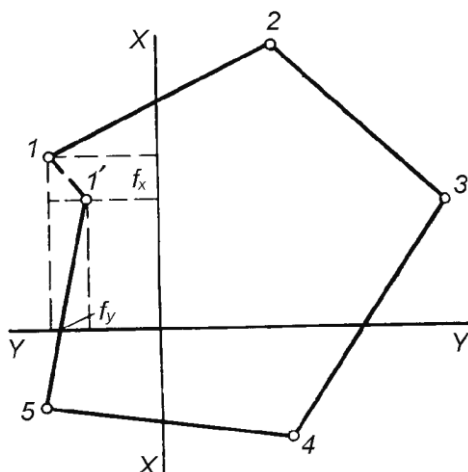


Рис. 8.3. Нев'язка у приростах координат

Якщо виявиться, що відносна нев'язка у приростах координат виходить за встановлені межі, тобто є недопустимою, перш ніж проводити повторні вимірювання на місцевості, слід шукати помилки в обчисленнях: у відомості координат можуть бути не на своєму місці записані виміряні кути або горизонтальні проекції ліній, неправильно записаний дирекційний кут лінії, невірно переведений дирекційний кут у румб, неправильно поставлені знаки приростів, самі вони вираховані невірно і т. д. Часто недопустима нев'язка є результатом грубих похибок у вимірюваннях ліній, коли не врахована довжина цілої стрічки (пропущена шпилька) або й не врахована передача шпильок заднім робітником передньому, остача прочитана не з того кінця стрічки (наприклад, 9 замість 11), 6 прочитали як 9 або навпаки. Такі грубі промахи, як правило, легко виявити за величинами нев'язок.

Таблиця 8.1

Відомість обчислення координат вершин зімкнутого полігона

№ то-чок	Куты			Дирекційні куты	Румбы	Довжини ліній, м	Присорости координат, м						Координати, м			№ то-чок
	виміряні	поправки	виправлені				обчислені			виправлені			X	Y	±	
							±	ΔX	±	ΔY	±	ΔX				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	214°03'	-01	214°02'	258°34'	ПДЗ: 78°34'	134,55	-0,01 26,67	-0,01 131,88	-	26,68	-	131,89	-	477,99		
2	86°30'		86°30'	352°04'	ПнЗ: 7°56'	297,86	-0,02 295,01	-0,03 41,11	+	294,99	-	41,14	-	609,88		
3	58°06'		58°06'	113°58'	ПДС: 66°02'	302,08	-0,02 122,71	-0,03 276,04	-	122,73	+	276,01	-	651,02		
4	107°59'		107°59'	185°59'	ПДЗ: 5°59'	181,54	-0,01 180,55	-0,02 18,92	-	180,56	-	18,94	-	375,01		
5	73°24'	-01	73°23'	292°36'	ПнЗ: 67°24'	91,02	+ 34,98	-0,01 84,03	+	34,98	-	84,04	-	393,95		
Σβ _{вим.}	540°02'	0°02'	540°00'													
Σβ _{теор.}	540°00'					P=1007,05	f _x +0,06	f _y +0,10		0,00		0,00				

Кутова нев'язка: $f_{\beta} = \Sigma\beta_{вим.} - \Sigma\beta_{теор.} =$ Абсолютна нев'язка: $f_{абс.} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(+0,06)^2 + (+0,10)^2} = \sqrt{0,0136} \approx 0,12$.

$$= 540^{\circ}02' - 540^{\circ}00' = 0^{\circ}02'$$

Відносна нев'язка: $f_{відн.} = \frac{f_{абс.}}{P}$

Допустима кутова нев'язка:

$$f_{доп.} = \pm 3m\sqrt{n} = \pm 3 \cdot 0,5' \cdot \sqrt{5} = 3',3$$

$$f_{відн.} = \frac{\pm 0,12}{1007} = \frac{1}{8392} < \frac{1}{3000}$$

Якщо груба похибка допущена під час вимірювання однієї лінії, то її можна визначити. Так, з рис. 8.3 видно, що якщо зменшити довжину лінії 2–3, зменшиться й абсолютна нев'язка. Тому грубі похибки слід шукати в довжинах тих ліній, які паралельні до нев'язки. Іншими словами, дирекційні кути (азимуту) нев'язки і лінії, довжина якої визначена з грубою похибкою, приблизно однакові.

Дирекційний кут α абсолютної нев'язки f_{abc} можна визначити за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_y}{f_x}. \quad (8.5)$$

За знаками f_x і f_y визначають назву румба і з відомості вибирають лінію, румб якої близький до визначеного. Результати вимірювання довжини цієї лінії перевіряють на місцевості.

Після ув'язки приростів обчислюють координати вершин полігона: до отриманих у результаті прив'язки координат однієї з його точок додають відповідні ув'язані прирости з їхнім знаком. Наприклад:

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2} = -518,97 + (-26,68) = -545,65 \text{ (м)};$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2} = -477,99 + (-131,89) = -609,88 \text{ (м)}.$$

Контролем обчислень слугує отримання координат вихідної точки в результаті додавання до координат останньої точки відповідних приростів координат:

$$X_1 = X_5 + \Delta X_{5-1} = -553,95 + (+34,98) = -518,97 \text{ (м)};$$

$$Y_1 = Y_5 + \Delta Y_{5-1} = -393,95 + (-84,04) = -477,99 \text{ (м)}.$$

3. Обчислення координат точок діагонального ходу

Обчислення координат вершин теодолітного ходу, прокладеного між двома пунктами геодезичної мережі, зокрема діагонального ходу, має деякі свої особливості (табл. 8.2). Кутову нев'язку ΔQ діагонального ходу визначають за формулою:

$$\Delta Q = \Sigma \beta_{\text{вим.}} - 180^\circ \cdot n - (\alpha_{\text{поч.}} - \alpha_{\text{кін.}}), \quad (8.6)$$

де $\Sigma \beta_{\text{вим.}}$ – сума виміряних кутів діагонального ходу;

n – кількість кутів діагонального ходу;

$\alpha_{\text{поч.}}$ та $\alpha_{\text{кін.}}$ – дирекційні кути, відповідно, початкової та кінцевої ліній, на які опирається діагональний хід.

Якщо під час обчислень у формулі наступне число буде більшим від попереднього, то до меншого додають 360° . У наведеному прикладі: $\Delta Q = 432^\circ 36' + 360^\circ - 180^\circ \cdot 4 - (258^\circ 34' - 185^\circ 59') = 792^\circ 36' - 720^\circ 00' - 72^\circ 35' = 0^\circ 01'$.

Кутову нев'язку, допустимість якої оцінюють, як і в зімкнутому полігоні, розподіляють на кути діагонального ходу й обчислюють за ув'язаними кутами дирекційні кути його ліній. Контролем обчислення дирекційних кутів слугує “вихід” на значення дирекційного кута кінцевої лінії $\alpha_{\text{кін.}}$ (у наведеному прикладі – α_{4-5}).

Таблиця 8.2

Відомість обчислення координат точок діагонального ходу

№ т о ч о к	Кути			Дирекційні кути	Румби	Довжини ліній, м	Прирости координат, м				Координати, м			№ то чок
	виміряні	поп рав-ки	виправлені				обчислені		виправлені		X	Y	±	
							ΔX	ΔY	±	ΔX				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1													1	
2	28°19'		28°19'	258°34'	ПнС: 50°15'	120,81	+ ^{+0,02} 77,25	+ ^{-0,01} 92,88	+77,27	+92,87	-545,65	-609,88	2	
6	154°34'	-01'	154°33'	75°42'	ПнС: 75°42'	81,13	+ ^{+0,02} 20,04	+78,62	+20,06	+78,62	-468,38	-517,01	6	
7	215°28'		215°28'	40°14'	ПнС: 40°14'	98,13	+ ^{+0,02} 74,91	+63,38	+74,93	+63,38	-448,38	-438,39	7	
4	34°15'		34°15'	185°59'							-373,39	-375,01	4	
Σ	432°36'	01'	432°35'			P=300,07	+172,20	+234,88	+172,26	+234,87			5	

$$\Delta Q = \Sigma \beta_{\text{вим.}} - 180^\circ \cdot n - (\alpha_{\text{поч.}} - \alpha_{\text{кінц.}}) = 432^\circ 36' + 360^\circ - 180^\circ \cdot 4 - (258^\circ 34' - 185^\circ 59') = 792^\circ 36' - 720^\circ 00' - 72^\circ 35' = +0^\circ 01'$$

$$f_{\beta_{\text{вим.}}} = \pm 3m\sqrt{n} = \pm 3 \cdot 0,5' \cdot \sqrt{4} = 3'$$

$$\Sigma \Delta X_{\text{теор.}} = X_4 - X_2 = -373,39 - (-545,65) = +172,26 \text{ (м);}$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{теор.}} = Y_4 - Y_2 = -375,01 - (-609,88) = +234,87 \text{ (м).}$$

$$f_x = \Sigma \Delta X_{\text{обч.}} - \Sigma \Delta X_{\text{теор.}} = 172,20 - 172,26 = -0,06 \text{ (м);}$$

$$f_y = \Sigma \Delta Y_{\text{обч.}} - \Sigma \Delta Y_{\text{теор.}} = 234,88 - 234,87 = +0,01 \text{ (м).}$$

$$f_{\text{абс.}} = \pm \sqrt{(-0,06)^2 + (+0,01)^2} = \pm 0,06 \text{ (м).}$$

$$f_{\text{відн.}} = \frac{f_{\text{абс.}}}{P} = \frac{0,06}{300,07} = \frac{1}{5002} < \frac{1}{5000} \cdot 1000$$

Обчисливши прирости координат ліній діагонального ходу ΔX і ΔY , підраховують їхні суми й визначають нев'язки. Теоретичну суму приростів знаходять як різницю відповідних координат точок, на які опирається діагональний хід.

У наведеному прикладі:

$$\Sigma \Delta X_{теор.} = X_4 - X_2 = -373,39 - (-545,65) = +172,26 \text{ (м);}$$

$$\Sigma \Delta Y_{теор.} = Y_4 - Y_2 = -375,01 - (-609,88) = +234,87 \text{ (м).}$$

Якщо початкова й кінцева точки теодолітного ходу є пунктами геодезичної мережі вищого класу, то допустимість нев'язки визначають, так само як і в зімкнутому полігоні. Якщо ж теодолітний хід опирається на точки прокладених раніше теодолітних ходів, його відносна нев'язка не повинна перевищувати 1/1000.

4. Побудова плану за результатами теодолітного знімання

Для невеликих земельних ділянок план можна скласти за вимірними на місцевості кутами та лініями, користуючись транспортиром та масштабною лінійкою. Однак такий спосіб побудови плану має суттєвий недолік: похибка у побудові кожного кута призводить до повороту всієї наступної частини полігона або ходу і через це знижується точність побудови плану. Цей недолік має місце й під час побудови плану за румбами та довжинами ліній.

Для побудови плану за координатами, отриманими в результаті теодолітного знімання, спочатку на аркуші креслярського паперу розмічують сітку квадратів (координатну сітку). Від точності її побудови залежить точність плану, тому цю роботу слід виконувати якомога ретельніше.

Існує багато способів побудови координатної сітки. Для відображення невеликих ділянок місцевості координатну сітку можна побудувати, скориставшись способом діагоналей. З цією метою будують прямокутник, для чого через увесь аркуш паперу проводять дві діагоналі (рис. 8.5) і з точки їх перетину відкладають циркулем-вимірником у напрямі до кожного кута аркуша відрізки однакової довжини. Кінці відрізків з'єднують тонкими лініями. На сторонах отриманого прямокутника послідовно відкладають відрізки завдовжки 10 см.

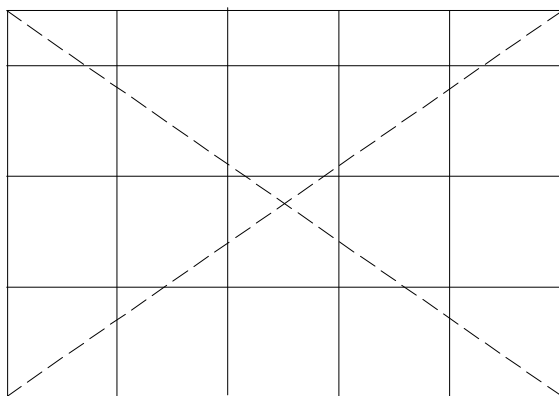


Рис. 8.5. Побудова координатної сітки за діагоналями аркуша паперу

З'єднавши тонкими лініями кінці відрізків, розташованих на протилежних сторонах прямокутника, отримують сітку квадратів. Правильність її побудови перевіряють шляхом визначення рівності діагоналей у кожному квадраті за допомогою циркуля-вимірника.

Плани великих ділянок місцевості часто будують на планшетах розмірами 50x50 см. Якщо план виходить за межі планшета, його

будують на аркушах паперу більшого розміру, а часом – і на декількох аркушах. Тому перед побудовою координатної сітки потрібно розрахувати розміри плану полігона та визначити розміри аркуша паперу, на якому він буде побудований.

Розміри плану та аркуша паперу, на якому він має бути побудований, а якщо полігон великий – то й потрібну кількість аркушів паперу, можна розрахувати за координатами точок полігона.

Розмір плану з півночі на південь (згори вниз) визначають як різницю найбільшої і найменшої абсцис, а із заходу на схід (зліва направо) – як різницю найбільшої і найменшої ординат точок полігона. Наприклад, складаючи план в масштабі 1:2000 (1 см на плані відповідає $m = 20$ м горизонтальної проекції лінії на місцевості) за обчисленими у відомості (табл. 5.6) координатами, розраховуємо:

$$X_{\text{плану}} = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{m} = \frac{-545,65 - 250,66}{20} = \frac{294,99}{20} = 14,75 \approx 15 \text{ см};$$

$$Y_{\text{плану}} = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{m} = \frac{651,02 - 375,01}{20} = \frac{276,01}{20} = 13,8 \approx 14 \text{ см}.$$

Враховуючи, що зліва та справа, вгорі та внизу плану треба залишити приблизно по 8–10 см для розміщення таблиць, написів і т. п., то розмір потрібного аркуша паперу становитиме: згори вниз $15,0 + 20 = 35,0$ (см); зліва направо – $14,0 + 20 = 34,0$ (см). Як правило, у верхній частині аркуша залишають у два рази більше вільного місця, ніж у нижній тому, що там розміщують заголовок плану.

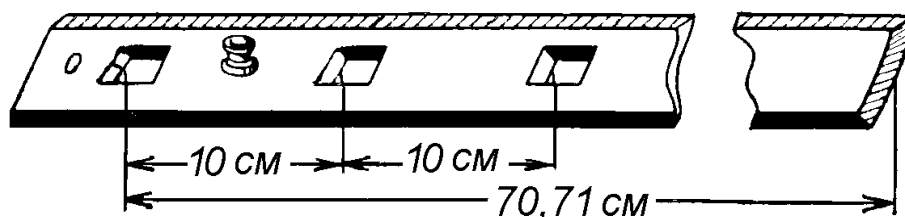


Рис. 8.6. Лінійка Дробишева

Координатні сітки розміром 50x50 см зручно будувати за допомогою лінійки Дробишева. Вона має вигляд металевого бруска зі скошеним ребром (рис. 8.6). Вздовж полотна лінійки вирізано шість віконць зі скошеними краями, на першому (лівому) з яких нанесено початковий штрих 0. Усі скошені краї наступних віконць є дугами радіусів 10 см (друге віконце), 20 см (третє) і т.д., центром яких є нульовий штрих. Лінійка закінчується скошеним ребром, яке є дугою радіуса 70,71 см. Величина 70,71 см дорівнює діагоналі квадрата зі стороною 50 см.

Побудову координатної сітки лінійкою Дробишева виконують у наступній послідовності. У лівому нижньому кутку аркуша паперу позначають точку А і вздовж скошеного ребра лінійки проводять лінію АВ. На прокреслену лінію накладають лінійку так, щоб кінець її нульового штриха співпав з точкою А і по скошених краях віконць олівцем проводять дуги (рис. 8.7, а). Повернувши лінійку перпендикулярно до лінії АВ, суміщають кінець нульового штриха з точкою А і проводять дуги по скошених краях віконць (рис. 8.7, б). Після цього

нульовий штрих суміщають з точкою В і дугоподібним скошеним кінцем лінійки засікають на верхньому штриху точку С, яка є лівою верхньою вершиною квадрата (рис. 8.7, в). Аналогічно одержують і праву верхню вершину квадрата D. Для контролю суміщають кінець нульового штриха з точкою С і переконуються, що дуга шостого віконця проходить через точку D (рис. 8.7, г). Якщо це так, то через усі скошені краї віконця проводять дуги, а потім по скошеному краю лінійки – всі лінії координатної сітки.

Точність побудови координатної сітки перевіряють, вимірюючи діагоналі та

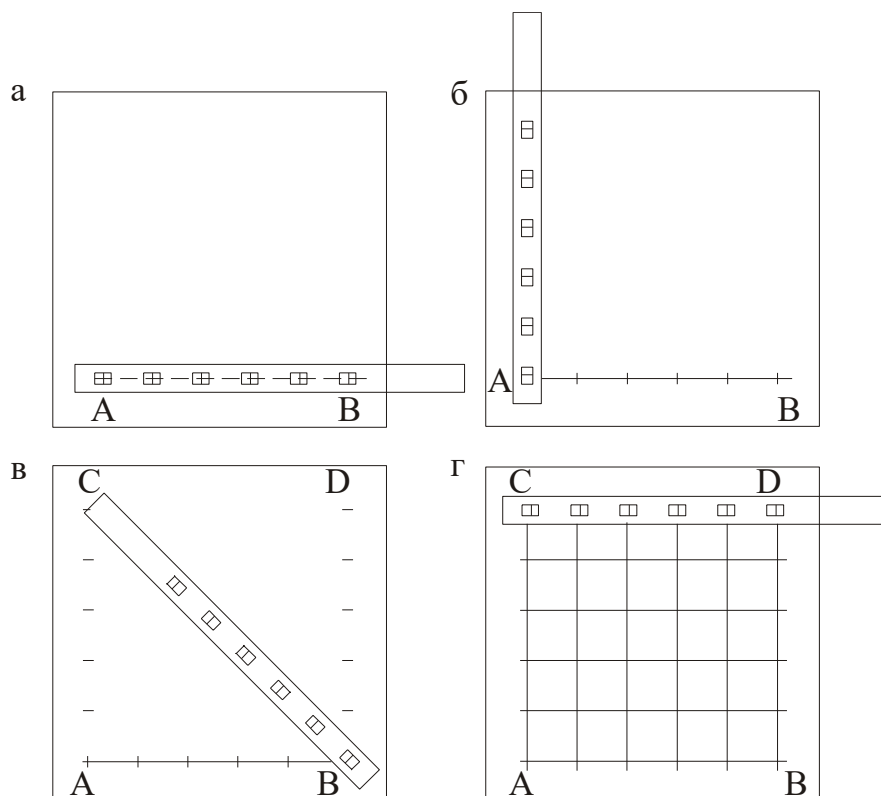


Рис. 8.7. Побудова координатної сітки за допомогою лінійки Дробишева

сторони квадратів за допомогою циркуля-вимірника. Розходження не повинні перевищувати 0,2 мм. У противному разі координатну сітку будують заново.

Положення кожної точки полігона на плані визначатиметься її координатами, тому потрібно правильно розмістити осі координат. Здебільшого вони взагалі не попадають на план, а розміщені за його межами. Тоді замість них користуються лініями координатної сітки, які є паралельними до них. По кінцях цих ліній підписують значення координат відповідно до прийнятого масштабу плану з таким розрахунком, щоб теодолітний полігон симетрично розташувався у межах сітки координат (рис. 8.8).

Точки теодолітних ходів наносять на план, користуючись координатною сіткою. У наведеному прикладі (табл. 8.1) координати першої точки полігону: $X_1 = -518,97$ м; $Y_1 = -477,99$ м. Отже, вона знаходиться у верхньому лівому куті третього квадрата нижнього ряду координатної сітки. За допомогою масштабної лінійки та циркуля-вимірника від верхньої лінії квадрата по обох його бокових сторонах відкладають вниз 18,97 м і проводять лінію паралельну осі ординат. На

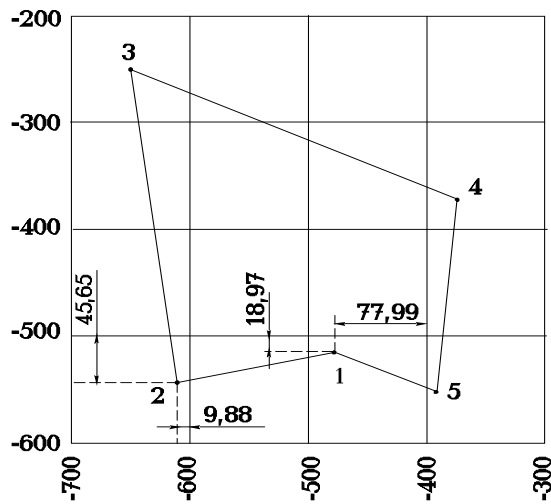


Рис. 8.8. Побудова полігону за координатами його вершин

ній відкладають відрізок вліво 77,99 м, контролюючи положення точки 1 доповненням до 100 м – 22,01 м. Точка 2 буде розташована у першому зліва нижньому квадраті нижче його верхньої сторони на 45,65 м і вліво від його правої сторони на 9,88 м (рис. 8.8). Положення точок 1 і 2 контролюють горизонтальним прокладанням лінії (134,55 м), яке набирають у розхил циркуля-вимірника. Розбіжність не повинна перевищувати 0,2 мм. Крім того, перевіряють відповідність напрямку лінії її румба, записаному у відомості координат.

Нанісши таким чином на план усі вершини полігону та діагонального ходу, за допомогою олівця з'єднують суміжні точки тонкими суцільними лініями. За даними польових журналів та абрисів, користуючись лінійкою, трикутником і транспортиром, на план наносять контури і предмети внутрішньої ситуації у тій самій послідовності й тими ж методами, якими виконувалось знімання. Якщо під час знімання прокладались бусольні ходи, то в усі магнітні азимуту потрібно внести поправки на різницю між дирекційними кутами та магнітними азимутами. Для цього треба порівняти дирекційні кути двох-трьох ліній полігону, обчислених у відомості координат, з їхніми магнітними азимутами, записаними в польовому журналі і взяти середнє значення різниці. Після цього виправлені магнітні азимуту переводять у румби й за ними будують бусольні ходи.

Побудований план оформляють тушшю і, за потреби, фарбами у відповідності з умовними знаками знятих угідь і предметів місцевості. Перехрестя ліній координатної сітки показують синьою або зеленою тушшю, а значення їх координат – чорною. Проти кожної лінії окружної межі полігону у вигляді дробу вказують їхні румби (у чисельнику) і довжини (у знаменнику) (рис. 8.9). Останнім часом ці дані показують у геожурналі – таблиці, яку розміщують збоку від полігону. У точках окружної межі, розміщених на границях між різними землекористувачами, проводять розділові лінії, завдовжки 8–10 мм, і ставлять великі букви алфавіту (А, Б, В і т. д.). У південно-західній частині плану розміщують опис суміжних землекористувачів, наприклад: від А до Б – землі КСП "Зоря"; від Б до В – землі Держлісфонду тощо.

У верхній частині аркуша крупним шрифтом підписують "План землекористування", вказують назву землекористувача, район, область. Під цим написом розміщують таблицю з переліком зображених на плані угідь та їх площами – експлікацію угідь.

Внизу під планом вказують його числовий та креслять лінійний масштаби. У розміщеному в нижньому правому кутку штампі вказують назву організації, яка проводила знімання, прізвища виконавців та посадових осіб, які приймали польові роботи, перевіряли польові та камеральні документи.

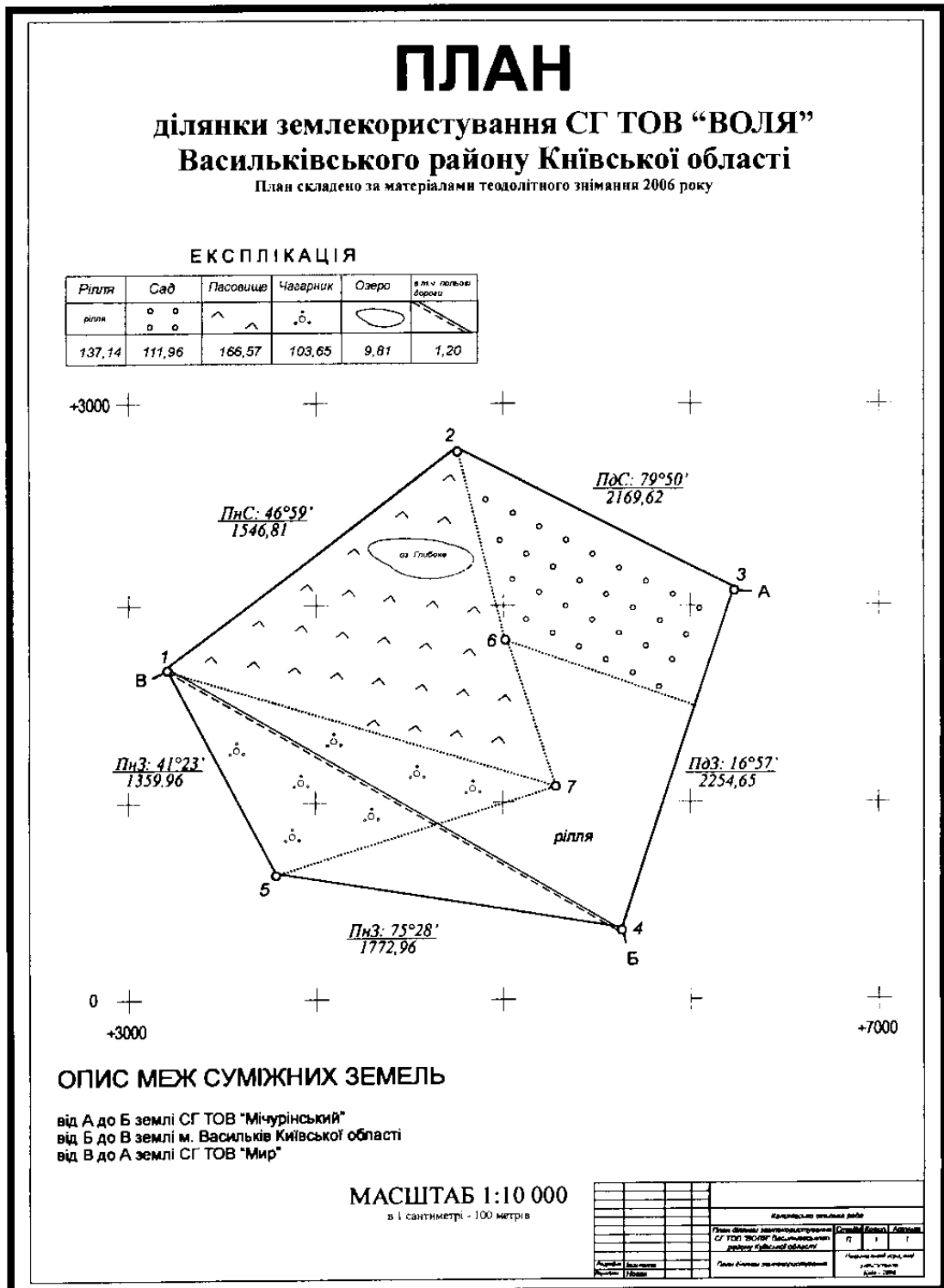


Рис. 8.9. План, побудований за результатами теодолітного знімання

Лекція 9. Методи визначення площ земельних ділянок

1. Вимірювання площ за картами

Для вирішення багатьох практичних задач спеціалісту, робота якого пов'язана з землею – землевпоряднику, агроному, меліоратору, лісівнику – треба вміти обчислювати площі земельних ділянок. Це можна робити різними способами – як за результатами безпосередніх вимірів на місцевості (аналітичний спосіб), так і на побудованих за ними планах чи картах (графічний, механічний способи). У сучасних умовах для визначення площ полігонів, особливо з великою кількістю вершин, застосовують комп'ютери, які за лічені секунди обчислюють площу полігона за введеними координатами його вершин, а також методи оцифрування контурів, приведення до єдиної системи координат та визначення площ в автоматичному режимі за допомогою відповідного програмного забезпечення (ArcGIS, MapInfo). Обчислення площ за результатами вимірів на місцевості є точнішим, оскільки на нього впливають лише похибки вимірювань довжин ліній та кутів безпосередньо на місцевості.

