

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

І. О. Новаковська, П. Ф. Жолкевський
Н. Ф. Іщенко

ГЕОДЕЗІЯ
Навчальний посібник

Київ 2021

УДК 528 (075.8)
Н 737

Рецензенти: Т. О. Євсюков – д-р екон. наук, професор кафедри геодезії та картографії, декан факультету землевпорядкування (Національний університет біоресурсів і природокористування України);

Ю. О. Карпінський – д-р техн. наук., проф., завідувач кафедри геоінформатики та фотограмметрії (Київський національний університет будівництва і архітектури);

Є. Б. Угненко – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри вишувань та проєктування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою (Український державний університет залізничного транспорту)

Рекомендовано вченою радою Національного авіаційного університету (протокол № 4 від 21.04.2021 р.).

Н 737

Новаковська І. О.

Геодезія : навч. посібник / автори : І. О. Новаковська, П. Ф. Жолкевський, Н. Ф. Іщенко. – К. : НАУ, 2021. – 232 с.

ISBN 978-966-932-160-2

Містить основні питання щодо загальних відомостей з геодезії, геодезичних приладів та їх дослідження, Державних геодезичних мереж та геодезичних мереж згущення, а також інформацію про геодезичні роботи при землеустрої, топографо-геодезичне забезпечення аеропортів та інженерних споруд.

Для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» освітньо-професійної програми «Землеустрій та кадастр» і «Геоінформаційні системи і технології».

УДК 528 (075.8)

ISBN 978-966-932-160-2

© Новаковська І. О.,
Жолкевський П. Ф.,
Іщенко Н. Ф., 2021

© НАУ, 2021

ВСТУП

Навчальний посібник з дисципліни «Геодезія» розроблено на основі освітньо-професійних програм «Землеустрій та кадастр» і «Геоінформаційні системи і технології» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» Національного авіаційного університету.

Видання також може бути корисним для здобувачів вищої освіти інших ЗВО, які вивчають геодезію, і працівників геодезичної та землевпорядної галузей.

Геодезія є базовою дисципліною для здобувачів вищої освіти спеціальностей «Землеустрій та кадастр» і «Геоінформаційні системи і технології». Мета її вивчення полягає в здобутті студентами системи знань, умінь і навичок, що дозволяють їм самостійно виконувати весь комплекс геодезичних, знімальних та інженерно-геодезичних робіт, пов'язаних зі складанням документації із землеустрою, веденням Державного земельного кадастру, будівництва й обслуговування аеропортів, та задовольняти потреби інших галузей народного господарства.

Вивчення цієї дисципліни на I та II курсах прищепить студентам інтерес до майбутньої професії та закладе основи знань для подальшого опанування геодезичних дисциплін. Щоб уникнути дублювання та для забезпечення міжпредметні зв'язки, окремі розділи, вивчення яких передбачено змістом спеціальних дисциплін на старших курсах, викладено в обсязі, достатньому тільки для кращого розуміння інших розділів навчального посібника.

Навчальний матеріал наведено з урахуванням сучасних досягнень геодезичної науки та виробництва за принципом послідовного викладення основних теоретичних і практичних питань – від загальних до часткових.

Навчальний посібник складається з шести розділів.

У *першому розділі* викладено основні положення геодезії, визначено поняття про форму і розміри Землі та одиниці вимірювання які застосовуються в геодезії. Розглянуто розв'язок геодезії з іншими науками та роль геодезії в землеустрої. Подані основні системи координат і висот, які використовуються в геодезії. Дано поняття про масштаби карт і планів та умовні знаки, що використо-

вуються при їх створенні, а також розглянуто способи зображення рельєфу. Охарактеризовано питання точності створення карт і задачі, які можна за їх допомогою розв'язати, а також порядок розграфлення аркушів карт та визначення номенклатури карт і планів різного масштабу. Докладно висвітлено питання орієнтування ліній на місцевості, розв'язання прямих та обернених геодезичних задач.

У *другому розділі* викладено основні оптичні системи геодезичних приладів, їх відлікові пристрої та рівні. Надано відомості про сучасні теодоліти, їх класифікацію, перевірки та дослідження. Розглянуто порядок та способи вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів. Дано поняття про нівеліри, їх будову, перевірки і дослідження. Детально охарактеризовано методи визначення висот точок земної поверхні.

У *третьому розділі* наведено основні правила побудови Державної геодезичної мережі та геодезичних мереж спеціального призначення. Детально викладено порядок створення геодезичних мереж згущення різними методами із застосуванням сучасних технологій. Подано порядок проєктування полігонометричних мереж та оцінку їх точності, а також розглянуто порядок побудови Державної висотної геодезичної мережі та виконання польових робіт при нівелюванні III і IV класів. Дано поняття про знімальну геодезичну мережу, методи та точність її створення.

У *четвертому розділі* розглянуто питання застосування геодезичних робіт при землеустрої. Викладено основні вимоги щодо точності створення планів і карт та точності відображення на них об'єктів земної поверхні. Дано поняття про деформацію планів і спотворення ліній і площ у проєкції Гаусса-Крюгера та порядок їх врахування. Детально викладено порядок та способи обчислення площ земельних ділянок та точність обчислення площ різними способами. Розглянуто порядок і способи складання проєктів землеустрою та перенесення їх у природу (на місцевість). Надано поняття про вимоги щодо точності виконання геодезичних робіт для потреб землеустрою та Державного земельного кадастру.

У *п'ятому розділі* наведено основні відомості про аеропорти та вимоги щодо інженерно-геодезичних вишукувань аеропортів. Дано загальні відомості з інженерної геодезії та правила виконання розмічувальних робіт. Розглянуто порядок і способи розмічування

споруд аеропортів та геодезичного забезпечення вертикального планування території аеропорту. Дано поняття про виконання геодезичних робіт під час виконання будівельних робіт нульового циклу та будівництва підземних інженерних мереж. Детально викладено порядок передачі проєктної позначки та геодезичного забезпечення будівництва штучних покриттів аеродрому.

У шостому розділі наведено основні правила інженерно-геодезичних вишукувань лінійних споруд та порядок розрахунку прямих і кривих ділянок плану траси. Розглянуто порядок виконання геодезичних робіт під час проєктування і будівництва гідротехнічних споруд. Дано поняття про порядок виконання спостережень за деформаціями інженерних споруд.

З метою перевірки засвоєння теоретичного матеріалу до кожного розділу наведено запитання та завдання для самоперевірки.

Розділ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ГЕОДЕЗІЇ

1.1. Зміст і завдання геодезії

Геодезія як наука про Землю виникла у зв'язку з практичною діяльністю людства.

Сучасна геодезія – багатогранна наука, що вирішує складні наукові й практичні завдання. Це наука про визначення форми й розмірів Землі, про виміри на земній поверхні для відображення її на планах і картах. Завдання геодезії вирішуються на основі вимірів, виконуваних геодезичними інструментами й приладами. У геодезії використовують положення математики, фізики, астрономії, картографії, географії та інших наукових дисциплін.

Завдання геодезії поділяють на наукові та практичні.

До наукових завдань належать:

- визначення форми і розмірів Землі та її зовнішнього гравітаційного поля;
- дослідження горизонтальних та вертикальних деформацій земної кори;
- дослідження переміщень берегової смуги морів і океанів;
- спостереження переміщень земних полюсів.

Практичні завдання геодезії надзвичайно різноманітні. До них відносять:

- визначення положення окремих точок земної поверхні в обраній системі координат;
- складання карт і планів місцевості;
- виконання вимірювань, необхідних для вишукування, проєктування, будівництва і експлуатації будівель і споруд.

Усі завдання геодезії вирішуються за допомогою спеціальних вимірювань, які називають геодезичними.

Геодезія – грецьке слово, яке означає «землерозділення», і є однією з древніх наук про Землю, має багатотисялітню історію. Із розвитком суспільства, з підвищенням рівня науки і техніки змінюється і зміст геодезії. В процесі свого розвитку геодезія розділилася на декілька напрямів або розділів, які з часом перетворилися на низку самостійних наукових і науково-технічних дисциплін.

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

Топографія – займається детальним вивченням земної поверхні та зображенням великих і малих ділянок земної поверхні на топографічних планах та картах.

Фотограмметрія і дистанційне зондування – вивчає методи складання карт і планів за результатами фотографування поверхні Землі з повітря, Космосу та землі.

Картографія – займається методами зображення сферичної поверхні Землі на площині у вигляді карт та технологією їх виробництва.

Супутникова геодезія – розглядає методи вирішення геодезичних задач за допомогою штучних супутників Землі.

Інженерна геодезія – розглядає методи геодезичних робіт, які виконують під час вишукувань, проектування, будівництва і експлуатації інженерних споруд.

Маркшейдерська справа – вивчає методи будівництва і застосування геодезії в гірничих копальнях, будівництво шахт, тунелів, метро та інших підземних споруд.

Геодезична астрономія – вивчає питання визначення координат зірок, способи визначення часу, а також астрономічних широт і довгот та азимутів у точках земної поверхні.

Геодезична гравіметрія – займається вивченням фігури Землі шляхом визначення за допомогою спеціальних приладів сили тяжіння в окремих точках земної поверхні.

Вирішення наукових і практичних завдань геодезії ґрунтується на законах і знаннях з математики, фізики, механіки.

Геодезія як наука тісно пов'язана з геологією, геофізикою, геоморфологією, географією, астрономією та іншими сучасними науками.

Для обчислення геодезичних вимірів використовують знання з математики, вищої математики, теорії ймовірностей, математичної статистики тощо.

У розробленні та експлуатації сучасних геодезичних приладів використовують знання з фізики та електроніки.

Геодезія використовує астрономічні методи визначення координат точок земної поверхні.

Для правильного зображення на картах і планах рельєфу земної поверхні використовують знання з геоморфології.

Значення геодезії в народному господарстві. Геодезія має велике значення для розвитку народного господарства країни. Нині важко назвати галузь народного господарства, у якій геодезія і геодезичні роботи не мали б суттєвого значення. Управління країною, зростання продуктивних сил неможливе без достовірних відомостей про територію та об'єкти, які знаходяться на ній. Особлива роль їй належить при картографуванні, вивченні природних багатств, у оборонній справі. Будь-яке значне будівництво починається з виготовлення проєкту, що неможливо без плану місцевості. Геодезія відіграє важливу роль під час проведення землевпорядкування.

Роль геодезії в землеустрої. З геодезією тісно пов'язаний і землеустрій, що включає систему заходів з організації повного, раціонального, ефективного використання і збереження земельних ресурсів країни, утворення й удосконалення землекористування, організації території і підвищення культури землеробства в сільськогосподарських підприємствах. Точний облік та оцінка ділянок земель різного призначення, їх раціональне використання ґрунтуються на даних геодезичних робіт у комплексі з правовими та економічними аспектами. Це робить можливим введення кадастру як земель, так і нерухомості (будинки, заводи, обладнання тощо).

Для проведення землеустрою необхідні плани та карти, на основі котрих визначається існуючий стан земельного фонду, потім шляхом економічних розрахунків установлюють необхідність у складі земель для тих чи інших цілей, після чого на планах і картах проєктують об'єкти землевпорядкування (ділянки, поля) і, нарешті, межі запроєктованих об'єктів переносять на місцевість. У цьому складному процесі геодезичні дії часто виконують паралельно із землевпорядними. Геодезичні роботи проводяться також під час проведення меліорації земель, планування населених пунктів та інших заходів, пов'язаних із землевпорядкуванням.

1.2. Одиниці вимірювання, що застосовуються в геодезії

Одиницею лінійних вимірювань є метр (м). *Метр* – одиниця довжини, встановлена у Франції 10 грудня 1799 року як 1: 40 000 000 довжини меридіана, що проходить через Париж. Подальші дослід-

ження показали, що таке визначення метра неточне. На XVII з'їзді Міжнародної генеральної конференції мір і ваги (ГКМВ) у 1983 р. було прийнято новий, чинний і сьогодні еталон метра: *метр* дорівнює відстані, яку проходить у вакуумі плоска електромагнітна хвиля за $1/29\,979\,458$ частки секунди.

Одиницею вимірювань плоского кута є *градус*. 1 градус – $1/360$ частина кола. Градус ділиться на 60 minut, мінута – на 60 секунд. При записах градус позначають $^{\circ}$, мінута $'$, секунда $''$.

При вимірюванні кутів у геодезії застосовують і *радіани*. Кут у 1 радіан – це центральний кут, утворений двома радіусами кола, який спирається на таку дугу кола, довжина якої дорівнює радіусу цього кола. Позначають радіан літерою ρ . Залежність між радіанами і градусними одиницями така: $\rho = 57^{\circ} 17'45'' = 3437',75 = 206265''$; $1^{\circ} = 1,75^{-2}$ рад.

У десятинній системі одиницею вимірювання кутових величин є *град (гон)*, який становить $1/400$ частину кола, або $1/100$ прямого кута. 1 град містить 100 minut, а 1 мінута – 100 секунд. Позначають гради – 15^{g} , минути – 100^{c} , секунди – 100^{cc} .

Співвідношення між кутовими і лінійними величинами вздовж меридіанів і екватора на земній поверхні, якщо Землю вважати за кулю радіусом у 6376 км, такі:

$$1^{\circ} = 111,11 \text{ км}, 1' = 1852 \text{ м}, 1'' = 31 \text{ м};$$

$$1\text{g} = 100 \text{ км}, 1\text{c} = 1 \text{ км}, 1\text{cc} = 10 \text{ м}.$$

Одиницею вимірювання площі є *квадратний метр* (м^2); його кратні одиниці: квадратний кілометр (км^2), квадратний дециметр (дм^2), квадратний сантиметр (см^2), квадратний міліметр (мм^2). Для вимірювання площі земельних ділянок допускається позасистемна одиниця *гектар* (га), площа якого дорівнює $10\,000 \text{ м}^2$. Також може застосовуватись одиниця площі *ар*, площа якого дорівнює 100 м^2 .

$$0,01 \text{ га} = 1 \text{ ар}, 100 \text{ ар} = 1 \text{ га}, 1 \text{ га} = 10\,000 \text{ м}^2, 100 \text{ га} = 1 \text{ км}^2.$$

1.3. Поняття про форму і розміри Землі

Під час вирішення геодезичних завдань необхідно знати форму і розміри Землі.

Земля не є правильним геометричним тілом. Її фізична поверхня в особливості поверхня суші, дуже складна, і її неможливо вира-

зити якоюсь математичною формулою. Отже, для вирішення практичних завдань земну поверхню замінюють деякою правильною поверхнею, яка називається **рівневою поверхнею**. Рівнева поверхня – це фігура утворена поверхнею морів і океанів, яка продовжена під материками. Рівнева поверхня перпендикулярна в кожній точці напрямку сили тяжіння (прямовисній лінії). Тіло, яке утворює основна рівнева поверхня, називають **геоїдом** (рис. 1.1).

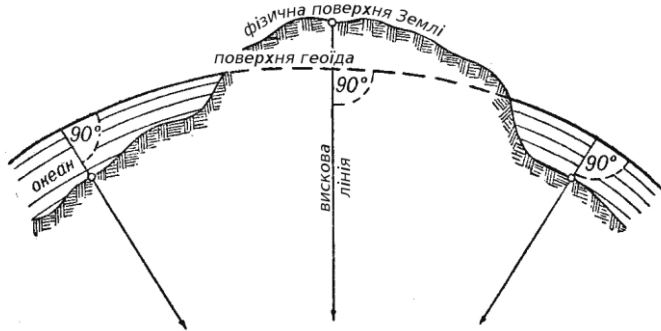


Рис. 1.1. Рівнева поверхня

Геоїд – геометричне тіло, обмежене рівневою поверхнею, яка збігається з поверхнею морів та океанів при спокійному стані водних мас й уявно продовженою під материками так, щоб напрямки сил тяжіння перетинали її під прямим кутом.

Маси в земній корі розміщені нерівномірно, тому прямовисні лінії сил тяжіння відхиляються в бік більш щільних притягувальних мас від напрямків, які займали б вони, якби Земля була однорідною. Отже, поверхня геоїда, що скрізь перпендикулярна напрямкам прямовисних ліній, матиме складну, неправильну форму з кривизною, що змінюється. Особливо різкі зміни кривини поверхні геоїда спостерігаються біля підніжжя гірських хребтів, поблизу берегових ліній морів. Кут між нормаллю m у даній точці (рис. 1.2) і напрямком прямовисної лінії pq до поверхні еліпсоїда називають схиленням прямовисної лінії.

Для того, щоб точно визначити геоїд, потрібно виконувати вимірювання на його поверхні. Фактично вимірювання ведуться на фізичній поверхні Землі. Як зазначалось вище, фігура геоїда залежить від розподілу мас і їхньої густини в тілі Землі, які, на жаль, не завжди відомі.