2. Аналітичний спосіб визначення площі

Аналітичний спосіб обчислення площ ділянок місцевості базується на використанні результатів вимірів довжин сторін полігона та кутів, які вони утворюють, або ж за функціями цих вимірів. Якщо ділянка має форму простої геометричної фігури, то площу її легко обчислити за відомими математичними формулами. Часом для спрощення обчислення площі на місцевості виконують додаткові вимірювання довжин чи кутів.

Найчастіше, коли відомі координати вершин полігона, його площу обчислюють за координатами. Формули, які при цьому використовують, легко вивести на прикладі найпростішого зімкнутого полігона у вигляді трикутника ABC (рис. 9.1). Опустивши з його вершин перпендикуляри на вісь ординат, отримують трапеції $A'ABB'$, $B'BCC'$ та $A'ACC'$, основами яких є величини іксів, а висотами – різниці ігреків точок полігона. Площу кожної трапеції можна визначити як добуток половини суми основ на висоту:

$$S_{A'ABB'} = \frac{x_1 + x_2}{2} \cdot (y_2 - y_1);$$

$$S_{B'BCC'} = \frac{x_2 + x_3}{2} \cdot (y_3 - y_2);$$

$$S_{A'ACC'} = \frac{x_1 + x_3}{2} \cdot (y_3 - y_1)$$

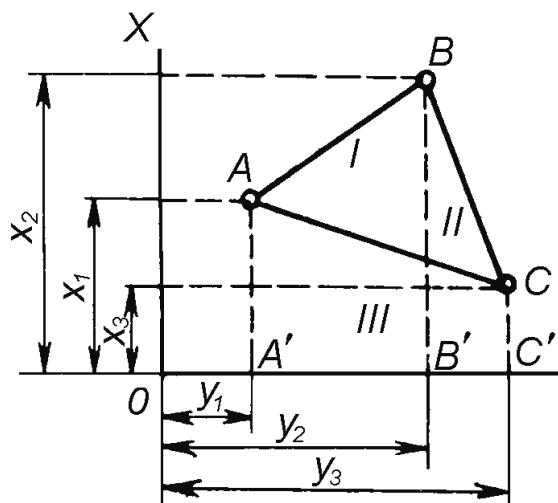


Рис. 9.1. Визначення площі ділянки

Тоді площа полігона ABC дорівнюватиме сумі площ лівої і правої трапецій без площі трапеції, розташованої під ним:

$$S_{ABC} = S_{A'ABB'} + S_{B'BCC'} - S_{A'ACC'}.$$

Підставивши значення площ трапецій і, перемноживши ліву й праву частину рівняння на 2, отримують:

$$2S_{ABC} = (x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) - (x_1 + x_3)(y_3 - y_1) = \\ = x_1y_2 - \underline{x_1y_1} + \underline{x_2y_2} - x_2y_1 + x_2y_3 - \underline{x_2y_2} + \underline{x_3y_3} - x_3y_2 - x_1y_3 + \underline{x_1y_1} - \underline{x_3y_3} + x_3y_1.$$

Звівши подібні члени рівняння та перегрупувавши члени його правої частини відносно x , отримують:

$$2S_{ABC} = x_1y_2 - x_2y_1 + x_2y_3 - x_3y_2 - x_1y_3 + x_3y_1; \\ 2S_{ABC} = x_1y_2 - x_1y_3 + x_2y_3 - x_2y_1 + x_3y_1 - x_3y_2; \\ 2S_{ABC} = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2).$$

У загальному вигляді це рівняння можна виразити формулою:

$$2S = \sum x_n \cdot (y_{n+1} - y_{n-1}). \quad (9.1)$$

Тобто, подвійна площа полігона дорівнює сумі послідовних добутків абсцис (іксів) на різницю ординат (ігреків) наступної та попередньої по відношенню до абсциси точок.

Якщо праву частину рівняння згрупувати по y (ігреках), то формула для обчислення площі набере вигляду:

$$2S = \sum y_n \cdot (x_{n-1} - x_{n+1}). \quad (9.2)$$

Звичайно, результати розрахунків за обома формулами мають бути однаковими, тому в практичній роботі одна з них служить контролем обчислення площі.

Як уже відзначалось, помилки у визначенні площі аналітичним способом залежать тільки від помилок вимірювань на місцевості. Наближено вважається, що відносна похибка визначення площі цим способом дорівнює подвійній відносній помилці вимірювання ліній. Наприклад, для середніх умов вимірювання ліній мірною стрічкою відносна помилка дорівнює 1:2000, тоді відносна помилка визначення площі буде 1:1000.

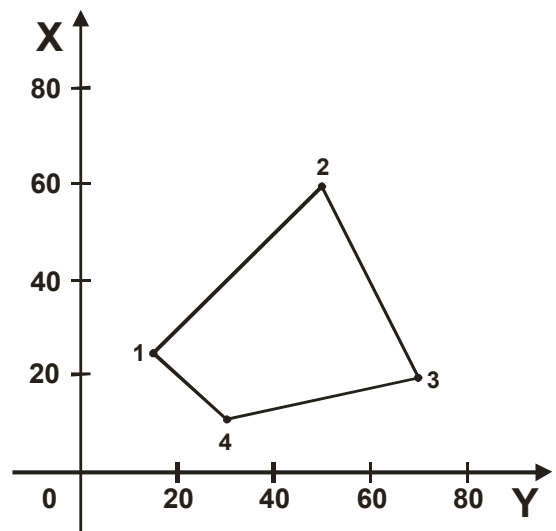


Рис. 9.2. Визначення площі

Основний недолік способу – громіздкість обчислень. Площі невеликих полігонів (рис. 9.2.) можна визначати на мікрокалькуляторі, за попередньо складеними відповідними програмами, а за відсутності програмованих мікрокалькуляторів обчислення площі можна розбити на окремі етапи й вести розрахунки на звичайному мікрокалькуляторі, заповнюючи спеціальну відомість (табл. 9.1).

Таблиця 9.1

Відомість визначення площі полігона за координатами його вершин

№ вершин	Координати точок полігона, м		Різниці координат, м		Добутки, м ²	
	X	Y	$Y_{n+1} - Y_{n-1}$	$X_{n-1} - X_{n+1}$	$X_n(Y_{n+1} - Y_{n-1})$	$Y_n(X_{n-1} - X_{n+1})$
1	2	3	4	5	6	7
1	25	15	20	-50	500	-750
2	60	50	55	5	3300	250
3	20	70	-20	50	-400	3500
4	10	30	-55	-5	-350	-150
Σ			0	0	2850	2850

Досвід показує, що точність визначення площі цим способом для цілей землевпорядкування буде цілком достатньою при заокругленні значень координат вершин полігона до 0,1 м, а якщо його площа більша 200 га – то й до 1,0 м. Проміжним контролем обчислень слугує рівність сум різниць координат у графах 4 і 5 відомості нулю. Сума добутків у графах 6 і 7 має бути однаковою. Вона дорівнює подвійній площі полігона.

Наведену вище формулу обчислення площі полігона за координатами його вершин можна представити в дещо іншому вигляді:

$$2S_{ABC} = x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_1 - y_1x_2 - y_2x_3 - y_3x_1.$$

Принцип цього методу обчислення площі полігона, який умовно можна назвати *методом черговості координат*, добре видно з наведеної нижче схеми.

№№ точок	Координати точок, м	
	x	y
1	25	15
2	60	50
3	20	70
4	10	30
1	25	15

Сума добутків координат, які на схемі з'єднані суцільними стрілками, мінус сума добутків координат, з'єднаних пунктирними стрілками, дорівнює подвійній площі полігона:

$$2S = 25 \cdot 50 + 60 \cdot 70 + 20 \cdot 30 + 10 \cdot 15 - 25 \cdot 30 - 10 \cdot 70 - 20 \cdot 50 - 60 \cdot 15;$$

$$2S = 6200 - 3300 = 2850 \text{ (м}^2\text{)}; S = 1425 \text{ (м}^2\text{)}.$$

3. Графічний спосіб визначення площі

Графічний спосіб обчислення площі полягає в поділі зображеної на плані (карті) ділянки місцевості на прості геометричні фігури (трикутники, прямокутники, трапеції тощо), площі яких визначають за формулами, відомими з геометрії: площа трикутника дорівнює половині добутку основи a на висоту h (рис. 9.3, а); площа трапеції – добутку півсуми основ a та b на висоту h або добутку середньої лінії c на висоту h (рис. 9.3, б); площа паралелограма – добутку основи a на висоту h (рис. 9.3, в).

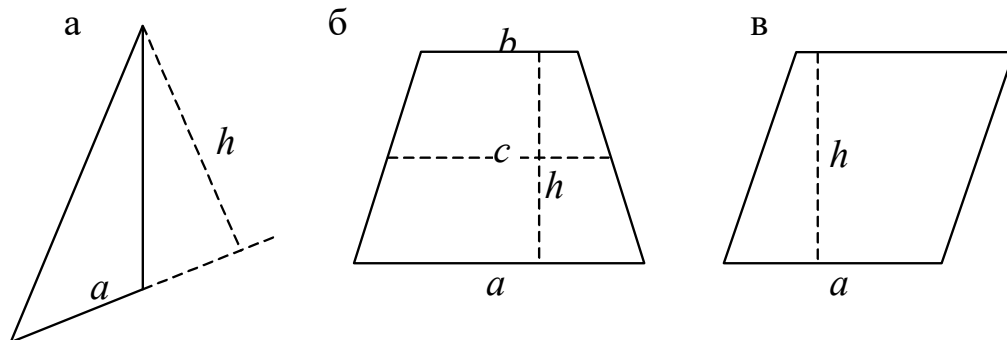


Рис. 9.3. Елементи, які вимірюють у найпростіших фігурах при обчисленні їх площі

Цим способом зручно користуватись тоді, коли межею ділянки є ламана лінія з невеликою кількістю поворотів. Вимірявши в масштабі плану необхідні величини, знаходять площу кожної окремої геометричної фігури. Сума площ цих фігур дає площу даної ділянки.

Результати обчислення площі графічним способом тим точніші, чим крупніший масштаб плану. Точність визначення площі залежить від точності вимірювання ліній на плані. Оскільки відрізки прямої вимірюють на плані з точністю 0,1 мм, відносна похибка вимірювання коротких ліній є більшою, ніж довгих. Отже, геометричні фігури, на які ділять полігон, повинні бути якомога більшими.

У розрахунки в першу чергу слід включати лінії, довжини яких виміряні безпосередньо на місцевості.

Для усунення грубих помилок і підвищення точності, площу кожної фігури визначають двічі, використовуючи різні лінійні величини (рис. 9.4), або розбивають ділянку на інші геометричні фігури. Допустима відносна похибка визначення площі – 1/200.

Результати вимірювань та обчислення площі геометричним способом рекомендується заносити у відомість (табл. 9.2).

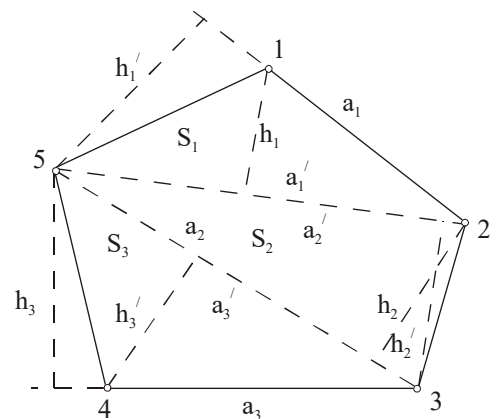


Рис. 9.4. Розбивка ділянки на трикутники

Відомість обчислення площі графічним способом

№ фігури	№ виміру	Основа, м	Висота, м	Подвійна площа, га	Середня подвійна площа, га	Допустиме розходження, га
I	1	164,24	180,20	2,96		
					2,96	0,01
	2	219,20	135,10	2,96		
II	1	165,48	204,90	3,39		
					3,38	0,02
	2	219,20	153,60	3,37		
III	1	218,60	90,10	1,97		
					1,96	0,01
	2	122,93	159,60	1,96		

$$2S = 8,30 \text{ га} \quad S = 4,15 \text{ га}$$

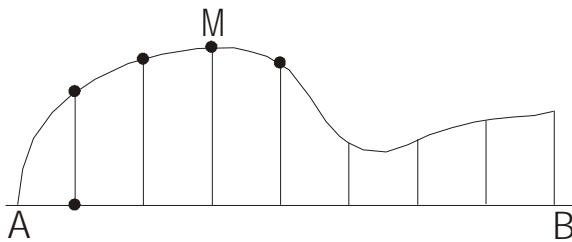


Рис 9.5. Розбивка криволінійного контуру на трапеції

Нерідко до ліній теодолітних чи бусольних ходів примикають криволінійні контури (рис. 9.5). У цих випадках перпендикуляри, опущені з характерних точок кривої лінії на пряму, утворюють трапеції, сума площ яких є площею даної ділянки.

Якщо згини лінії, яка обмежує контур, розташовані досить близько один від другого, його можна розбити на трапеції з однаковою відстанню d між їхніми основами, вважаючи відрізки кривої прямими (рис. 9.6). Площу такого контуру можна обчислити за формулою:

$$S = d \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) + d \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) + \dots + d \left(\frac{h_{n-1} + h_n}{2} \right), \text{ звідки:}$$

$$S = d \left(\frac{h_1 + h_n}{2} + h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1} \right).$$

У випадку, коли відстань d між основами трапецій є значною, площу такої ділянки доцільніше визначати за формулою Сімпсона ("правило однієї третини"). З рис. 9.7 видно, що площа такої ділянки дорівнюватиме:

$$S = 2d \left(\frac{h_1 + h_3}{2} \right) + \frac{2}{3} \cdot 2d \left(h_2 - \frac{h_1 + h_3}{2} \right) + 2d \left(\frac{h_3 + h_5}{2} \right) + \frac{2}{3} \cdot 2d \left(h_4 - \frac{h_3 + h_5}{2} \right) \text{ і т.д.}$$

Здійснивши деякі перетворення та спрощення, отримаємо:

$$S = \frac{d}{3} [(h_1 + h_n) + 2(h_3 + h_5 + \dots + h_{n-2}) + 4(h_2 + h_4 + \dots + h_{n-1})]$$

Графічний спосіб застосовують також для визначення площі витягнутих контурів (доріг, каналів, невеликих річок). Довжину таких об'єктів знаходять, користуючись курвіметром, а ширину, як правило, за результатами безпосередніх вимірів на місцевості.

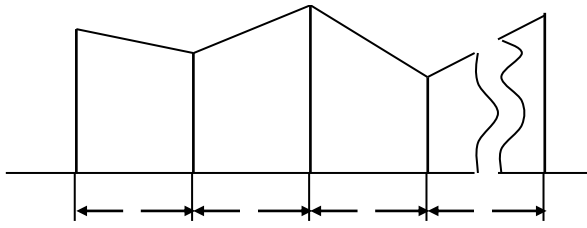


Рис. 9.6. Визначення площі контуру, обмеженого кривою лінією за площами трапецій

До графічного способу відносять також визначення площ палетками.

Палетка – це накреслена на прозорому матеріалі сітка квадратів із стороною 2, 4, 5 або 10 мм (*квадратна палетка*), або паралельних рівновіддалених ліній (*паралельна палетка*).

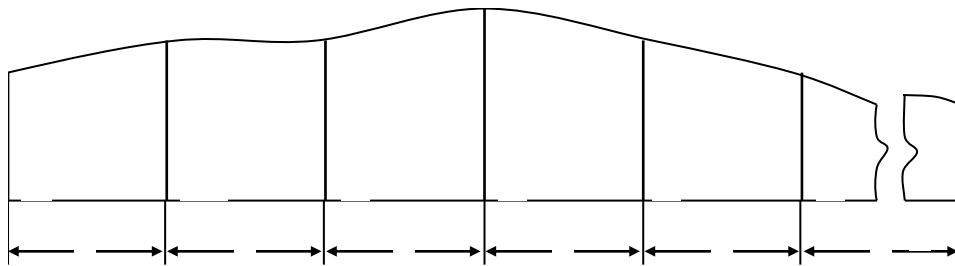


Рис. 9.7. До визначення площі контуру обмеженого кривою лінією за формулою Сімпсона

Палетки використовують для визначення площ ділянок, які мають криволінійні контури. Квадратну палетку накладають на контур ділянки й підраховують кількість повних квадратів, що вміщуються в ньому. Частки неповних квадратів по периферії ділянки підраховують “на око”, доповнюючи їх до цілих квадратів (рис. 9.8, а).

Визначивши за масштабом плану площу одного квадрата у квадратних метрах або гектарах, перемножують її на кількість квадратів у даному контурі й отримують площу даної ділянки.

Наприклад, у межах контуру ділянки на плані масштабу 1:10000 вміщається 53 квадрати розміром 2 x 2 мм. За цього масштабу площа квадрата становить 20x20 м = 400 м². Отже, загальна площа контуру ділянки дорівнює:

$$400 \text{ м}^2 \cdot 53 = 21200 \text{ м}^2 = 2,12 \text{ га.}$$

Квадратною палеткою не рекомендується визначати площі ділянок, більші 2 см² на плані. Визначення нею площ проводиться з відносною похибкою від 1/50 до 1/100 вимірюваної величини. Недоліком її застосування є не тільки те, що частини клітинок приходиться підраховувати “на око”, але й те, що підрахунок цілих клітинок нерідко супроводжується грубими похибками. Цього недоліку позбавлена палетка з паралельними лініями.

Для визначення площі паралельну палетку накладають на контур ділянки, як показано на рис. 9.8, б.

Фігуру кожної ділянки, обмеженої двома сусідніми паралельними лініями, умовно вважають за трапецію, площу якої можна визначити як добуток середньої лінії l на висоту h . Загальна площа контуру S дорівнюватиме сумі площ трапецій:

$$S = l_1 \cdot h + l_2 \cdot h + l_3 \cdot h + \dots + l_n \cdot h = h (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n).$$

Отже, для обчислення площі ділянки за допомогою палетки з паралельними лініями треба знайти сумарну довжину середніх ліній у сантиметрах, за масштабом перевести її у метри й помножити на висоту трапеції, якою є виражена у масштабі плану відстань між її двома сусідніми паралельними лініями.

Наприклад, під час визначення площі ділянки на плані масштабу 1:10000 сумарна довжина середніх ліній трапеції склала 12,6 см (1260 м). Відстань між лініями палетки $h = 0,2$ см (20 м). Площа цієї ділянки на місцевості дорівнює:

$$1260 \cdot 20 = 25200 \text{ (м}^2\text{)} = 2,52 \text{ га.}$$

Довжини середніх ліній трапеції набирають у розхил циркуля-вимірника. Для спрощення визначення площі під палеткою розміщують шкали – графіки масштабів площ. Ними користуються, як звичайним лінійним масштабом: прикладають на шкалу потрібного масштабу циркуль-вимірник з набраною сумарною довжиною середніх ліній трапецій і читають площу даної ділянки, виражену в гектарах.

Графік масштабу площ неважко побудувати самотужки. Для побудови треба попередньо зробити нескладні розрахунки. Наприклад, за масштабу плану 1:10000 і відстані між паралельними лініями палетки 0,2 см основа шкали завдовжки 1 см матиме площу на місцевості: $20 \cdot 100 = 2000 \text{ (м}^2\text{)} = 0,20 \text{ га}$, а кожна поділка крайньої лівої основи – 0,02 га (рис. 9.8, в, верхня шкала).

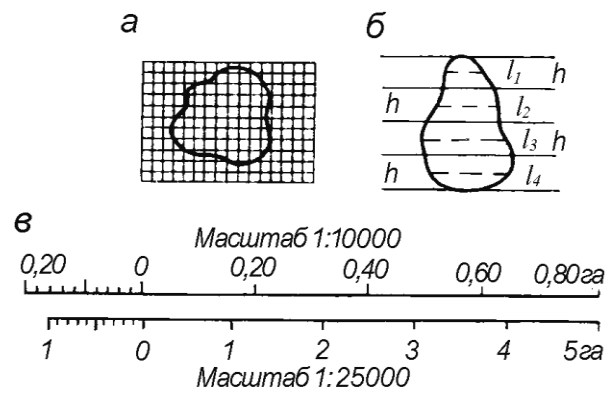


Рис. 9.8. Визначення площ за допомогою палеток: а) квадратної; б) паралельної; в) шкали масштабів площ

Для масштабу 1:25000 відстань між лініями цієї палетки дорівнює 50 м. Отже, 1 см шкали відповідатиме площа $250 \cdot 50 = 12500 \text{ (м}^2\text{)} = 1,25 \text{ га}$. Для зручності користування шкалою, можна розрахувати довжину її основи x , за якої площа трапеції становила б 1 га:

1 см – 1,25 га

$x \text{ см} = 1,0 \text{ га}$; звідси, $x = \frac{1 \text{ см} \cdot 0,1 \text{ га}}{1,25 \text{ га}} = 0,8 \text{ см}$.

Отже, основа шкали масштабу площі для роботи з планами цього масштабу і даною палеткою повинна бути завдовжки 0,8 см, що відповідатиме площі 1 га на місцевості, а кожна з десяти поділок, на які розділена крайня ліва основа – 0,1 га (рис. 9.8, в, нижня шкала).

Палеткою з паралельними лініями не рекомендується визначати площі ділянок, більші 10 см² на плані.

4. Механічний спосіб визначення площі. Планіметр

Механічний спосіб визначення площ на планах та картах базується на використанні спеціального приладу – планіметра, який дає можливість шляхом обводу контуру фігури будь-якої форми визначити її площу. У наш час найбільш поширеними є **полярні планіметри**. Полярний планіметр складається з двох важелів – полюсного 2 і обвідного 3 та однієї або двох кареток з лічильними механізмами (рис. 9.9).

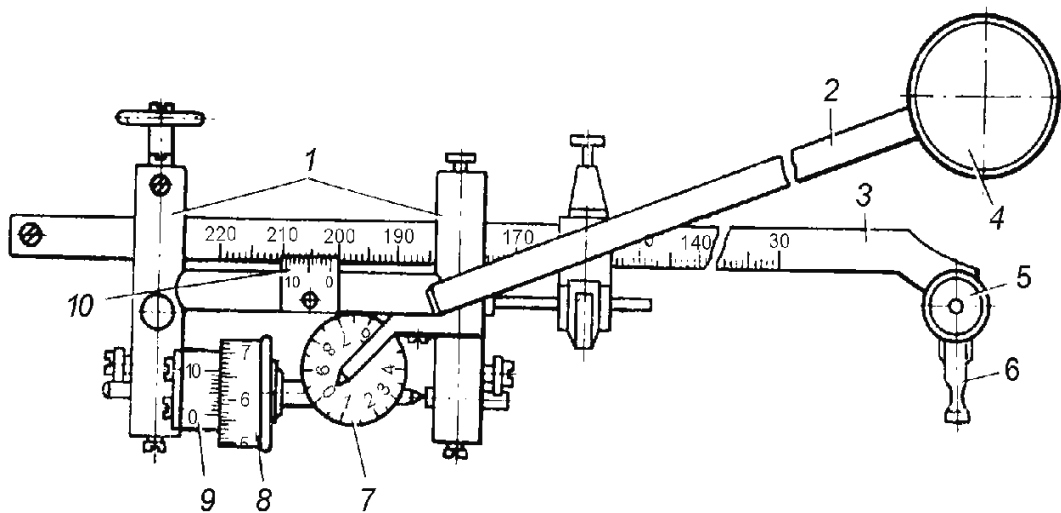


Рис. 9.9. Загальний вигляд полярного планіметра:

1 – каретка; 2 – полюсний важіль; 3 – обвідний важіль; 4 – тягарець з голкою (полюсом); 5 – обвідне скельце; 6 – серга; 7 – циферблат; 8 – лічильний ролик з барабаном; 9 – верньєр відлікового механізму; 10 – верньєр обвідного важеля

На одному з кінців полюсного важеля прикріплено тягарець 4 з голкою-полюсом, за допомогою якої планіметр закріплюють на папері. Другий кінець

полюсного важеля має шарнір (стрижень із кулеподібною головкою), який під час роботи вставляють у гніздо каретки лічильного механізму, розміщеної на обвідному важелі планіметра. На кінці обвідного важеля змонтовано скельце 5 в металевій оправі з точкою в центрі, яку під час визначення площі переміщують по контуру ділянки за допомогою серги 6.

Каретку з відліковим механізмом можна пересувати по обвідному важелю, змінюючи тим самим його довжину, яку визначають, користуючись шкалою верньєра 10.

Барaban ролика лічильного механізму 8 має шкалу, яка містить 100 поділок. Він з'єднаний черв'ячною передачею з циферблатом 7, по якому відраховують кількість повних обертів ролика. Частину оберту ролика визначають на барабані, користуючись верньєром відлікового механізму 9.

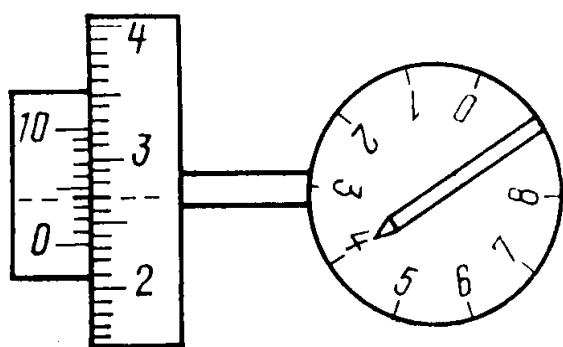


Рис. 9.10. Відлік по лічильному механізму 4234

Для користування планіметром треба вміти читати відліки й визначати ціну поділки планіметра – встановлювати, скільком квадратним метрам відповідає одна поділка планіметра за даного масштабу плану.

Відлік на лічильному механізмі планіметра (рис. 9.10) складається із чотирьох цифр: першу читають на циферблаті, керуючись нерухомим покажчиком (індексом), другу й третю – на барабані лічильного ролика: номер

меншого підписаного штриха та кількість цілих, не підписаних поділок від нього до нуля верньєра лічильного механізму, четверта цифра – це номер поділки верньєра, рахуючи від нуля, яка точно співпадає з будь-якою поділкою на барабані ролика.

Для визначення площі ділянки полюс планіметра закріплюють на плані поблизу неї. Центр обвідного скельця встановлюють на будь-яку позначену олівцем точку контуру й на відліковому механізмі читають відлік до обводу m_1 . Обвівши ділянку обвідним скельцем по контуру за годинниковою стрілкою до позначеної точки, беруть другий відлік m_2 . Різниця відліків $m_2 - m_1$ дасть площу обведеної фігури у поділках планіметра. Для визначення площі ділянки потрібно знати, скільки квадратних метрів чи гектарів міститься в одній поділці планіметра, тобто ціну C поділки. Тоді площу S ділянки можна визначити за формулою:

$$S = C \cdot (m_2 - m_1), \quad (9.3)$$

де C – ціна поділки планіметра.

Теоретично ціна поділки планіметра C визначається за формулою:

$$C = R \cdot t, \quad (9.4)$$

де R – довжина обвідного важеля, мм;

t – величина однієї поділки планіметра, мм.

Довжину обвідного важеля визначають за його шкалою, а одна поділлка лічильного ролика t приблизно дорівнює $0,06$ мм. За $R = 160$ мм, $C = 160$ мм $\cdot 0,06$ мм ≈ 10 мм² = $0,1$ см².

Оскільки величина t дуже мала й одержати її точне значення важко, то практично ціну поділлки планіметра визначають шляхом обводу фігури, площа якої відома. Як правило, з цією метою використовують квадрат координатної сітки, площу якого визначають за масштабом плану.

Установивши планіметр у робоче положення, центр обвідного скельця ставлять в одній із вершин квадрата і, взявши початковий відлік m_1 , обводять контур квадрата. Дійшовши до початкової точки, беруть другий відлік m_2 . Розділивши площу квадрата на різницю відліків $m_2 - m_1$, знаходять ціну поділлки планіметра у квадратних метрах.

Наприклад, на плані масштабу $1:2000$ накреслена сітка квадратів зі стороною 10 см. Площа такого квадрата складає 40000 м² (200×200 м). Відлік m_1 до обводу квадрата – 5753 поділок планіметра, після обводу – $m_2 = 6764$. Різниця відліків $m_2 - m_1 = 1011$. Отже, ціна поділлки планіметра C дорівнює: 40000 м² : $1011 = 39,56$ м².

Для більш точного визначення ціни поділлки планіметра квадрат обводять $2-3$ рази і знаходять середню різницю початкових і кінцевих відліків.