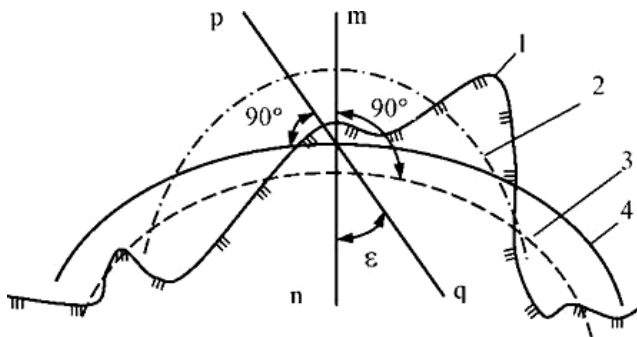


Рис. 1.2. Зображення геоїда та еліпсоїда обертання:
 1 – фізична поверхня; 2 – земна куля; 3 – еліпсоїд обертання;
 4 – рівнева поверхня

Отже, точно визначити фігуру геоїда неможливо. Тому було запропоновано перейти до вивчення фігури *квасігеоїда* – поверхні, яку можна однозначно визначити за наземними вимірами, не знаючи законів густини і розподілу мас у тілі Землі. Поверхня квазігеоїда збігається з геоїдом на океанах і морях та наближається до поверхні геоїда на суші (за деякими оцінками розходження не перевищують 2 м). Перевага квазігеоїда – можливість точно визначити його відомими астрономо-гравіметричними методами, а недолік – фактична відсутність такої фігури в природі. Геоїд – це реальна фігура. Сьогодні можна побудувати геоїд за даними наземної і морської гравіметрії, даними супутникових спостережень тощо.

За результатами вимірювання величин дуг меридіанів та паралелей, виконаних у різних країнах, було встановлено, що Земля стиснена не тільки на полюсах, але і по екватору: найбільший і найменший екваторіальні радіуси відрізняються за довжиною на 213 м. Така форма Землі нагадує *тривісний еліпсоїд*, або *сфероїд*.

Для математичного оброблення геодезичних вимірювань необхідно знати форму поверхні Землі. Прийняти з цієї метою *фізичну поверхню* або *геоїд* неможливо, оскільки ці поверхні не можна описати жодного з математичних формул. Дослідження показали, що найбільш близькою до геоїда математичною поверхнею є еліпсоїд обертання, тому для складання карт і проведення необхідних вимірювань та розрахунків, пов'язаних з визначенням місцеположення точок на земній поверхні, Землю вважають приплюснutoю кулею, яка має вигляд еліпсоїда обертання, що називається земним еліпсо-

їдом. Його розміри та форма (рис. 1.3) характеризуються такими параметрами: довжиною великої (екваторіальної) – a та малої (полярної) – b півосей, коефіцієнтом полярного стиснення α та ексцентриситетами e і c .

$$\alpha = \frac{a-b}{a}; \quad e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}; \quad \tilde{n} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}. \quad (1.1)$$

Розміри земного еліпсоїда обчислювалися за матеріалами градусних вимірювань у різний час багатьма вченими.

У різних країнах застосовуються різні розміри земного еліпсоїда. Так, наприклад, у США, Канаді і Мексиці користуються розмірами еліпсоїда Кларка 1866 р., у Франції – розмірами еліпсоїда Кларка 1880 р., у Єгипті, Фінляндії і яких інших країнах – розмірами еліпсоїда Хейфорда, в Австралії – розмірами еліпсоїда Бесселя.

Референц-еліпсоїдом називається земний еліпсоїд визначених розмірів і певним чином орієнтований у тілі Землі, на поверхню якого переносяться результати всіх геодезичних і топографічних робіт. Вибір розмірів і орієнтування цього еліпсоїда повинні задовольняти вимогу найбільшої близькості його поверхні до поверхні геоїда в межах території даної держави (рис. 1.4).

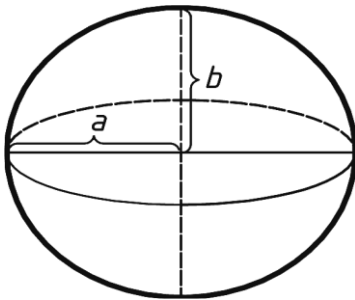


Рис. 1.3. Земний еліпсоїд

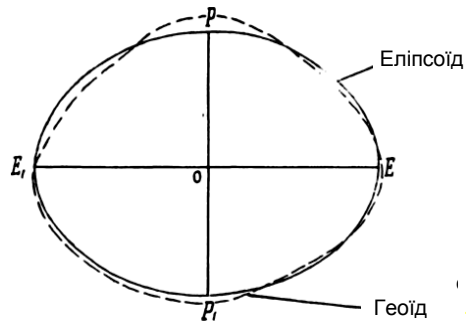


Рис. 1.4. Меридіальний перетин геоїда та земного еліпсоїда

У чинній в Україні державній системі координат УСК-2000 прийнято референц-еліпсоїд Красовського з параметрами: $a = 6378245$ м, $b = 6356863$ м, $\alpha = 1/298,3$.

Унаслідок малого стиснення земного еліпсоїда його поверхня близька до сферичної. Тому для розв'язання деяких практичних

задач прикладного значення фігуру Землі вважають за кулю, поверхня якої дорівнює поверхні еліпсоїда прийнятих розмірів. Радіус такої кулі, обчислений за елементами еліпсоїда Красовського, дорівнює 6 371 116 м, або заокруглено 6371 км.

У геодезії радіус сферичної поверхні Землі часто береться таким, що дорівнює середньому радіусу кривизни під відповідною широтою.

1.4. Системи координат

Координати – фізичні величини, які визначають положення точки на площині або у просторі відносно вихідних ліній та поверхонь.

У геодезії широко застосовують такі системи координат:

- 1) географічна;
- 2) система плоских прямокутних координат;
- 3) система полярних координат.

1.4.1. Географічні координати

Положення точок на земній поверхні та на поверхні еліпсоїда визначаються їх координатами у тій чи іншій системі.

Для визначення місцеположення точок і напрямків використовують характерні лінії і площини на поверхні еліпсоїда обертання (рис. 1.5).

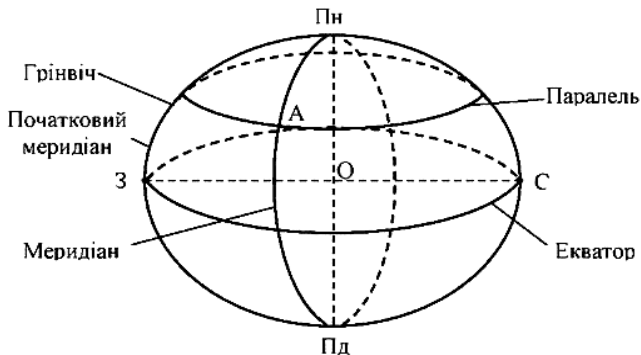


Рис. 1.5. Основні лінії і площини еліпсоїда обертання

Площина екватора – площина, яка перпендикулярна до осі обертання еліпсоїда і проходить через його центр.

Екватор – лінія перетину еліпсоїда площиною, що проходить через центр еліпсоїда і перпендикулярна до його осі обертання.

Паралелі – лінії перетину поверхні еліпсоїда площинами, паралельними площині екватора. Вони являють собою кола.

Меридіани – лінії перетину еліпсоїда меридіальною площиною. Меридіани – еліпси, які власним обертанням навколо малої осі утворюють еліпсоїд.

Нормаль до поверхні еліпсоїда у певній точці є прямою, що перпендикулярна до площини, яка дотична до еліпсоїда в цій точці. Нормаль до поверхні еліпсоїда завжди лежить у меридіальній площині, що проходить через цю точку. Довжина паралелі визначається відрізком нормалі від поверхні еліпсоїда до його малої осі. Нормальними площинами називають усі площини, що проходять через нормаль. Нормальний переріз – це лінії перетину нормальних площин з поверхнею еліпсоїда (рис. 1.6).

Прямовисна лінія – напрямок вектора сили тяжіння в даній точці. Прямовисна лінія перпендикулярна дотичній до поверхні геоїда у даній точці (рис. 1.7).

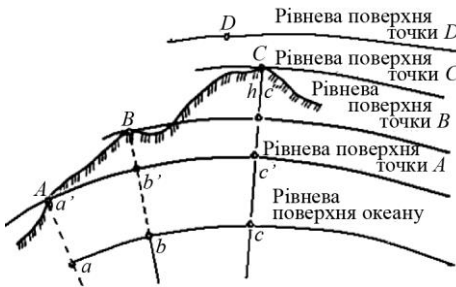


Рис. 1.6. Рівневі поверхні



Рис. 1.7. Положення прямовисної лінії та нормалі

У середньому для земного сфероїда схилення прямовисної лінії (ϵ) від нормалі дорівнює $3''\text{--}4''$ і тільки в деяких місцях воно досягає декількох хвилин. Максимальне відхилення поверхні геоїда від еліпсоїда не перевищує 150 м. Положення точки на поверхні еліпсоїда в географічній системі координат визначається широтою і довготою (рис. 1.8).

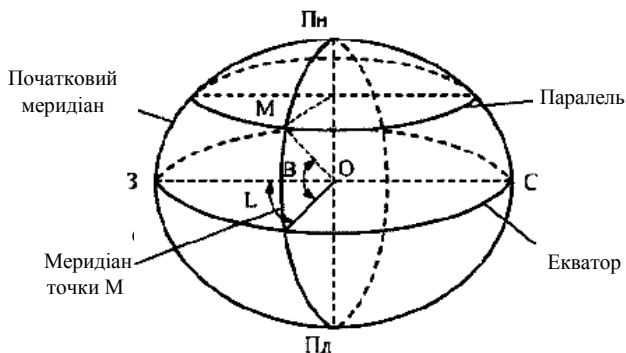


Рис. 1.8. Географічні координати точки M :
 B – широта; L – довгота

Геодезичною широтою (B) точки називають кут між площиною екватора і нормаллю до поверхні еліпсоїда, яка проходить крізь дану точку (рис. 1.8). Широта відлічується в обидва боки від екватора і набуває значення від 0° до 90° . Широта може бути північна і південна.

Геодезичною довготою (L) точки називають двограний кут між площиною меридіана, який проходить крізь дану точку, й площиною початкового меридіана (рис. 1.8). За початковий (нульовий) меридіан беруть меридіан, що проходить крізь місто Гринвіч (Англія). Довгота відлічується від 0° до 180° на схід і на захід від Гринвіча.

Астрономічними координатами називають широту і довготу точок поверхні геоїда, які визначаються астрономічним методом, тобто за результатами спостережень небесних світил. Астрономічні координати точки відрізняються від її геодезичних координат (рис. 1.9).

Астрономічною широтою називають кут φ , утворений напрямком прямовисної лінії, яка проходить через цю точку, з площиною земного екватора.

Астрономічною довготою точки називають кут λ , утворений площиною істинного меридіана, яка проходить через дану точку, і площиною, що проходить через початковий меридіан.

Розрахунок астрономічних широт і довгот виконують так само, як і геодезичних.

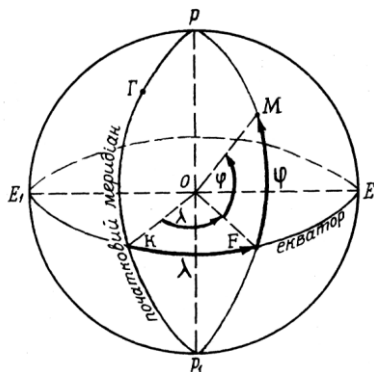


Рис. 1.9. Астрономічні координати

1.4.2. Система прямокутних координат

У геодезії найбільше поширення має система прямокутних координат. У цьому випадку для різних розрахунків та обчислень досить знати формули плоскої геометрії і тригонометрії. В цій системі координат беруть на площині дві прямі XX і YY , які перетинаються під прямим кутом, і їх називають осями координат. Напрямки осей від початку координат (точка O) позначають на північ і схід знаком «+», а на захід і південь знаком «-».

На рис. 1.10: XX – вісь абсцис; YY – вісь ординат; O – початок координат; відрізки Om абсциса і Om_1 ордината визначають місце знаходження точки M_1 на площині.

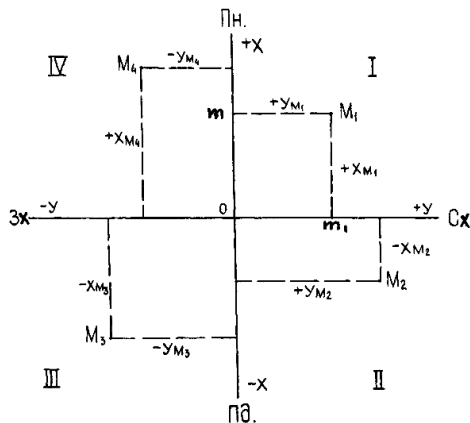


Рис. 1.10. Система прямокутних координат

Система прямокутних координат дуже зручна в роботі та найбільшпоширеніша в геодезії. Але ця система може застосовуватися тільки на площині.

1.4.3. Система прямокутних координат Гаусса-Крюгера

При створенні карт еліпсоїд обертання або сфера повинні бути відображені на площині. Жодна з цих поверхонь не може бути розгорнута на площині без складок або розривів, тому створюючи карти, вдаються до картографічних проєкцій, у яких відображення поверхні на площині відбувається за певними математичними законами. Ці закони виражають функціональний зв'язок координат точок картографованої поверхні і площини.

Застосування географічної системи координат при геодезичних обчисленнях створює значні труднощі. Тому в геодезії застосовують спеціальні проєкції, які дають змогу перенести точки поверхні Землі на площину за математичними законами. Тоді положення точок можна визначати в найбільш простій системі прямокутних координат X, Y .

В Україні прийнята рівнокутна проєкція еліпсоїда на площині й відповідна їй система координат Гаусса-Крюгера.

Суть цієї системи полягає в такому:

1. Земний еліпсоїд розбивається меридіанами на зони (протяжністю 3° або 6° за довготою). Нумерація зон ведеться від Гринвіцького меридіана на схід (рис. 1.11, *a*).

2. Земний еліпсоїд умовно розміщують у поперечному циліндрі. (рис. 1.11, *б*).

3. Кожна зона окремо проєктується на площину так, щоб середній (осьовий) меридіан кожної зони був зображений прямою лінією без спотворень (рис. 1.11, *в*).

За початок відліку координат у кожній зоні беруть перетин осьового меридіана – осі абсцис і екватора – осі ординат. Лінії, які паралельні зображенню осьових меридіанів і екватору, утворюють прямокутну координатну сітку.

Система координат у кожній зоні однакова. Для визначення зони, до якої належить точка з даними координатами, до ординати зліва дописують номер зони. Щоб не мати від'ємних ординат, точкам осьового меридіана умовно приписують ординату 500 км. Тоді всі точки на схід і захід від осьового меридіана матимуть додатні ординати. Наприклад, якщо дана ордината $y = 7\ 300\ 000$, то точка

знаходиться в сьомій зоні і має ординату від осьового меридіана, що дорівнює $300\,000 - 500\,000 = -200\,000$ м.

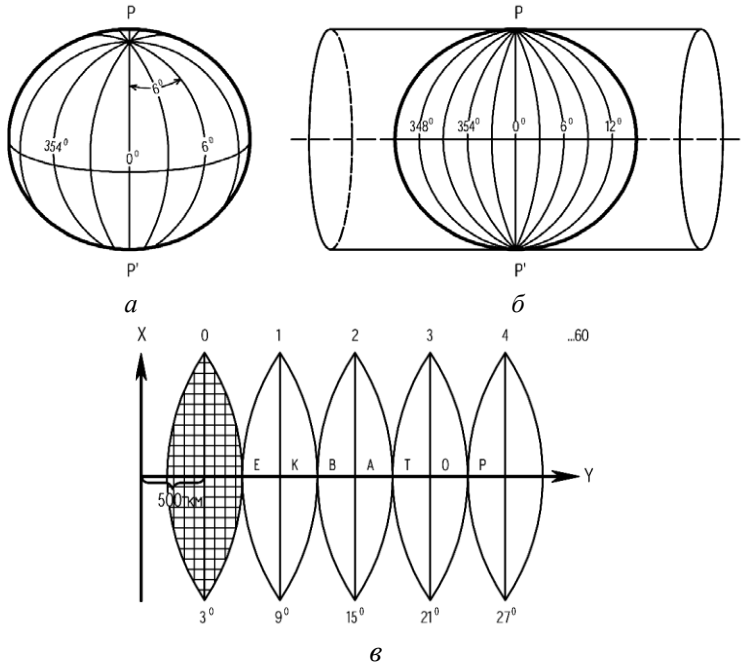


Рис. 1.11. Зональна система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера

1.4.4. Полярна система координат

Виконуючи тахеометричне і теодолітне знімання, в геодезії використовують полярну систему координат.

Полярні координати – система координат, що складається з точки A , яку називають полюсом, початку координат та полярної осі AB .

Полярна система координат – двовимірна система координат, в якій кожна точка визначається двома числами – кутом та відстанню.

Полярними координатами точки 1 (рис. 1.12) називають величини β_1 і d_1 , які являють собою полярний кут між заданим напрямком AB (полярна вісь) і відстань від початку координат A (полюс) до точки 1 . Відповідно для точки 2 цими координатами будуть значення полярного кута β_2 і відстані d_2 .

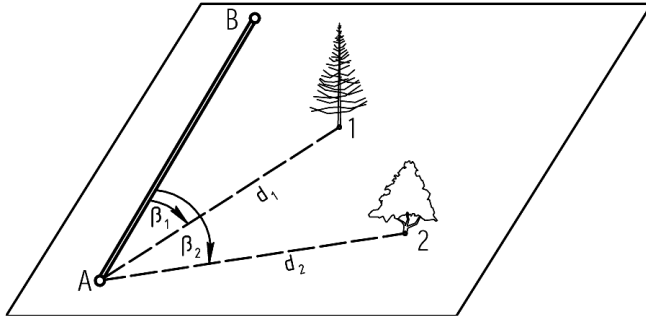


Рис. 1.12. Система полярних координат

1.5. Висоти точок земної поверхні

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

Висоти (рис. 1.13) бувають абсолютні, умовні й відносні. *Абсолютні висоти*, наприклад H_A , H_B , відраховують від вихідної рівневої поверхні – середнього рівня океану або моря, для України – це нуль Кронштадтського футштока.

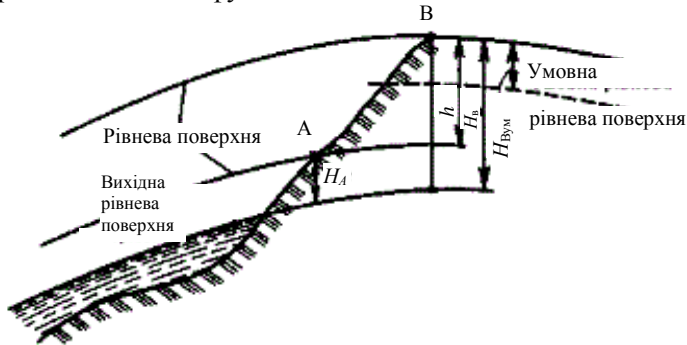


Рис. 1.13. Абсолютні, умовні й відносні висоти

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

Відсною висотою, або перевищенням h точки називається висота її над іншою точкою земної поверхні, за прямовисним напрямком між рівневими поверхнями (наприклад, точки B над точкою A).

$$h_{AB} = H_B - H_A. \quad (1.2)$$

Висоти точок вважають додатними, якщо точки місцевості розміщені вище рівневої поверхні, якщо нижче – від'ємними.

1.6. Масштаби карт

Плани і карти місцевості складають на папері у зменшеному вигляді. Ступінь зменшення горизонтальних проєкцій ліній місцевості при зображенні їх на плані чи карті називається *масштабом*.

Масштаб виражає відношення довжини відрізка лінії на плані чи карті до довжини горизонтальної проєкції відповідної лінії на місцевості. Розрізняють такі форми масштабу: *чисельний і графічний*.

Чисельний масштаб – це дріб, чисельник якого одиниця, а знаменник – число, яке показує в скільки разів горизонтальні проєкції ліній зменшені на плані чи карті. Так, на планах масштабів 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000 горизонтальні проєкції ліній місцевості зменшені відповідно в 500, 1000, 2000, 5000 разів. Що більший знаменник масштабу, то більше зменшення довжин ліній, тим дрібніше зображення реальних об'єктів на карті або плані, тобто *дрібніший* масштаб карти.

Перерахунок довжини S горизонтальної проєкції лінії місцевості в довжину відповідної лінії s на карті або плані здійснюється за формулою:

$$\frac{1}{M} = \frac{s}{S}. \quad (1.3)$$

Розглянемо декілька прикладів:

Приклад 1

Довжина горизонтальної проєкції лінії місцевості $S = 200$ м. Визначити довжину цієї лінії на плані масштабу 1:5000. За формулою (1.3): $s = S/M = 200/5000 = 0,04$ м = 4 см.

Приклад 2

На карті масштабу 1:10 000 вимірний відрізок лінії дорівнює $s = 3,3$ см. Визначити довжину горизонтальної проєкції. За формулою (1.1): $S = sM = 3,3 \times 10000 = 33000$ см = 330 м.

На картах і планах під чисельним масштабом підписують іменованний масштаб, де за одиницю виміру на карті або плані беруть 1 сантиметр, а горизонтальну проєкцію, яка йому відповідає на місцевості, виражають у метрах або кілометрах. Наприклад, для карти масштабу 1:25 000 іменованний масштаб має вигляд «в 1 сантиметрі 250 метрів».

Графічний масштаб викреслюють у вигляді графіка, який спрощує переведення довжин відрізків на карті (плані) у довжини горизонтальних проєкцій на місцевості. Графічний масштаб може бути лінійним і поперечним.

Лінійний масштаб – це відрізок прямої, поділений на рівні частини з підписами значень відповідних їм відстаней на місцевості (рис. 1.14). Відрізок, який визначає величину поділки прямої лінії, називають *основою* масштабу. Лінійний масштаб, який має основою відрізок $a = 2$ см називається *нормальним*.

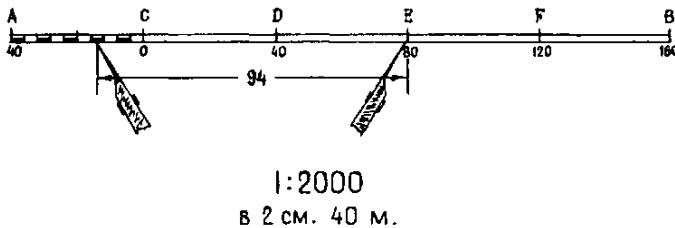


Рис. 1.14. Лінійний масштаб: відлік за масштабом 4,7 см

Першу основу ділять на 10 рівних частин і на правому її кінці пишуть нуль, а на лівому – число метрів або кілометрів.

Ліву крайню основу лінійного масштабу поділяють на 10 рівних частин. Ці частини називають найменшою поділкою лінійного масштабу. Точністю або ціною лінійного масштабу називають кількість метрів (кілометрів) на місцевості, яка відповідає найменшій поділці лінійного масштабу.

Для визначення відстані за допомогою лінійного масштабу на плані чи карті беруть відрізок розхилом циркуля-вимірника. Потім циркуль-вимірник прикладають до лінійного масштабу так, щоб ліва голка вимірника знаходилась у межах крайньої лівої основи, а права – на одному зі штрихів лінійного масштабу, що відділяють цілі основи вправо від нуля. На рис. 1.14 заданий відрізок на плані відповідає горизонтальній проєкції лінії на місцевості завдовж-

ки 94 м. При цьому величину відрізка, що становить частину найменшої поділки, визначають на око.

Фізіологічні можливості людського ока обмежені. На плані чи карті в найсприятливішому випадку можна зобразити лише такі горизонтальні проекції ліній місцевості, яким у даному масштабі відповідає відрізок 0,1 мм і більше. Величину горизонтальної проекції лінії на місцевості, яка відповідає 0,1 мм на карті (плані) заданого масштабу, називають *граничною точністю* масштабу.

Щоб підвищити точність лінійних вимірювань і відкладання відстаней на карті, користуються *поперечним* масштабом. Поперечний масштаб будують таким чином. На прямій лінії, як і при побудові лінійного масштабу, відкладають декілька разів двосантиметровий відрізок (основу масштабу). З точок усіх основ проводять угору вертикальні лінії; на крайніх лініях відкладають по десять однакових відрізків, наприклад, по 2 мм кожний, одержані в результаті цього точки з'єднують горизонтальними прямими. Крайні ліві основи масштабу зверху і знизу ділять на десять частин (по 2 мм). Одержані точки сполучають похилими лініями (*трансверслями*), як це зображено на рис. 1.15.

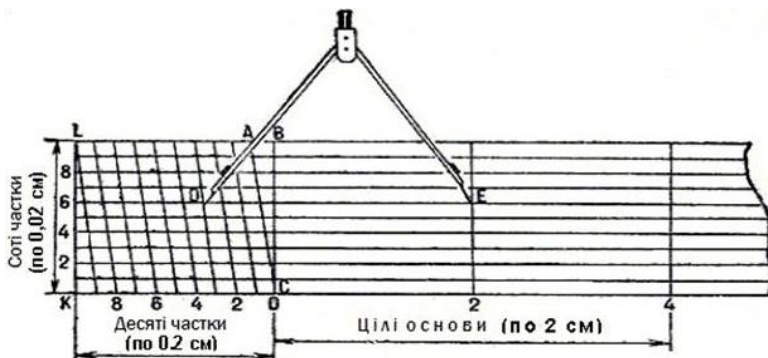


Рис. 1.15. Поперечний масштаб: відлік за масштабом 2,72 см

Між суміжними трансверслями містяться горизонтальні відрізки, що дорівнюють десятій частині основи. Між нульовою вертикальною лінією *OB* і суміжною з нею трансверсаллю *OA* містяться відрізки, довжина яких змінюється від одної соті до одної десятої основи. Значення цих поділок підписують біля крайньої лівої

вертикальної лінії масштабу, що полегшує користування ним. Такий масштаб називають нормальним сотенним масштабом.

Перед початком вимірювання з допомогою поперечного масштабу необхідно з'ясувати, яким віддалям на місцевості відповідають його основні поділки (основа, десята і сота частки основи), для чого необхідно відповідні довжини відрізків 2 см, 2 мм та 0,2 мм помножити на знаменник масштабу карти і одержаний результат виразити у віддалі на місцевості (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Величини віддалей на місцевості для різних масштабів

Масштаб	Горизонтальна віддаль на місцевості, м				Точність масштабу, м
	в 1 см	в 1 основі	в 0,1 основі	в 0,01 основі	
1:500	5	10	1	0.1	0.05
1:1000	10	20	2	0.2	0.10
1:2000	20	40	4	0.4	0.20
1:5000	50	100	10	1	0.50
1:10 000	100	200	20	2	1.0
1:25 000	250	500	50	5	2.5
1:50 000	500	1000	100	10	5.0
1:100 000	1000	2000	200	20	10.0

Щоб визначити віддаль на карті за допомогою поперечного масштабу, необхідно циркулем-вимірником відкласти на карті відрізок *OE* і перенести його на поперечний масштаб. Для цього праву голку вимірника встановлюють на вертикальну лінію так, щоб ліва голка зайняла положення на лівій основі. Переміщаючи вимірник так, щоб дві голки знаходилися на одній горизонтальній лінії, досягають перетину лівої голки з похилою лінією.

Як приклад на поперечному масштабі 1:5 000 (рис. 1.15) показане положення голок вимірника в точках *O* і *E*. Права голка *O* встановлена на вертикальній лінії з позначкою 200 м, ліва голка *E* встановлена на похилій лінії з позначкою 30 м. Відрізок *OE* знаходиться на шостій горизонтальній лінії і горизонтальна проекція лінії на місцевості дорівнює 136 м. Відображеному відрізку *OE* відповідає 54,4 м у масштабі 1:2 000 і 680 м у масштабі 1:25 000.

Під час розв'язання оберненої задачі, тобто для визначення довжини лінії місцевості на плані, беруть відповідний розхил вимір-

ника і прикладають до поперечного масштабу так, щоб права його ніжка збіглася з поділкою праворуч від нуля, а друга – знаходилася в межах лівої від нуля основи. Потім підраховують число метрів. Якщо ліва ніжка вимірника не збігається з поділкою на основі, то розкладений вимірювач пересувають вгору до збігу його з трансверсаллю, при цьому обидві ніжки повинні лежати на одній горизонтальній лінії. Після цього відлічують довжину горизонтального прокладання лінії місцевості.

1.7. Елементи вимірювань на місцевості (горизонтальні прокладання ліній, горизонтальні кути, кути нахилу)

На картах, планах і профілях відображають контури різних об'єктів місцевості: угіддя, ріки, канали, дороги, будівлі тощо. Для того щоб нанести контур на карту або план, вибирають його характерні точки, наприклад кути повороту дороги, визначають їх взаємне положення, наносять на карту, після чого з'єднують їх прямими лініями. При цьому завжди керуються основним принципом геодезії – від загального до часткового, яке полягає в тому, що вибирають основні точки, які характеризують контур та визначають їх взаємне положення одна відносно другої з таким розрахунком, щоб можна було з необхідною детальністю відобразити на карті всі наявні об'єкти місцевості.

Взаємне положення точок місцевості визначають шляхом вимірювання ліній (відстаней) між точками і кутів між напрямками ліній, які з'єднують точки. Для вимірювання ліній застосовують різні лінійні мірні прилади, для вимірювання кутів – кутомірні прилади.

Вимірюванням називають процес порівняння даної фізичної величини з іншою фізичною величиною, взятою за одиницю вимірювання. Будь-яке вимірювання виконують за наявності таких факторів:

- 1) об'єкт вимірювання;
- 2) суб'єкт вимірювання;
- 3) прилад для вимірювання;
- 4) метод вимірювання;
- 5) зовнішнє середовище.

Вимірювання поділяють за фізичним виконанням на: прямі й непрямі; за кількістю вимірів: на необхідні і надлишкові; за точністю: на рівноточні й нерівноточні.

Геодезичні вимірювання виконуються на земній поверхні, під землею, на морі й з космосу. При цьому, здебільшого, вимірюються кути між лініями, відстань між точками, перевищення.

Геодезичні вимірювання в обов'язковому порядку супроводжує надійний контроль. Контроль – це невід'ємна частина геодезичних вимірювань.

При складанні планів необхідно знати не довжини ліній на місцевості, а їх горизонтальні проекції на площині, які в геодезії називаються *горизонтальними прокладаннями*. Для визначення горизонтального прокладання необхідно, крім виміру похилої лінії, знати і кут нахилу v її до горизонту. Вимірявши на місцевості (рис. 1.16) лінію AB , яка дорівнює D , кут нахилу її до горизонту v , можна визначити горизонтальне d прокладання за формулою:

$$d = D \cos v \quad (1.4)$$

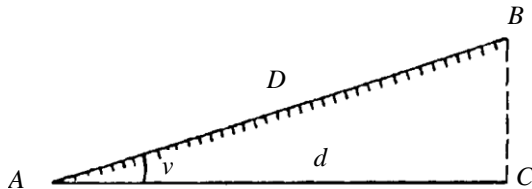


Рис. 1.16. Визначення горизонтального прокладання лінії

Однак зручніше горизонтальне прокладання d розраховувати шляхом введення у виміряну величину поправки за нахил Δ , що являє різницю між довжиною вимірюваної лінії і її горизонтальним прокладанням.

Поправку за нахил визначають за формулою

$$D - d = D - D_{\cos v} = D(1 - \cos v) = 2D \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (1.5)$$

Виходячи з того, що D завжди більше d то поправка Δ із виміряної довжини лінії віднімається.

$$d = D - \Delta. \quad (1.6)$$

На поверхні землі рідко трапляються лінії, що мають по всій довжині однаковий ухил. Зазвичай окремі їх частини мають різні ухили і горизонтальна проекція такої лінії складається з суми горизонтальних проекцій окремих її частин. Тому для отримання горизонтального прокладання d вимірюють кут нахилу лінії або її окре-

мих частин (рис. 1.16). Місцевість із кутами нахилу до 2° вважають рівнинною.

На рис. 1.17 видно, що горизонтальне прокладання між точками A і B дорівнюватиме сумі відрізків d_1, d_2, d_3 , довжина яких обчислюється за формулою: $d = D \cos v$.

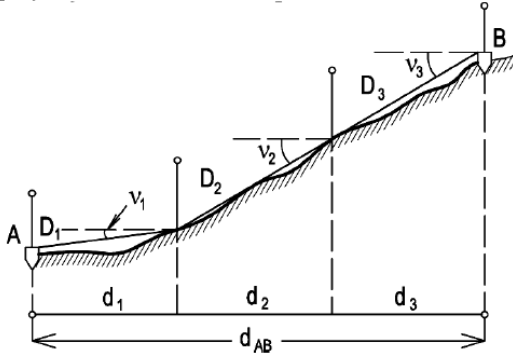


Рис. 1.17. Визначення горизонтального прокладання лінії з різними кутами нахилу

Коли вживають термін «вимірювання кутів на місцевості», то мають на увазі *горизонтальні кути* і *кути нахилу* (вертикальні кути). Для розуміння принципу вимірювання кутів розглянемо рис. 1.18.

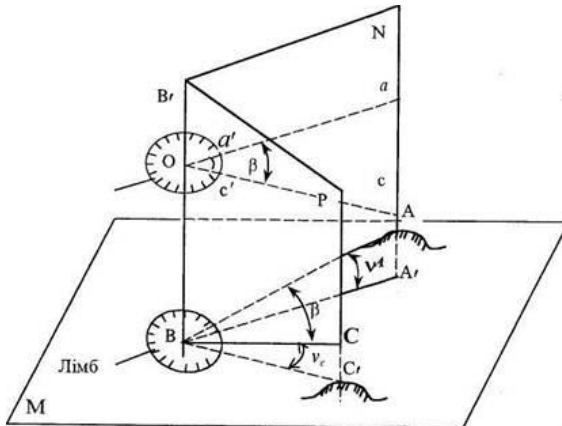


Рис. 1.18. Горизонтальний та вертикальний кути

Нехай маємо на місцевості точки A, B і C , одна з яких B є вершиною горизонтального кута ABC , сторони AB і BC якого не ле-

жать в одній площині. Попередньо проєктують сторони кута AB і BC на горизонтальну площину M так, щоб вершина кута B належала цій площині. На сторонах кута AB й BC будують дві вертикальні площини N і P . У результаті на горизонтальній площині M виникають лінії перетину BA' і BC' , що утворюють горизонтальну проєкцію P кута місцевості ABC . Для визначення планового положення точок A , B й C вимірюють горизонтальний кут $A'BC'$, мірою якого є двограний кут між площинами N і P . Цьому куту дорівнює будь-який кут, вершина якого знаходиться на прямовисному ребрі BB' двогранного кута $A'B'C'$, а сторони його лежать у площині, паралельній площині M . Горизонтальні кути мають значення від 0° до 360° .

Для визначення величини кута, наприклад у градусній мірі, в будь-якій точці на ребрі BB' двогранного кута $A'B'C'$ розміщують горизонтальний круг з поділками, що називається лімба, так, щоб його центр O був на прямовисній лінії OB . У результаті перетину площини лімба площинами N і P утворюється певний кут aOc , який за побудовою дорівнює куту β .