Ціну поділлки планіметра можна також визначати за допомогою контрольної лінієчки (рис. 9.11), яка є в комплекті планіметра. Для цього обвідне скельце замінюють на диск з голочкою, яку вставляють в отвір c на контрольній лінієчці, а її голочку, розміщену під гвинтом b , закріплюють на папері. Позначивши навпроти індексу a точку, беруть відлік по лічильному механізму й, рухаючись за ходом годинникової стрілки, обводять коло, центром якого є точка закріплення голки контрольної лінієчки. Повернувшись у початкову точку, знову читають відлік. Довжина лінієчки дорівнює радіусу круга, площа якого складає 100 см². Розділивши цю площу, виражену в масштабі плану, на різницю відліків, отримують ціну поділлки планіметра.



Рис. 9.11. Контрольна лінієчка

Ціна поділлки планіметра залежить від масштабу плану й довжини обвідного важеля: чим більший знаменник числового масштабу і чим більша довжина обвідного важеля, тим більшою буде й ціна поділлки.

Довжину обвідного важеля можна змінювати, пересуваючи каретку з відліковим механізмом по обвідному важелю. При цьому можна встановити зручну для роботи ціну поділлки. Наприклад, ціна поділлки планіметра $C = 39,56$ м² за довжини обвідного важеля $164,8$ мм. Довжину важеля, за якої ціна поділлки планіметра дорівнюватиме 40 м², можна знайти за пропорцією:

39,56 м² – 164,8 мм;

40 м² – x мм.

$$x = \frac{40 \text{ м}^2 \cdot 164,8 \text{ мм}}{39,56 \text{ м}^2} \cong 166,6 \text{ мм}$$

Звідси,

Встановивши відліковий механізм на розраховану довжину важеля, проводять контрольне визначення нової ціни поділки і розпочинають вимірювання площі ділянок на плані.

Важелі планіметра при обводі контуру можуть займати положення, при якому полюс розташований праворуч по відношенню до відлікового механізму – ПП або ліворуч від нього – ПЛ. З метою послаблення конструктивних похибок планіметра обвід контуру, площу якого вимірюють, виконують мінімум двічі, за різних положень полюса. При цьому полюс не переставляють, а змінюють положення важелів. Розходження результатів не повинні перевищувати: за площі до 200 поділок планіметра – 2 поділки, за площі 200–2000 поділок – 3 поділки і більше 2000 поділок – 4 поділки.

За площі полігона до 400 см² полюс планіметра розміщують поза контуром фігури, а за більшої площі він може бути розташований всередині фігури. У цьому випадку площу фігури S визначають за формулою:

$$S = C \cdot (m_2 - m_1 + n_0), \quad (9.5)$$

де n_0 – постійне число планіметра.

Для визначення постійного числа планіметра одну й ту ж фігуру обводять по контуру двічі, розміщуючи полюс всередині й поза фігурою. За відліками m_1 і m_2 , взятими із установкою полюса поза фігурою, і n_1 та n_2 – всередині фігури, постійне число n_0 у поділках планіметра дорівнюватиме:

$$n_0 = (m_2 - m_1) - (n_2 - n_1). \quad (9.6)$$

Постійне число планіметра приблизно дорівнює 20000 поділок планіметра.

Площі землекористувань визначають, як правило, аналітичним способом, а планіметром користуються для визначення площ угідь, розміщених усередині теодолітного полігона. З метою запобігання накопичення похибок та компенсації грубих помилок у вимірюванні площ, загальний полігон рекомендується ділити на секції з 50–100 контурів. Суму площ ділянок всередині секції ув'язують з її площею, а суму площ секцій – із загальною площею полігона.

Допустиму нев'язку $f_{S_{доп}}$ у сумі площ контурів, порівняно із загальною площею секції, визначеної аналітичним способом, обчислюють за формулою:

$$f_{S_{доп}} = 0,7C\sqrt{n} + \frac{0,05M}{10000}\sqrt{S}, \quad (9.7)$$

де C – ціна поділки планіметра;

n – кількість контурів;

M – знаменник числового масштабу;

S – площа секції в га.

Перед початком роботи планіметр, як і кожний інший геодезичний прилад, треба перевірити. Він має відповідати наступним вимогам:

– лічильний ролик повинен легко обертатись, не зачіпаючи верньєр, і не мати люфту у підшипниках. Після надання йому руху пальцем руки він повинен крутитись 3–4 с. Проміжок між роликом та верньєром має бути таким, щоб його можна було прочистити тонким папером. Його можна регулювати за допомогою гвинтів, які утримують підшипники;

– поверхня верньєра має бути продовженням поверхні ролика. Регулювання верньєра виконують гвинтами, якими він закріплений у рамі лічильного механізму;

– вісь лічильного ролика повинна бути паралельною до осі обвідного важеля. Для перевірки один і той же контур обводять за двох положень полюса – ПП і ПЛ, переставляючи при цьому не полюс, а каретку лічильного механізму. Значення площі в поділках планіметра не повинні відрізнятись між собою на величину, більшу 1:200 середнього арифметичного з них. Якщо розходження більше, то таким планіметром площу кожного контуру визначають як середню з двох, визначених за різних положень полюса.

У роботі з планіметром рекомендується дотримуватись певних правил, що сприятиме успішному вимірюванню площі ділянок:

– папір, на якому накреслено план, ретельно розправляють і прикріплюють до креслярської дошки, яку кладуть на горизонтальну поверхню стола;

– положення полюса вибирають з таким розрахунком, щоб при обводі контуру кут між важелями планіметра був не менше 30° і не більше 150° , а лічильний ролик відлікового механізму не сходив з плану на дошку. Для цього треба виконати попередній швидкий пробний обвід контуру ділянки;

– обвід рекомендується починати з того місця контуру, де ролик ковзає або обертається повільно, тобто коли важелі утворюють між собою кут, близький до прямого, і напрям початкового та кінцевого руху обвідного скельця приблизно співпадає з напрямом обвідного важеля;

– обвідний пристрій ведуть по контуру за годинниковою стрілкою плавно, уникаючи різких поштовхів і зупинок. З метою уникнення односторонніх помилок, прямолінійні контури обводять, не застосовуючи лінійки;

– для контролю результату кожний контур обводять не менше двох разів. У разі, коли розходження в різницях відліків перевищує допустимі величини, обводи повторюють (бажано за іншого положення полюса);

– витягнуті контури, а також контури великих фігур попередньо розбивають на частини й обчислюють площу кожної з них;

– для вимірювання малих площ ціну поділки зменшують у два-три рази шляхом відповідного зменшення довжини обвідного важеля.

При дотриманні цих рекомендацій відносна похибка вимірювання площі планіметром не перевищуватиме 1/200–1/400.

У сучасних умовах у геодезичній практиці дедалі більше застосування знаходять планіметри, оснащені електронно-лічильними пристроями, на яких фіксується виміряна площа. Електронні планіметри підвищують точність та продуктивність роботи по визначенню площ.

Електронні планіметри, зокрема типу **PLANIX** (рис. 9.12) дають можливість швидко й точно вимірювати довжини ліній, обчислювати площі, координати точок.



Рис. 9.12. Електронні планіметри: полярний PLANIX 5 та роликовий PLANIX 7

До комплекту електронного планіметра входить зарядний пристрій, спеціальний принтер з папером, кабель та програмне забезпечення. Координати точок можуть бути отримані з врахуванням реального масштабу картографічних матеріалів. Вимірювання ліній та площ можуть проводитись, за потреби, у міліметрах, сантиметрах, дюймах, метрах, кілометрах і гектарах. Акумулятор дає змогу працювати без підзарядки протягом 15 год.

Користуватись електронними планіметрами просто й зручно завдяки цифровій клавіатурі й кнопкам на трасері. Підключивши планіметр до комп'ютера, можна отримати файл координат, який за потреби перетворюється у в файл формату DXF. Роздруковують результати вимірювань можна на спеціальному принтері, який підключають безпосередньо до планіметра.

Лекція 10. Нівелювання. Будова та принцип роботи нівелірів

1. Види нівелювання та їх точність

Для зображення рельєфу на планах і картах, проектування та будівництва інженерних споруд необхідно знати висоти точок місцевості. З цією метою проводять вертикальну зйомку або нівелювання.

Під **нівелюванням** розуміють польові вимірювальні роботи, в результаті яких визначають *перевищення* (різницю висот) між окремими точками з наступним обчисленням їх висот (позначок).

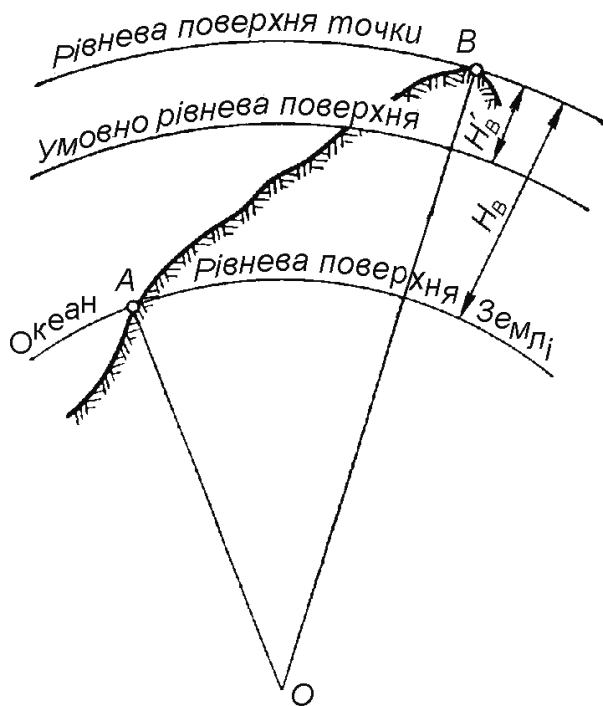


Рис. 10.1. Рівнева поверхня, абсолютна та відносна висоти точки

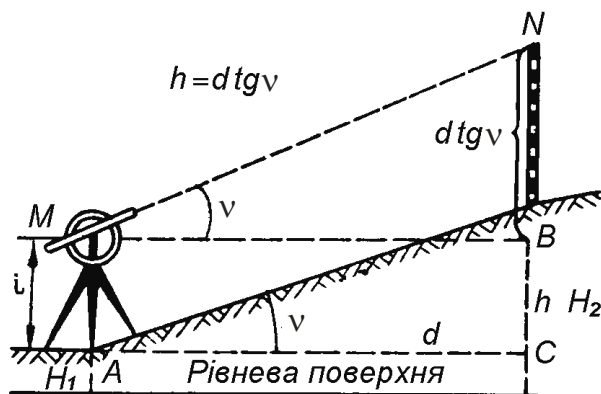


Рис. 10.2. Тригонометричне нівелювання

У процесі **тригонометричного нівелювання** перевищення визначають похилим променем візування за тригонометричними формулами через кут нахилу α та горизонтальну проекцію відстані між точками d (рис. 10.2). Цей метод нівелювання дозволяє отримувати перевищення між точками з точністю до сантиметра.

До **фізичних** видів нівелювання належать барометричне, гідростатичне, радіонівелювання та інші.

Барометричне нівелювання ґрунтується на фізичному законі зміни атмосферного тиску зі зміною висот точок земної поверхні. Його застосовують у

Висоти точок земної поверхні визначають відносно **рівневої поверхні Землі**, під якою розуміють поверхню морів та океанів у спокійному стані, уявно продовжену під материками (рис. 10.1). Відстань по виску від даної точки земної поверхні до рівневої поверхні Землі називають **абсолютною висотою (позначкою, альтитудою)** цієї точки. Якщо висота точки визначена від якоїсь умовної рівневої поверхні, або одна відносно іншої, її називають **відносною висотою**.

Абсолютні висоти точок земної поверхні в Україні, як і в інших країнах колишнього Радянського Союзу, визначають відносно рівня Балтійського моря (Балтійська система висот).

Для отримання перевищення використовують декілька видів нівелювання: геометричне, тригонометричне, фізичне, механічне, фотограмметричне.

Геометричне нівелювання виконують горизонтальним променем візування за допомогою нівеліра та нівелірних рейок. Точність визначення перевищень цим методом залежить від класу нівелювання. Середня квадратична похибка визначення перевищень – до 10 мм/км.

важкодоступних гірських районах. Вимірюючи барометром-анероїдом атмосферний тиск T одночасно в двох точках A і B , перевищення h між ними знаходять за формулою:

$$h = (TB - TA)\Delta h, \quad (10.1)$$

де Δh – барометричний ступінь висоти, який дорівнює зміні висоти при зміні тиску на 1 мм ртутного стовпчика. Точність такого нівелювання невисока (до 0,5 м).

Гідростатичне нівелювання базується на властивості рідини займати у сполучених посудинах однакову висоту. Середня квадратична похибка перевищень, визначених цим методом, дорівнює 0,1 мм. Така висока точність потрібна під час спостереження за осіданням інженерних споруд, монтажу високоточного обладнання, встановлення будівельних конструкцій в проектні положення тощо.

Радіонівелювання пов'язане з відбиттям радіохвиль від поверхні. Знаючи швидкість і час їх проходження, обчислюють відстань до даної поверхні або до вибраної на ній точки. За допомогою цього методу було визначено відстань від Землі до Венери. Різновидністю радіонівелювання є аерорадіонівелювання, яке виконують за допомогою встановлених на літаках радіовисотомірів, а також GPS-нівелювання, що має особливе практичне значення в гірській місцевості.

Механічне нівелювання виконують за допомогою змонтованих на велосипеді або автомашині нівелірів-автоматів. Спеціальний прилад-самописець під час руху транспортного засобу виписує на паперовій стрічці профіль пройденого шляху.

Фотограмметричне нівелювання здійснюють за допомогою спеціальних стереоскопічних приладів на аерофотознімках.

З усіх названих вище методів нівелювання найбільше застосування має геометричне нівелювання.

2. Висотні мережі. Геодезичні нівелірні знаки

Геометричне нівелювання за точністю поділяють на нівелювання I, II, III, IV класів і технічне нівелювання з допустимими, відповідно, нев'язками $3\text{ мм}\sqrt{L}$, $5\text{ мм}\sqrt{L}$, $10\text{ мм}\sqrt{L}$, $20\text{ мм}\sqrt{L}$, $50\text{ мм}\sqrt{L}$ в ходах довжиною L км.

Технічне нівелювання застосовується для визначення висот точок знімального обґрунтування при виконанні топографічних знімків, виконанні трасування лінійних споруд а також при вирішенні різних задач в процесі будівництва і експлуатації інженерних споруд.

Ходи нівелювання I класу прокладають вздовж залізниць та шосейних доріг у різних напрямках. За даними нівелювання, виконаними на одних і тих же точках впродовж декількох років, вивчають рухи земної кори та вирішують інші наукові задачі. Державну нівелірну мережу I класу створюють у містах, площа яких перевищує 500 км². Нівелірні ходи II класу, утворюють полігони периметром 500–600 км, які опираються на пункти нівелювання I класу. Нівелірну мережу

цього класу створюють у містах з площею від 50 до 500 км². Між нівелірними пунктами I та II класів прокладають ходи нівелювання III класу. Пункти такої нівелірної мережі закладають у містах площею від 25 до 50 км². Нівелювання IV класу проводять у невеликих містечках та інших населених пунктах площею до 25 км². Разом з технічним нівелюванням його використовують для згущення нівелірних мереж вищих класів.

Технічне нівелювання проводять з метою вирішення різних інженерних задач, зокрема:

- *створення висотної основи топографічних зніманих (визначення висот точок знімальної мережі)*. Цю роботу виконують шляхом прокладання ходів технічного нівелювання з метою забезпечення висотами крупномасштабних (1:500–1:2000) топографічних зніманих, а також різних інженерно-геодезичних робіт, які будуть виконуватись на цій висотній основі. Щільність і точність висотних мереж залежить від масштабів зніманих, висоти перерізу рельєфу, а також необхідності забезпечення висотними точками інженерних споруд (гребель, каналів тощо), землевпорядних, меліоративних та інших робіт;
- *геодезичне трасування лінійних споруд (доріг, каналів, трубопроводів, ліній електропередач тощо)*. Під трасою розуміють вісь лінійної споруди, позначену на місцевості кілками або нанесену на карту (план). Трасування лінійних споруд є найбільш поширеним видом робіт і включає в себе поздовжнє і поперечне нівелювання;
- *нівелювання поверхні*. Проводиться з метою одержання топографічного плану великого масштабу (1:5000 і більше) з висотою перерізу рельєфу 0,5–0,25 м. На поверхні, яка буде нівелюватися, попередньо розбивають сітку квадратів, вершини яких нівелюють і визначають їх висоти, за якими на плані проводять горизонталі. Результати цієї роботи використовують при вертикальному плануванні рисових чеків, майданчиків зерносховищ тощо.

Нівелірні ходи закріплюють на місцевості постійними і тимчасовими нівелірними знаками – реперами та марками.

Як правило, нівелірні знаки закладають у стінах та фундаментах капітальних будівель (стінні реperi та марки), скелях (скельні реperi) та у землі (грунтові реperi). Основними матеріалами, з яких виготовляють реperi, є бетон, залізобетон, покриті антикорозійними речовинами металічні труби та інші матеріали, які забезпечують тривале збереження знаку. З метою забезпечення стійкості ґрунтових реперів нівелірних ходів II–IV класів нівелювання в зоні сезонного промерзання ґрунту (північніше лінії Ужгород-Харків), їх закопують так, щоб нижні частини були розміщені нижче глибини промерзання ґрунту (рис. 10.4).

Верхню частину репера, яка закінчується маркою, розміщують на 50 см нижче поверхні землі. На відстані 100–150 см від репера встановлюють залізобетонний розпізнавальний знак з охоронною табличкою, на якій роблять відповідний напис, наприклад, "Геодезичний пункт. Охороняється державою".

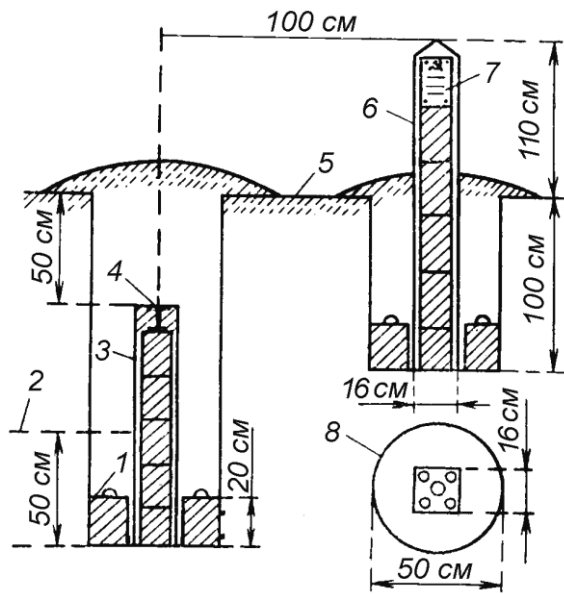


Рис. 10.4. Грунтовий репер:

- 1 – залізобетонна плита;
- 2 – глибина промерзання ґрунту;
- 3 – пілон;
- 4 – марка;
- 5 – поверхня землі;
- 6 – розпізнавальний знак;
- 7 – охоронна плита;
- 8 – вигляд пілону зверху

основу будівель чи інших фундаментальних споруд (рис. 10.6). На торці стінних нівелірних знаків вказують організацію-виконавця робіт і номер репера (марки). Репер вмуровують у стіну так, щоб його торцева частина виступала назовні на 5 см. На диску репера є виступ з гострим ребром, висота якого над рівнем моря і є висотою репера. Марки закладають у стіну врівень з її поверхнею на висоті 1,5–2,0 м над землею. Висоту стінної марки визначають до отвору в центрі її диска.

Лінії технічного нівелювання, як правило, закріплюють реперами типу 1Т або 2Т у вигляді залізобетонних блоків, що мають форму зрізаної піраміди (рис. 10.5). У реперів типу 1Т марку приварюють до верхньої частини металевої труби, закріпленої у залізобетонному блоці, а у реперів типу 2Т її закріплюють безпосередньо у верхній частині блоку. Верхні частини реперів розміщують на рівні поверхні ґрунту. На незабудованих територіях поряд з такими реперами встановлюють розпізнавальні знаки – бетонні блоки, в які закріплюють відрізки металевих труб з табличкою, де вказують назву організації, що встановила репер.

На заселених територіях нівелірні ходи в основному закріплюють відлитими з чавуну стінними реперами й марками, а часом – костиллями, які закладають в

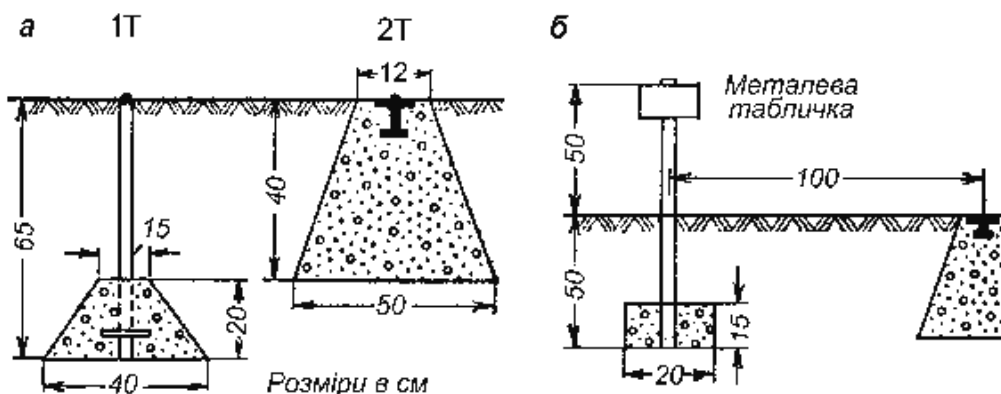


Рис. 10.5. Репери на лініях технічного нівелювання

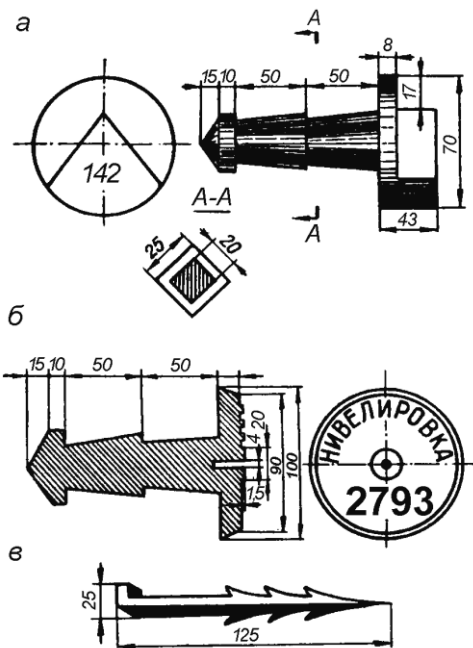


Рис. 10.6. Стінні нівелірні знаки:
 а) стінний репер; б) стінна марка; в) костиль. Розміри дано в мм

державних нівелірних мереж окремих районів складають каталоги нівелірних знаків, в яких вказують номер і вид знака, його місце розташування і значення висоти над рівнем моря.

3. Класифікація та будова нівелірів. Рівні та компенсатори. Нівелірні рейки

Сучасні нівеліри поділяють на високоточні, точні і технічні (табл. 10.1). Залежно від пристрою, що застосовується для приведення візирної осі в горизонтальне положення, нівеліри випускають двох типів: з рівнем при зоровій трубі та з компенсатором кутів нахилу. При наявності компенсатора до марки нівеліра додається літера “К” (наприклад, Н-3К). Нівеліри точні і технічні можуть виготовлятися з лімбами, призначеними для вимірювання горизонтальних кутів, тоді до їх марки додають літеру “Л” (наприклад, Н-10КЛ).

Найбільш поширеним у геодезичній практиці є точний нівелір Н-3 (попередня модель мала марку НВ-1) та його модифікації. Основними частинами нівеліра є наглухо закріплена на підставці зорова труба з контактним циліндричним рівнем (рис. 10.7). Зорова труба 30-кратного збільшення дає обернене зображення. Під час роботи її наводять на рейку спочатку наближено, візуючи по мушці 4 при відпущеному закріплювальному гвинті 7, а потім, затиснувши його, наводять точно на рейку мікрометричним гвинтом 8, дивлячись у трубу. У горизонтальне положення прилад встановлюють за допомогою підйимальних гвинтів 12 та круглого рівня 9, а потім візирну вісь зорової труби приводять у горизонтальне положення по циліндричному рівню 16 за допомогою елеваційного гвинта 1. Зображення кінців бульбашки

Способи закладання реперів (марок), порядок їх нівелювання і використання вказуються у спеціальних інструкціях.

У геодезичній практиці під час нівелювання часто користуються тимчасовими реперами. Ними можуть слугувати закріплені в землі відрізки металевих чи азбестоцементних труб, залізничних рейок, забиті в дерев'яні споруди чи пеньки костилі або цвяхи, великі камені-валуни, опори ЛЕП чи фундаменти будівель, металеві цвяхи, забиті у пеньки зрізаних дерев або в дерев'яні опори ліній зв'язку, тощо.

Місця розміщення нівелірних знаків повинні забезпечувати зручність користування, стійкість, міцність і збереженість знаків.

У результаті виконання нівелірних робіт та обчислювальної обробки

циліндричного рівня системою призм передається в поле зору труби (рис. 10.7 в). Відлік по рейці читають проти середньої нитки сітки у той момент, коли половинки бульбашки рівня увійдуть у контакт.

Таблиця 10.1

Характеристика сучасних оптичних нівелірів

Марка нівеліра	Коротка характеристика	Переважна область застосування
Н-05	Нівелір високоточний з оптичним мікрометром для визначення перевищень з помилкою не більше 0,5 мм на 1 км подвійного ходу	Нівелювання I і II класів у державних мережах, на геодезичних полігонах, при інженерно-технічних роботах
Н-3 (Н-3К, Н-3КЛ)	Нівелір точний для визначення перевищень з помилкою не більше 3 мм на 1 км подвійного ходу	Нівелювання III і IV класів, інженерно-геодезичні пошуки
Н-10 (Н-10К, Н-10КЛ)	Нівелір технічний для визначення перевищень з помилкою не більше 10 мм на 1 км подвійного ходу	Нівелювання для обґрунтування топографічних зйомок, інженерно-геодезичні пошуки, на будівництві

Нівелір Н-3К (рис. 10.8) обладнаний компенсатором, який складається з

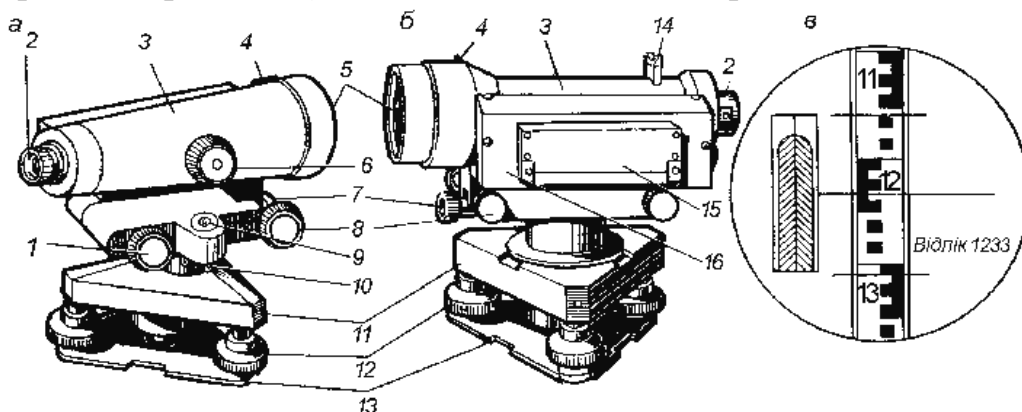


Рис. 10.7. Точні нівеліри:

a – Н-3; б – НВ-1 (1 – елеваційний гвинт; 2 – окуляр; 3 – корпус зорової труби; 4 – мушка; 5 – об'єктив; 6 – гвинт внутрішнього фокусування (кремальєра); 7, 8 – закріплювальний і мікрометричний гвинти; 9 – круглий рівень; 10 – виправні гвинти круглого рівня; 11 – підставка; 12 – підіймальні гвинти; 13 – пластина; 14 – цілик; 15 – кришка коробки рівня з дзеркалом; 16 – коробка з циліндричним рівнем); в – поле зору труби нівеліра

двох прямокутних призм: одна підвішена на двох парах тонких сталевих ниток, друга – наглухо з'єднана з корпусом труби (рис. 10.9). При нахилі труби на невеликий кут (до $\pm 15'$) рухома призма нахиляється в протилежний бік на кут, розрахований так, щоб спрямувати горизонтальний промінь, який іде від рейки на висоті центру об'єктива, точно на перехрестя сітки ниток. Компенсатор

починає діяти після приблизного приведення нівеліра у горизонтальне положення по круглому рівню.