Визначаючи за поділками лімба відліки за ходом годинникової стрілки a' і c' , обчислюють значення горизонтального кута

$$\beta = c' - a'. \quad (1.7)$$

Правило обчислення горизонтального кута на місцевості можна сформулювати так: щоб одержати значення горизонтального кута, необхідно від відліку на правий напрямок (за ходом годинникової стрілки) відняти відлік на лівий напрямок. Якщо відлік на правий напрямок менший за значенням від лівого відліку, то до нього додають 360° і знову віднімають лівий відлік.

Для визначення перевищення між точками вимірюють вертикальні кути, тобто кути нахилу. Під вертикальним кутом розуміють кут між стороною та її проєкцією на горизонтальну площину. Відповідно до рис. 1.18 вертикальним кутом сторони BA буде кут $A'BA = +v_a$, а сторони BC – кут $C'BC = -v_c$. Якщо сторона вище проєкції, то кут вважають додатним, якщо нижче – від'ємним. Вертикальні кути можуть мати значення в межах від -90° до $+90^\circ$.

Для вимірювання вертикальних кутів v_a і v_c лімба розміщують прямовисно відповідно в площинах N і P . За результатами відліків по вертикальному лімбі обчислюють значення вертикальних кутів.

Описаний принцип вимірювання кутів на місцевості реалізується в кутомірному приладі, що називається *теодолітом*.

1.8. Зображення земної поверхні на площині (план, карта, профіль)

Поверхню Землі зображують на площині у вигляді планів, карт, профілів. При складанні *планів* сферичну поверхню Землі проєктують на горизонтальну площину й отримане зображення зменшують до необхідного розміру. Як правило, у геодезії застосовують метод ортогонального проєктування (рис. 1.19).

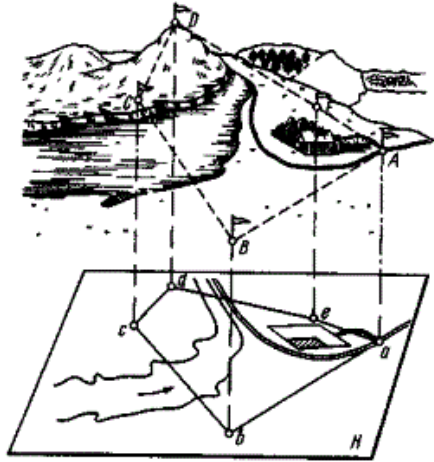


Рис. 1.19. Зображення земної поверхні на площині

Сутність його полягає в тому, що точки місцевості переносять на горизонтальну площину по прямовисних лініях (нормалях), паралельних одна одній й перпендикулярних горизонтальній площині. Наприклад, точка A місцевості (перехрестя доріг) проєктується на горизонтальну площину H по прямовисній лінії Aa , точка B – по лінії Bb і т.д., точки a й b є ортогональними проєкціями точок A і B місцевості на площині H .

Отримане на площині зображення ділянки земної поверхні зменшують зі збереженням подоби фігур. Таке зменшене зображення називається планом місцевості. Отже, *план місцевості* – це зменшене подібне зображення горизонтальної проєкції ділянки поверхні Землі з об'єктами, що перебувають на ній.

Однак план не можна скласти на дуже велику територію, тому що сферична поверхня Землі не може бути розгорнута в площину

без складок або розривів. Зображення Землі на площині, зменшене й викривлене внаслідок кривизни поверхні, називають **картою**.

При зображенні земної поверхні на карті використовують особливі способи відображення земного еліпсоїда на площині, за яких кожній точці поверхні еліпсоїда взаємно й однозначно відповідає її зображення на площині. Такі способи називаються картографічними проєкціями.

Географічною картою називається зменшене й узагальнене зображення земної поверхні, побудоване у визначеній картографічній проєкції, яке показує розміщення і зв'язок природних та суспільних явищ, що характеризуються відповідно до призначення карти.

Оскільки сферична поверхня не може бути розгорнута в площину без розривів і складок, то на будь-якій карті притаманні властиві їй спотворення довжин ліній, кутів, площ. При цьому загальний масштаб карти, як правило, є непостійною величиною в різних її точках і за різними напрямками.

Профілем місцевості називається зменшене зображення вертикального розрізу земної поверхні по заданому напрямку. Як правило, розріз місцевості (рис. 1.20, *a*) являє собою криву лінію *ABC...G*. На профілі (рис. 1.20, *б*) вона будується у вигляді ламаної лінії *abc...g*. Рівневу поверхню зображують прямою лінією; для більшої наочності вертикальні відрізки (висоти, перевищення) роблять крупніше, ніж горизонтальні (відстані між точками).

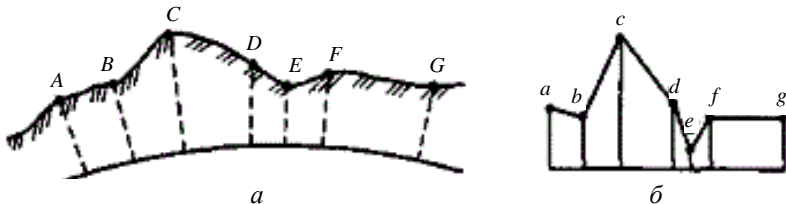


Рис. 1.20. Розріз (*a*) і профіль (*б*) місцевості

1.9. Картографічні умовні знаки для зображення елементів місцевості

На планах і картах відображають велику кількість різних об'єктів місцевості. Для того щоб «прочитати» карту, можна підписати назву кожного об'єкта. Але це унеможливить користування нею оскільки підписи закриють собою майже всі об'єкти. Тому

об'єкти позначаються на картах і планах картографічними умовними знаками.

Картографічні умовні знаки – це графічні, образно-знакові побудови (позначення) визначеної величини, форми і кольору, за допомогою яких на картах зображуються різні природні та соціально-економічні явища та об'єкти місцевості, а також їхні кількісні й якісні характеристики. Всі об'єкти місцевості зображуються на картах в ортогональній проекції (вигляд зверху) за допомогою точок, ліній або контурів. Умовні знаки розроблені так, щоб їх можна було легко побудувати і накреслити від руки, за допомогою креслярських інструментів або на комп'ютері.

Знання умовних знаків та їхніх властивостей – необхідна умова розуміння змісту карти, основа вміння «читати» карту, одержувати за її допомогою потрібні відомості про зображену територію, правильно проводити вимірювальні роботи.

Велика розмаїтість об'єктів місцевості за формою та площею зумовлює розподіл умовних знаків. Вони поділяються на *площинні* (*масштабні*), *лінійні*, *позамасштабні* та *пояснювальні* (рис. 1.21).


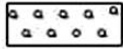

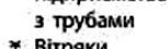
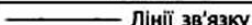
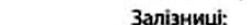

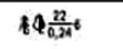
Масштабні	Позамасштабні	Лінійні
 Хвойні ліси  Рідколісся  Піски рівні  Болота непрохідні	 Промислові підприємства з трубами  Вітряки  Церкви  Склади пального	 Лінії зв'язку  Залізниця: одноколіїні  двоколіїні  Постійна берегова лінія морів та озер
Пояснювальні		
 Характеристика деревостою (22 — висота дерев, 0,24 — середня товщина стовбурів, 6 — середня відстань між деревами в метрах)  Броди (0,5 — глибина, 12 — довжина в метрах, П — характер ґрунту дна, 0,1 — швидкість течії в м/с)  Характеристика річок та каналів (137 — ширина, 6,5 — глибина в метрах, П — характер ґрунту дна)		

Рис. 1.21. Приклади умовних знаків топографічних карт

Площинні (масштабні) умовні знаки застосовуються тоді, коли розміри об'єктів місцевості виражаються в масштабі карти. Об'єкти, спроектовані на карту у вигляді обмеженої контуром площі і заповнені всередині умовними знаками або підписом, називаються

ваються *площинними* або *контурними*. Всередині площі умовні знаки розмішують рівномірно в довільному або в строго визначеному порядку. Умовні знаки, що заповнюють усю площу, не вказують ані місце розташування самих предметів у межах контуру, ані їхню кількість або розмір. Іноді замість умовних знаків, що заповнюють, застосовується фонове фарбування. Наприклад, площу, яку займає ліс, фарбують у зелений колір. Інколи застосовують заповнення площі штриховим умовним знаком по фоновому фарбуванню.

Часто на оригіналі карти замість заповнювального умовного знака усередині контуру дають пояснювальний підпис.

До *лінійних* належать умовні знаки, що мають лінійну протяжність – шляхи сполучення, границі, огорожі тощо.

На карті їхні проєкції зображують у вигляді ліній. Лінійні умовні знаки зберігають у масштабі карти довжину того чи іншого об'єкта, а ширина об'єкта збільшена, тобто лінійні умовні знаки по ширині є позамасштабними. Умовний знак будується по осі лінійного об'єкта.

Але, на планах масштабу 1:2 000, 1:5 000 і т.д. дороги виражаються в масштабі карти не тільки по довжині, але й по ширині. З двох боків від лінії автостради пунктирною лінією зеленого кольору (або двома паралельними лініями) показується канава. У розриві дороги дається її характеристика, що позначає: 8 – ширина смуги в метрах; 2 – кількість смуг; 24,5 – ширина дороги від канави до канави в метрах; А – матеріал покриття.

До *позамасштабних* належать умовні знаки окремих об'єктів місцевості, площа яких не виражається в масштабі карти. Їхньою проєкцією на карту є точка, щодо якої будується той або інший позамасштабний знак. До таких предметів місцевості можна віднести пункти державної геодезичної мережі, окремі дерева, покажчики доріг тощо. Умовний знак центрується на точку по-різному, залежно від його форми і малюнка: якщо умовний знак має вид геометричної фігури, то дійсному положенню на місцевості такого предмета відповідає його геометричний центр; якщо в малюнку умовного знака є прямий кут, то за центр знака беруть вершину кута або основу підшви знака; якщо умовний знак зображується фігурою з широкою основою, то такий знак центрується на точку серединою основи; якщо умовний знак являє собою сполучення

декількох фігур, то такий знак центрується на точку центром нижньої фігури.

Позамасштабні умовні знаки орієнтують щодо північної і південної рамок карти чи середнього меридіана, а не щодо контуру, у якому він розміщений. Кілометрові стовпи орієнтуються стосовно дороги, тобто вміщуються перпендикулярно до її лінії.

До особливої групи належать *пояснювальні буквені і цифрові позначення*, які дають на карті додаткову якісну або кількісну характеристику. Вони, як правило, застосовуються в сполученні з площинними, лінійними і позамасштабними умовними знаками.

До пояснювальних умовних знаків належать, наприклад, знаки, що позначають переважну породу лісу або чагарнику. Тут же дається кількісна характеристика, що позначає середню висоту, середню товщину дерев, а також густоту лісу. На болотах підписується їхня середня глибина тощо.

Часто пояснювальний підпис на карті подається в скороченому вигляді. Як правило, він розташовується праворуч від умовного знака або на вільному місці там, де його добре видно. Підпис розміщують на такій відстані від умовного знака, щоб не виникло сумніву, до якого умовного знака він відноситься. Буквені і цифрові позначення розташовують паралельно до північної і південної рамок карти. Виняток становлять підписи будівель на топографічних планах масштабу 1:2 000 і крупніше. Вони містяться усередині контуру будівель, посередині, паралельно довгій стороні будівлі. Те саме стосується підписів площинних умовних знаків, наприклад – город.

Малюнок, колір і розміри умовних знаків для топографічних карт і планів встановлені в спеціальних *таблицях умовних знаків*. Вони є обов'язковими для усіх відомств і установ, що проводять зйомку чи складання топографічної карти (плану) у тому або іншому масштабі. Умовні знаки всіх масштабів є стандартними і, як правило, погодженими між собою за формою (зображенням) і кольором. Залежно від масштабу змінюється тільки розмір умовного знака. Така погодженість полегшує спільне використання карт різних масштабів. Для кожного або декількох масштабів видаються таблиці умовних знаків.

Наприклад, умовні знаки в таблицях – Умовні знаки для топографічної карти масштабу 1:10 000, затверджених наказом Мініс-

терства екології та природних ресурсів України від 9 липня 2001 р., № 254 та виданих у 2002 р., згруповані по розділах відповідно до основних об'єктів місцевості: кордони, межі та огорожі; геодезичні пункти; населені пункти та окремі будівлі; промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти; залізниці та залізничні споруди; автомобільні та ґрунтові дороги; гідрографія; об'єкти гідротехнічні та водного транспорту; об'єкти водопостачання; мости та переправи; рельєф; рослинність; ґрунти та мікроформи земної поверхні; болота та солончаки.

Крім умовних знаків у таблицях поміщені зразки шрифтів підписів; зразки шрифтів; шкала кольорів, що застосовуються для друкування карт із параметрами кольору в палітрі СМҮК; графіки закладань рельєфу; оформлення рамок і позарамкового оформлення.

Таке групування умовних знаків по розділах полегшує користування ними. Крім самих умовних знаків у таблицях даються приклади їхніх сполучень, а наприкінці розміщені пояснення до умовних знаків по розділах.

У необхідних випадках умовні знаки подано у двох варіантах: для позамасштабного зображення топографічних об'єктів (біля знака стоїть літера *a*) і для їх зображення в масштабі карти, коли розміри об'єктів у цьому масштабі більші за розміри відповідних знаків, зображених у таблицях (біля знака – літера *b*).

1.10. Основні форми рельєфу

Рельєф місцевості – найважливіший елемент природного середовища. Він суттєво впливає на клімат, ґрунтові процеси, рослинність, гідрографічну мережу. Ступінь господарського засвоєння території, розміщення населених пунктів і шляхів сполучень, доступність місцевості для пересування поза дорогами переважно залежить від характеру рельєфу.

Рельєф земної поверхні являє собою складну сукупність просторових форм, які відрізняються між собою зовнішніми окресленнями, розмірами, висотою, орієнтуванням стосовно сторін горизонту, відношенням до площини горизонту і деякими іншими властивостями. Щоби розібратися в характері рельєфу, його зазвичай розглядають як сукупність порівняно невеликої кількості типових або елементарних форм.

Існує декілька класифікацій рельєфу за різними ознаками. В топографії рельєф класифікують за різними складовими його форм і по відношенню цих форм до площини горизонту. За розмірами розрізняють *крупні* (макро-), *середні* (мезо-) і *дрібні* (мікро-) форми рельєфу. До крупних належать гірські хребти, окремі гори, великі долини і т. ін.; до середніх – відроги гірських хребтів, пагорби, невеликі долини і т. ін.; до дрібних – бугри, невеликі висотки й інші форми, величина яких вимірюється метрами і частками метра.

Щодо площини горизонту форми рельєфу поділяються на додатні і від'ємні. Додатні форми мають опуклу поверхню і підвищуються над оточуючою місцевістю; від'ємні – увігнуту і створюють пониження місцевості.

До додатних форм рельєфу належать: гора, гірський хребет, пагорб, горб.

Гора – височина з явно вираженими схилами і підшовою, яка підвищується над оточуючою місцевістю на 200 м і більше (мається на увазі відносна висота від підніжжя до вершини). Найвища частина гори називається вершиною.

Гірський хребет – лінійно-втягнута височина заввишки понад 200 м, із добре вираженими схилами і підніжжям. Вододільна частина хребта називається гребенем; понижені частини гребеня між двома вершинами – сідловинами.

Горб – це окреме куполоподібне або конічне підвищення заввишки до 100 м з різко вираженою підшовою.

Пагорб – окреме невелике конічне або куполоподібне підвищення заввишки понад 200 м, з пологими схилами й нерізко вираженою підшовою.

До від'ємних форм рельєфу належать: долина, яр, балка, лощина й улоговина.

Долина – втягнута в довжину порожниста форма рельєфу, яка має нахил в одному напрямку. Долини ніколи не перетинаються між собою, а стикаючись зливаються в одну загальну порожнисту форму. В долині розрізняють найнижчу її частину – дно, або ложе, і схили долини. У річкових долинах частина дна, зайнята річкою, називається руслом, а та частина, яка заливається водою під час повеней, – заплавою. З боків дно долини обмежено схилами. Схили часто бувають східчасті і складаються з чергування рівних майданчиків і уступів. Майданчики, втягнуті вздовж долини і поділені уступами, називаються терасами.

Яр – порівняно вузьке, витягнуте пониження місцевості з крутими або стрімкими схилами, які нагадують у поперечному розрізі латинську літеру V. Яри мають нахил в одному напрямку і не перетинаються між собою.

Балка подібна з яром, але має пологі, часто задерновані схили і плоске дно.

Лощина – витягнуте заглиблення, з пологими слабо вираженими схилами, які мають нахил в одному напрямку.

Улоговина – пониження місцевості, замкнуте з усіх боків. Форма й розміри можуть бути різними. Невеликі улоговини, які мають незначну глибину і плоске дно, називають блюдцями або западинами.

За формою рельєфу розрізняють основні орографічні лінії: вододіли, тальвеги, брівки і підощви.

Вододіл – лінія або смуга місцевості, яка розділяє поверхневий стік протилежних схилів височин.

Тальвег – лінія, яка з'єднує найнижчі низькі точки дна долини. У річкових долинах тальвег збігається з лінією найбільших глибин дна річки.

Брівка – лінія перегину схилу, нижче якої він стає крутішим (перегини схилів долин, балок, ярів тощо).

Підощва – лінія перегину схилу, нижче якої він стає пологішим. Іноді підощвою називають також підніжжя гір, пагорбів, обривів тощо.