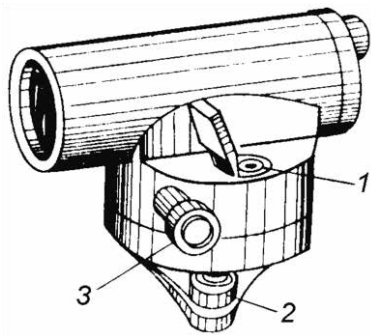


Рис. 10.8. Нівелір Н-3К:
1 – круглий рівень;
2 – підйомні гвинти;
3 – навідний гвинт

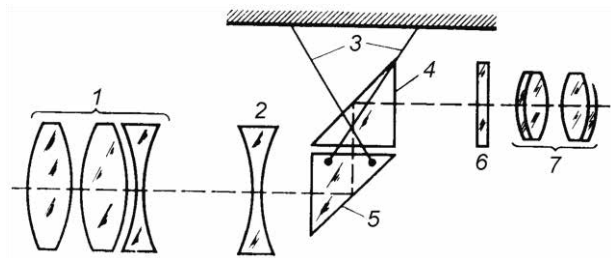


Рис. 10.9. Оптична схема зорової труби нівеліра Н-3К:
1 – об'єктив; 2 – фокусуєча лінза;
3 – нитки; 4, 5 – нерухома й рухома лінзи компенсатора; 6 – сітка ниток;
7 – окуляр

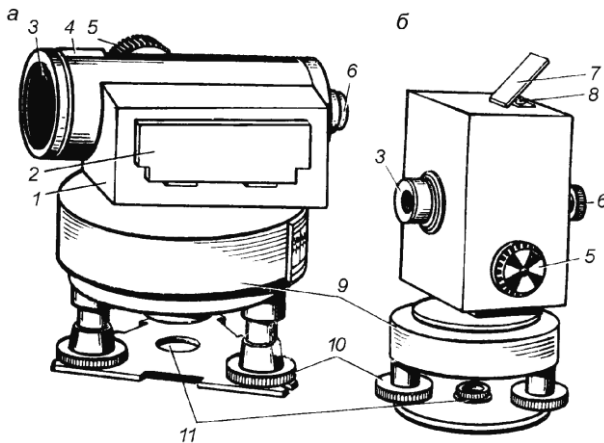


Рис. 10.10. Технічні нівеліри:
а) 2Н-10Л; б) Н-10КЛ;
1 – коробка з циліндричним рівнем;
2 – кришка рівня; 3 – об'єктив зорової труби; 4 – мушка; 5 – кремальєра; 6 – окуляр зорової труби; 7 – дзеркало-кришка; 8 – круглий рівень; 9 – кожух горизонтального круга; 10 – підйомні гвинти; 11 – втулка для станового гвинта

Нівелір Н-3КЛ додатково оснащений лімбом, який дозволяє знімати рівнинні ділянки місцевості полярним способом. Ціна поділки лімба 1° . Відлік на лімбі беруть по нерухомому штриху з точністю до $0,1^\circ$.

Нівелір Н-10 зараз випускається під марками Н-10Л та 2Н-10Л (рис. 10.10 а), конструкція яких теж передбачає наявність горизонтального круга – лімба. Нівелір Н-10Л приводять у горизонтальне положення за допомогою кульової п'яти, а нівелір 2Н-10Л – підйомними гвинтами.

Зорова труба нівеліра Н-10КЛ (рис. 10.10 б) із компенсатором дає пряме зображення. Горизонтальний круг (лімб) цього нівеліра можна повертати за допомогою спеціального гвинта, що полегшує його орієнтування.

Для точного нівелювання використовують односторонні штрихові рейки РН-05 та двосторонні шашкові рейки РН-3, для технічного – двосторонні шашкові рейки РН-3 або РН-10.

Нівелірні рейки РН-3 та РН-10 – дерев'яні бруски шириною 10 см і товщиною 2 см з наглухо закріпленими на кінцях металевими пластинами

(п'ятками). На пофарбовані білою фарбою рейки нанесено поділки у вигляді шашок чорного кольору на одній стороні та червоного – на другій. Рахунок поділок ведуть від нижньої п'ятки. На чорній стороні з нею співпадає 0 (нуль), на червоній – відлік 4787 або 4687 мм.



Рис. 10.11. Нівелірні рейки РН-3:
а) чорна і червона сторони;
б) складна рейка

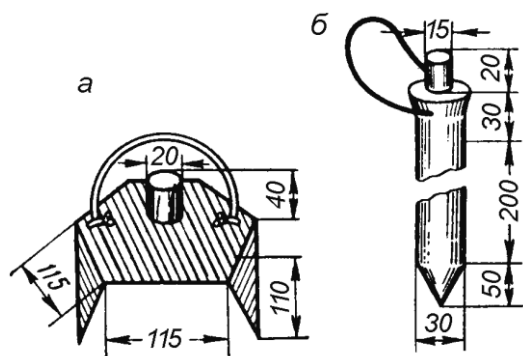


Рис. 10.12. Нівелірні башмак (а) і
костиль (б)

Довжина рейок РН-05 – 3000 або 1200 мм, РН-3 – 1500, 3000 або 4000 мм, РН-10 – 4000 мм. Рейки завдовжки 4000 мм виготовляють складними, а рейки типу РН-3 завдовжки 3000 мм можуть бути як складними, так і суцільними. Рейки РН-0,5 і РН-3 мають збоку круглі рівні, які призначені для встановлення у прямовисне (вертикальне) положення.

Рейки РН-3 та РН-10 мають ціну поділки 10 мм, кожен десятий сантиметр шкали підписаний прямими (для нівелірів із зоровими трубами прямого зображення) або перевернутими (для нівелірів з оберненим зображенням) цифрами (рис. 10.11).

Під час роботи рейки встановлюють на міцно забиті у ґрунт дерев'яні кілки, що виступають над поверхнею землі приблизно на 2 см. Якщо закріплювати на місцевості точки нівелювання не потрібно, рейки встановлюють на переносні металеві башмаки або костилі (рис. 10.12).

Положення башмаків (костилів) до кінця роботи на станції має бути незмінним. Після закінчення роботи на даній станції задній башмак (костиль) витягають із землі, переносять вперед і встановлюють у кінці наступного відрізка, що нівелюється. Передня рейка, яка тепер

стає задньою, має залишатись непорушною, бо інакше порушиться послідовність у передачі висот у нівелірному ході.

Перед початком роботи рейки необхідно оглянути та виконати їх перевірки. Оглядаючи рейку, звертають увагу на якість пофарбування поділок і цифр на дециметрових інтервалах, кріплення круглих рівнів, ручок та металевих пластинок (п'яток) на її кінцях. Після огляду рейки перевіряють.

1. Перевірку правильності встановлення круглого рівня на рейці виконують за допомогою виска або по вертикальній нитці нівеліра. До ребра рейки прикріплюють гачок і штифт, на гачок підвішують висок і рейку нахиляють до тих пір, поки кінець виска буде знаходитись точно над гострим кінцем штифта.

Виправними гвинтами рівня його бульбашку приводять на середину (у нуль-пункт).

Виконуючи перевірку по вертикальній нитці сітки зорової труби, вертикальну вісь нівеліра приводять у прямовисне положення, а рейку встановлюють на відстані біля 50 м від нього так, щоб її ребро співпадало з вертикальною ниткою. Виправними гвинтами круглого рівня приводять бульбашку в нуль-пункт. Після цього рейку повертають на 90° навколо осі і знову

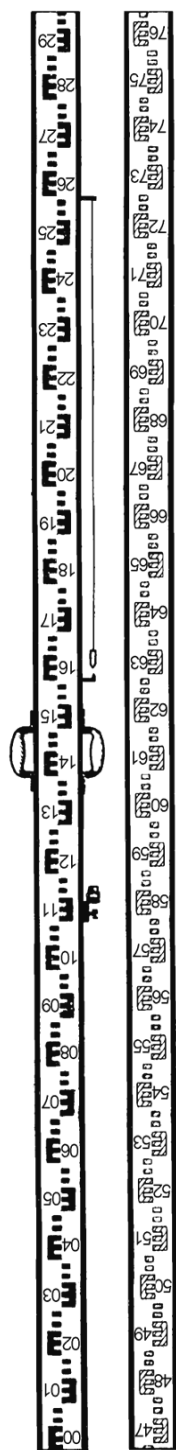


Рис. 10.13. Перевірка рейки

виправляють рівень. Операцію повторюють до тих пір, поки бульбашка рівня буде знаходитись у нуль-пункті.

2. *Визначення середньої довжини метра комплекту рейок* виконують у приміщенні за допомогою контрольної лінійки. Перед початком дослідження краї шашкових поділок 01, 10, 20 і 29 поділок чорної сторони і 48, 57, 67 і 76 червоної сторони (рис. 10.13) позначають на контрольній металічній лінійці тонким олівцем. Рейку кладуть горизонтально на рівну тверду поверхню. Кожен інтервал рейки 1–10, 10–20 і 20–29, 48–57, 57–67 і 67–76 вимірюють двічі у прямому і зворотному напрямках. Різниці відліків по правому та лівому кінцях контрольної лінійки на кожному інтервалі рейки не повинні відрізнятись між собою більше ніж на 0,1 мм. Різниця між середньою довжиною метра пари рейок комплекту допускається 0,8 мм для рейок типу РН-3 і 1,5 мм для рейок типу РН-10.

3. *Визначення похибок дециметрових поділок.* Дослідження проводять за допомогою контрольної лінійки в інтервалі штрихів 1–29 по чорній і 47–76 по червоній сторонах рейки. За допомогою лівої лупи нуль контрольної лінійки суміщають з нульовим штрихом рейки, після чого, переміщуючи праву лупу, роблять відліки по всіх дециметрових поділках. Перед початком дослідження по металевій лінійці тонко заточеним олівцем відмічають краї дециметрових поділок. Вимірювання кожного метрового інтервалу виконують двічі. Перед другим вимірюванням контрольну лінійку трохи переміщують. У процесі дослідження записують температуру контрольної лінійки. Похибки дециметрових поділок не повинні перевищувати 0,4 мм у рейок, призначених для нівелювання III класу, 0,6 мм – IV класу та 1,0 мм – для технічного нівелювання. Одночасно перевіряють суміщення нульової поділки чорної сторони рейки із площиною п'ятки: відхилення не повинно перевищувати 0,5 мм для рейок, призначених для нівелювання III і IV класів, та 1,0 мм для технічного нівелювання.

4. *Визначення стрілки прогину рейки.* Внаслідок впливу погодних умов та недбалого догляду рейки можуть коробитись (прогинатись). Для визначення величини прогину рейку кладуть горизонтально на бокове ребро, натягують нитку між кінцями увігнутої сторони рейки й лінійкою з міліметровими поділками вимірюють відстань від нитки до поверхні рейки в трьох місцях: на її початку a_1 , середині a_2 і кінці a_3 . Величину стрілки прогину f обчислюють за формулою:

$$f = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}. \quad (10.2)$$

Стрілка прогину на всю довжину рейки не повинна перевищувати для рейок РН-0,5 – 3 мм, РН-3 – 6 мм і РН-10 – 10 мм.

5. *Перевірка перпендикулярності п'ятки рейки до її осі.* На відстані 20–30 м від нівеліра забивають три костилі. Послідовно на кожному з них встановлюють рейку спочатку центром п'ятки, потім її переднім, заднім, лівим і правим краями. При цьому кожен раз тричі беруть відліки по шкалі рейки. Неперпендикулярність п'ятки рейки до осі шкали не повинна змінювати положення рейки по висоті відносно центра п'ятки більше ніж на 0,08 мм для рейок РН-05, 0,3 мм – для рейок РН-3 і 0,5 мм – для рейок РН-10.

6. *Визначення різниці висот нулів рейок.* На відстані 15–20 м від нівеліра забивають костиль, на який прямовисно встановлюють рейку і беруть відліки по її чорній та червоній сторонах. Такі дії повторюють 3–4 рази, змінюючи кожен раз горизонт приладу не менше ніж на 30 мм. За остаточний результат беруть середнє арифметичне значення з усіх прийомів.

4. Способи геометричного нівелювання

Відрізняють два способи геометричного нівелювання: “із середини” і “вперед” (рис. 10.14).

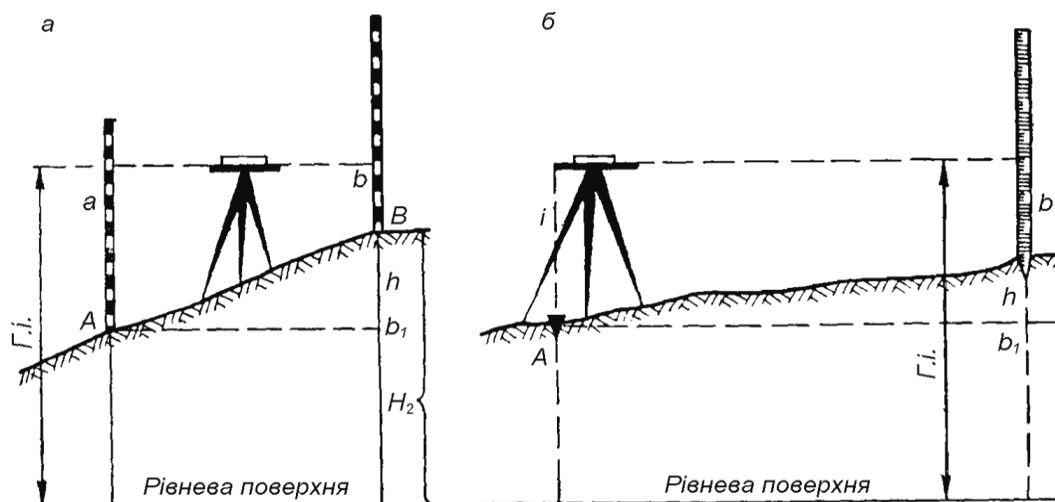


Рис. 10.14. Геометричне нівелювання:
а) способом “із середини”; б) способом “вперед”

Визначаючи перевищення між точками A і B способом “із середини”, в цих точках встановлюють вертикально нівелірні рейки, а приблизно посередині між ними – нівелір. Точку B , перевищення якої над точкою A потрібно визначити, називають *передньою*, а точку A , відносно якої визначають перевищення, *задньою*. Привівши зорову трубу нівеліра в горизонтальне положення, беруть відлік по рейці, що знаходиться у задній точці (задній відлік), а потім наводять трубу на передню рейку й беруть по ній відлік (передній). Як видно з рис. 10.14 а, перевищення h дорівнює:

$$h = a - b, \quad (10.3)$$

тобто *перевищення при нівелюванні способом “із середини” дорівнює відліку на задню рейку мінус відлік на передню рейку.*

Під час нівелювання способом “вперед” нівелір встановлюють у точці A й вимірюють висоту інструмента i (висоту візирної осі нівеліра над точкою A). У точці B встановлюють нівелірну рейку i , привівши візирну вісь нівеліра в горизонтальне положення, читають відлік b по рейці. Як видно з рис. 10.14 б, перевищення між точками A і B дорівнює:

$$h = i - b. \quad (10.4)$$

Отже, *перевищення при нівелюванні способом “вперед” дорівнює висоті інструмента мінус відлік по рейці.*

Перевищення є додатнім, якщо передня точка розташована вище, ніж задня, і від’ємним, якщо нижче.

Як видно з рис. 10.14, в обох випадках висота наступної точки H_B дорівнює висоті попередньої точки H_A плюс (або мінус) перевищення h між цими точками:

$$H_B = H_A \pm h. \quad (10.5)$$

Точнішим вважається нівелювання способом “із середини”, бо при ньому автоматично ліквідуються деякі похибки, зокрема через непаралельність візирної осі нівеліра й осі циліндричного рівня, помилки за рахунок кривизни Землі та рефракції (викривлення візирного променя при проходженні шарів атмосфери з різною щільністю повітря).

Висоту візирної осі нівеліра над рівневою поверхнею називають *горизонтом інструмента Г.І.* Вона дорівнює висоті точки плюс відлік по чорній стороні нівелірної рейки, що стоїть на цій точці (рис. 10.14):

$$Г.І. = H_1 + a = H_2 + b. \quad (10.6)$$

З рис. 10.14, б видно, що:

$$H_B = Г.І. - b, \quad (10.7)$$

тобто *висота точки B дорівнює горизонту інструмента мінус відлік по рейці, що стоїть на цій точці.*

Через горизонт інструмента зручно обчислювати позначки (висоти) точок, коли з однієї станції нівелюють декілька точок. *Станцією (штативом)* називають місце постановки нівеліра у процесі вимірювання перевищень.

Нівелювання з однієї станції називають *простим*. За необхідності визначити перевищення між віддаленими на значну відстань точками, нівелювання виконують з кількох станцій. Таке нівелювання називають *складним*, а точки, між якими послідовно визначають перевищення, утворюють *нівелірний хід*.

5. Випробування та повірки нівелірів

Перед початком роботи нівелір оглядають і встановлюють справність всіх його частин. Оглядаючи нівелір, переконуються у стійкості штатива, плавному обертанні зорової труби, справності мікрометричного, елеваційного та підймальних гвинтів, наявності чіткого зображення сітки ниток та об'єктів спостереження. За необхідності регулюють та змазують гвинти згідно з наведеними у паспорті вказівками. *Варто звернути увагу на те, щоб червона сторона комплекту нівелірних рейок починалась з одного й того ж числа.*

Для нівелірів Н-3 (НВ-1) та його модифікацій виконують такі перевірки:

1. Перевірка круглого рівня. *Вісь круглого рівня має бути паралельною до осі обертання нівеліра.* Обертаючи підйомні гвинти підставки, бульбашку круглого рівня встановлюють у центр зображеного на скляній поверхні кільця. Повернувши зорову трубу на 180° , відстежують, чи бульбашка рівня залишилася на середині. Якщо вона відхилилася від центра, виправними гвинтами круглого рівня її виводять до середини на половину величини відхилення, а підйомними гвинтами – повністю на середину. Після цього перевірку повторюють.

2. Перевірка правильності положення сітки ниток. *Горизонтальна нитка сітки має бути перпендикулярною до осі обертання нівеліра.* Рейку розміщують на відстані 20–30 м таким чином, щоб зображення її було на межі зору труби, і читають відлік по рейці. Зорову трубу повертають мікрометричним гвинтом у протилежний бік поля зору труби. Якщо відлік по рейці не змінився, то умова виконана. У противному разі знімають кришку сітки ниток, послабляють виправні гвинти сітки й повертають її в потрібний бік. Після цього гвинти сітки закріплюють і перевірку повторюють.

3. Перевірка циліндричного рівня (головна перевірка нівеліра). *Вісь циліндричного рівня і візирна вісь зорової труби нівеліра мають бути паралельними.* Виконання цієї умови можна перевірити двома способами.

Перший спосіб. Кінці лінії завдовжки 50–75 метрів закріплюють на місцевості кілками й проводять з них подвійне нівелювання способом "вперед". Для цього нівелір встановлюють послідовно в точках *A* і *B* так, щоб окуляр і центр кілочка знаходилися на одній вертикалі (рис. 10.15, а). Привівши прилад у робоче положення, рулеткою або рейкою визначають його висоту *i* (відстань від торця кілочка до центру об'єктива). Елеваційним гвинтом бульбашку циліндричного рівня виводять на середину й беруть відлік по рейці, яка стоїть на кілочку на протилежному кінці лінії. Якщо візирна вісь непаралельна до осі рівня, то відлік по рейці *b* буде хибним на величину *x*, а перевищення *h* дорівнюватиме:

$$h = (b_0 + x) - i_1.$$

Після цього нівелір встановлюють над точкою *B* і проводять аналогічні вимірювання. У цьому випадку перевищення

$$h = i_2 - (a_0 + x).$$

За рівністю правих частин рівнянь знаходимо:

$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{a_0 + b_0}{2}. \quad (10.8)$$

Якщо величина x перевищуватиме 4 мм, то положення циліндричного рівня треба виправити. Для цього елеваційним гвинтом середню нитку сітки виводять на відлік по рейці a , що дорівнює $a_0 + x$. При цьому бульбашка циліндричного рівня зійде із середини. Виправними вертикальними гвинтами рівня її повертають на середину. Після виправлення перевірку необхідно повторити.

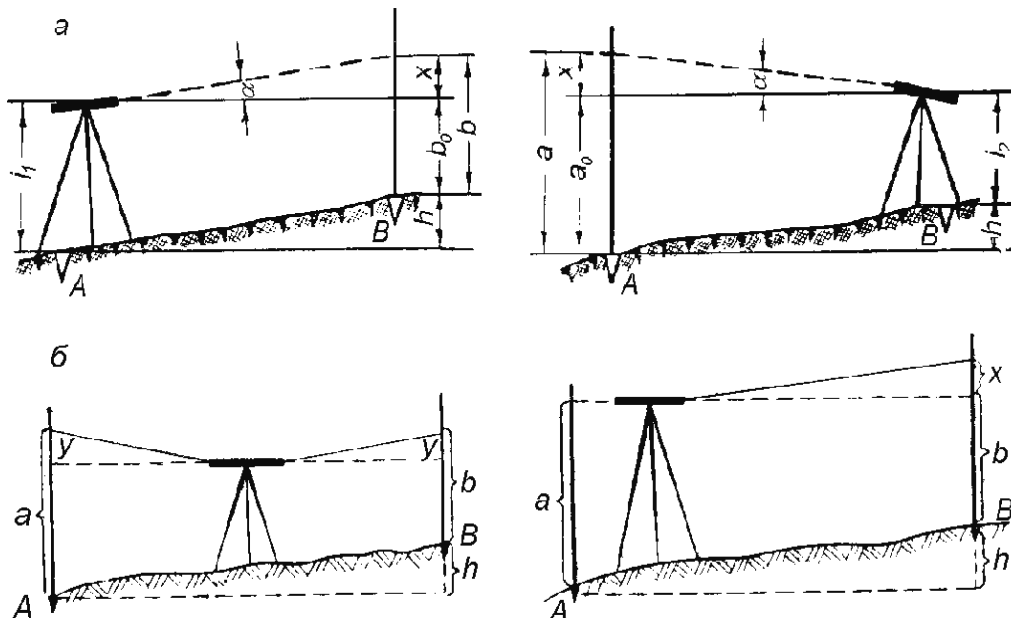


Рис. 10.15. Перевірка головної умови нівеліра:
а) способом "вперед"; б) способом "із середини" і "вперед"

Другий спосіб. Нівелір розміщують точно посередині між точками (кілками), на яких встановлюють рейки, і способом "із середини" визначають перевищення $h_{em.}$, яке слугує еталоном (рис. 10.15 б). Після цього нівелір встановлюють поблизу точки A , визначають перевищення h способом вперед та обчислюють похибку x : $x = h - h_{em.}$

Якщо величина x перевищує 4 мм, необхідно обчислити правильний відлік b по рейці: $b = a - h_{em.}$, де a – відлік, взятий по ближній рейці. Після цього виправляють непаралельність осей, діючи таким же чином, як і при першому способі. Для контролю перевірку повторюють.

Лекція 11. Поздовжнє нівелювання

1 Трасування лінійних споруд. Розмічування пікетажу

Нівелювання лінії місцевості, яке проводять з метою визначення висот характерних точок рельєфу вздовж неї, називають *поздовжнім*. Поздовжнє нівелювання ведуть по осі (трасі) майбутньої лінійної споруди – дороги, каналу, газопроводу тощо. Як правило, вісь нівелювання – ламана лінія.

Траса, як правило, складається з прямолінійних відрізків, з'єднаних круговими кривими різного радіусу. Траси мають відповідати певним вимогам,

зумовленим характером майбутніх споруд. Наприклад, дорога має бути якомога коротшою, обсяги земляних робіт під час її будівництва – мінімальними, вона не повинна перевищувати певних величин ухилу та радіуса повороту; канали мають відповідати гранично допустимим величинам мінімального та максимального ухилу і т. д. Технічні вимоги до майбутньої споруди враховують у процесі попереднього *трасування*.

Трасу проєктують спочатку на планах або картах, а потім намічають безпосередньо на місцевості: визначають положення початку та кінця осі споруди, вершин кутів повороту, точок перетину з осями штучних споруд (каналами, дорогами тощо), водними перешкодами і т. д. Усі винесені в натуру точки закріплюють знаками, які позначають згідно з прийнятими у проєкті вимогами і прокладають між ними теодолітні ходи. Прив'язку ходів здійснюють до найближчих пунктів триангуляції чи полігонометрії.

У процесі прокладання теодолітних ходів провішують лінії між вершинами кутів повороту траси, вимірюють горизонтальні кути та лінії, розмічують *пикетаж*.

Провішування лінії виконують за допомогою теодоліта. З цією метою через кожні 300–500 м задають кути рівні 180° . Вершини кутів повороту закріплюють двома знаками – стовпами або трубами, один з яких встановлюють за напрямком бісектриси, а другий – на її продовженні, за межами району майбутніх будівельних робіт.

Вимірювання ліній і розмічування пикетажу виконують в одному напрямку 20-метровою землемірною стрічкою, контролюючи відстані нитковим віддалеміром теодоліта. *Пикетами* називають відрізки лінії, горизонтальна проєкція яких дорівнює 100 м. Початок і кінець кожного пикету закріплюють кілками довжиною 25–30 см і товщиною 3–5 см, які забивають майже врівень із землею. Поруч з пикетним кілком забивають ще один кілок (“сторожок”), який виступає над землею приблизно на 20 см. На поверненій до пикетного кілка стороні “сторожка” вказують номер пикету. Нумерацію пикетних кілків починають з нуля і далі позначають арабськими цифрами. Наприклад, ПЖ0, ПЖ1, ПЖ2 і т. д. Кожний номер пикетної точки вказує, на якій відстані від початку траси вона знаходиться. Так, напис “ПЖ4” означає, що ця точка розміщена на відстані 400 м від початку траси. Якщо між сусідніми пикетними точками є характерні морфології рельєфу (перегини), ці точки також закріплюють на місцевості. Їх називають “плюсовими” і на кілках, якими вони позначені, вказують відстань до них у метрах від попереднього пикетного кілка, наприклад, ПЖ3+60.

Для визначення показників рельєфу місцевості, яка прилягає до осі нівелювання, потрібно провести нівелювання у поперечному, по відношенню до осі траси, напрямі. У гірських районах “поперечники” розмічують на кожному пікеті, а в рівнинних – тільки в характерних місцях рельєфу. Їх розмічують по обидві сторони від траси на відстань 25–50 м, закріплюючи точки переломів рельєфу кілками, на яких вказують їхнє положення відносно осі нівелювання, наприклад, ПК5+15п (пікет 5 плюс 15 м праворуч), ПК5+25л (ліворуч плюс 25 м).

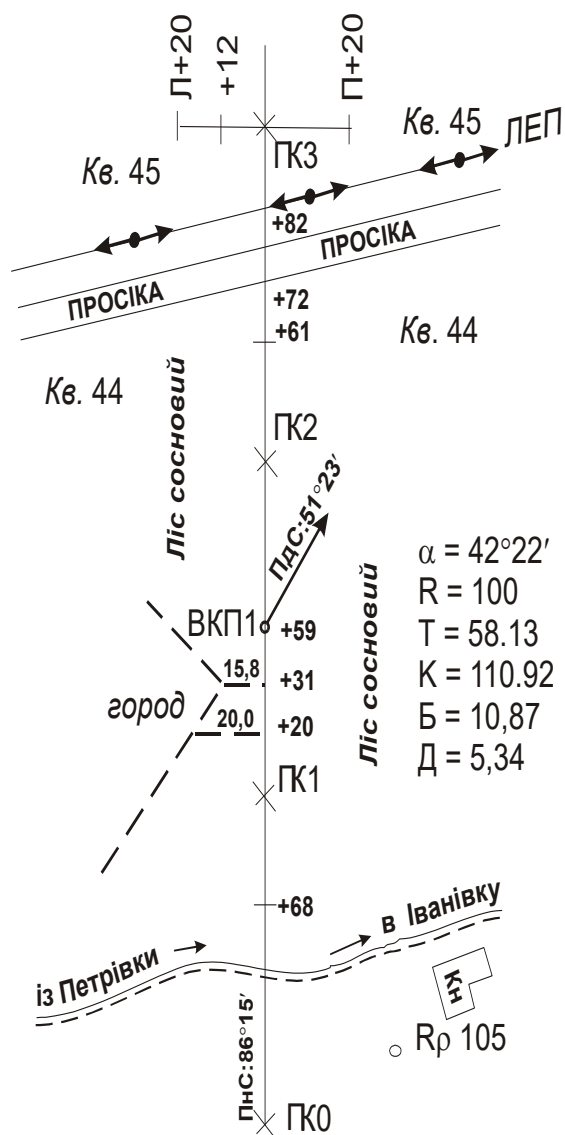


Рис. 11.1. Сторінка пікетажної книжки

Одночасно з розмічуванням пікетажу ведуть записи в польовому журналі – пікетажній книжці, в якій у певному масштабі по осі траси показують положення пікетів та плюсових точок, кути повороту траси, репери, поперечники, напрями поворотів осі траси, значення кутів повороту, радіусів та елементів кривих тощо. Вздовж осі нівелювання визначають азимути (румби) її відрізків між вершинами кутів повороту та знімають ситуацію у смузї майбутньої траси (рис. 11.1). Пікетажна книжка є одним з основних польових документів і записи в ній мають бути чіткими та акуратними.