Орографічні лінії дають чітке уявлення про ступінь розчленування рельєфу. Вони складають, так би мовити, скелет нерівностей місцевості і тому їх іноді називають скелетними лініями рельєфу.

1.11. Способи зображення рельєфу на планах і картах. Спосіб горизонталей

Показ рельєфу суші на картах – доволі складне завдання: форми земної поверхні являють собою об'ємні тіла, а відображувати їх потрібно на площині; разом з тим рельєф, зображений на всій поверхні суші, не повинен затінювати й інші елементи змісту.

Розроблено декілька способів зображення рельєфу. Найважливішими з них є: гіпсометричний спосіб, спосіб відмивки, перспективний спосіб, штриховий спосіб, пунктирний спосіб, спосіб горизонталей та деякі інші.

Гіпсометричний спосіб (спосіб пошарового забарвлення, забарвлення за ступенями висот) майже тотожний способу горизонталей. Його основу складають проведені на карті горизонталі. На відміну від топографічних карт горизонталі на оглядових картах дуже узагальнені. Їх називають ізогіпсами. Відмінність між ізогіпсами і горизонталями полягає в тому, що переріз рельєфу на топографічних картах є постійним, а на дрібномасштабних картах інтервал між ізогіпсами не однаковий на різних по висоті ділянках.

Спосіб відмивки належить до так званих пластичних способів зображення рельєфу, які створюють ефект опуклості земної поверхні, особливо при переході від від'ємних до додатних форм рельєфу. Цей ефект досягається шляхом накладання тіней на визначені елементи рельєфу. Тіні відмивають коричневою або сірою фарбою на схилах, визначеним способом освітлених і орієнтованих по сторонах горизонту.

Перспективне зображення рельєфу застосовувалось ще в давнини, середні віки і тепер цей спосіб не втратив свого значення. Полягає він у тому, що на карті загальний вигляд гірських хребтів, нагір'я і інших крупних додатних форм рельєфу зображується перспективним рисунком. Таке зображення відрізняється наочністю, але не володіє необхідною точністю при передачі ні розмірів, ні форм рельєфу. На загальногеографічних картах цей спосіб майже не застосовується, але на тематичних дрібномасштабних картах (особливо історичних) використовується широко.

Більшу наочність, але меншу точність при зображенні рельєфу надає **штриховка**. Короткі, майже паралельні штрихи проводять перпендикулярно до горизонталей. Їх товщина і проміжки між ними знаходяться у визначеній залежності від крутизни схилів.

Для зображення рельєфу на картах дрібного масштабу іноді застосовують метод **пунктиру**, при цьому рельєф виражається за допомогою точок різних діаметрів.

На топографічних картах рельєф зображується **горизонталями** в поєднанні з відмітками висот і графічними умовними знаками (для форм рельєфу, які неможливо відобразити горизонталями).

Горизонталями називають криві замкнені лінії, які проходять через точки місцевості з однаковою висотою над рівнем моря. Горизонталі можна уявити як межі рівня води, яка поступово затоплює місцевість, послідовно зафіксовані на визначених висотах (че-

рез різні проміжки по висоті – 1, 2, 3, 4). Кожна з таких меж означає на земній поверхні криву лінію, всі точки якої будуть мати однакову висоту.

Окремі форми рельєфу, наприклад, яр, рівчак (вимоїна), показуються на карті особливими умовними знаками. Горизонталі та умовні знаки деяких форм рельєфу доповнюються цифровими позначеннями абсолютних і відносних висот характерних точок та елементів рельєфу.

Отже, горизонталь – це лінія на земній поверхні, яка з'єднає точки з однаковими висотами (рис. 1.22). Відстань між двома суміжними горизонталями по висоті (між сусідніми січними поверхнями) називається висотою перерізу рельєфу h , а відстань між ними на плані (карті) – закладенням d . Значення h встановлюють постійним для карт даного масштабу, залежно від характеру рельєфу місцевості (рівнинного, погорбованого, гірського). Горизонталі, якими зображують форми рельєфу за прийнятою висотою перерізу, називають основними, їхні висоти кратні висоті перерізу. Основні горизонталі проводять тонкими суцільними лініями. Для показу характерних особливостей рельєфу часто пунктирними лініями через половину висоти перерізу проводять напівгоризонталі, а іноді – ще й допоміжні, через чверть висоти перерізу.

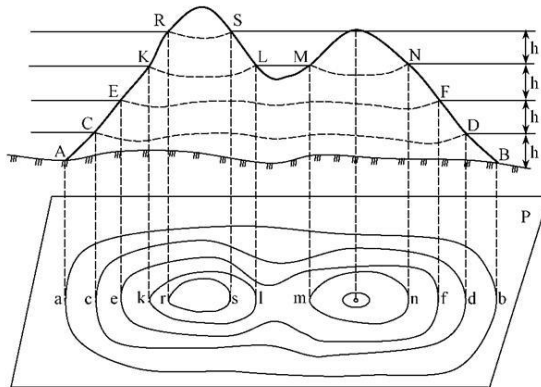


Рис. 1.22. Суть зображення рельєфу горизонталями

Для полегшення читання карти на деяких горизонталях проводять, так звані, бергштрихи (скатштрихи), які показують напрямок пониження схилу, та підписують висоти горизонталей у їхніх ро-

зривах так, щоб основи цифр були спрямовані до підшви схилу. Для зручності підрахунку горизонталей деякі з них проводять потовщеними. Горизонталі показують коричневим кольором.

Для побудови горизонталей, читання рельєфу та розв'язування задач на планах і картах необхідно знати властивості горизонталей:

- 1) горизонталі – безперервні замкнені лінії;
- 2) усі точки місцевості, які лежать на одній горизонталі, мають однакові висоти. Сусідні горизонталі можуть відрізнитись за своїми відмітками тільки на одну висоту перерізу, або бути однаковими;
- 3) горизонталі не можуть перетинатися;
- 4) що менша відстань між горизонталями (закладення), то стрімкіший схил.

1.12. Розв'язання задач за зображеними на топографічних планах і картах горизонталях

За зображеними на плані чи карті горизонталями можна розв'язувати різні інженерні задачі.

Визначення висоти перерізу рельєфу. Висоту перерізу рельєфу h на топографічних картах завжди вказують внизу аркуша, під масштабом. Якщо працюють із фрагментом карти, на якому відсутні дані про прийнятту висоту перерізу рельєфу, то його можна визначити:

а) *за горизонталями з підписаними висотами.* Знаходять на одному схилі дві підписані горизонталі і різницю їхніх висот ділять на кількість проміжків між ними;

б) *за двома точками з відомими висотами.* На одному схилі знаходять дві точки з підписаними висотами і різницю цих висот ділять на кількість горизонталей, розміщених між ними. Одержане число буде близьким до висоти перерізу рельєфу.

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.

Інтерполяція полягає у визначенні коефіцієнта пропорційності відстані l від обумовленої точки до меншої за значенням горизонталі до величини перерізу d , тобто відношення l/d , і множення його на значення висоти перерізу рельєфу h .

Приклад. Відмітка H_M (рис. 1.23) точки M , розташованої між горизонталями з відмітками 125 м і 130 м, дорівнює $H_M = H_A + (l/d)h = 125 \text{ м} + 2,8:4,3 \times 5 \text{ м} = 128,3 \text{ м}$.

Визначення ухилів та кутів нахилу ліній місцевості на карті. Стрімкість схилу в геодезії виражають кутами нахилу або ухилами.

Кутом нахилу називають вертикальний кут α , утворений лінією місцевості та горизонтальною площиною. Його визначають, як правило, за графіком закладень, який накреслений унизу топографічної карти (рис. 1.24). Набравши у розхил циркуля-вимірника закладення лінії, його ведуть по графіку так, щоб одна голка рухалась по горизонтальній лінії поки друга не досягне кривої. Тоді внизу читають кут нахилу цієї лінії.

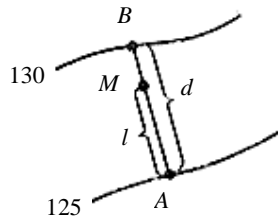


Рис. 1.23. Визначення відмітки точки по горизонталях

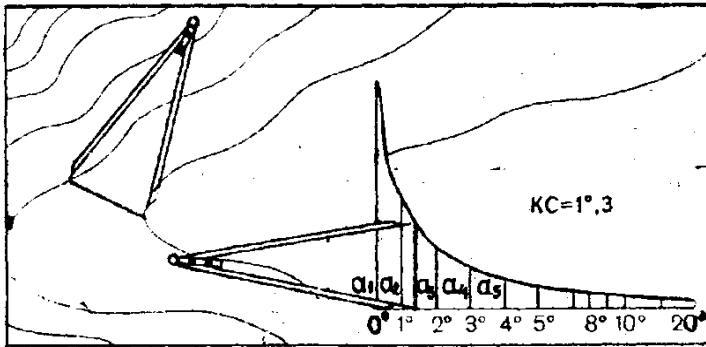


Рис. 1.24. Графік закладень

Ухил лінії i – це відношення перевищення між висотами її кінців до горизонтальної проекції (інакше кажучи, ухил – це тангенс кута нахилу).

$$i = \frac{h}{d} = \text{tg} \alpha \quad (1.8)$$

Ухил лінії виражається у відсотках (%) або проміле (‰), тобто тисячних частках одиниці. Залежно від знака перевищення ухил може бути додатним або від'ємним. Довжину лінії на карті визначають за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки, а перевищення – за різницею висот її початку та кінця. Для по-

легшення визначення ухилів часто внизу топографічних планів теж креслять спеціальний графік.

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 *B* і *C* на карті масштабу 1:10000 із висотою перерізу рельєфу $h = 5$ м (рис. 1.25) потрібно запроєктувати дорогу з граничним ухилом $i = 0,025$ за найкоротшим напрямком. Заданому граничному ухилу відповідає закладення $d = h:i = 5:0,025 = = 200$ м (2 см на карті). Розхилом циркуля-вимірника, який відповідає обчисленому закладенню, від початкової точки *B* послідовно роблять засічки на сусідніх горизонталях у точках *d, e, f* за напрямком траси на точку *C*. Ламана лінія, яка з'єднає ці точки, і є лінією заданого ухилу.

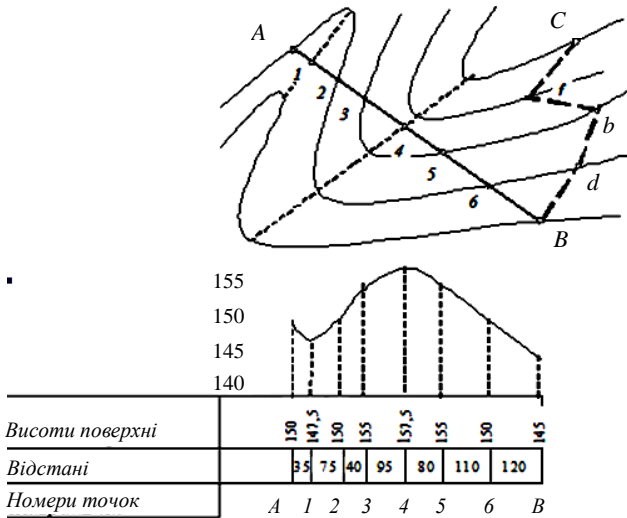


Рис. 1.25. Проведення лінії заданого ухилу та побудова профілю за заданим на карті напрямком

Побудова профілю за заданим на карті напрямком. Для побудови профілю місцевості за заданою на карті лінією *AB* (рис. 1.25) відмічають і нумерують точки її перетину з горизонталями та характерні точки рельєфу, які вона перетинає. На аркуші міліметрового паперу проводять лінію умовного горизонту і переносять на неї місцеположення усіх 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'єднує кінці отриманих відрізків, і є поздовжнім профілем місцевості за наміченим напрямком.

1.13. Орієнтування ліній на місцевості.

Азимути

Під час вирішення різних сільськогосподарських завдань необхідно знати розташування об'єктів стосовно сторін світу. Карти і плани складають так, щоб їх верхня сторона знаходилася на півночі. Для цього при вимірюванні лінії їх орієнтують на місцевості за відповідними правилами.

Орієнтування лінії на місцевості або карті є визначенням її напрямку щодо іншого напрямку, який беруть за вихідний, або початковий. При орієнтуванні за сторонами світу за початковий напрямок беруть меридіан.

Положення орієнтованої лінії визначається величиною кута, який називається *кутом орієнтування* між вихідним і обумовленим напрямками. За вихідні напрямки прийнято: географічний меридіан (на топографічних картах він має назву істинного), магнітний меридіан (збігається з напрямком вільно підвішеної магнітної стрілки) і осьовий меридіан (прийнятий за вісь XX у системі плоских прямокутних координат). В залежності від обраного вихідного напрямку кут орієнтування може бути істинний азимут, магнітний азимут, дирекційний кут або румб.

Кути орієнтування:

Азимут географічний або істинний (А) – кут, що відраховується від північного напрямку географічного меридіана до заданого напрямку. Меридіани між собою не паралельні, тому азимут ліній у кожній точці має різні значення. Географічний азимут можна виміряти безпосередньо на карті. Для цього транспортир суміщають із північним напрямком карти (паралельно вертикальній лінії внутрішньої рамки) і вимірюють горизонтальний кут.

Азимут магнітний (AM) – кут, що відраховується від північного напрямку магнітного меридіана до заданого напрямку. Магнітні азимуті напрямків вимірюються на місцевості за допомогою приладів, що мають магнітну стрілку (компаси, бусолі). На карті їх можна визначити за вимірним географічним азимутом і величиною магнітного схилення, що вказується на полях карти.

Усі названі кути відраховуються за годинниковою стрілкою і змінюються від 0 до 360°.

Географічні меридіани проходять від північного до південного географічного полюса. Магнітні меридіани проходять від північного до південного магнітного полюса. Оскільки географічні і магнітні полюси Землі знаходяться в різних точках планети, то географічний і магнітний меридіани в кожній точці земної поверхні не збігаються, а перетинаються під кутом схилення магнітної стрілки (δ). Зв'язок між магнітними та істинними азимутами має вираз:

$$A_M = A_i \pm \delta. \quad (1.9)$$

Знак «-» використовують, коли схилення магнітної стрілки східне, знак «+» – коли схилення магнітної стрілки західне (рис. 1.26).

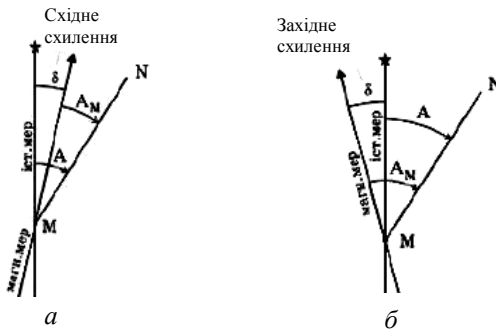


Рис. 1.26. Схилення магнітної стрілки: *а* – східне, *б* – західне

Через те, що всі меридіани на полюсах сходяться і не паралельні між собою, прямий азимут не дорівнює зворотному. Різниця між зворотним і прямим азимутами лінії дорівнює $A_1 - A = 180 + \gamma$. Кут γ між меридіаном Пн₁ Пд₁ точки *N* і лінією Пн₂ Пд₂, паралельною меридіану в точці *M* (рис. 1.27), – називають *зближенням меридіанів*. У східній половині зони зближення меридіанів називається східним і супроводжується знаком «плюс», а в західній поло-

вині зони зближення меридіанів називається західним і позначається знаком «мінус».

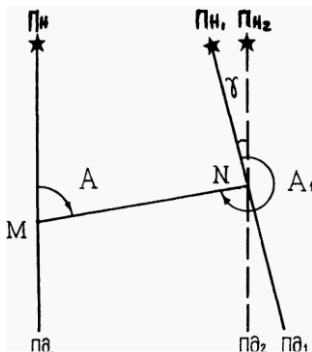


Рис. 1.27. Зближення меридіанів

Величину γ обчислюють за формулою: $\gamma = \Delta / \sin \varphi$; $\Delta l = \lambda - \lambda_0$ – різниця довгот осьового меридіана λ_0 і довготи λ точки, в якій обчислюють γ , $\lambda_0 = 6^\circ n - 3^\circ$; n – номер зони; φ – географічна широта точки, в якій обчислюють γ . На екваторі $\varphi = 0^\circ$ і $\gamma = 0^\circ$. Найбільше значення γ має на полюсі і збігається з різницею довгот.

1.14. Дирекційні кути

Із розглянутого вище цілком очевидно, що одна й та сама лінія в різних своїх точках має різні азимути, отже, при орієнтуванні її за азимутом необхідно точно вказати точку, в якій береться азимут. Було б набагато краще і зручніше для орієнтування лінії в кожній її точці брати кут не від меридіанів точок, а від напрямків, паралельних одному меридіану, тобто паралельних між собою. Тому для спрощення розрахунків напрямку лінії користуються дирекційними кутами.

Дирекційний кут (α) – кут, який вимірюють від північного напрямку осьового меридіана зони Гаусса-Крюгера або від вертикальних ліній координатної сітки паралельної осьовому меридіану, до напрямку на дану точку (рис. 1.28) за годинниковою стрілкою в межах від 0° до 360° .

Дирекційний кут можна визначити графічно та аналітично. Графічно – поміряти транспортиром, аналітично – за координатами точок лінії.

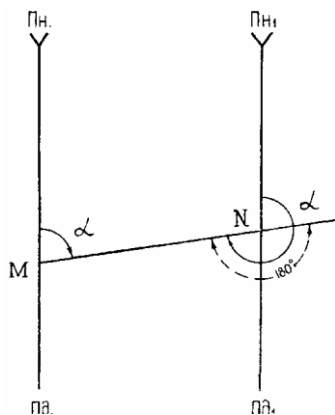


Рис. 1.28. Дирекційний кут

Якщо взяти дирекційний кут α_{MN} лінії MN за прямий напрямок, то зворотний напрямок α_{NM} обчислюється за формулою

$$\alpha_{NM} = \alpha_{MN} \pm 180^\circ, \quad (1.10)$$

Румб (r) – кут, що відраховується від найближчого, північного або південного напрямку меридіана (рис. 1.29). Румб змінюється від 0 до 90° і знаходиться в певній чверті, яка позначається відповідним напрямком, тому до кутової величини румба додається позначення чверті, у якому знаходиться орієнтована лінія. Наприклад, $A = 46^\circ$, $r = \text{ПнСх}:46^\circ$.

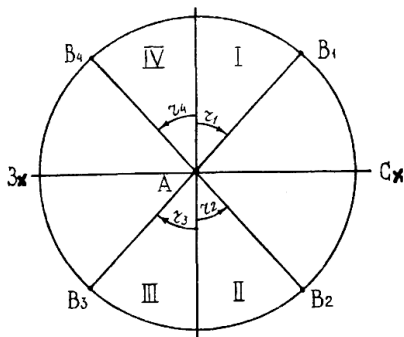


Рис. 1.29. Румби

Тобто значення румба подається у такому вигляді: вказують градусну величину румба, після якої пишуть назву чверті. I чверть –

Північний схід ПнСх, II чверть – Південний схід ПдСх, III чверть – Південний захід ПдЗх, IV чверть – Північний захід ПнЗх.

1.15. Пряма та обернена геодезичні задачі. Прирости координат

Під час опрацювання результатів геодезичних вимірювань на місцевості, необхідних для складання планів, при проєктуванні ділянок і об'єктів, перед перенесенням проєктів у натуру необхідно розв'язати дві задачі – пряму й обернену.

Прямою задачею в геодезії називають задачу, в якій за даними координатами однієї точки A (X_A і Y_A), дирекційним кутом з цієї точки на іншу α_{AB} та відстанню між ними (горизонтальним прокладанням) S_{AB} знаходять координати іншої точки B (рис. 1.30). Тобто відомо: X_A , Y_A , α_{AB} , S_{AB} ; необхідно визначити X_B , Y_B . На рис. 1.30 наведено найпростіший випадок, коли лінія AB розташована в першій чверті системи прямокутних координат та має північно-східний напрямок, коли дирекційний кут дорівнює румбу.

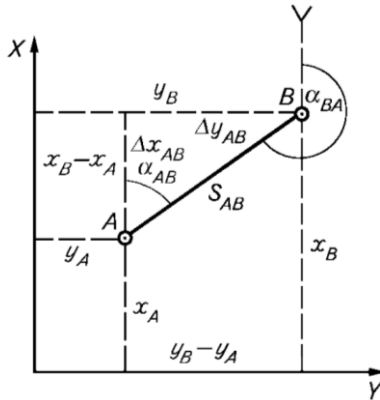


Рис. 1.30. Пряма геодезична задача

Із рис. (1.30) видно, що

$$X_B = X_A + (X_B - X_A); \quad Y_B = Y_A + (Y_B - Y_A). \quad (1.11)$$

Спроєктуємо точки A і B на осі координат. Проєкції лінії S_{AB} на осі X і Y , очевидно будуть дорівнювати $X_B - X_A$ та $Y_B - Y_A$. Різниця координат точок A і B називається приростами координат. Їх позначають як Δx і Δy , тому вираз (1.11) можна записати так:

$$X_B = X_A + \Delta x_{AB}; \quad Y_B = Y_A + \Delta y_{AB}. \quad (1.12)$$

Із рис. 1.24 видно, що прирости координат можуть бути визначені за дирекційним кутом лінії та її горизонтальним прокладанням, яке являється гіпотенузою прямокутного трикутника, у якому катети (прирости координат) можна отримати за формулами:

$$\Delta x_{AB} = S_{AB} \cos \alpha_{AB}; \quad \Delta y_{AB} = S_{AB} \sin \alpha_{AB} \quad (1.13)$$

Залежно від дирекційного кута прирости координат можуть мати різні знаки. Знаки приростів координат визначаються знаками тригонометричних функцій \sin і \cos відповідної чверті.

Залежність між дирекційними кутами і знаками приростів координат наведено в табл. 1.2 та на рис. 1.31.

Таблиця 1.2

Залежність між дирекційними кутами і знаками приростів координат

Прирости координат	Дирекційні кути			
	від 0° до 90°	від 90° до 180°	від 180° до 270°	від 270° до 0°
	I чверть	II чверть	III чверть	IV чверть
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

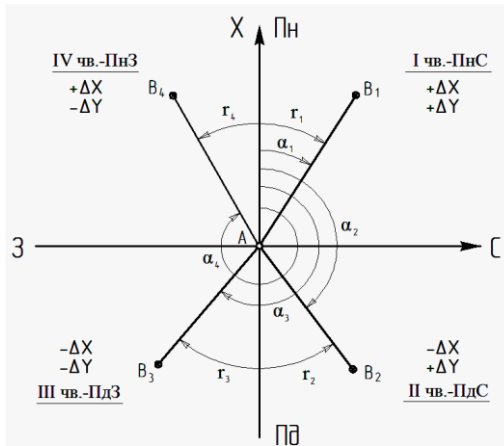


Рис. 1.31. Знаки приростів координат

Підставивши (1.13) у (1.12), отримаємо формули для розв'язання прямої геодезичної задачі:

$$X_B = X_A + S_{AB} \cos \alpha_{AB}; \quad Y_B = Y_A + S_{AB} \sin \alpha_{AB}. \quad (1.14)$$

Оберненою задачею в геодезії називають задачу визначення за відомими координатами двох точок відстані між ними та дирекційним кутом (див. рис. 1.30). Тобто відомо X_A, Y_A, X_B, Y_B ; необхідно визначити α_{AB}, S_{AB} .

Відповідно до рис. 1.30 по катетах прямокутного трикутника (приростах координат) $\Delta x_{AB} = X_B - X_A$ та $\Delta y_{AB} = Y_B - Y_A$ можна вирахувати дирекційний кут

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}. \quad (1.15)$$

Особливу увагу необхідно звертати на знаки приростів координат. Ці знаки відповідно до табл. 1.2 визначають румб, а отже, і величину дирекційного кута.

Горизонтальне прокладання S_{AB} згідно (1.13) можна визначити за двома формулами:

$$S_{AB} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (1.16)$$

Цю задачу можна розв'язати використовуючи в іншій послідовності, тобто спочатку визначається за теоремою Піфагора

$$S_{AB} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2}, \quad (1.17)$$

а потім дирекційний кут за формулами (1.13).

$$\sin \alpha_{AB} = \frac{\Delta y_{AB}}{S_{AB}}; \quad \cos \alpha_{AB} = \frac{\Delta x_{AB}}{S_{AB}}. \quad (1.18)$$

1.16. Передача дирекційного кута на лінію

Для розв'язання прямої геодезичної задачі, тобто для передачі координат з одної точки на іншу, необхідно знати дирекційний кут лінії. Його можна отримати трьома способами:

1) астрономічним способом (зі спостережень за небесними світилами) або за допомогою спеціального приладу – гіротеодоліта отримують азимут лінії, у який вводять поправку за зближення меридіан;

2) шляхом вимірювання магнітного азимута по бусолі з введенням поправки за відхилення магнітної стрілки і зближення меридіан;

3) шляхом передачі відомого дирекційного кута між двома пунктами A і B (рис. 1.32), закріпленими на місцевості та з відомими координатами, на лінію $1-2$, дирекційний кут якої необхідно визначити.

Вимірювання, пов'язані з передачею дирекційного кута та координат на лінії і точки, називають *прив'язкою* їх до пунктів геодезичної мережі.

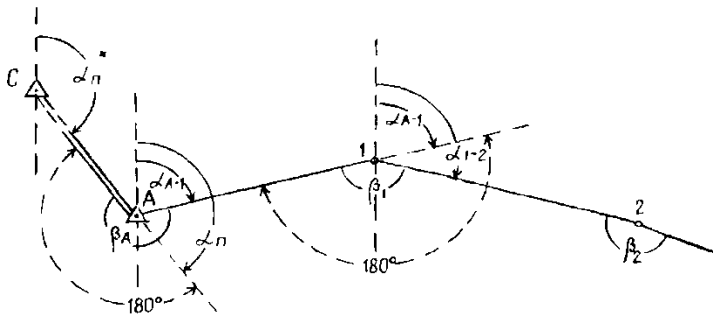


Рис. 1.32. Передача дирекційного кута на лінію

Розглянемо третій спосіб. Відомий дирекційний кут α_{CA} лінії CA називають *вихідним*. Якщо він невідомий, а відомі тільки координати точок C і A , то дирекційний кут лінії CA розраховують шляхом розв'язання оберненої геодезичної задачі за формулою (1.15). Для вирахування дирекційного кута α_{1-2} лінії $1-2$ необхідно на місцевості виміряти горизонтальні кути: β_A при точці A і β_1 при точці 1. Замітимо, що ці кути розташовані справа по ходу і називаються *правили*. Кут β_A зв'язує вихідну сторону CA з наступною лінією $A1$ і називається *примикальним кутом*.

Для отримання дирекційного кута α_{A1} лінії $A1$ (рис. 1.32) скористаємося тією властивістю дирекційного кута, що він не змінюється на всіх точках лінії. Тому вихідний дирекційний кут α_{CA} з точки C перенесемо в точку A . Тоді безпосередньо з рис. 1.32 видно, що

$$\alpha_{A1} = \alpha_{CA} - 180^\circ - \beta_A.$$

Далі аналогічно можна вирахувати і дирекційний кут α_{1-2} лінії $1-2$. З рис. 1.26 видно, що $\alpha_{1-2} = \alpha_{A1} + 180^\circ - \beta_1$.

Відповідно можна сформулювати правило: *дирекційний кут наступної лінії дорівнює дирекційному куту попередньої лінії плюс 180° , мінус правий кут між цими лініями.*

Якщо на місцевості виміряні ліві кути, то відповідно: *дирекційний кут наступної лінії дорівнює дирекційному куту попередньої лінії мінус 180° , плюс лівий кут між цими лініями.*

1.17. Загальногеографічні, топографічні й тематичні карти

Географічні карти за своїм призначенням, масштабом і змістом поділяють на *загальногеографічні* й *тематичні*.

На загальногеографічних картах зображують як фізико-географічні елементи місцевості у вигляді рельєфу, гідрографії, ґрунтово-рослинного покриття, так і соціально-економічні елементи – як населені пункти, кордони, дороги тощо.

До тематичних карт належать:

1. Карти, на яких один з елементів загальногеографічної карти (наприклад рельєф) зображується з особливою повнотою і детальністю, порівняно з іншими елементами, частина яких може бути навіть пропущена.

2. Карти, на яких усі елементи загальногеографічної карти зображені не повно і спрощено, але додатково нанесені дані, які характеризують, наприклад, клімат, ґрунти, рослинність або будь-які економічні відомості.

Загальногеографічні карти масштабу 1:1000 000 і більших масштабів називають топографічними.

Карти масштабу 1:1000 000 і 1:500 000 називаються оглядово-топографічними.

За масштабом топографічні карти поділяють на:

- великомасштабні (1:2000, 1:5000, 1:10 000);
- середньомасштабні (1:25 000, 1:50 000, 1:100 000);
- дрібномасштабні (1:200 000, 1:500 000, 1:1000 000).

1.18. Міжнародне розграфлення і номенклатура аркушів карти масштабу 1:1000 000

В основі номенклатури топографічних карт усіх масштабів лежить номенклатура карти масштабу 1:1000 000, яку називають Міжнародною картою світу (рис. 1.33).

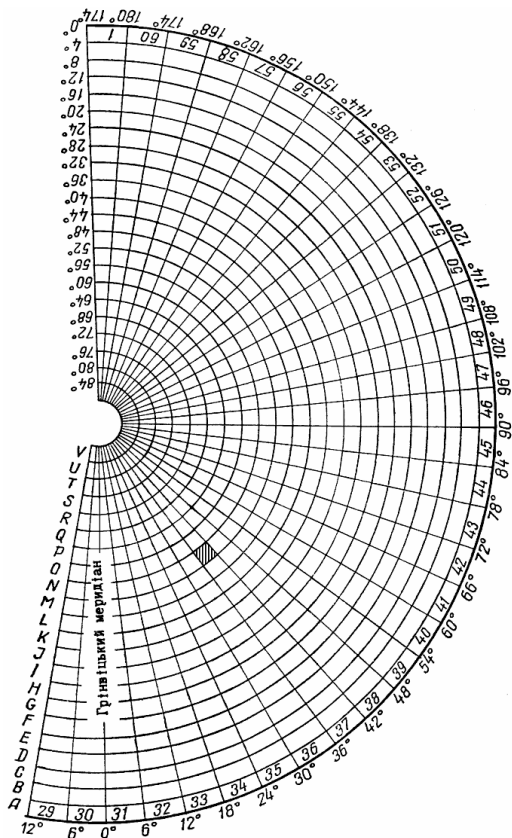


Рис. 1.33. Міжнародне розграфлення карти масштабу 1:1 000 000

Поверхню землі поділяють меридіанами на смуги, які проводяться за довготою через 6° . Ці смуги називають колонами. Початок відліку колон-меридіан з довготою 180° і їх нумерація їх збільшуються із заходу на схід від 1 до 60. Крім цього, поверхню Землі поділяють на ряди паралелями через 4° за широтою, починаючи від екватора, в обидва боки. Кожний ряд позначають великою літерою латинського алфавіту від *A* до *V*.

Номенклатура окремих аркушів складається з літери ряду і номера колони. Наприклад, *N-37* (рис. 1.33). Це означає, що даний аркуш карти знаходиться в ряду *N* і в 37 колоні. Система позначення окремих аркушів карт називається номенклатурою карт, а поділ

аркуша карти одного масштабу на аркуші карти більш великого масштабу називається розграфленням топографічних карт.

1.19. Номенклатура і розміри аркушів топографічних карт

Прийняті у нас кутові розміри рамок аркушів карт різних масштабів наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Кутові розміри рамок аркушів карт різних масштабів

Масштаб карти (плану)	Розміри рамок аркушів карт	
	за широтою	за довготою
1:1 000 000	4°	6°
1:500 000	2°	3°
1:200 000	40'	1°
1:100 000	20'	30'
1:50 000	10'	15'
1:25 000	5'	7' 30''
1:10 000	2' 30''	3' 45''
1:5 000	1' 15''	1' 52'' 5
1:2 000	25''	37'' 5

При переході до аркушів карти більш великих масштабів поділ аркуша карти масштабу 1:1000 000 здійснюється в такій послідовності:

Аркуш карти масштабу 1:500 000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:1000 000 на 4 частини і кожна частина позначається великими літерами *А, Б, В, Г* (рис. 1.34).

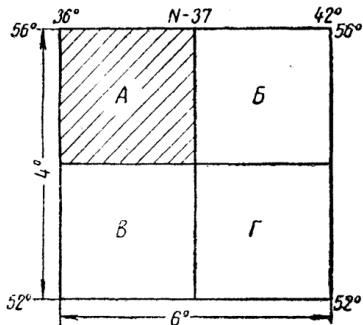


Рис. 1.34. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:500 000

Розміри аркуша карти 2° за широтою і 3° за довготою. Номенклатура аркуша карти складається з номенклатури аркуша карти 1:1000 000 і літери аркуша карти масштабу 1:500 000, N-37-A.

Аркуш карти масштабу 1:200 000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:1000 000 на 36 частин, кожна частина позначається римськими цифрами від I до XXXVI (рис. 1.35). Номенклатура аркуша складається з номенклатури аркуша карти 1:1000 000 і номера аркуша карти масштабу 1:200 000 N-37-IX. Розміри аркуша карти за широтою 0°40' і довготою 1°.

Аркуш карти масштабу 1:100 000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:1000 000 на 144 частини (рис. 1.36).

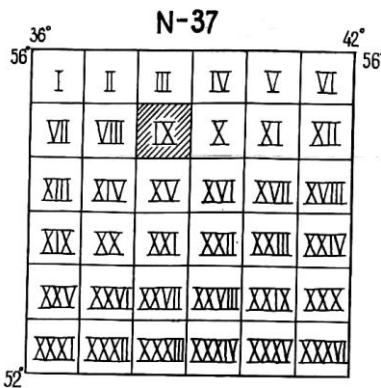


Рис. 1.35. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:200 000

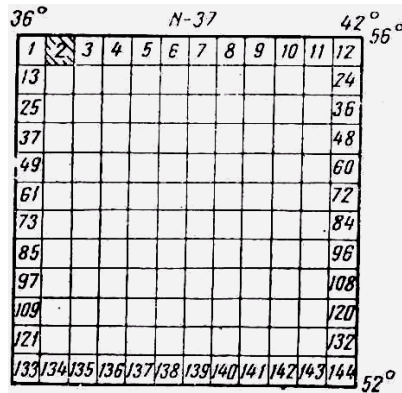


Рис. 1.36. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:100 000

Кожна частина нумерується порядковим номером від 1 до 144. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:100 000 складається з номенклатури аркуша масштабу 1:1000 000 і номера аркуша карти 1:100 000 N-37-2. Розміри аркуша карти за широтою 20' і за довготою 30'.