2. Нівелювання траси

Розмітивши пікетаж, приступають до нівелювання траси, у процесі якого визначають висоти пікетних та плюсових точок, а також реперів, які встановлюють через кожних 3–5 км.

Нівелювання, як правило, виконують методом “із середини” з контролем на станції: перевищення визначають по чорній і червоній сторонах рейок або (якщо рейки односторонні) за двох горизонтів приладу.

Починають нівелювання з прив'язки найближчого пікету траси до знаків державної геодезичної мережі. Прив'язку нівелірних ходів до ґрунтових або стінних реперів (марок) здійснюють, встановлюючи рейку на знак (рис. 11.2 а). Для прив'язки до стінних марок, які зазвичай вмонтовані у стіну будинку вище горизонту приладу, в отвір марки встановлюють шпильку, до якої кріплять 0

(нуль) спеціальної підвісної рейки (рис. 11.2 б). Відлік, взятий по такій рейці, записують у журнал нівелювання зі знаком “мінус”. За відсутності підвісної рейки на стіні олівцем позначають проекцію горизонтальної сітки труби нівеліра, а потім рулеткою вимірюють відстань від неї до центра марки.

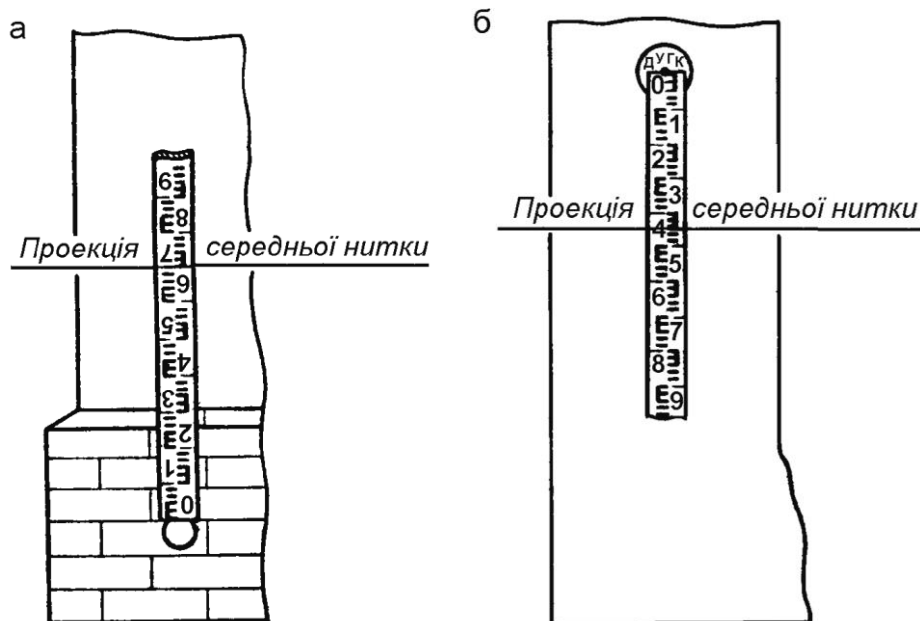


Рис. 11.2. Встановлення рейки на: а) стінний репер; б) стінну марку

Як правило, перевищення від нівелірного знаку не можна передати на пікетну точку з однієї станції, а доводиться прокласти нівелірний хід від нього до початкової або найближчої точки траси.

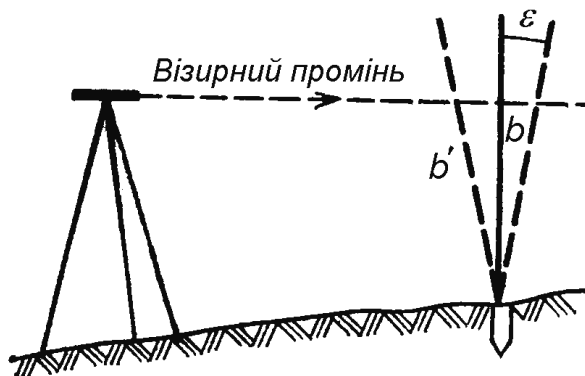


Рис. 11.3. Похибка відліку по рейці через її непрямолинійне положення

помилковий (більший) відлік b' (рис. 11.3). Різниця між ними є похибкою відліку δ :

$$\delta = b' - b = b' - b' \cos \varepsilon = 2b' \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} \quad (11.1)$$

Згідно з принципом геометричного нівелювання, рейки на точках нівелювання мають займати прямолинійне положення. Якщо рейки мають круглі рівні, то їх встановлюють у вертикальне положення, слідкуючи за бульбашками цих рівнів. Однак у більшості випадків при технічному нівелюванні рівні на рейках відсутні і вони можуть відхилитись від прямолинійного положення на якийсь кут ε . У результаті цього замість правильного відліку b , отримують

При однаковому куті відхилення рейки від прямовисного положення похибка буде тим більшою, чим більший відлік по рейці. Наприклад, при $\varepsilon = 3^\circ$ і $b' = 500$ мм, $\delta = 0,7$ мм, а при $b' = 2000$ мм, $\delta = 2,7$ мм.

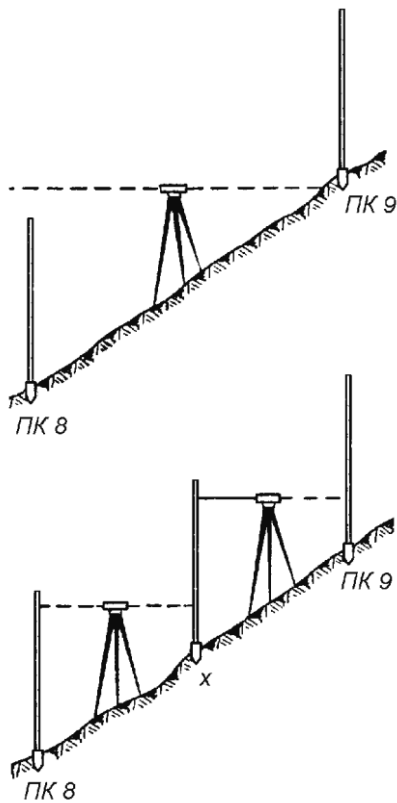


Рис. 11.4. Використання “іксових точок” під час нівелювання крутих схилів

Щоб запобігти впливу цієї похибки на результати нівелювання, рейку під час взяття відліків слід злегка похитувати вперед-назад. У журнал нівелювання записують найменший відлік по рейці b , який відповідатиме прямовисному положенню рейки.

У процесі нівелювання розрізняють сполучні (зв'язувальні) та проміжні точки. *Сполучними* називають точки, на які відліки по рейках беруть із двох суміжних станцій. Усі інші точки називають *проміжними*. Відлік по рейці на такій точці беруть тільки по чорній її стороні. Рейку встановлюють на землю поруч із “сторожком”, яким позначають проміжну точку. Як правило, під час нівелювання сполучними є пікетні точки, а проміжними – плюсові. Проте нерідко бувають випадки, коли доцільно за сполучну прийняти плюсову точку, а

пікетну пронівелювати як проміжну.

Сполучними є й так звані “іксові точки”, які застосовують на крутих схилах, коли неможливо визначити перевищення між пікетними точками через

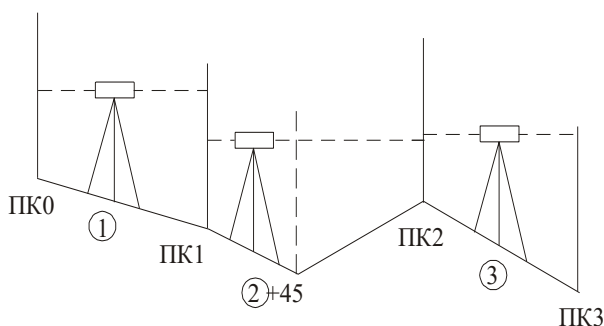


Рис. 11.5. Схема поздовжнього нівелювання. Вертикальною штриховою лінією показано рейку на проміжній точці. Цифри у кружках – номери станцій

те, що візирний промінь нівеліра проходить вище рейки або “б'є в землю” (рис. 11.4). У такому випадку пікет розбивають на частини додатковими точками, відстані до яких не вимірюють (звідси й назва – “іксові точки”), оскільки вони не характеризують рельєф місцевості по осі нівелювання і потрібні тільки для визначення перевищень між пікетними точками. Рейки у цих точках ставлять на забиті врівень з землею дерев'яні кілочки або башмаки чи костилі. У журналі нівелювання їх позначають X_1 , X_2 і т. д.

Під час нівелювання траси нівелір встановлюють на осі нівелювання або збоку від неї, приблизно посередині між сполучними точками (рис. 11.5) і приводять його в робоче положення. Зорову трубу наводять на рейки, встановлені в цих точках і беруть відліки по чорній та червоній сторонах задньої рейки, а потім – передньої. Не слід забувати, що перед кожним відліком елеваційним гвинтом бульбашку рівня треба привести на середину (в нуль-пункт).

За різницями відліків на задню та передню точки обчислюють перевищення між сполучними точками по чорній та червоній сторонах рейок. Різниця між ними не повинна бути більшою 5 мм. У протилежному випадку читання відліків слід повторити спочатку.

Після нівелювання сполучних точок задню рейку переносять послідовно на всі проміжні точки даного пікету й на кожній з них беруть відлік по чорній стороні рейки.

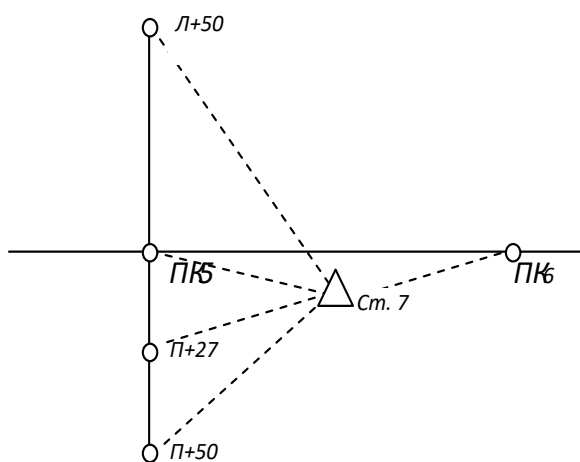


Рис. 11.6. Нівелювання поперечника з однієї станції

Якщо нівелювання проводять односторонніми рейками, контроль перевищень між сполучними точками здійснюють, змінюючи висоту приладу.

Результати нівелювання записують у відповідних графах "Журналу нівелювання" встановленої форми (табл. 11.1).

Закінчивши роботу на станції, передню рейку залишають на місці, а задню переносять на наступну сполучну точку траси. Нівелір встановлюють на наступній станції приблизно посередині між сполучними точками і вимірювання

перевищення проводять у тому ж порядку. Якщо вздовж траси трапляються репери державної нівелірної мережі, їх слід включати у нівелірний хід.

Одночасно з поздовжнім нівелюванням проводять нівелювання поперечників. Якщо умови місцевості дозволяють, то всі точки на поперечниках нівелюють як проміжні з однієї станції (рис. 11.6). У протилежному разі їх нівелюють з кількох станцій, як з нівелірного ходу, прив'язаного до траси.

3. Обробка журналу нівелювання

Обробку даних журналу нівелювання починають з посторінкового контролю, в ході якого переконаються, що піврізниця сум задніх і передніх відліків по рейках дорівнює половині суми обчислених перевищень і сумі середніх перевищень:

$$\frac{\sum_{зад.} - \sum_{пер.}}{2} = \frac{\sum h_{обч.}}{2} = \sum h_{сер.} \quad (11.2)$$

Для наведених у табл. 11.1 даних контроль буде таким:

Таблиця 11.1

Журнал технічного нівелювання траси

Номер станції	Номер точки	Відлік по рейці, мм			Перевищення, мм		Горизонт приладу, м	Висота точки, м
		задній	передній	проміжний	обчислене	середнє		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Rp. 1	1136						34,721
	ПК0	5820				-511	-0,5	
2	ПК0		1647				-510,5	34,210
	ПК1		6330			-510		
2	ПК0	1220				-796	-1,5	34,210
	ПК1	5900					-796,5	
3	ПК1	1544						33,412
	+43	6226	1488	2163		56	-1	
4	ПК2	0950						33,469
	X ₁	5632				-2186	-1	
5	X ₁	1222						31,282
	ПК3	5904	2859			-1637	-1638	
6	ПК3	1697						29,644
	+45	6379	3064			-1367	-1368	
7	+45	1132					29,408	28,276
	ПК4	5816	2014	0310		-882	-1	29,098
8	ПК4	2544						27,393
	+25	7224		0785		1789	-1	29,937
9	ПК5	1981						29,152
	ПК6	6662	0738			1787	1788	29,180
9	Л+50			2167				31,161
	П+27			1759				29,180
9	П+50			0056			-1,5	28,994
	ПК6		5418				1243,5	29,402
	Σ	68989	77572			-8583	-4291,5	31,105

Посторінковий контроль: $\frac{68989 - 77572}{2} = \frac{-8583}{2} = -4291,5$.

Продовження табл. 11.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	ПК6	2227						30,422
	X ₂	6909	0348		1879	-0,5	1879,5	
11	X ₂	2430						32,301
	ПК7	7112	0546		1884		1883	
12			5230		1882			34,184
	ПК7	2372						34,184
13	+32	7054		2288	1531	-1	1531	34,268
	ПК8		0841		1531		36,556	34,268
14			5523					35,714
	ПК8	2747						35,714
15	ПК9	7431	1110		1637	-1	1638	
			5792		1639			37,351
16	ПК9	2602						37,351
	+50	7284	0648		1954	-0,5	1953,5	
17			5331		1953			39,304
	+50	1760				-0,5		39,304
18	ПК10	6442	0930		830	830,5		
			5611		831			40,134
19	ПК10	2714						40,134
	X ₃	7396	1110		1604		1603	
20			5794		1602			41,737
	X ₃	2796						41,737
21	ПК11	7478	1185		1611	-0,5	1610,5	
			5868		1610			43,347
22	ПК11	2030						43,347
	Rp.2	6712	1115		915	-0,5	915,5	
23			5796		916			44,262
	Σ	85496	57807		27689		13844,5	

Посторінковий контроль: $\frac{85496 - 57807}{2} = \frac{27689}{2} = 13844,5$.

Загальний посторінковий контроль: $\frac{154485 - 135379}{2} = 9553$.

Висотна нев'язка: $fh = 9553 - (44262 - 34721) = +12$ (мм).

Допустима висотна нев'язка: $fh_{\text{дон.}} = \pm 50 \text{ мм } \sqrt{1,3} = \pm 57$ (мм).

$$fh < fh_{\text{дон.}}$$

по сторінці 1: $\frac{68989 - 77572}{2} = \frac{-8583}{2} = -4291,5$;

по сторінці 2: $\frac{85496 - 57807}{2} = \frac{27689}{2} = 13844,5$.

Якщо вказана рівність не справджується, помилку слід шукати в обчисленнях перевищень.

За цією ж формулою проводять контроль у кінці журналу нівелювання по всьому нівелірному ходу:

$$\frac{154485 - 135379}{2} = \frac{19106}{2} = 9553.$$

Висотну нев'язку в перевищеннях обчислюють як різницю практичної і теоретичної суми перевищень. У нівелірному ході теоретично сума середніх перевищень має дорівнювати різниці висот кінцевого $H_{Rp.кін.}$ і початкового $H_{Rp.поч.}$ реперів. Отже, нев'язка f_h у перевищеннях нівелірного ходу буде дорівнювати:

$$f_h = \sum h_{сер.} - (H_{Rp.кін.} - H_{Rp.поч.}). \quad (11.3)$$

Для наведеного прикладу $f_h = 9553 - (44262 - 34721) = +12$ мм.

Знайдену висотну нев'язку порівнюють з гранично допустимою ($f_{h доп.}$), яку обчислюють за формулою:

$$f_{h доп.} = \pm 50 \text{ мм } \sqrt{L}, \quad (11.4)$$

де L – довжина нівелірного ходу в км.

На місцевості із значними ухилами, коли кількість станцій на 1 км ходу перевищує 25, допустиму нев'язку підраховують за формулою:

$$f_{h доп.} = 10 \text{ мм } \sqrt{n}, \quad (11.5)$$

де n – кількість станцій нівелірного ходу.

Якщо фактична нев'язка f_h не перевищує допустимої $f_{h доп.}$, то її розподіляють з протилежним знаком порівну на всі перевищення, заокруглюючи до цілих міліметрів. Правильність розподілу нев'язки контролюють сумою всіх поправок, яка має дорівнювати нев'язці f_h з оберненим знаком. За недопустимої нев'язки та відсутності похибок в обчисленнях, нівелювання сполучних точок нівелірного ходу треба повторити.

Після ув'язки перевищень обчислюють висоти сполучних точок за формулою:

$$H_{n+1} = H_n + h_{випр.}, \quad (11.6)$$

тобто висота наступної точки дорівнює висоті попередньої плюс відповідне виправлене перевищення.

Для визначення висот проміжних точок на кожній станції, де вони є, обчислюють горизонт інструмента:

$$ГІ = H_n + a, \quad (11.7)$$

де H_n – висота задньої сполучної точки, a – відлік по чорній стороні рейки, встановленій на цій точці.

Висоту проміжної точки $H_{пром.}$ знаходять за різницею горизонту інструмента $ГІ$ та проміжного відліку $Пр$:

$$H_{\text{пром.}} = \Gamma I - \text{Пр} . \quad (11.8)$$

Приклад. За даними нівелювання (табл. 11.1) обчислити висоту *ПК 2* та проміжної точки *ПК1 + 43* на станції 3 нівелірного ходу.

$$H_{\text{ПК2}} = 33412 + 57 = 33469.$$

$$\Gamma I = 33412 + 1544 = 34956.$$

$$H_{\text{ПК1+43}} = 34956 - 2163 = 32793.$$

4. Побудова поздовжнього профілю траси та проектування на ньому

За результатами нівелювання на міліметровому папері будують поздовжній профіль траси. Для надання йому більшої інформативності, висоти відкладають у більшому, ніж горизонтальні відстані, масштабі (як правило, в 10 разів).

Побудову профілю починають з побудови профільної сітки – ряду горизонтальних ліній, проведених на певній відстані одна від одної. В утворених лініями сітки графах роблять записи, які характеризують різні елементи профілю, та заповнюють їх за даними пікетажної книжки і журналу нівелювання (рис. 11.29). Форма профільної сітки може відрізнятись від наведеного прикладу, вона залежить від призначення майбутньої споруди, технічних вимог до проектування.

Заповнення профільної сітки починають з графи “*Пікети*”, куди записують номери пікетних точок. У графі “*Відстані*” кінець кожного пікету позначають вертикальною рисою. Таким же чином тут показують усі плюсові точки, вказуючи відстані до них від сусідніх точок траси.

Графу “*Відмітки поверхні землі*” заповнюють за даними нівелірного журналу, заокруглюючи висоти пікетних і плюсових точок до сантиметрів.

Від верхньої лінії профільної сітки, яку називають “*лінією умовного горизонту*”, за висотами відповідних точок траси будують вертикальні відрізки. Сполучивши послідовно кінці цих відрізків, отримують поздовжній профіль осі траси.

У графі “*План траси*” показують її вісь, а стрілками – повороти. Умовними знаками відображають внутрішню ситуацію вздовж осі траси. У відповідній графі профільної сітки дають характеристику ґрунтового покриття.

На “*Плані прямих та кривих*” показують точки початку та кінця кожної кривої, позначаючи їх дугами: вгору, якщо траса повертає праворуч, і вниз – якщо ліворуч. Біля кожної кривої вказують відстані від її початку та кінця до найближчих пікетних точок траси, величину кута повороту, радіус кривої та її основні елементи. Посередині прямих вставок траси підписують їхні довжини та напрями (румби). Початковий дирекційний кут осі траси отримують з прив’язки до геодезичних пунктів, а після повороту траси – додаючи до нього (за повороту траси праворуч) або віднімаючи від нього (за повороту ліворуч) величину кута повороту.

Будівництво тієї чи іншої лінійної споруди пов’язане зі зміною поверхні траси, яку на профілі показують у вигляді *проектної лінії*. Її наносять на профіль,

керуючись відповідними нормами та правилами й враховуючи висоти характерних точок вздовж осі майбутньої споруди, перетини з автомобільними шляхами та залізницями, об'єктами гідрографії тощо. Проводячи проектну лінію, стараються звести до мінімуму обсяги земляних робіт, витримуючи приблизну рівність виїмок та насипів, не перевищувати граничних ухилів та враховують інші вимоги до траси.

На ділянці між двома сусідніми точками згинів ухил i проектної лінії визначають за формулою:

$$i = \frac{H_{\text{кін.}} - H_{\text{поч.}}}{d}, \quad (11.9)$$

де $H_{\text{кін.}}$ і $H_{\text{поч.}}$ – проектні позначки кінця і початку відрізка проектної лінії одного ухилу (знімають з профілю);

d – довжина цього відрізка.

Ухил, як правило, визначають у тисячних долях-частках одиниці. Обчислену величину ухилу записують у графу "Ухили" над лінією, яка показує знак ухилу, а під нею вказують відстань, на якій він діє. За ухилом проектної лінії та висотою її початку обчислюють *проектні позначки* $H_{\text{пр}}$ усіх пікетних та плюсових точок траси:

$$H_{\text{пр}} = H_0 + i \cdot d, \quad (11.10)$$

де H_0 – проектна позначка початкової точки лінії даного ухилу, м;

d – відстань від початку ухилу до даної точки, м;

i – ухил у тисячних.

Приклад. Перевищення h між точками ПК 0 і ПК 6 (рис. 11.7) дорівнює мінус 3,0 м ($29,50 - 32,50$), відстань між ними $d = 600$ м, ухил $i = -3,00/600 = -0,005$.

$$H_{\text{пр ПК1}} = 32,50 + (-0,005 \cdot 100) = 32,50 - 0,50 = 32,00 \text{ (м)}$$

$$H_{\text{пр ПК2}} = 32,50 + (-0,005 \cdot 200) = 32,50 - 1,00 = 31,50 \text{ (м) і т.д.}$$

За різницями позначок поверхні землі та проектних позначок знаходять *робочі висоти* відповідних точок, які показують, на яку висоту треба насипати або на яку глибину вибрати ґрунт у кожній точці нівелювання під час будівництва лінійної споруди (обсяги земляних робіт). Їх значення підписують проти відповідних точок під проектною лінією для виїмок і над нею – для насипів.

У точках перетину проектної лінії з поверхнею землі обсяг ґрунтових робіт дорівнює нулю. Такі точки називають *точками нульових робіт* (рис. 11.8). Відстані x від пікетів до точок нульових робіт визначають за формулою:

$$x = d \cdot \frac{h_1}{h_1 + h_2}, \quad (11.11)$$

де h_1 і h_2 – робочі висоти точок, які розташовані зліва та справа від точки нульових робіт;

d – відстань між цими точками.

ПОЗДОВЖНІЙ ПРОФІЛЬ
траси внутрігосподарської дороги
Масштаби: горизонтальний 1 : 5000
вертикальний 1 : 500

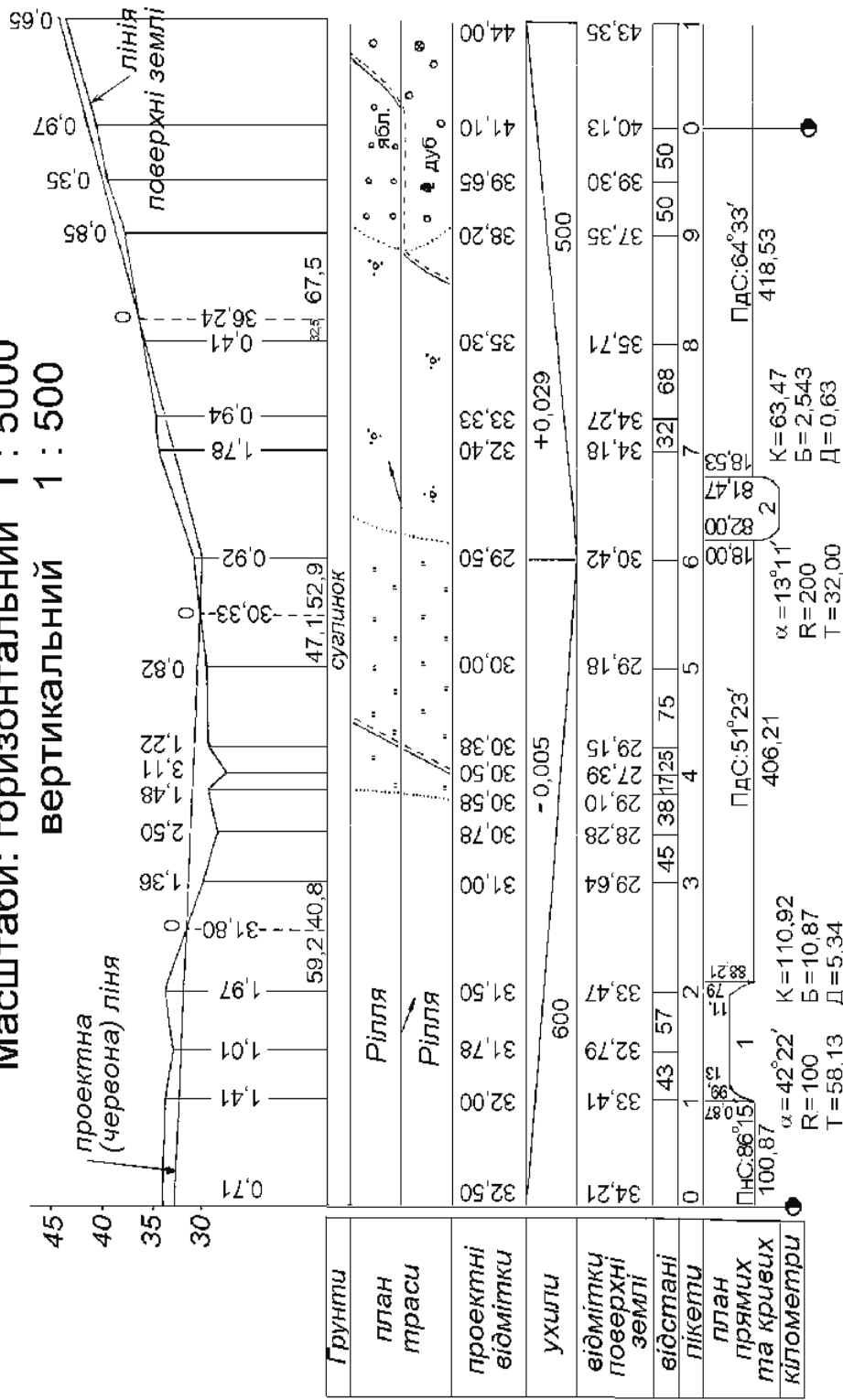


Рис. 11.7. Поздовжній профіль траси дороги

На профілі обчислені відстані показують зліва і справа від ординати точки нульових робіт, а в розриві ординати вказують висоту точки нульових робіт (“синю відмітку”), яку обчислюють так само, як і проектні висоти точок. Лінію ординати і висоту точки нульових робіт $H_{т.н.р.}$ на профілі показують синім кольором.

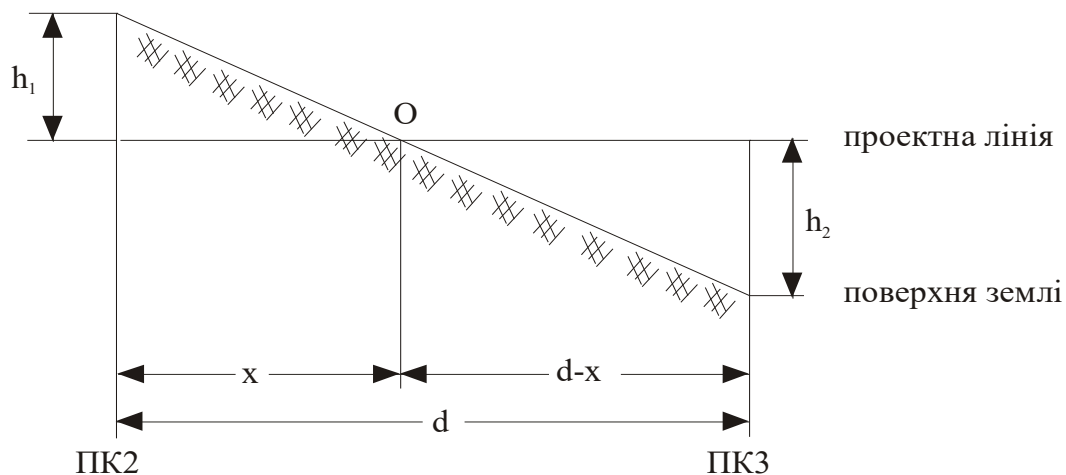


Рис. 11.8. Визначення відстані до точки нульових робіт

Приклад (рис. 11.8). Робочі висоти пікетів, між якими знаходиться точка нульових робіт, $h_1 = 1,97$ м, $h_2 = 1,36$ м, відстань між ними $d = 100$ м.

$$x = 100 \cdot \frac{1,97}{1,97 + 1,36} = \frac{197}{3,33} \approx 59 \text{ (м)};$$

$$d - y = 100 - 59,2 \approx 41 \text{ (м)}.$$

$$H_{т.н.р.} = 32,50 + (-0,005 \cdot 259) = 31,20 \text{ (м)}$$

За результатами нівелювання поперечників будують поперечні профілі. Їх складають в однаковому для горизонтальних відстаней та висот масштабі, який, як правило, дорівнює вертикальному масштабу. Профільна сітка для них скорочена і, зазвичай, включає графи “Відстані” та “Висоти поверхні землі”. Під поперечником вказують пікетажне значення точки, на якій він розбитий (рис. 11.9). Профілі поперечників розміщують над цими точками або справа від поздовжнього профілю траси.

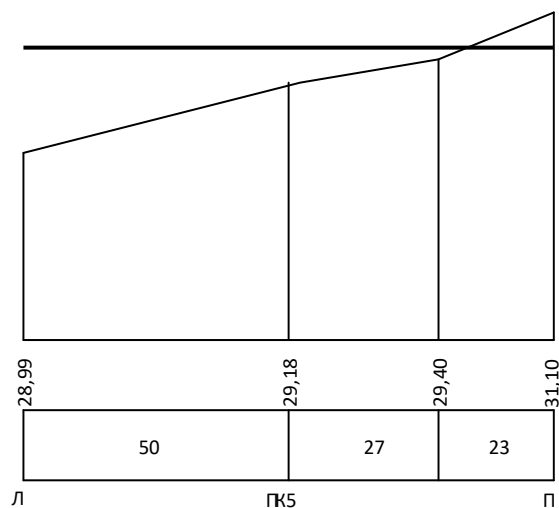


Рис. 11.9. Поперечний профіль

Лекція 12. Нівелювання площі

1. Нівелювання поверхні ділянок по квадратах

Нівелювання невеликих ділянок рівнинної місцевості проводять з метою одержання топографічних планів великих масштабів на основі сітки квадратів. Таку роботу виконують на поливних ділянках, рисових чеках, для спорудження зрошувальних систем, об'єктів промислового та цивільного будівництва тощо. Розбиваючи сітку квадратів, для побудови на місцевості прямих кутів користуються теодолітом, бусоллю або екером.

У процесі рекогносцировки оглядають ділянку, що підлягає нівелюванню, уточнюють її межі й вибирають бажану довжину сторін квадратів l . Вона може дорівнювати 10, 20, 40 м для масштабів планів, відповідно, 1:1000, 1:2000, 1:5000. Уздовж більшої сторони ділянки намічають і провішують лінію, наприклад, АВ (рис. 12.1), так, щоб вона вміщувала ціле число відрізків, довжина кожного з яких дорівнює прийнятій стороні квадрата.

У точках А і В послідовно встановлюють кутомірний прилад, будують прямі кути й по лініях AD і BC відкладають 1-метрові відрізки, позначаючи їхні кінці кілочками. Вимірюють довжину лінії CD і, якщо вона відрізняється від вихідної довжини АВ не більше як на 1:2000, на ній теж відкладають відрізки, довжина яких дорівнює прийнятій стороні квадрата.

Далі, користуючись віхами, які виставляють на протилежних кінцях ліній 2, 3, 4 і т. д. та на сторонах АВ і DC, відміряють 1-метрові відрізки та здійснюють розбивку площі на квадрати.

У вершинах квадратів забивають кілки для нівелювання, які повинні виступати над поверхнею землі не більш як на 1–2 см. Поряд з кілками встановлюють сторожки, на яких пишуть номери вершин квадратів: 1а, 1б, 1в і т. д., керуючись польовою схемою, яку попередньо складають на аркуші паперу. Одночасно з побудовою сітки знімають ситуацію і, за потреби, позначають проміжні точки на сторонах квадратів або всередині їх.

Нівелювання вершин квадратів проводять з декількох станцій, кількість яких повинна бути не меншою 3. Перед нівелюванням одну з вершин квадратів прив'язують до найближчого репера. У процесі нівелювання деякі з вершин квадратів (не менше 3) вибирають і нівелюють як сполучні, а решту – як проміжні точки. Сполучних точок має бути стільки, скільки станцій, і вони мають утворювати зімкнутий полігон (рис. 12.2).

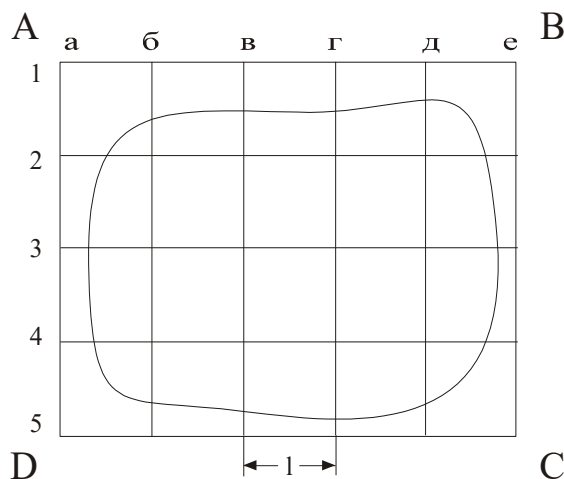


Рис. 12.1. Побудова сітки квадратів

Нівелір встановлюють на першій станції в робоче положення, беруть задній і передній відліки по двох сторонах рейок на сполучних точках (наприклад, 1а і 3д) і обчислюють перевищення однієї точки над другою. Першою сполучною

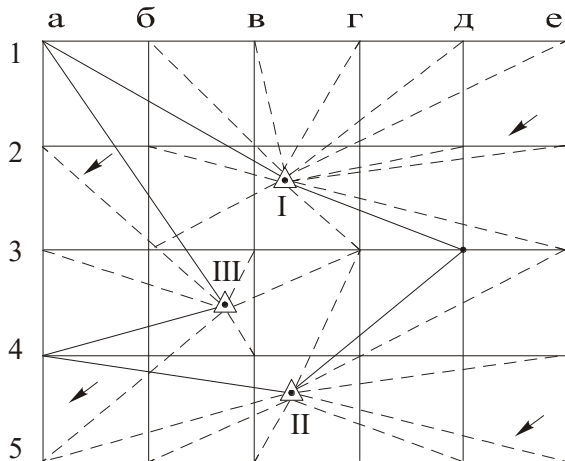


Рис. 12.2. Схема нівелювання ділянки по квадратах: I, II, III нівелірні станції; стрілками показано напрям схилу, суцільними лініями – напрям на сполучні точки, штриховими – на проміжні

точкою є вершина квадрату, на яку передано позначку репера. Відліки та перевищення між сполучними точками записують у журналі нівелювання або безпосередньо на схемі. На схемі ж стрілками показують напрям схилів. Усі інші вершини квадратів з даної станції нівелюють як проміжні точки, на кожній з яких беруть відлік тільки по чорній стороні рейки й заносять у графу журналу “проміжний відлік” або на схему. Після цього переходять на наступну станцію, де роботу продовжують у вказаному порядку.

Під час обробки даних нівелювання спочатку обчислюють середні перевищення сполучних точок нівелірного ходу та знаходять фактичну

висотну нев'язку (в зімкнутому полігоні сума середніх перевищень має дорівнювати нулю). Якщо ця нев'язка допустима ($f_{h \text{ доп.}} = 10 \text{ мм} \sqrt{n}$, де n – кількість станцій нівелірного ходу), її розподіляють з оберненим знаком порівну на всі перевищення.

У наведеному на рис. 12.3 прикладі:
 $\Sigma h_{\text{сер.}} = 820 + 140 - 954 = +6(\text{мм})$;

$$f_{h \text{ доп.}} = 10 \text{ мм} \sqrt{n} = 10 \sqrt{3} = 17(\text{мм});$$

$$f_h \leq f_{h \text{ доп.}}$$

$$\Sigma_{\text{нуб'яз.}} = 818 + 138 - 956 = 0.$$

За висотою першої точки та ув'язаними перевищеннями знаходять висоти всіх інших сполучних точок, а через горизонт інструмента – і всіх інших вершин квадратів.

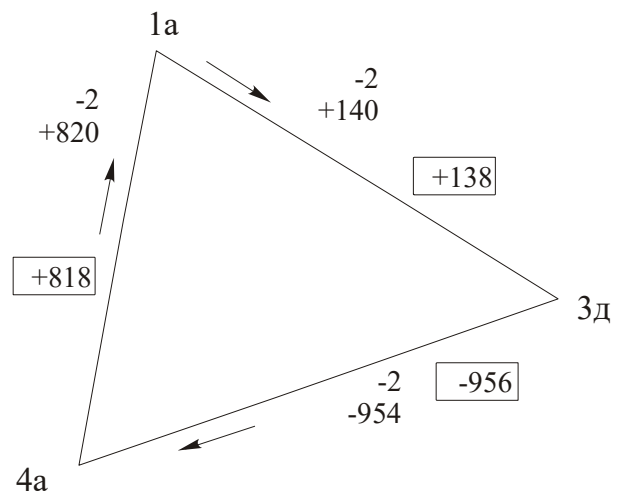


Рис. 12.3. Схема ув'язки перевищень між сполучними точками (у прямокутних рамочках – ув'язані перевищення)

2. Інтерполювання горизонталей

За результатами нівелювання складають топографічний план ділянки місцевості. На ватманському папері синьою тушшю у вибраному масштабі креслять сітку квадратів, біля вершин яких надписують їхні висоти, заокруглюючи їх до 0,01 м. Шляхом інтерполяції висот вершин квадратів

знаходять положення горизонталей на всіх їх сторонах, а, за потреби, і на діагоналях. Інтерполяцію горизонталей можна проводити аналітичним або графічним способами, а набувши досвіду – й окомірною.

Аналітична інтерполяція горизонталей. Вибравши висоту перерізу рельєфу (залежно від масштабу плану і характеру рельєфу вона може бути 0,25, 0,5, 1 м), за висотами сусідніх вершин

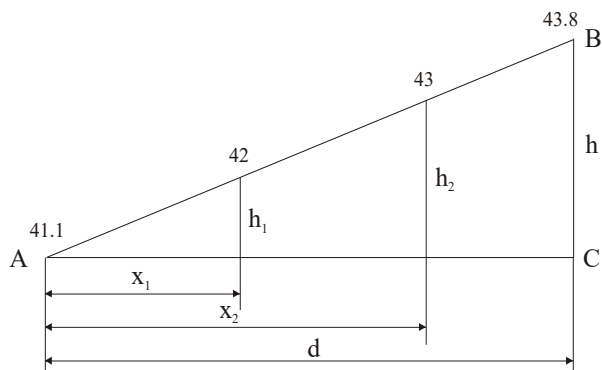


Рис. 12.4. Схема аналітичної інтерполяції горизонталей

кожного квадрата з'ясовують, які горизонталі пройдуть через їхні сторони. При цьому вважають, що сторона квадрата має на всій відстані один і той же ухил, тому зміни висот точок, розміщених на цій лінії, проходять пропорційно зміні відстані між ними. На рис. 12.4 показана схема аналітичної інтерполяції горизонталей між вершинами квадратів з позначками 41,1 і 43,8 м за висоти перерізу рельєфу 1,0 м і довжини сторони

квадрата 50 м.

З подібності прямокутних трикутників, які мають один спільний кут А, відповідні сторони їх є пропорційними, звідки:

$$\frac{x_1}{h_1} = \frac{d}{h}; x_1 = \frac{h_1 d}{h} = \frac{0,9 \cdot 50}{2,7} = 16,7 \text{ м};$$

$$\frac{x_2}{h_2} = \frac{d}{h}; x_2 = \frac{h_2 d}{h} = \frac{1,9 \cdot 50}{2,7} = 35,2 \text{ м},$$

де h_1 , h_2 та h – перевищення горизонталей з висотами 41 і 42 м і точки В над точкою А;

x_1 та x_2 – відстані від вершини квадрата А до точок на його стороні, через які пройдуть горизонталі з висотами 42 і 43 м;

d – довжина сторони квадрата.

Відклавши від точки А по стороні АС знайдені величини x_1 та x_2 , отримують точки перетину із стороною квадрата горизонталей з висотами 41 та 42 м.

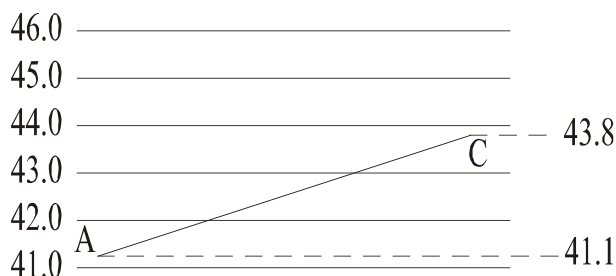


Рис. 12.5. Інтерполяція горизонталей за допомогою палетки

Графічну інтерполяцію горизонталей проводять за допомогою палетки – смужки прозорого паперу з накресленими через однакові відстані (5–10 мм) паралельними лініями. Кожну лінію палетки підписують згідно з прийнятою висотою перерізу рельєфу і відповідно з висотами вершин квадратів. Підставою для застосування палетки є те, що паралельні лінії розсікають сторону квадрата на

частини, пропорційні проміжкам між цими лініями.

Наприклад, щоб знайти положення горизонталей між точками А і С за висоти перерізу рельєфу 1,0 м, палетку накладають на план так, щоб точки А і С зайняли положення між паралельними лініями відповідно до своїх висот (рис. 12.5). Точки перетину ліній 42 і 43 зі стороною квадрата АС і визначають положення горизонталей з відмітками 42 і 43 м на стороні квадрата. Їх відмічають на плані легким наколюванням голкою. Таким же чином проводять інтерполяцію горизонталей на всіх сторонах квадратів, а за необхідності – і на їхніх діагоналях. Точки з однаковими позначками на сторонах послідовно з'єднують плавними кривими лініями – горизонталями.

Горизонталі проводять коричневою (сієна палена) тушшю плавними лініями завтовшки 0,1 мм, а з висотами кратними 5 м – 0,25 мм. У розривах останніх підписують позначки так, щоб основа цифр була спрямована до підосви схилу. Бергштрихи, які вказують напрями схилів, наносять у характерних місцях рельєфу.

Побудований план орієнтують за сторонами світу та оформляють (рис. 12.7).

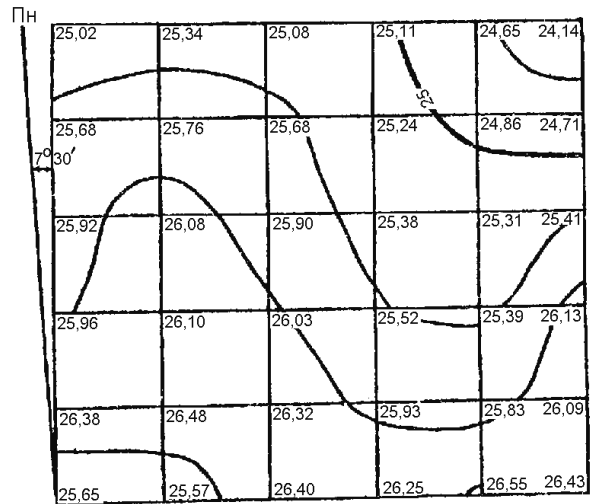


Рис. 12.7. Топографічний план ділянки

3. Інші способи геометричного нівелювання поверхні

Спосіб паралельних ліній (рис. 12.8) застосовується як на відкритій, так і в закритій місцевостях. Положення точок місцевості визначається побудовою паралельних ліній (поперечників) від магістральних теодолітних або мензульних ходів. При цьому відстані між точками іноді можуть бути різними (узгодженими з рельєфом місцевості для кращого його зображення).

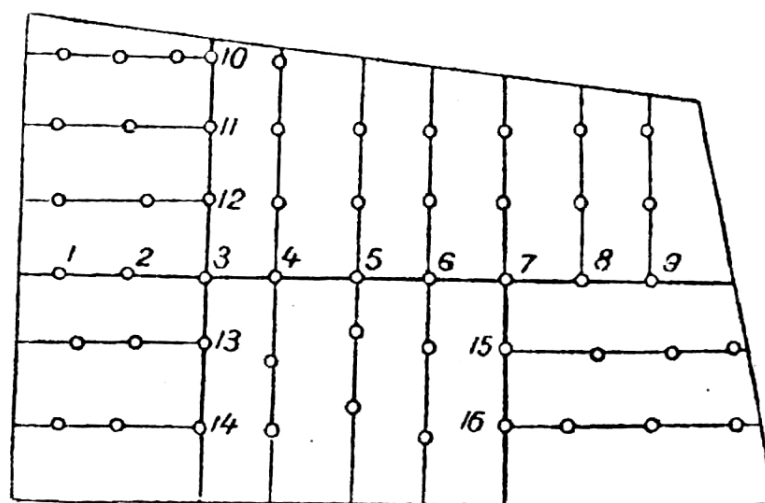


Рис. 12.8 Спосіб паралельних ліній

Довжина паралельних ліній повинна бути такою, щоби не внести суттєвої похибки в плані (при провішуванні) і по висоті (при нівелюванні висячих ходів).

Спосіб полігонів (рис. 12.9) зручніше застосовувати на відкритій місцевості з крупними формами рельєфу. Планова основа нівелірної зйомки створюється замкнутими теодолітними ходами по вододілах і водозливах. Периметр полігонів і їх кількість залежать від площі ділянки і характеру рельєфу.

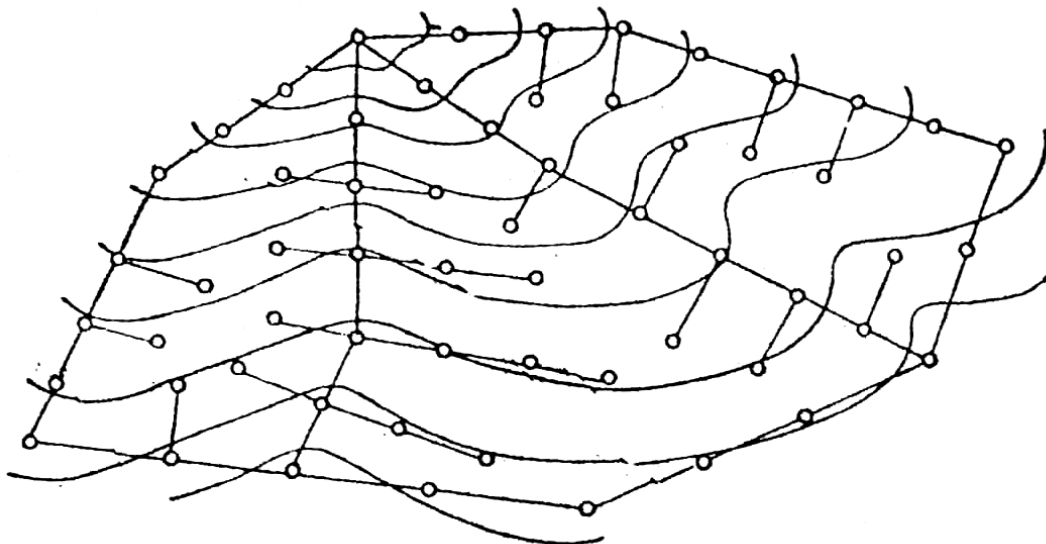


Рис. 12.9 Спосіб полігонів

Одночасно з прокладанням ходів перпендикулярно сторонам розмічаються поперечники.

Нівелювання точок на сторонах ходу і поперечниках здійснюється будь-яким із вказаних раніше способів.

У півзакритій місцевості з добре вираженим рельєфом застосовується полярний спосіб нівелювання ділянки (рис. 12.10). Планове положення поворотних і інших точок полігону визначається теодолітними або мензульними ходами.

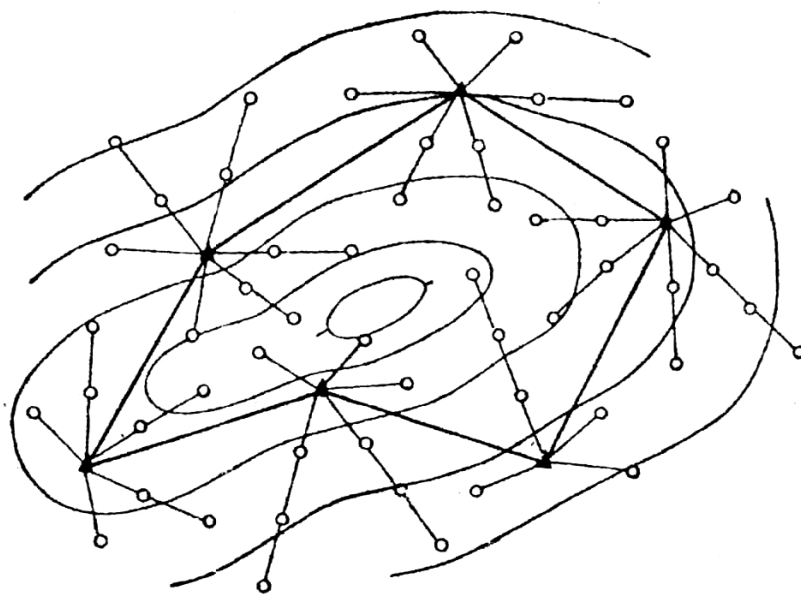


Рис. 12.10. Полярний спосіб

Відстані від місць встановлення нівеліра до точок при зйомці в масштабі 1:2000 і дрібніше дозволяється визначати віддалеміром. Перевищення визначають нівеліром, як і при нівелірній зйомці способом квадратів.

Лекція 13. Тахеометричне знімання. Особливості топографічного знімання забудованих територій

1. Сутність тахеометрії. Прилади, які застосовують при тахеометричному зніманні

Тахеометричне знімання, як і мензульне, належить до топографічних або контурно-висотних знімань, в результаті яких одержують план місцевості із зображенням рельєфу й ситуації. Його застосовують самостійно для складання планів невеликих ділянок місцевості у великих (1:500–1:5000) масштабах або в поєднанні з іншими видами робіт, коли виконання мензульного або стереотопографічного знімання економічно недоцільне чи технічно утруднене. Застосування тахеометрії особливо вигідне для знімання вузьких смуг місцевості при вишукуванні трас доріг, ЛЕП, трубопроводів та інших лінійних об'єктів. Крім того, її часто використовують для знімання рельєфу на забудованій території.

Слово “тахеометрія” в перекладі з грецької означає “швидке вимірювання”. Швидкість вимірювань під час тахеометричного знімання досягається тим, що положення точки місцевості визначається на плані й по висоті при одному наведенні труби приладу на рейку, встановлену в даній точці.

Тахеометричне знімання виконують електронними, авторедукційними, номограмними тахеометрами, оптичними теодолітами з світловіддалемірами і, як виняток, теодолітами. Крім того, для тахеометричного знімання використовують цифрові термінали даних типу GRE 4а, які дають змогу реєструвати числову й текстову інформацію і виконувати кодування предметів місцевості в польових умовах. Під час камеральних робіт користуються різноманітними графопобудовачами, які після відповідної обробки матеріалів за допомогою програмно-технологічних комплексів типу “Топоград” дають змогу автоматизовано отримувати топографічні плани в цифровому та графічному вигляді. Для роботи з тахеометрами застосовують спеціальні рейки та спеціальні віхи для віддалемірних відбивачів, а в комплекті з теодолітами можуть використовуватись і нівелірні рейки.

При використанні технічних теодолітів сутність тахеометричної зйомки зводиться до визначення на місцевості трьох величин: горизонтального кута β , кута нахилу ν і відстані до точки D . Кути β та ν визначають за допомогою горизонтального і вертикального кругів теодоліта, а відстань D – нитковим віддалеміром. Планове положення точки визначають полярним способом, а перевищення – методом тригонометричного нівелювання.

Для визначення перевищення h точки B над точкою A (рис.13.1) у точці A встановлюють приведений у робоче положення теодоліт, а в точці B – рейку.

Вимірюють висоту приладу i й зорову трубу теодоліта наводять на верх рейки, яка має довжину V . За допомогою вертикального круга вимірюють кут нахилу ν , а нитковим віддалеміром – похилу відстань D або її горизонтальну проекцію d . Перевищення визначають за формулою:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - \nu. \quad (13.1)$$

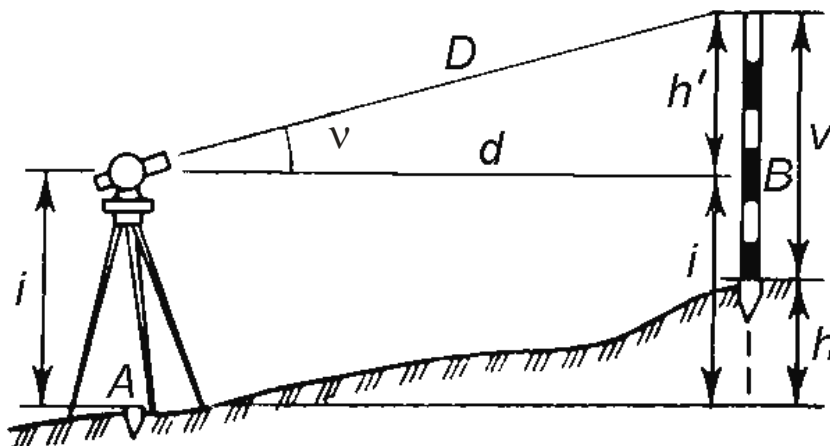


Рис. 13.1. Визначення перевищення теодолітом-тахеометром

При $\nu = i$, то має
вигляд:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu. \quad (13.2)$$

При застосуванні ниткового віддалеміра перевищення між точками дорівнюватиме:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu = D \cdot \cos^2 \nu \cdot \operatorname{tg} \nu = D \cdot \sin \nu \cdot \cos \nu = D/2 \cdot \sin 2\nu,$$

або в загальному вигляді:

$$h = D/2 \cdot \sin 2\nu + i - \nu, \quad (13.3)$$

де D – відстань, визначена віддалеміром.

Значення d і h у польових умовах зручно обчислювати за допомогою мікрокалькуляторів. При використанні спеціальних тахеометрів горизонтальні прокладання (відстані) й перевищення одержують автоматично за відліками по рейці.

Перевагою тахеометричного знімання перед мензульним є те, що його можна проводити за несприятливих погодних умов. Крім того, камеральні роботи може виконувати інший виконавець зразу ж після проведення частини польових вимірювань, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці. До недоліків цього виду знімання місцевості слід віднести те, що складання плану виконують у камеральних умовах, не бачачи перед собою об'єкт знімання, на основі результатів польових вимірювань та зарисовок. Це не дає можливості своєчасно виявляти допущені помилки шляхом порівняння плану й місцевості.