Аркуш карти масштабу 1:50 000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:100 000 на 4 частини (рис. 1.37). Кожна частина позначається великими літерами А, Б, В, Г. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:50 000 складається з номенклатури аркуша карти масштабу 1:100 000 і літери аркуша карти масштабу 1:50 000. N-37-2-Б. Розміри аркуша карти за широтою 10' і за довготою 15'.

Аркуш карти масштабу 1:25 000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:50 000 на 4 частини (рис. 1.38). Кожна частина позначається літерами *a*, *б*, *в*, *г*. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:25 000 складається з номенклатури карти масштабу 1:50 000 і літери аркуша карти масштабу 1:25 000. *N-37-2-Б-а*. Розміри аркуша карти за широтою 5' і за довготою 7'30".

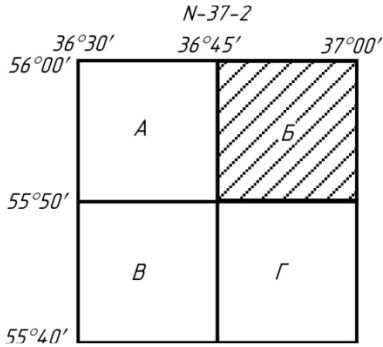


Рис. 1.37. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:50 000

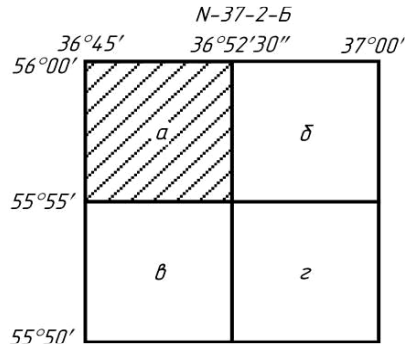


Рис. 1.38. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:25 000

Аркуш карти масштабу 1:10 000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:25 000 на 4 частини. Кожна частина нумерується порядковим номером 1, 2, 3, 4 (рис. 1.39). Номенклатура аркуша карти масштабу 1:10 000 складається з номенклатури аркуша карти масштабу 1:25 000 і відповідного номера аркуша карти масштабу 1:10 000. *N-37-2-Б-а-4*. Розміри аркуша карти за широтою 2'30" і за довготою 3'45".

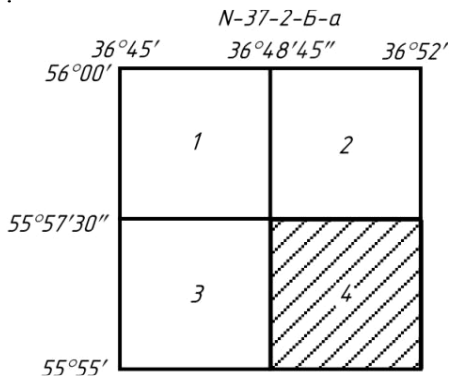


Рис. 1.39. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:10 000

Для утворення номенклатури карти масштабу 1:5000 за основу беруть аркуш карти масштабу 1:100 000, який ділять на 256 частин (рис. 1.40). Номенклатура аркуша карти масштабу 1:5000 складається з номенклатури аркуша карти масштабу 1:100 000 і відповідного номера від 1 до 256 аркуша карти масштабу 1:5000, який підписується в дужках. Наприклад, *N-37-2-(60)*. Розміри аркуша карти за шириною 1'15" і за довготою 1'52,5".

<i>N-37-2</i>																
<i>36°30'</i>														<i>37°00'</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	<i>56°00'</i>
17															32	
33															48	
49											(60)				64	
65															80	
81															96	
97															112	
113															128	
129															144	
145															160	
161															176	
177															192	
193															208	
209															224	
225															240	
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	<i>55°40'</i>

Рисунок 1.40. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:5 000

Аркуш карти масштабу 1:2000 одержують діленням аркуша карти масштабу 1:5000 на 9 частин (рисунок 1.41). Кожна частина позначається малими літерами *a, б, в, г, д, е, ж, з, і*. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:2000 складається з номенклатури аркуша масштабу 1:5000 і відповідної літери аркуша карти масштабу 1:2000, які підписують в дужках *N-37-2-(60-з)*. Розміри аркуша карти за шириною 25" і за довготою 37,5".

Квадратне розграфлення планів

Розграфлення планів масштабу 1:5000 і більших масштабів можна проводити на планшеті в квадратному розграфленні. В даному випадку за основу приймають планшет масштабу 1:5000, наприклад 15, з розмірами рамок 40 на 40 см і кожний квадрат нумерують арабськими цифрами (рис. 1.42).

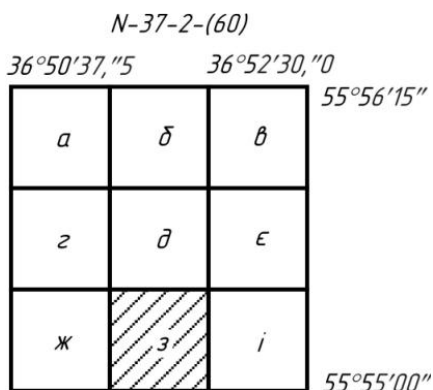


Рис. 1.41. Номенклатура аркуша карти масштабу 1:2 000

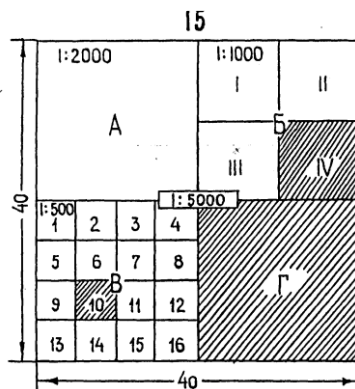


Рис. 1.42. Квадратне розграфлення планів

Аркуш плану масштабу 1:2000 одержують діленням аркуша плану масштабу 1:5000 на 4 частини. Кожна частина позначається великими літерами алфавіту *A*, *B*, *B*, *Г* (рис. 1.42). Номенклатура складається з номера квадрата аркуша плану масштабу 1:5000 і відповідної літери аркуша плану масштабу 1:2000. Наприклад, 15-*Г*. Розміри квадрата 50 на 50 см.

Аркуш плану масштабу 1:1000 одержують діленням аркуша плану масштабу 1:2000 на 4 частини. Кожна частина нумерується римськими цифрами від I до IV (рис. 1.42). Номенклатура складається з номенклатури аркуша плану масштабу 1:2000 і відповідного номера аркуша плану масштабу 1:1000. Наприклад, 15-*B-IV*. Розміри квадрата 50 на 50 см.

Аркуш плану масштабу 1:500 одержують діленням аркуша плану масштабу 1:2000 на 16 частин. Кожна частина нумерується арабськими цифрами від 1 до 16 (рис. 1.42). Номенклатура складається з номенклатури аркуша плану масштабу 1:2000 і відповідного номера аркуша плану масштабу 1:500. Наприклад, 15-*B-10*. Розміри аркуша плану 50 на 50 см.

Заяпитання та завдання для самоперевірки

1. Які наукові і практичні завдання геодезії?
2. Яке значення геодезії в народному господарстві?

3. Яка роль геодезії в землеустрої?
4. Які одиниці вимірювання застосовуються в геодезії?
4. Що таке рівнева поверхня?
5. Що називають геоїдом?
6. Що називають квазігеоїдом?
7. Що називається земним еліпсоїдом та які його параметри?
8. Що називають референц-еліпсоїдом?
9. Які основні лінії і площини еліпсоїда обертання?
10. Що таке географічні координати?
11. Що називають нормальними площинами?
12. Що таке прямовисна лінія?
13. Розкажіть про географічні координати точки.
14. Що називають астрономічними координатами?
15. Що таке система прямокутних координат Гаусса-Крюгера?
16. Дайте визначення системи прямокутних координат.
17. Дайте визначення полярної системи координат.
18. Які бувають висоти точок земної поверхні?
19. Що таке масштаб плану чи карти, як розрізняють форми масштабу?
20. Що таке гранична точність масштабу?
21. Назвіть елементи геодезичних вимірювань на місцевості.
22. Як визначається горизонтальне прокладання лінії?
23. Які принципи вимірювання кутів?
24. У чому суть методу ортогонального проектування?
25. Що називається планом місцевості?
26. Що називають картою?
27. Що називається профілем місцевості?
28. Дайте визначення картографічних умовних знаків/
29. Як поділяються картографічні умовні знаки?
30. Які основні форми рельєфу?
31. Назвати класифікацію рельєфу за різними ознаками.
32. Назвіть способи зображення рельєфу на планах і картах.
33. Що називають горизонталями?
34. Що називається висотою перерізу рельєфу?
35. Як визначаються висоти точок місцевості за горизонталями?
36. Що називають кутом нахилу лінії?
37. Як провести лінії заданого ухилу на карті?
38. Як побудувати профіль лінії за заданим на карті напрямком?
39. Як здійснюють орієнтування лінії на місцевості або карті?
40. Що таке географічний азимут?

41. Що таке магнітний азимут?
42. Що таке схилення магнітної стрілки?
43. Що називають зближенням меридіанів?
44. Що називається дирекційним кутом?
45. Що таке румб?
46. Що називають прямою задачею в геодезії?
47. Яка залежність між дирекційними кутами і знаками приростів координат?
48. Що називають оберненою задачею в геодезії?
49. Як здійснюється передача дирекційного кута на лінію?
50. Що називають прив'язкою до пунктів геодезичної мережі?
51. Які карти належать до тематичних?
52. Що таке міжнародне розграфлення і номенклатура аркушів карти?
53. Як визначається номенклатура і розміри аркушів топографічних карт?
54. Коли застосовують квадратне розграфлення планів?

Розділ 2

ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Оптичні системи геодезичних приладів

У геодезичних приладах широко застосовують різноманітні оптичні системи:

- плоскопаралельні пластини у вигляді дзеркал, захисного скла, скляних лімбів, шкал;
- призми внутрішнього відбиття для зміни напрямку ходу променів та обернення зображень;
- системи оптичних клинів у оптичних мікрометрах;
- центровані системи – такі, як лупи та мікроскопи, щоб розглядати дрібні предмети на близьких віддалях, наприклад, відлікові шкали; зорові труби, щоб розглядати віддалені предмети.

Лупа, мікроскоп та зорова труба належать до візуальних оптичних систем. До них ставлять спільні вимоги. Зокрема, промені, пройшовши ці системи, повинні потрапляти до ока паралельними пучками.

Лупа. Роздільна здатність ока людини в кутовій мірі дорівнює 40...60». Щоб розглядати дрібні та близько розташовані поділki шкал геодезичних приладів, застосовують лупи та мікроскопи. Лупа – короткофокусна збірна лінза, що слугує для розглядання предметів, які розміщені близько від ока.

Мікроскопи. Мікроскоп – це доволі складна оптична система; у геодезичних приладах він слугує переважно для розглядання шкал. Мікроскоп складається із двох збірних систем – об'єктива й окуляра, кожний з яких є складною оптичною системою.

Зорові труби геодезичних приладів. У геодезичних приладах зорові труби слугують для візування, а також відлічування шкал, рейок, марок та інших візирних цілей. Сучасні зорові труби є складними оптично-механічними пристроями, що містять, щонайменше, об'єктив, окуляр та сітку ниток. Вони будують збільшене пряме або обернене зображення. У зорових трубах з прямим зобра-

женням між окуляром та об'єктивом розташована лінзова або призмона система, яка разом з окуляром формує пряме зображення.

У геодезичних приладах використовують переважно зорову трубу Кеплера, яка складається з позитивного об'єктива з великою фокусною віддаллю та позитивного короткофокусного окуляра (рис. 2.1).

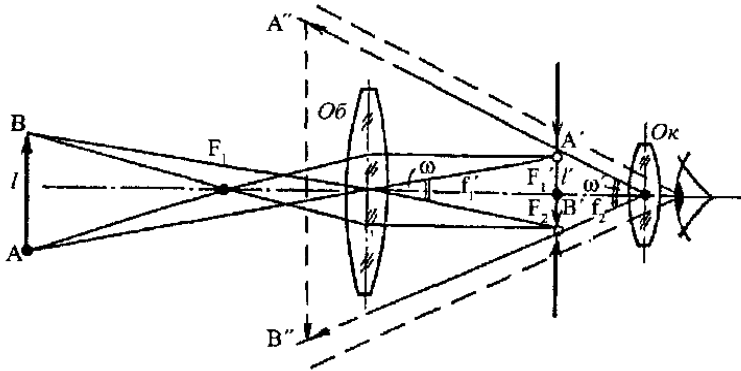


Рис. 2.1. Побудова зображення зоровою трубою

Об'єктив формує дійсне перевернуте зменшене зображення предмета l' . Віддаль від об'єктива до візирної цілі значно перевищує подвійну фокусну віддаль і тому зображення l' , яке формується поблизу заднього фокуса об'єктива, розглядають через окуляр, як через лупу.

Оптична система окуляра розташована безпосередньо перед оком і слугує для розглядання зображення, побудованого об'єктивом.

2.1.1. Елементи конструкції зорової труби

Сітка ниток, осі зорової труби. Для спрямування зорової труби на точку візування в ній має бути візирна вісь, положення якої задається двома точками і повинно лишатися на час візування незмінним.

Візирна вісь – уявна пряма, яка проходить через задню головну точку об'єктива і центр перехрестя сітки ниток.

Сітку ниток гравіюють на плоскопаралельній пластинці у вигляді двох тонких штрихів (завтовшки 1–2 мкм), що перетинаються

під прямим кутом. Раніше її виготовляли натягуванням навхрест двох ниток павутиння, звідки й пішло перехрестя сітки ниток.

Перехрестя сітки на тлі зображення об'єкта, на який наведена зорова труба, повинно бути виразним, без паралаксу. Для цього сітка ниток має розташовуватися в тій самій площині, у якій об'єкт формує дійсне зображення об'єкта. Тому сітку ниток встановлюють у зоровій трубі так, щоб вона розташовувалася в передній фокусній площині окуляра.

Плоскопаралельну пластинку із сіткою ниток закріплюють в оправі, що має вигляд кільця. Саме кільце із сіткою ниток можна переміщувати у невеликих межах юстувальними гвинтами, змінюючи в разі необхідності положення візирної осі.

Оптична система зорової труби має бути ретельно й точно відцентрована. Центри кривини всіх заломлювальних сферичних поверхонь оптичної системи зорової труби повинні міститися на одній прямій, яку називають оптичною віссю зорової труби.

Другою основною віссю зорової труби є візирна вісь, про яку гадувалося вище. Окрім двох названих, існує геометрична вісь, що збігається з віссю симетрії оправ зорової труби.

Зорову трубу складають за допомогою спеціальних оптично-механічних пристроїв та юстують так, щоб усі три осі збігалися.

Фокусувальні компоненти зорової труби. Із зміною віддалі до візирної цілі змінюється положення зображення її на оптичній осі, яке формує об'єктів. Щоб бачити зображення, необхідно щоб воно було розміщене в передній фокусній площині окуляра. Для цього в зоровій трубі з зовнішнім фокусуванням уздовж оптичної осі труби переміщали окуляр. Нині зорові труби із зовнішнім фокусуванням не випускають, їх повністю замінили зорові труби з внутрішнім фокусуванням.

2.1.2. Основні оптичні характеристики зорових труб

Основними оптичними характеристиками зорової труби є збільшення труби Γ^x , кут поля зору та її роздільна здатність.

Збільшення зорової труби, визначення збільшення. Збільшення зорової труби показує, у скільки разів збільшуються видимі розміри предмета, якщо його розглядають через зорову трубу, порівняно з розмірами того самого предмета, видимого неозброєним оком.

Поле зору зорової труби. Поле зору зорової труби називають обмежений конусною поверхнею простір, який оглядають через зорову трубу, встановлену на нескінченність.

Роздільна здатність зорової труби. Роздільна здатність оптичної системи – це можливість давати окреме зображення кожної з двох сусідніх точок предмета. Вона характеризується найменшим кутом r , під яким дві сусідні точки ще видно кожною окремо. Роздільну здатність неозброєного ока беруть $60''$. Роздільну здатність зорової труби можна записати так:

$$r = \frac{60''}{\tilde{\Lambda}^x}, \quad (2.1)$$

де Γ^x – збільшення труби.

Паралакс сітки ниток. Паралаксом сітки ниток називають незбіг зображення предмета з площиною сітки ниток зорової труби. Якщо змінювати положення ока спостерігача, то за наявності паралакса буде здаватися, що зображення предмета переміщується відносно сітки ниток. Обертанням кремальєри домагаються різкого зображення предмета і позбавляються від паралакса сітки ниток.

2.2. Відлікові пристрої геодезичних приладів

Геодезичні прилади призначені для порівняння вимірюваних величин з робочими мірами приладів. У геодезичних приладах робочі міри найчастіше відтворюють одиниці довжини, кутові одиниці, одиниці частоти й часу.

2.2.1. Шкали геодезичних приладів

Призначення шкал. Вимоги до них. Шкали є невід’ємними частинами геодезичних приладів. Вони слугують мірами, з якими порівнюють вимірювані величини.

Шкала являє собою систему штрихів, нанесених на будь-якій поверхні і розташованих нормально до лінії, яку називають осью. Залежно від форми та розташування осьової лінії шкали поділяють на лінійні та криволінійні.