Як вказувалось вище, для тахеометричного знімання можуть слугувати технічні теодоліти Т30, 2Т30, Т15 та ін., які мають горизонтальний і вертикальний круги. Виконуючи перевірки цих приладів, для зручності

обчислень вертикальних кутів “місце нуля” вертикального круга приводять до нуля. Коливання МО у процесі роботи не повинні перевищувати $\pm 1'$. Для тахеометричного знімання користуються віддалемірними або шашковими нівелірними рейками.

Останнім часом тахеометричне знімання виконують тахеометрами. У колишньому СРСР, згідно з ГОСТ 10812, випускались чотири типи тахеометрів:

- ТЕ – тахеометр електронний, який поєднує в собі кутомірний пристрій і світловіддалемір. Результати вимірювань реєструються на перфострічці або на світловому табло. Призначений для вимірювання відстаней до 2 км із середньою квадратичною помилкою не більше 2 см, а також для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів із середніми квадратичними помилками $3''$ і $5''$ відповідно. До цього класу відносяться тахеометри Та5 (СРСР), Геодиметри 710 та 720 (Швеція), Рег Elta, ЕОТ-2000 (Німеччина), ТАС-1 (Швейцарія) та ін.;

- ТД (до 1975 р. випускався під шифром ТП) – тахеометр з авторедукційним віддалеміром подвійного зображення. Відстані визначають з відносною похибкою 1:5000, перевищення – з середньою квадратичною помилкою 3–4 см на 100 м відстані по горизонтальній рейці, а горизонтальні й вертикальні кути – з середніми квадратичними помилками $8''$ і $12''$ відповідно. Кутомірна частина приладу виконана на базі теодоліта Т5К. До цього типу тахеометрів відноситься і Redta 002, яка випускалась фірмою Карл Цейс, Йена (Німеччина);

- ТВ – тахеометр внутрібазисний, призначений для вимірювання горизонтальних відстаней і кутів. Відстані до 60 м можна вимірювати без застосування рейки за вертикальними контурами місцевих предметів; для вимірювання більших відстаней (до 180 м) використовують віху та додаткову базу завдовжки 60 см. Відносна похибка вимірювання відстаней – 1:1000. Цей тахеометр подвійного зображення із змінною базою всередині приладу застосовували для знімання важкодоступних ділянок, відкритих гірничих виробок, у містах в умовах інтенсивного руху транспорту, а також у транспортному будівництві;

- ТН – тахеометр номограмний. Призначений для визначення горизонтальних відстаней і перевищень по вертикальній рейці за допомогою номограм, які видимі в полі зору труби. Серед цих приладів найбільше розповсюдження одержав тахеометр-автомат ТА-2. До приладів даного типу відносяться також тахеометри Дальта 020 і Дальта 010А (виробництва фірми Карл Цейс, Йена (Німеччина) з картографічним столиком Карті-250, який дозволяє креслити план місцевості безпосередньо в полі на кожній станції.

Тахеометр ТА-2, який виробляв Уральський оптико-механічний завод (Росія), представляє собою оптичний неповторювальний теодоліт, лімб якого можна переставляти за допомогою спеціального гвинта. Лівіше окуляра труби розташований окуляр шкалового мікроскопа для відліків по горизонтальному колу. Ціна поділки шкали мікроскопа – $1'$, відліки беруть із точністю до $0,1'$.

Поле зору труби ідентичне кіпрегелю КА-2. За положення зорової труби КЛ у трубі видно номограму, яка включає початкову криву H , криву горизонтальних відстаней D з коефіцієнтом 100 та криві перевищень з додатними і від'ємними

коефіцієнтами 10, 20 і 100. Зображення кривих видно на фоні вертикальної частини Г-подібної посрібленої пластинки, а шкали вертикального круга – на її

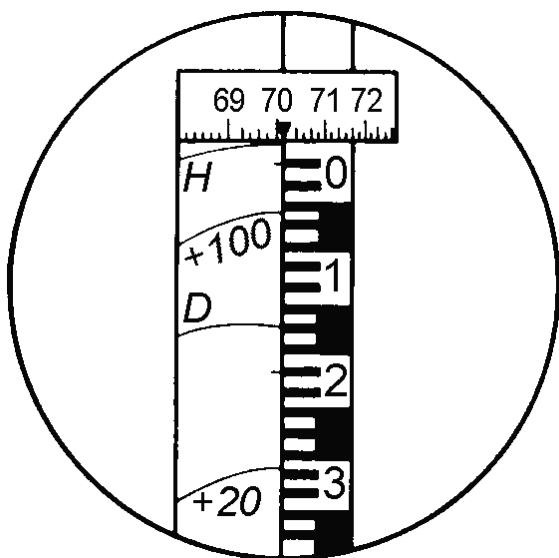


Рис. 13.2. Поле зору труби ТА-2

горизонтальній частині (рис. 13.2). Ціна поділки шкали становить 10', відліки беруть з точністю до 1' за індексом, який суміщений з вертикальним краєм пластинки.

Під час роботи з тахеометром ТА-2 зручно користуватись рейкою з висувною п'яткою, яка дозволяє встановлювати її нуль на висоту, що дорівнює висоті приладу. Основну криву H наводять на нуль рейки, суміщають ліву грань зображення рейки з правою вертикальною гранню Г-подібної пластинки й беруть відліки по рейці проти відповідних кривих. Перемноживши їх на відповідні

коефіцієнти, отримують горизонтальні прокладання ліній d і перевищення h . На представленому на рис. 13.2 прикладі $d = 0,173 \text{ м} \times 100 = 17,3 \text{ м}$; $h = 0,062 \text{ м} \times 100 = 6,20 \text{ м}$ або $h = 0,311 \text{ м} \times 20 = 6,22 \text{ м}$.

Місце нуля тахеометра ТА-2 (як і кіпрегеля КА-2) має дорівнювати 90° . Кут нахилу $\nu = \text{МО} - \text{КЛ}$. У наведеному на рисунку прикладі $\nu = 90^\circ - 70^\circ 10' = 19^\circ 50'$.

Відносна помилка вимірювання горизонтальних прокладань тахеометром ТА-2 складає 1:500–1:700; середня квадратична помилка перевищень, вимірюваних у прямому та зворотному напрямках при коефіцієнтах кривих ± 10 на відстанях 50–350 м, становить 2–4 см.

Спільне підприємство виробничого об'єднання “Уральський оптико-механічний завод” та швейцарської фірми Leica випускає електронний тахеометр ТС600Е. Досвід виробництва цього приладу дозволив модернізувати тахеометри ТА-2, в результаті чого налагоджено випуск електронних тахеометрів ЗТА5 (2ТА5М). Накопичувачем інформації у цьому приладі слугує стандартна карта пам'яті РСМСІ ємністю 1 МБ (біля 10000 точок), що дозволяє забезпечити сумісність приладу з персональним комп'ютером без спеціального адаптера.

У даний час електронні тахеометри знаходять все ширше застосування в геодезичних роботах. Вони надають можливість суттєво підвищити якість вимірювань (їх точність і надійність), на принципово новому рівні організувати вимірювання.

Електронні тахеометри (Total Station) (рис. 13.3) – це багатофункціональні геодезичні прилади, до складу яких входять електронні теодоліти та світловіддалеміри, які призначені для вирішення різних геодезичних задач за допомогою вбудованої мікро-ЕОМ. Структурно такий тахеометр являє собою багатоканальну систему одержання й обробки інформації, в яку входять лінійні виміри, вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів. Мікро-ЕОМ виконує

тут функції управління й обробки інформації, що поступає з віддалеміра, кутових датчиків, електронного рівня. До її складу входять:

- мікропроцесор;
- зовнішня пам'ять з оперативним і постійним пристроями пам'яті;
- пристрої з'єднання з датчиком кута, віддалеміром, панелями управління тахеометром;
- пристрій виводу інформації на накопичувач.



Рис. 13.3. Електронний тахеометр

Живлення всіх електросхем тахеометра здійснюється від стабілізованих джерел живлення, найпоширенішим з яких є кадмієво-нікелеві елементи.

Конструктивно електронний тахеометр складається з трьох основних частин: системи горизонтальної осі, системи вертикальної осі та корпусу зорової труби. Сучасні електронні тахеометри, як правило, оснащені електронними рівнями.

Вмонтовані в прилад інтегровані програми гарантують високий ступінь функціонування тахеометрів. Використання збережених у внутрішній пам'яті координат значною мірою запобігає введенню неправильної інформації. Інформацію

про точки, які використовують для вимірів чи розпланування, можна швидко передати з комп'ютера в тахеометр.

За ступенем автоматизації всі електронні тахеометри можна умовно поділити на три групи: рутинні (найпростіші), універсальні, роботизовані та комбіновані. До першої групи належать механічні електронні тахеометри з мінімальною автоматизацією та обмеженими вбудованими програмними засобами. Як правило, вони мають кутову точність вимірювань 5–10", лінійну – 3–5 мм/км. Деякі з них не мають внутрішньої пам'яті або вона обмежена 500 чи 1000 точок. До другої групи належать механічні тахеометри зі значно ширшими можливостями, більшою кількістю програм, більшою внутрішньою пам'яттю – до 10 000 і більше точок. Кутова точність таких приладів, як правило, 1–3", лінійна – 2–3 мм/км. Третю групу представляють роботизовані тахеометри з сервоприводом, які володіють усіма можливостями приладів попередньої групи. До четвертої групи відносяться прилади нового покоління, які поєднують у собі електронний тахеометр, супутниковий приймач (GPS) і комп'ютер. Такий прилад отримав назву Combi Station.

Таблиця 13.1

Технічні характеристики деяких електронних тахеометрів

Модель	LEICA			SOKKIA		ZEISS	NIKON		YOM3
	TC 305	TC 600	TC 600E2	SET 4100	SET 5F\W	50R	DTM 310	DTM 410	2TA5M
СКП вимірювання кута, "	5	5	5	5	5	5	5	5	5
СКП вимірювання відстаней, мм* D * 10^{-6}	2+2	3+3	3+3	2+2	3+2	5+3	5+3	3+3	5+3
Мах. відстань вимірювань на одну призму, м	3000	1300	1300	1800	1200	1200	800	1600	1000
Мах. відстань вимірювань на три призми, м	-	2200	2200	2100	1600	1600	1100	2300	2000
Діапазон роботи компенсатора, '	4	5	5	3	3	2,6	-	-	3
Обсяг блоку пам'яті, точок	4000	2000	4000	3000	3000	1460	2000	2000	3000
Збільшення зорової труби, разів	30	28	28	30	30	26	26	30	-
Мін. відстань візування, м	1,7	2	2	1	1,3	0,5	-	-	2
Ємність джерела живлення, А/год	1,8	0,6	0,6	2,3	1,2	1,1	-	-	1,1
Кількість вимірів без перезарядки акумулятора	1000	700	800	660	600	1000	-	-	-
Тип виска	лазерн.	оптич.	лазерн.	оптич.	оптич.	оптич.	оптич.	оптич.	оптич.
Температурний режим роботи, °C	-20..+50								
Маса приладу з акумулятором, кг	5,2	5,2	5,2	6,4	5,5	3,5	6	6,6	6

За точністю електронні тахеометри можна розділити на дві групи: високоточні (1–2") і середньої точності (3–7").

Представлений в Україні ринок електронних тахеометрів сформований, в основному, такими відомими зарубіжними фірмами, як Sokkia, Trimble, Nikon, Leica, Topcon. Усі вони надають можливість широкого вибору приладів за їхньою точністю, комплектністю, додатковими можливостями та ціною. В інженерній геодезії, наприклад, для виконання земельно-кадастрових робіт, доцільно використовувати рутинні електронні тахеометри, які мають порівняно низьку ціну, а за технічними характеристиками та ступенем автоматизації є цілком придатними для такого виду робіт. У табл. 13.1 наведена технічна характеристика деяких електронних тахеометрів, представлених на ринку України.

2. Планово-висотне обґрунтування тахеометричного знімання

Перед польовими роботами, зазвичай, складають проект тахеометричного знімання місцевості, до якого долучають наявні картографічні матеріали, з каталогів виписують планові та висотні координати пунктів планово-висотного обґрунтування, визначають спосіб створення знімальної мережі з врахуванням характеру об'єкта, масштабу знімання та приладів, які будуть застосовуватись.

Планово-висотну основу тахеометричного знімання складають пункти державної геодезичної опорної мережі, мережі згущення і знімальної сітки. Густота точок планово-висотної основи залежить від масштабу знімання, складності рельєфу, забудованості чи заліснення території. У процесі рекогносцировки району знімання вивчають місцевість, відшуковують пункти планово-висотного обґрунтування і вибирають місця для закріплення точок знімальної сітки. Останні слід розміщувати, за можливістю, на підвищеннях, з добрим оглядом місцевості та з врахуванням взаємної видимості між сусідніми точками.

До початку роботи пункти опорної геодезичної мережі та знімального обґрунтування повинні бути доведені до щільності, яка б забезпечила можливість прокладання тахеометричних ходів із додержанням вимог “Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500” (табл. 13.2).

Таблиця 13.2

Щільність пунктів знімальної основи при тахеометрії

Масштаб знімання	Максимальна довжина ходу, м	Максимальна довжина ліній ходу, м	Максимальна кількість ліній у ході
1 : 5000	$\frac{1200}{10000}$	$\frac{300}{1000}$	$\frac{6}{50}$
1 : 2000	$\frac{600}{5000}$	$\frac{200}{700}$	$\frac{5}{30}$
1 : 1000	$\frac{300}{3000}$	$\frac{150}{500}$	$\frac{3}{25}$
1 : 500	$\frac{200}{2000}$	$\frac{100}{350}$	$\frac{2}{20}$

Примітка: у чисельнику – при прокладанні тахеометричних ходів із застосуванням оптичних тахеометрів та теодолітів;

у знаменнику – із застосуванням електронних тахеометрів та оптичних теодолітів з світловіддалемірними насадками.

Як правило, для знімання місцевості з висотою перерізу рельєфу до 1 метра знімальну геодезичну сітку створюють у вигляді теодолітно-нівелірних ходів, а з висотою перерізу через 2 і більше метрів – тахеометричних ходів. У теодолітно-нівелірних ходах сторони вимірюють мірною стрічкою або оптичними віддалемірами відповідної точності, горизонтальні кути – оптичним теодолітом, а перевищення між точками ходу – методом геометричного нівелювання.

Прокладаючи тахеометричні ходи за допомогою оптичних тахеометрів і теодолітів для знімання у масштабі 1:500, лінії вимірюють мірною стрічкою або металевою рулеткою, а при зніманні в дрібніших масштабах обмежуються використанням ниткових віддалемірів. Перевищення між точками ходу визначають методом тригонометричного нівелювання.

Тахеометричні ходи прокладають між пунктами опорної геодезичної сітки та знімального обґрунтування, координати яких відомі з більш точних вимірювань. Їх точки закріплюють на місцевості так само, як і на теодолітних ходах. Прив'язку тахеометричних ходів до опорних пунктів виконують у звичайному порядку.

Перед початком вимірювань здійснюють перевірки та юстировки приладів, визначають МО вертикального круга та перевіряють коефіцієнт віддалеміра.

Вимірювання горизонтальних кутів теодолітом проводять повним прийомом. Коливання значень величини кута, отриманої з напівприймів, при вимірюванні 30"-ним теодолітом не повинно перевищувати 1'. Кутові нев'язки при вимірюванні кутів оптичними тахеометрами не повинні перевищувати $\pm 20'' \sqrt{n}$, а при роботі з теодолітами 30-секундної точності – $\pm 1' \sqrt{n}$, де n – кількість кутів у тахеометричному ході.

Довжини сторін у тахеометричних ходах вимірюють за допомогою ниткового віддалеміра, а за масштабу 1:500 – мірною стрічкою. Розходження між результатами вимірювання довжини лінії ходу у прямому і зворотному напрямках не повинно перевищувати 1:400. Допустимі лінійні нев'язки в тахеометричних ходах при вимірюванні ліній оптичними тахеометрами і теодолітами визначають за формулою:

$$f_s = \frac{S}{400\sqrt{n}}, \quad (13.4)$$

де S – довжина ходу, м;

n – кількість ліній у ході.

При вимірюванні довжин ліній електронними тахеометрами та оптичними теодолітами з віддалемірними насадками відносна лінійна похибка не може перевищувати 1/2000 за умови, що абсолютні лінійні нев'язки не будуть більшими 2,0 м для знімання в масштабі 1:5000, 1,0 м – 1:2000, 0,6 м – 1:1000, 0,3 м – 1:500. При цьому в лінії, довжини яких перевищують 500 м, слід вводити поправки за рефракцію повітря.

Прокладаючи тахеометричні ходи, вертикальні кути вимірюють за двох положень вертикального круга в прямому й зворотному напрямках. Візування проводять на висоту приладу i та на верх рейки або якийсь інший відлік, наприклад, 2,0 м. Висоту приладу на станції визначають із заокругленням до 1 см як суму двох частин: постійної – від осі обертання труби до нижньої поверхні головки штатива і змінної – від нижньої поверхні головки штатива до вершини кілочка, яким позначено точку стояння приладу.

Контролем правильності вимірювання вертикальних кутів є постійність МО, коливання якого не повинні перевищувати $\pm 1'$.

Таблиця 13.3

Журнал тахеометричного ходу

Номери точок	Висота візування у, м	Внутрішній кут	Відліки по вертикальному колу		Місце нуля	Кут нахилу	Горизонтальна проекція, м	Перевіщення, м	
			КП	КЛ				$h' = dtgv$	$h = h' + i - v$
I $i = 1,48\text{м}$	1,48	-	178°07'	1°53'	0°00'	+1°53'	113,6	+3,73	+3,73
	2,00	-	177°51'	2°09'	0°00'	+2°09'		+4,26	
II $i = 1,45\text{м}$	1,45	222°30'	181°53'	358°07'	0°00'	-1°53'	113,2	-3,72	-3,71
	2,00	-	182°09'	357°51'	0°00'	-2°09'		-4,25	
III $i = 1,47\text{м}$	1,45	-	0°17'	179°41'	359°59'	+0°18'	144,3	+0,75	+0,75
	2,00	-	0°31'	179°29'	0°00'	+0°31'		+1,30	
III $i = 1,47\text{м}$	1,47	-	180°19'	359°41'	0°00'	-0°19'	144,5	-0,80	-0,78
	2,00	-	180°06'	359°54'	0°00'	-0°06'		-0,25	

Таблиця 13.4

Відомість ув'язки перевіщень тахеометричного ходу та обчислення висот його станцій

Номер станції	Довжина лінії, м	Перевіщення, м			Поправки, м	Виправлене перевіщення, м	Висота станції, м
		пряме	зворотне	середнє			
I	113,4	+3,73	-3,71	+3,72	+0,02	+3,74	98,88
II	144,4	+0,75	-0,79	+0,77	+0,03	+0,80	102,62
III	$P = 257,8$			+4,49	=0,05		103,42

$$\Delta h_{\text{доп.}} = \frac{0,04 \cdot S}{100 \sqrt{n}} = \frac{0,04 \cdot 257,8}{100 \cdot 1,44} = 0,07 \text{ (м)} \quad \Delta h = \sum h_{\text{сер.}} - (H_k - H_n) = 4,49 - (103,42 - 98,88) = -0,05 \text{ (м)}$$

Прямі та зворотні перевищення між точками тахеометричного ходу можуть відрізнитись між собою в межах 4 см на кожні 100 м горизонтальної відстані. Результати вимірювань при прокладанні тахеометричних ходів записують у журнал тахеометричного ходу (табл. 13.3).

Висотна нев'язка (в метрах) тахеометричного ходу не повинна перевищувати величини:

$$f_h = 0,04 \frac{S}{100\sqrt{n}}, \quad (13.5)$$

де S – довжина ходу, м;

n – кількість ліній у ході.

Після ув'язки перевищень обчислюють висоти точок тахеометричного ходу (табл. 13.4).

3. Знімання ситуації та рельєфу

Ситуацію та рельєф знімають після створення знімального обґрунтування або одночасно з прокладанням тахеометричних ходів. Знімання місцевих предметів, контурів і рельєфу місцевості проводять, як правило, полярним способом, а в деяких випадках – кутовими засічками.

Перевищення між тахеометричною станцією і точками місцевості визначають тригонометричним нівелюванням. На рівнинній місцевості перевищення можна визначати методом геометричного нівелювання. Горизонтальні й вертикальні кути вимірюють при одному положенні вертикального круга – КЛ, відстані від приладу до рейкових точок визначають за допомогою ниткового віддалеміра.

Навколо кожної тахеометричної станції набирають рейкові (пикетні) точки. Кількість таких точок залежить від характеру рельєфу, складності ситуації, масштабу знімання і прийнятої висоти перерізу рельєфу. Чим крупніший масштаб і менша висота перерізу рельєфу та складніший характер місцевості, тим більше має бути рейкових точок. Допустимі максимальні відстані між рейковими точками та від приладу до рейки регламентуються інструкцією з топографічних знімань (табл. 13.5).

Для контролю та з метою уникнення пропусків (вікон) з кожної станції рекомендується повторно знімати декілька рейкових точок, які знімалися із сусідніх станцій.

Знімаючи контури ситуації, слід мати на увазі, що вигини контурів менше 0,5 мм у масштабі плану спрямляють; ділянки сільськогосподарських угідь і контури рослинного покриву площею менше 10 мм² на плані не показують.

Виконуючи тахеометричне знімання технічними теодолітами, рекомендується дотримуватись наступної послідовності:

– теодоліт встановлюють над точкою у робоче положення, вимірюють висоту приладу й позначають її на рейці;

– за положення зорової труби КЛ суміщають нулі лімба та алідади й обертанням лімба наводять трубу на попередню точку тахеометричного ходу (на першій станції лімб орієнтують на наступну точку ходу) і лімб закріплюють;

– відкріпивши алідаду, послідовно наводять зорову трубу на рейки, які встановлюють на пікетних точках. При цьому середню нитку сітки наводять на висоту приладу *i*. Якщо з якихось причин цього зробити не можна, перехрестя сітки ниток наводять на якусь іншу висоту, наприклад, на верх рейки. Навівши трубу, беруть відліки по нитковому віддалеміру, горизонтальному та вертикальному кругах і записують їх у відповідні графи польового журналу (табл. 13.6).

Таблиця 13.5

Допустимі відстані від приладу до рейки та між рейковими (пікетними) точками при тахеометричному зніманні

<i>Масштаб знімання</i>	<i>Висота перерізу рельєфу, м</i>	<i>Максимальна відстань між пікетами, м</i>	<i>Максимальна відстань від приладу до рейки, м</i>	
			<i>при зніманні рельєфу</i>	<i>при зніманні контурів ситуації</i>
<i>1:5 000</i>	<i>0,5</i>	<i><u>60</u></i>	<i><u>250</u></i>	<i><u>150</u></i>
		<i>60</i>	<i>1000</i>	<i>1000</i>
	<i>1,0</i>	<i><u>80</u></i>	<i><u>300</u></i>	<i><u>150</u></i>
		<i>80</i>	<i>1000</i>	<i>1000</i>
<i>2,0</i>	<i><u>100</u></i>	<i><u>350</u></i>	<i><u>150</u></i>	
	<i>100</i>	<i>1000</i>	<i>1000</i>	
<i>1:2 000</i>	<i>0,5</i>	<i><u>40</u></i>	<i><u>200</u></i>	<i><u>100</u></i>
		<i>40</i>	<i>750</i>	<i>750</i>
	<i>1,0</i>	<i><u>40</u></i>	<i><u>250</u></i>	<i><u>100</u></i>
		<i>40</i>	<i>750</i>	<i>750</i>
<i>2,0</i>	<i><u>50</u></i>	<i><u>250</u></i>	<i><u>100</u></i>	
	<i>50</i>	<i>750</i>	<i>750</i>	
<i>1:1 000</i>	<i>0,5</i>	<i><u>20</u></i>	<i><u>150</u></i>	<i><u>80</u></i>
		<i>20</i>	<i>600</i>	<i>600</i>
	<i>1,0</i>	<i><u>30</u></i>	<i><u>200</u></i>	<i><u>80</u></i>
		<i>30</i>	<i>600</i>	<i>600</i>
<i>1:500</i>	<i>0,5</i>	<i><u>15</u></i>	<i><u>100</u></i>	<i><u>60</u></i>
		<i>15</i>	<i>500</i>	<i>500</i>
	<i>1,0</i>	<i><u>15</u></i>	<i><u>150</u></i>	<i><u>60</u></i>
		<i>15</i>	<i>500</i>	<i>500</i>

Примітка: у чисельнику – при застосуванні оптичних тахеометрів і теодолітів. Допустимі відстані до нечітких та другорядних контурів збільшують у 1,5 рази; у знаменнику – при застосуванні електронних тахеометрів та оптичних теодолітів із світловіддалемірними насадками.

Таблиця 13.6

Журнал тахеометричного знімання

Номер точки	Відлік по віддалеміру, см	Відліки		Кут нахилу, ν	Горизонтальна проекція, d , м	Перевищення, м		Висота точки, м	Примітка
		по горизонтальному колу	по вертикальному колу			$h' = d \tan \nu$	$h = h' + i - \nu$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Станція I; $H_{ст.} = 98,88$; $i = 1,46$ м; $MO = 0^{\circ}00'$									
II		$00^{\circ}00'$							
1	61,1	$20^{\circ}20'$	$177^{\circ}13'$	$2^{\circ}47'$	61,1	+2,96		101,84	Ліс сосновий
2	48,6	$54^{\circ}15'$	$177^{\circ}34'$	$2^{\circ}26'$	48,6	+2,07		101,95	
3	53,6	$150^{\circ}35'$	$181^{\circ}39'$	$1^{\circ}39'$	53,6	-1,55		97,34	
4	28,2	$209^{\circ}10'$	$183^{\circ}08'$	$3^{\circ}08'$	28,1	-1,54		97,34	
5	83,8	$267^{\circ}30'$	$181^{\circ}03'$	$1^{\circ}03'$	83,8	-1,54		97,34	
6	55,0	$277^{\circ}32'$	$181^{\circ}36'$	$1^{\circ}36'$	55,0	-1,54		97,34	Струмок
7	70,3	$306^{\circ}15'$	$180^{\circ}56'$	$0^{\circ}56'$	70,3	-1,14		97,34	Струмок
Станція II; $H_{ст.} = 102,62$; $i = 1,51$ м; $MO = 0^{\circ}00'$									
I		$0^{\circ}00'$							
8	73,1	$12^{\circ}40'$	$182^{\circ}16'$	$2^{\circ}16'$	73,1	-2,88		99,74	
9	111,1	$53^{\circ}30'$	$181^{\circ}32'$	$1^{\circ}32'$	111,1	-2,97		99,65	
10	67,2	$77^{\circ}25'$	$183^{\circ}19'$	$3^{\circ}19'$	67,0	-3,87		98,75	
11	116,1	$85^{\circ}15'$	$180^{\circ}17'$	$0^{\circ}17'$	116,1	-0,58		102,04	
12	126,9	$100^{\circ}10'$	$180^{\circ}19'$	$0^{\circ}19'$	126,9	-0,70		101,92	
13	35,8	$100^{\circ}15'$	$182^{\circ}51'$	$2^{\circ}51'$	35,8	-1,78		100,84	Дорога
14	82,6	$104^{\circ}10'$	$182^{\circ}19'$	$2^{\circ}19'$	82,6	-3,34		99,28	Струмок
15	79,8	$156^{\circ}45'$	$179^{\circ}25'$	$0^{\circ}35'$	79,8	+0,74		103,36	Дорога
16	72,7	$243^{\circ}35'$	$176^{\circ}44'$	$3^{\circ}16'$	72,6	+4,13	+3,66	106,28	$V = 2,00$
Станція III; $H_{ст.} = 103,42$; $i = 1,54$ м; $MO = 0^{\circ}00'$									
II		$0^{\circ}00'$							
17	46,5	$13^{\circ}20'$	$182^{\circ}03'$	$2^{\circ}03'$	46,5	-1,66		101,76	Сінокіс
18	42,8	$77^{\circ}40'$	$183^{\circ}19'$	$3^{\circ}19'$	42,8	-2,47		100,95	Струмок
19	11,3	$224^{\circ}45'$	$178^{\circ}50'$	$1^{\circ}10'$	11,3	+0,23		103,65	
20	73,3	$283^{\circ}10'$	$177^{\circ}47'$	$2^{\circ}13'$	77,3	+2,99		106,41	
21	95,2	$308^{\circ}00'$	$178^{\circ}18'$	$1^{\circ}42'$	95,3	+2,83		106,25	

У графі "Примітка" журналу тахеометричного знімання вказують місце розташування рейкової точки, характер рельєфу в даній точці та інші відомості, необхідні при складанні плану. Якщо рейкова точка характеризує тільки контур предмета ситуації, то при її зніманні відлік по вертикальному колу не беруть.

Для кожної рейкової точки за допомогою мікрокалькулятора або тахеометричних таблиць визначають горизонтальне прокладання і перевищення. При роботі з тахеометром-автоматом ці показники визначають безпосередньо по рейці за номограмами.

Виконуючи тахеометричне знімання, слід контролювати стабільність орієнтування приладу. Зміна значення орієнтирного напрямку за період знімання допускається не більше $1,5'$ при зніманні оптичними тахеометрами та

теодолітами і 20" – при роботі електронними тахеометрами та оптичними теодолітами з світловіддалемірними насадками.

Для контролю і запобігання пропусків (вікон) на суміжних станціях знімання виконують з перекриттям, яке дорівнює максимальній відстані між сусідніми пікетними точками для даного масштабу.

Нумерація пікетних точок при тахеометричному зніманні на всіх станціях приймається наскрізною.

У процесі знімання на кожній станції одночасно з польовим журналом ведуть абрис – схематичне креслення місцевості. На абрис за горизонтальними кутами й відстанями наносять усі рейкові точки й контури місцевості, між сусідніми рейковими точками стрілками показують напрями схилів (стоку води), пунктирами – лінії вододілів та водозливів, горизонталями відображають окремі чітко виражені форми рельєфу. Ситуацію на абрисах показують умовними знаками з пояснювальними написами, приблизно дотримуючись масштабу знімання. Для кожної станції абрис виконують на окремому аркуші паперу.

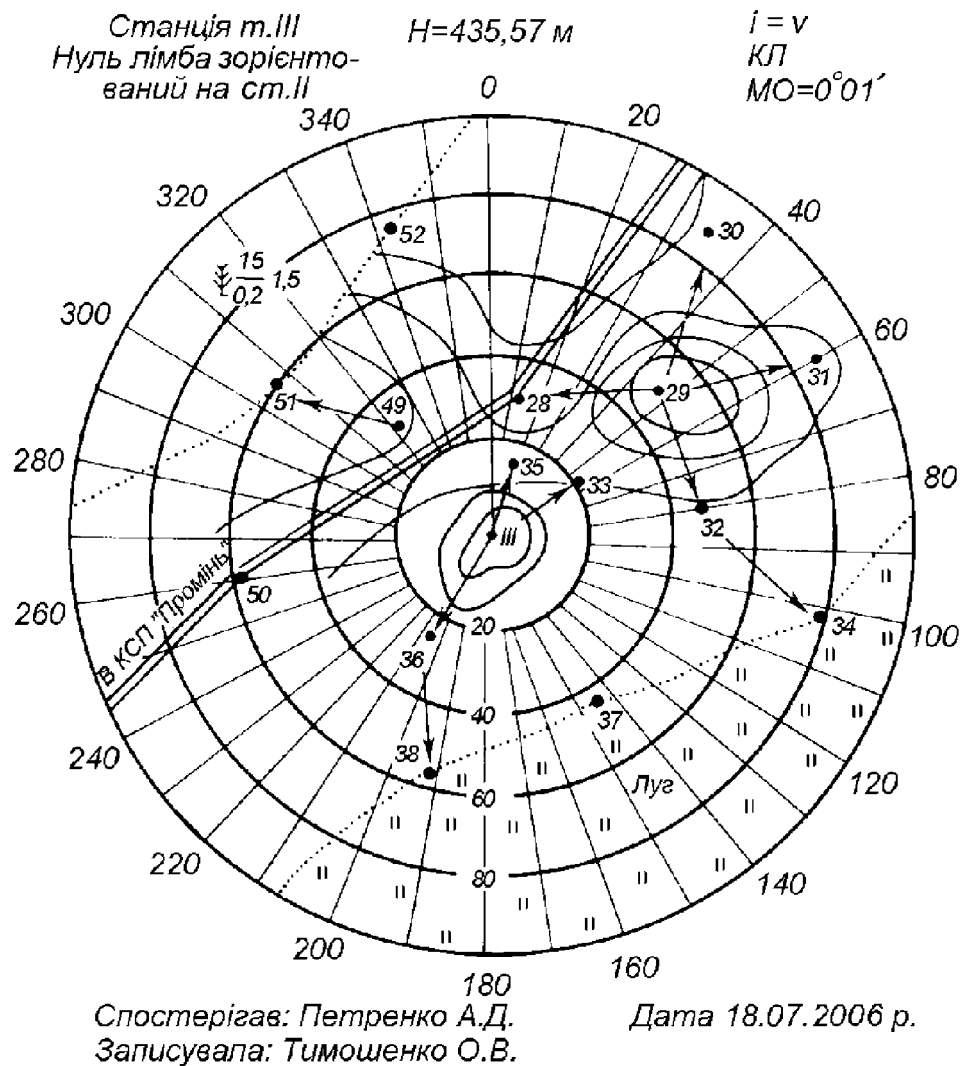


Рис. 13.4. Абрис тахеометричного знімання

Абрис зручно складати на круговій номограмі (рис. 13.4), яка має вигляд ряду концентричних кіл, проведених через 1 см. Діаметрами ці кола ділять на сектори через 10–15°. Станцію, з якої ведуть знімання, позначають точкою в центрі концентричних кіл. Вертикальний діаметр номограми приймають за початковий напрям, від верхнього кінця якого ведуть відлік горизонтальних кутів.

Ведення абрису є однією з найвідповідальніших операцій тахеометричного знімання, оскільки план за його результатами складають у камеральних умовах, коли виконавець не бачить перед собою місцевості. Тому від якості абрису в значній мірі залежить правильність відображення на плані ситуації та рельєфу місцевості.

Виконуючи знімання електронними тахеометрами з необхідним програмним забезпеченням, електронний план місцевості створюють безпосередньо в полі.

Виконання польових робіт при тахеометричному зніманні поєднують з негайною повною камеральною обробкою матеріалів знімання.

4. Камеральні роботи при тахеометричному зніманні

У процесі камеральних робіт здійснюють:

- перевірку польових журналів і складання детальної схеми знімальної основи;
- обчислення координат і висот станцій тахеометричного ходу;
- обчислення висот рейкових точок на кожній станції;
- складання топографічного плану місцевості.

Перевірку записів та обчислень у польових журналах рекомендується проводити “в дві руки” – двома особами. При цьому перевіряють обчислення горизонтальних і вертикальних кутів, горизонтальних проєкцій ліній, прямих, зворотних і середніх перевищень точок тахеометричних ходів. Виявлені помилки виправляють.

Обчислення й ув'язку планових координат (X , Y) точок тахеометричних ходів проводять так само, як і в теодолітних ходах. Хід обробки відомості тахеометричного ходу та обчислення висот його станцій наведено в попередніх лекціях.

Після завершення обчислювальних робіт переходять до складання плану. З цією метою на аркуші ватманського паперу будують координатну сітку зі сторонами 10×10 см. За координатами на план наносять тахеометричні станції, контролюючи правильність їх нанесення за відстанями між ними.

Рейкові точки наносять на план за допомогою транспортира та масштабної лінійки або тахеографа.

Тахеограф (рис. 13.5) представляє собою виготовлений із оргскла (плексигласу) круговий транспортир, по колу якого нанесено поділки через 30'. Оцифровка поділок виконана проти ходу годинникової стрілки. Вздовж нульового радіуса транспортира розташована лінійка з міліметровою шкалою, початком якої є отвір у центрі круга, в який при роботі вставляють голку.

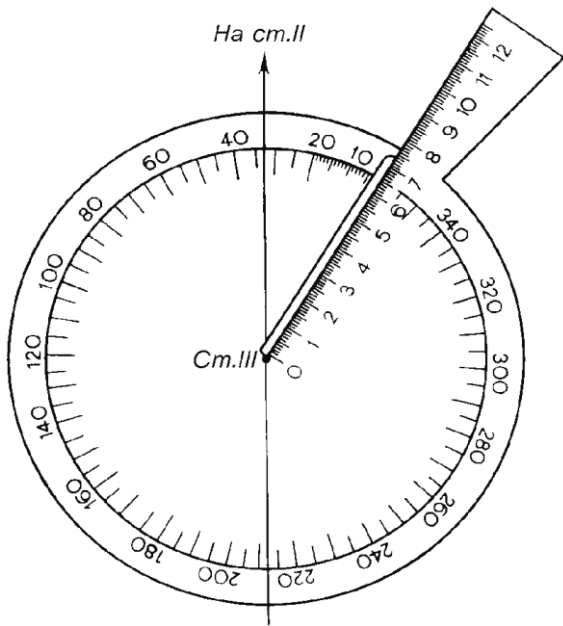


Рис. 13.5. Тахеограф

Для нанесення рейкової точки голку тахеографа закріплюють у точці, яка позначає на плані дану станцію, а нульовий діаметр наводять на попередню станцію тахеометричного ходу (станцію орієнтування). Лінійку тахеометра повертають на величину горизонтального кута, вказаного в польовому журналі і за масштабом відкладають по ній відстань до рейкової точки, яку позначають уколом голки й обводять кружальцем. Біля точки вказують її номер (у чисельнику) та висоту (у знаменнику).

За абрисом та даними польового журналу на план наносять контури і предмети місцевості. За висотами

рейкових точок і тахеометричних станцій проводять горизонталі. Інтерполяцію горизонталей виконують за позначеними на абрисах стрілками – напрямками стоку води. Як правило, цю роботу проводять “на око”. Горизонталі не ведуть через зображення будівель (споруд), кар’єрів, ярів, водних об’єктів, доріг тощо.

У ряді випадків для зображення дрібних, але важливих деталей рельєфу проводять напівгоризонталі. Деякі з горизонталей роблять потовщеними і в розривах указують їх висоту. Крім того, на плані відображають висоти характерних точок рельєфу (вершини горба, dna котловини, точки сідла сідловини, урізи води тощо). Для полегшення читання рельєфу в деяких місцях плану на горизонталях ставлять бергштрихи.

Накреслений в олівці план старанно коректують і перевіряють, порівнюючи зображені на ньому рельєф і ситуацію з місцевістю. Точність знімання перевіряють у полі інструментально. Відкоректований план оформляють тушшю (рис. 13.6).

За результатами тахеометричного знімання здають:

- абриси до відповідних планшетів;
- журнали тахеометричного знімання або роздруковані результати з терміналу електронних тахеометрів;
- план тахеометричного знімання;
- схему знімальної основи;
- відомості обчислення координат і висот знімальної основи;
- акти контролю і приймання робіт.

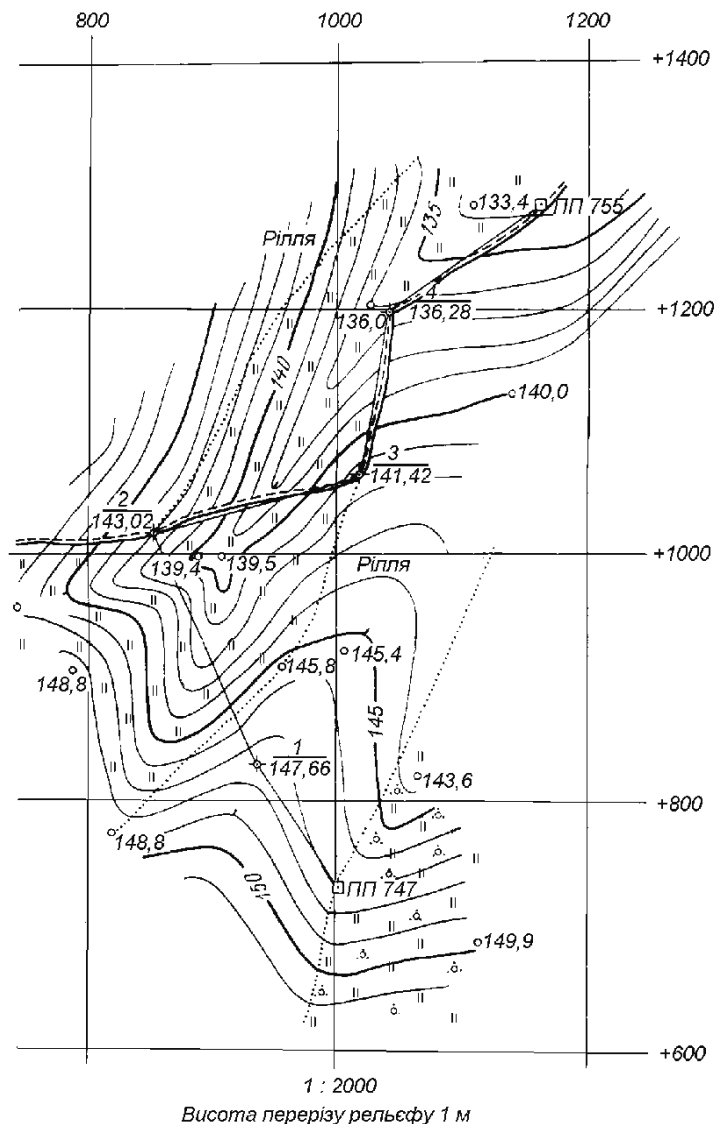


Рис. 13.6. Топографічний план ділянки місцевості

5. Особливості знімання забудованих територій

Знімання контурної частини забудованих територій виконують аерофототопографічним способом на фотопланах, виготовлених з аерофотознімків, одержаних за допомогою довгофокусних ($f = 200, 350, 500$ мм) аерофотоапаратів.

Знімання місцевості при роботі з фотопланами входить до комплексу так званого комбінованого аерофотознімання, під час якого ситуацію знімають методом контурного аерознімання, а рельєф – за допомогою мензули або тахеометра.

При дешифруванні забудованих територій на фотопланах повинні враховуватись спотворення за перспективу, напрям і густину тіні, особливості зображення різних за конструкцією дахів будинків тощо. Для правильного визначення напрямку зміщення за перспективу головну точку знімка помічають

синім кружком діаметром 3 мм. За якістю фотоплани мають відповідати наступним вимогам:

- середня помилка в положенні контурів з чіткими обрисами відносно знімальної основи не повинна перевищувати 0,5 мм, а відносно сусідніх контурів – 0,4 мм;

- розходження контурів на сторонах рамок фотопланів не повинно перевищувати 0,4 мм у районах з суцільною капітальною забудовою і 0,6 мм – в інших районах населеного пункту;

- неспівпадання центрів отворів з точками на основі на забудованій території не повинні перевищувати 0,4 мм, а на незабудованій – 0,5 мм.

Точність фотопланів перевіряють у польових умовах шляхом промірів відстаней між важливими контурами та відстаней від них до геодезичних пунктів.

Рисування рельєфу на прикріпленому до мензульної дошки фотоплані проводиться швидко, оскільки вся увага геодезиста концентрується на ньому й не відволікається на знімання ситуації, яка вже зображена на планшеті у вигляді фотографії місцевості. Крім того, на фотоплані можна розпізнати окремі форми рельєфу. Відстань до точки, положення якої розпізнається на фотоплані, визначають по ньому, а не по рейці; перевищення й висоту визначають за кутом нахилу, користуючись відповідними формулами. Кожна надійно розпізнана на фотоплані точка може слугувати знімальним пунктом.

Роботу починають із побудови висотного знімального обґрунтування у вигляді сітки ходів геометричного або тригонометричного нівелювання, густота яких залежить від висоти перерізу рельєфу і нормативних відстаней від мензули до рейки. Так, відстань між паралельно прокладеними висотними ходами не повинна перевищувати шестикратної нормативної відстані від мензульної станції до рейкової точки. Наприклад, при зніманні в масштабі 1:500 відстань між знімальними ходами не повинна перевищувати 0,9–1,0 км.

Висотні ходи повинні опиратись на марки та репери вищих класів нівелювання кількістю не менше двох, а за рівнинної місцевості – не менше трьох на планшет. Усі точки нівелірних ходів або значну їх частину розпізнають на фотоплані, наколюють і позначають відповідними номерами, а на місцевості закріплюють кілками. Якщо точку ходу на фотоплані неможливо розпізнати або вона не співпадає з точкою контуру, то її положення визначають лінійною засічкою за відстанями, які вимірюють на місцевості від найближчих розпізнаних контурних точок.

Знімання рельєфу проводять з точок висотних ходів і перехідних точок, положення яких розпізнають на фотоплані. Висоти перехідних точок визначають не менш як з двох точок висотного обґрунтування, з яких однією може бути постійний предмет місцевості.

Похибка центрування планшета не повинна перевищувати точності масштабу. Орієнтують планшет за точками, які надійно розпізнаються на фотоплані. При цьому лінія орієнтування на станції не повинна бути коротшою нормативної відстані від приладу до рейки.

Оскільки з фотографічного зображення місцевості геодезист вже має загальне уявлення про її рельєф, кількість пікетів, які слугуватимуть для проведення горизонталей, можна зменшити в півтора-два рази. Тому відстані від знімальних точок до рейки й відстані між пікетами збільшують, порівняно з нормативними, в півтора рази.

Для надійного розпізнавання точок місцевості, вивчення форм рельєфу й правильного проведення горизонталей на фотоплані рекомендується користуватися комплектом аерофотознімків і стереоскопом.

Якщо матеріалів фотознімання немає і проводити його економічно недоцільно, забудовані території дозволяється знімати наземними методами. У залежності від характеру забудови й організації робіт, горизонтальне знімання (знімання фасадів, проїздів, об'єктів внутріквартирної забудови) можна виконувати окремо або в поєднанні зі зніманням рельєфу.

Знімання забудованих територій в масштабі 1:5000, а з рідкою забудовою – і в більших масштабах (1:2000, 1:1000, 1:500) виконують, як правило, за допомогою мензули. Горизонтальне знімання забудованих територій в масштабах 1:2000, 1:1000 і 1:500 виконують способами перпендикулярів, створів, засічок, полярним і графоаналітичним, тобто за допомогою мензули та рулетки або електронним тахеометром.

У плановому відношенні геодезичною основою для знімання забудованих територій є пункти геодезичних мереж і знімальної основи, а у висотному відношенні – репери й марки державної нівелірної мереж 1, 2, 3 і 4 класів та всі точки, висоти яких визначені з точністю технічного нівелювання. Для знімань з висотою перерізу рельєфу 2 і 5 м висотною основою можуть слугувати пункти, висоти яких визначено тригонометричним нівелюванням.

В окремих випадках до початку знімання таких територій розробляють робочий проект побудови знімальної основи з врахуванням характеру та щільності забудови. За інструкцією кількість пунктів знімальної основи на 1 кв. км. при зніманні в масштабі 1:2000 не повинна бути меншою 8, 1:1000 – 16, 1:500 – 32.

Знімання проводять з пунктів державних, розрядних та знімальних геодезичних мереж. Уздовж вулиці, залежно від її ширини та умов знімання, прокладають один або два теодолітних ходи. Якщо ці ходи розміщені по обидві сторони вулиці, їх зв'язують поперечними ходами на перехрестях вулиць або посередині ходу. У населених пунктах з прямолінійними вулицями замість знімальних ходів часом розбивають створні лінії між пунктами геодезичної основи, закоординованими кутами кварталів або капітальних будівель. Створні точки між пунктами геодезичної основи визначають промірами з точністю не менше 1:2000.

Під час знімання забудованих територій способами перпендикулярів і засічок відстані між створними точками та довжини перпендикулярів не повинні перевищувати вказаних у табл. 13.7 значень. Довжини перпендикулярів вимірюють один раз з точністю до 1 см.

Таблиця 13.7

Допустимі відстані між створними точками та максимальні довжини перпендикулярів

<i>Масштаб знімання</i>	<i>Відстань між створними точками (м) при вимірюванні</i>		<i>Довжина перпендикуляра (м) при встановленні його</i>	
	<i>рулеткою</i>	<i>оптичним віддалеміром</i>	<i>“на око”</i>	<i>екером</i>
<i>1:2000</i>	<i>80</i>	<i>120</i>	<i>8</i>	<i>60</i>
<i>1:1000</i>	<i>60</i>	<i>80</i>	<i>6</i>	<i>40</i>
<i>1:500</i>	<i>40</i>	<i>50</i>	<i>4</i>	<i>20</i>

Перпендикуляри, що перевищують допустимі величини, підкріплюють лінійними засічками, довжини яких не повинні перевищувати довжини мірного приладу (20–50 м).

При полярному способі знімання кути вимірюють теодолітом при одному положенні круга з точністю 30", а відстані – стрічкою, сталевую рулеткою або оптичним віддалеміром.

Знімаючи забудовану територію графоаналітичним способом, спочатку прокладають і наносять на план знімальну основу, визначаючи при цьому координати кутів кварталів, окремих капітальних будинків і споруд. Після цього проводять обмір будинків рулеткою зі складанням абрису. Знімання будівель та інших контурів ведуть за допомогою мензули з пунктів геодезичної і знімальної основи, вимірюючи відстані віддалеміром, рулеткою або стрічкою. Виконувати знімання проїздів з перехідних точок і точок мензульних ходів не дозволяється. При обмірі будівель вимірюють також відстані між кутами сусідніх будинків, які використовують як контрольні проміри.

Спосіб прямих засічок застосовують там, де неможливо провести вимірювання відстаней безпосередньо. Для визначення положення точки вимірюють два прилеглих до базису кути. За базис беруть сторону теодолітного ходу або будь-які два пункти планової основи, між якими немає перешкод. Прилегли кути вимірюють одним напівприйомом з точністю 1'. Кут при точці, що визначається, має бути в межах 30–150°. Допустимі значення відстаней до точки при зніманні ситуації полярним і графоаналітичним способами та кутівими засічками наведені в табл. 13.8.

Знімання в середині кварталів виконують так само, як і проїздів. За неможливості знімання з точок знімальної основи, його виконують з точок висячих теодолітних ходів. При зніманні в масштабі 1:2000 довжина висячого ходу не повинна перевищувати 200 м, а максимальна кількість ліній у ньому – 3; у масштабі 1:1000, відповідно, 150 м і 2; у масштабі 1:500 – 100 м і 2.

Усі результати горизонтального знімання заносять на абрис, який ведуть олівцем на папері відповідними умовними знаками. Перерисовування абрису забороняється.

Таблиця 13.8

Допустимі відстані до контурів, м

Масштаб знімання	При зніманні полярним і графоаналітичним способами		При зніманні способом кутових засічок	
	до чітких контурів	до нечітких контурів	до чітких контурів	до нечітких контурів
1:2000	$\frac{100}{250}$	$\frac{150}{300}$	400	1200
1:1000	$\frac{60}{180}$	$\frac{100}{200}$	200	600
1:500	$\frac{=}{120}$	$\frac{80}{150}$	100	300

Примітка: у чисельнику – при вимірюванні нитковим віддалеміром;
у знаменнику – при вимірюванні стрічкою або оптичним віддалеміром.

Висотне знімання забудованих територій у рівнинних районах виконують нівелірами або горизонтальним променем теодоліта чи кіпрегеля з рівнем на трубі, а в горбистій місцевості – похилим променем. Нівелірні ходи, які прокладають для висотного знімання, повинні опиратися на знаки нівелювання I–IV класу і технічного нівелювання. Як виняток, допускаються висячі ходи, які прокладають у прямому й зворотному напрямках. Висотні нев'язки в ходах не повинні перевищувати $50 \text{ мм} \sqrt{L}$, а в коротких ходах (до 2 км) – $10 \text{ мм} \sqrt{n}$, де L – довжина ходу в км; n – кількість станцій.

При висотному зніманні вся ділянка повинна бути покрита пікетами, відстані між якими не повинні перевищувати: для масштабу 1:5000 – 100 м; 1:2000 – 40 м; 1:1000 – 30 м; 1:500 – 20 м. Крім того, пікети мають бути визначені в характерних місцях, щоб забезпечити відображення всіх деталей рельєфу.

Позначки люків колодязів, цоколів будинків, бетонованих лотків, настилів мостів, верхів труб на дорогах визначають нівелюванням по обох сторонах рейок. У решті випадків висоти визначають по одній стороні рейки. Довжина візирного променя не повинна перевищувати 150 м.

З метою контролю на кожній станції визначають не менше двох контрольних пікетів, що розташовані у смузі перекриття і можуть бути отримані з іншої станції. Розходження між контрольними висотами, що одержані з різних станцій, не повинні перевищувати 20 мм.

Рисування рельєфу виконують безпосередньо у процесі знімання, а також у камеральних умовах за складеними абрисами. На ділянках з густою забудовою дозволяється не проводити горизонталі, а обмежуватися тільки підписами висот точок.

Складання плану починають з нанесення ліній і всіх точок ходів, які є основами перпендикулярів або з яких робились засічки. Від них наносять точки контурів та об'єктів місцевості. Спочатку на плані позначають усі головні будівлі й об'єкти, які мають значення орієнтирів. Внутрішньоквартальну забудову

показують на плані після нанесення проїздів. В останню чергу відображають контури, які знімали з висячих ходів.

Точки контурів наносять на план, користуючись транспортиром або тахеографом. Якщо відстані до твердих контурів перевищують 6 см у масштабі плану, то їх відкладають за координатами.

Одночасно з нанесенням ситуації на планах вказують висоти точок.

Складений план перевіряють на місцевості, порівнюючи його з натурою та проводячи контрольні виміри. Розходження між відстанями на плані з місцевістю не повинні перевищувати 0,4 мм у масштабі плану.

Після виконання знімання забудованих територій здають:

- оригінали планів на твердій основі або на пластику;
- абриси горизонтального й висотного знімання;
- польові журнали або результати вимірювань в накопичувачах інформації;
- схему прокладання ходів знімальної основи;
- каталог координат і висот точок;
- схему розміщення планшетів знімання;
- список назв вулиць, провулків, майданів тощо, затверджений місцевою владою;
- викопіювання для виконання зведень по рамках;
- акт польової перевірки та приймання робіт;
- технічний звіт на об'єкт знімання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білокриницький С.М. Геодезія : навч. посібник / С.М. Білокриницький. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2011. – 576 с.
2. Ващенко В., Літинський В., Перій С. Геодезичні прилади та приладдя. Навчальний посібник. Львів : Євросвіт, 2003. 160 с.
3. Могильний С., Войтенко С. Геодезія. Частина перша. Чернігів : КП “Вид-во Черніг. береги, 2002. 408 с.
4. Гора І., Порицький Г., Рафальська Л. Геодезія. К. : ВО УФЦ – БФ “Візаві”, 2000. Геодезичний енциклопедичний словник / ред. В. Літинський. Львів : Євросвіт, 2001. 668 с.
5. Грабовий В. М. Геодезія. Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ. 2004. – 455 с.
6. Жук. О.П., Шевченко О.В., Опенько І.А. Геодезія. Лабораторний практикум: навчальний посібник. – К.: ЦП «Компринт», 2017. – 422 с.
7. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500(ГКНТА-2.04-02-98). К., 1998. 97 с.
8. Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. Геодезія: навчальний посібник. Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2020. 248 с.
9. Новак Б.І., Рафальська Л.П., Жук О.П. Геодезія: Підручник. Київ: ЦП "Компринт", 2013. 301 с.
10. Шемякін М., Кирилюк В., Романчук С. Геодезія: навч. посіб. Рівне : Центр навч. літ., 2018. 296 с.
11. Vermeer M. Geodesy. The science underneath. Aalto University School of Engineering Department of Built Environment, 2019. 610с.

ЗМІСТ

Лекція 1. Вступ. Загальні відомості про геодезію.	1
Лекція 2. Системи координат. Орієнтування ліній місцевості.....	16
Лекція 3. Масштаби. Способи зображення земної поверхні.	27
Лекція 4. Топографічна карта. Умовні знаки об'єктів місцевості.....	35
Лекція 5. Розв'язування задач на топографічних картах.....	44
Лекція 6. Будова та принцип роботи теодолітів.	54
Лекція 7. Організація виконання теодолітного знімання.....	63
Лекція 8. Камеральне опрацювання результатів теодолітного знімання....	93
Лекція 9. Методи визначення площ земельних ділянок.....	104
Лекція 10. Нівелювання. Будова та принцип роботи нівелірів.....	116
Лекція 11. Поздовжнє нівелювання.....	129
Лекція 12. Нівелювання площі.....	142
Лекція 13. Тахеометричне знімання. Особливості топографічного знімання забудованих територій.....	147
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	168