У геодезичних приладах із криволінійних шкал зазвичай використовують колові. Прикладом лінійної шкали може бути рейка або рулетка, а колової – шкала круга кутомірного приладу, наприклад, теодоліта.

Розрізняють рівномірні та нерівномірні шкали. Нерівномірні шкали застосовують, зокрема, у вимірних електротехнічних приладах, наприклад, у вольтметрах та амперметрах. У геодезичних приладах використовують зазвичай рівномірні шкали. У таких шкалах штрихи розташовані на однаковій віддалі один від одного. Один штрих шкали вважають початковим. У лінійних шкалах він розташований на початку (кінці) шкали, а у колових безперервних ним може бути будь-який штрих шкали.

Інтервали між суміжними штрихами шкали називають *поділками*, а різницю значень двох суміжних штрихів – *ціною поділки*. Для зручності відрахування штрихи шкали підписують через певні проміжки. Частіше підписують штрихи, які відповідають цілій кількості значень, наприклад, сантиметрів, дециметрів, мінут, градусів тощо. Зазвичай підписують штрихи, кратні 5 або 10. Підписані штрихи виконують довшими за решту штрихів. Для зручності коротшими від підписаних, але довгими від рядових можуть бути й не підписані штрихи, наприклад, півградусні. Якщо шкалу, яку відраховують, розглядають через мікроскопа, штрихи підписують так, щоб у полі зору мікроскопу було видно одночасно не менше від двох підписаних штрихів. Зазвичай на шкалах кругів, коли відліковим пристроєм слугує мікроскоп, підписують кожний градус.

На кругах оптичних теодолітів шкали наносять у вигляді однієї доріжки штрихів, рівновіддалених один від одного. Інтервали між штрихами на доріжках функціонально пов'язані. Кожна доріжка – це комбінація із прозорих та непрозорих смужок.

До шкал геодезичних приладів ставлять такі основні вимоги:

1. Усі поділки основних вимірних шкал повинні бути рівними. Нерівномірними можуть бути лише другорядні додаткові шкали, наприклад, такі, що містять поправки до основних вимірних шкал.

2. Загальна довжина шкали має дорівнювати номінальній величині, а різниця між ними повинна бути настільки малою, щоб нею можна було знехтувати.

3. Якість матеріалу шкал повинна забезпечити можливість нанесення штрихів потрібної товщини.

4. Матеріал, на який нанесена шкала, повинен забезпечити збереження всіх початкових параметрів шкали впродовж тривалого часу.

5. Центр колової шкали, який розміщений у точці перетину напрямків всіх штрихів, має збігатися з віссю обертання шкали.

2.2.2. Призначення відлікових пристроїв

Щоб виміряти будь-яку величину, наприклад, довжину лінії або кут, необхідно відлічити відповідну шкалу.

Відліком називають величину лінійного відрізка або дуги від нульового штриха до індексу, що дотикається до шкали, або спроектований на неї.

Штрихи шкали, між якими розміщений індекс або його проекція, називають молодшим та старшим за мірою їхнього віддалення від початкового (нульового) штриха шкали.

На рис. 2.2, *a* – молодший, *b* – старший штрих відповідно. Відлік *S* рівномірної шкали, наведеної на рис. 2.2:

$$S = (N + x)\lambda = N\lambda + x\lambda, \quad (2.2)$$

де *N* – кількість цілих поділок шкали між початковим (нульовим) штрихом шкали та індексом (фактично це номер молодшого штриха *a*); *x* – дробова частка поділки між молодшим штрихом та індексом *I*; λ – ціна поділки шкали.

Зазвичай, під час відлічування індекс найчастіше не збігається з будь-яким штрихом. Для визначення $\Delta = x\lambda$, власне, дробової частки шкали призначені відлікові пристрої.

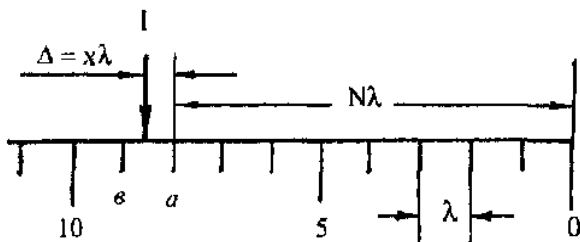


Рис. 2.2. Принцип відлічування шкали

За способом вимірювання кутової величини Δ відлікові пристрої кутомірних приладів поділяють так:

1. Верньєри, у яких використовують здатність ока визначати суміщення штрихів як продовження один одного.
2. Штрихові мікроскопи. Вони ґрунтуються на можливості людського ока з великою точністю відлічувати десяті частки поділки.
3. Шкалові мікроскопи, у яких для відлічування дробової частки поділки застосовують спеціальні шкали.

4. Мікроскопи з гвинтовими мікрометрами.
5. Мікроскопи з оптичними мікрометрами, у яких використовують як компенсатори оптичні деталі.
6. Відлікові пристрої електронних приладів.

2.2.3. Верньєр

Верньєр – це сектор колової шкали алідади, що дотикається до шкали круга (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Верньєр: 1 – круг; 2 – алідада

На рис. 2.3 крайні поділки шкали верньєра (алідади) збігаються з двома поділками шкали круга. Між крайніми поділками верньєра міститься n поділок круга (три поділки) і $n+1$ поділок верньєра (чотири поділки). На рис. 2.3: λ – ціна поділки круга; μ – ціна поділки верньєра; t – різниця між величинами поділки круга і верньєра, яку називають точністю верньєра.

$$t = \lambda - \mu. \quad (2.3)$$

2.2.4. Штриховий мікроскоп

Штриховий мікроскоп – це відліковий пристрій, який слугує для окомірного оцінювання дробової частки поділки шкали між її молодшим штрихом та індексом.

У полі зору окуляра мікроскопа одночасно видно ділянки шкал кругів (наприклад, теодолітів горизонтального і вертикального) та спроектований на них індекс – штрих-показчик, який паралельний до штрихів шкал (рис. 2.4). Це дає змогу відлічувати горизонтальний та вертикальний круги одночасно.

Відлік штрихового мікроскопа

$$S = N\lambda + \Delta = N\lambda + x\lambda, \quad (2.4)$$

де N – кількість цілих поділок шкали круга; x – дробова частка поділки; λ – ціна поділки шкали круга.

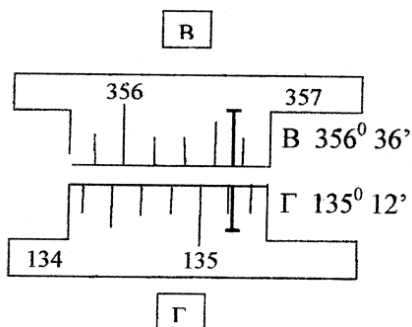


Рис. 2.4. Принцип відлічування штрихового мікроскопа (горизонтальний круг $135^{\circ}12'$, вертикальний круг $356^{\circ}36'$)

2.2.5. Шкаловий мікроскоп

За конструкцією шкаловий мікроскоп подібний до штрихового. Головна його відмінність у тому, що на такій самій скляній плоскопаралельній пластині нанесена спеціальна шкала, що слугує для оцінювання дробових часток поділки круга. Розмір, власне, довжину шкали підбирають так, щоб видима величина однієї поділки круга дорівнювала довжині шкали.

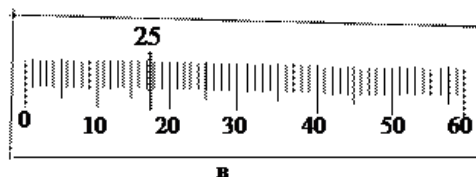


Рис. 2.5. Шкаловий мікроскоп (відлік: $25^{\circ}17'.5$)

2.2.6. Односторонній оптичний мікрометр

Оптичні мікрометри є точними відліковими пристроями, у конструкції яких є одна рухома оптична деталь, переміщення якої фіксує з'єднана з нею шкала. В оптичних мікрометрах використовують плоскопаралельні пластини, клини або лінзи, що мають здатність змінювати напрямок променів світла, які пройшли крізь них. Найпоширеніші оптичні мікрометри з плоскопаралельними пластинами та оптичними клинами.

На рис. 2.6 шкала мікрометра розташована над зображеннями штрихів кругів. У бісектор введено штрих $327^{\circ}40'$ горизонтального

круга і штрих $178^{\circ}20'$ вертикального круга ($\lambda = 20'$; $\mu = 10''$). Відлік горизонтального круга $327^{\circ}56'49''$, вертикального – $178^{\circ}36'49''$.

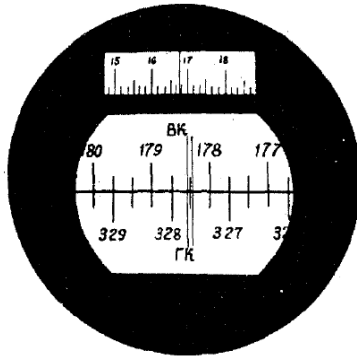


Рис. 2.6. Відлік у теодоліті ТТ4 ($\lambda = 20'$; $\mu = 10''$)

2.2.7. Двосторонній оптичний мікрометр

За допомогою відлікових пристроїв, описаних вище, відлічують тільки одну сторону круга, що не дає можливості уникати впливу ексцентриситету аліади та круга на результати вимірювань. Проте під час точних та високоточних вимірювань цього впливу бажано уникнути або звести до мінімуму. Для цього застосовують спосіб суміщеного відлічування.

Цей спосіб відлічування дає змогу за допомогою одного відлікового пристрою одержати відлік, вільний від ексцентриситету аліади (рис. 2.7).

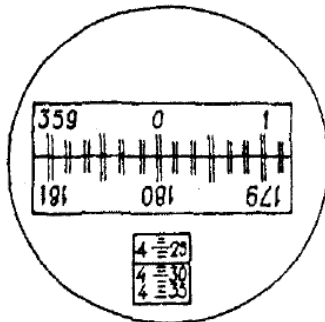


Рис. 2.7. Відлік у теодоліті Т1 – $00^{\circ}04'27,5''$ ($\lambda = 10'$; $\mu = 1''$)

2.3. Рівні

Рівнями називаються пристрої для встановлення ліній або площин у горизонтальне чи прямовисне положення. У геодезичних приладах рівні слугують для встановлення вузлів приладів прямовисно або горизонтально. Рівні використовують також для вимірювання малих кутів нахилу. За принципом дії рівні бувають рідинні, електронні та пружні.

2.3.1. Рідинні рівні

У геодезичних приладах широко застосовують рідинні рівні. Основним конструктивним елементом рідинного рівня є заповнена рідиною ампула. Ампула встановлена в оправі, за допомогою якої її закріплюють на приладі. За формою ампули рідинні рівні поділяють на циліндричні та сферичні. Сферичні рівні призначені для менш точного, а циліндричні для точнішого встановлення вузлів приладу в задане положення.

За точністю рівні поділяються так: установлюючі (найчастіше сферичні), з ціною поділки 5...10'; технічні, що мають ціну поділки близько однієї мінуті; точні, у яких ціна поділки не перебільшує 30", високоточні, що мають ціну поділки не більше за 10".

Ампулу заповнюють нагрітою легкорухомою рідиною, яка не розкладається від дії світла і тепла та має низьку точку замерзання (до -50°C). У запаяній ампулі залишається бульбашка, що являє собою пари рідини, якою наповнюють ампулу. Зазвичай бульбашка має 0,3...0,4 довжини ампули за $t^{\circ} = +20^{\circ}\text{C}$. Як рідину для наповнення ампули використовують найчастіше ефір етиловий наркозний (для точних та високоточних рівнів), або суміш його зі спиртом етиловим (для установлюючих рівнів). Бульбашка рівня завжди намагається переміститися так, щоб зайняти найвище положення (рис. 2.8). Для того, щоб фіксувати переміщення бульбашки рівня і визначити у будь-який момент її положення, на зовнішній поверхні ампули гравіюванням наносять поділки, перпендикулярні до її поздовжньої осі. Віддаль між штрихами, як правило, 2 мм. Штрихи шкал ампул точних та високоточних рівнів оцифровують.

Що менша ціна поділки, то точніший рівень. Середина шкали рівня називається *нуль-пунктом*.

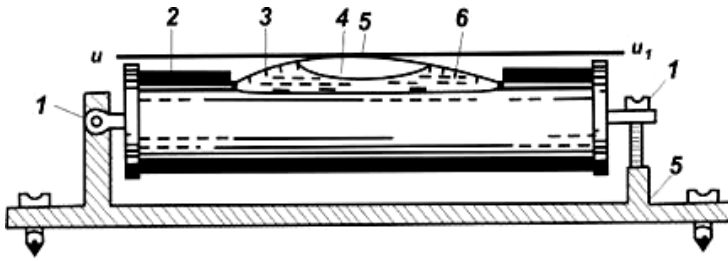


Рис. 2.8. Будова циліндричного рівня: 1 – гвинти циліндричного рівня (юстувальні); 2 – гільза рівня; 3, 6 – поділки; 4 – бульбашка рівня; 5 – дотична

2.4. Загальні відомості про сучасні теодоліти

Теодоліт – прилад для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

Структурну схему теодоліта показано на рис. 2.9.

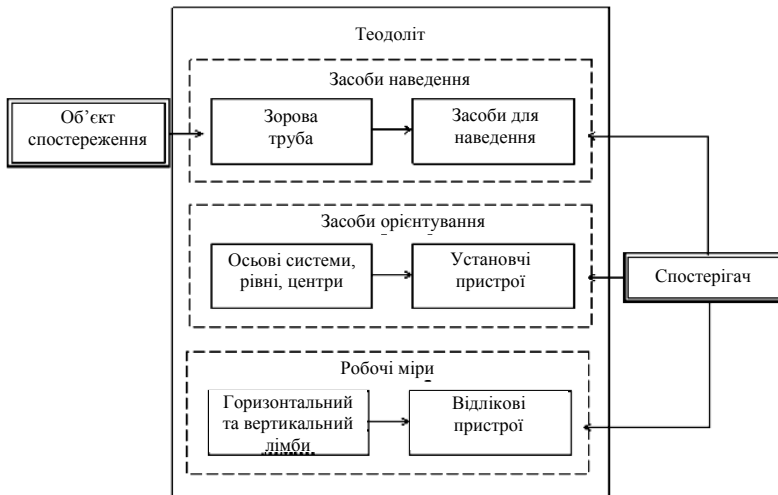


Рис. 2.9. Структурна схема теодоліта

Спочатку розглянемо його загальні блоки та визначимо їх призначення, далі вивчимо більш детально принцип їх роботи.

Призначення засобів наведення – забезпечення надійного наведення візирної осі зорової труби на об'єкт спостережень (візирна ціль).

Призначення засобів орієнтування – забезпечення орієнтування осей теодоліта в гравітаційному полі Землі і збереження орієнтування протягом певного проміжку часу.

Призначення робочих мір – забезпечення вимірювання горизонтального та вертикального кутів. Робочі міри або відлікові пристрої теодолітів представлені різними видами мікроскопів – штриховий, шкальний і мікроскоп-мікромір. Вони використовуються для різних систем відліку, які здійснюють передачу зображення шкал, по яких роблять відлік у полі зору мікроскопа. До складу відлікового пристрою теодолітів входить і алідада, яка безпосередньо орієнтує відліковий пристрій щодо лімба горизонтального і вертикального кола, і укріплена на підставках зорова труба, що орієнтує теодоліт (візирну вісь) відносно об'єкта вимірювання.

Основними частинами теодоліта є горизонтальний і вертикальний круги, зорова труба, що може обертатися навколо власної осі обертання, а також довкола вертикальної осі, пристрої для відлічування кругів, приведення вертикальної осі в прямовисний стан та центрування приладу над точкою.

Для виготовлення високоякісних приладів використовують міцні метали, стійкі до механічного зношування, а також до фізичних та хімічних впливів. Зокрема, вони повинні мати якомога менші та взаємно скомпенсовані коефіцієнти температурного розширення, щоб зменшити можливі деформації деталей приладу. Щоб запобігти згубному впливу хімічних реагентів, застосовують метали, які не схильні до корозії. Намагаються використовувати сплави легких металів, щоб зменшити масу приладу.

Конструкції сучасних теодолітів характеризуються такими основними особливостями:

- компактність і мала вага, які полегшують транспортування, встановлення та обслуговування приладів;
- захищеність основних частин приладу від забруднення, вологи, пилу та механічних пошкоджень;
- зручне розташування органів керування (закріплених та навідинних гвинтів, рівнів, відлікових пристроїв, пультів керування, дисплеїв тощо), що дає змогу спостерігачу виконувати всі операції (приведення приладу в робочий стан, контролю рівнів, відлічування, зчитування інформації), не змінюючи свого положення щодо приладу;

- надійність приладу, тобто можливість експлуатувати його, не виконуючи додаткових юстувань, навіть після тривалої роботи з ним у важких умовах;

- устаткування приладу оптикою, значною мірою позбавленою недоліків, притаманних оптичним системам (хроматична та сферична аберації, дисторсія тощо);

- точність, що відповідає призначенню приладу і дає змогу використовувати його з найбільшою ефективністю.

Зорові труби теодолітів обладнують оптичними візирами. Деякі електронні теодоліти мають автоматизовані пристрої пошуку цілі. Майже всі теодоліти устатковані оптичними центрами.

Конструкцію сіток ниток зорових труб оптичних теодолітів подано на рис. 2.10.

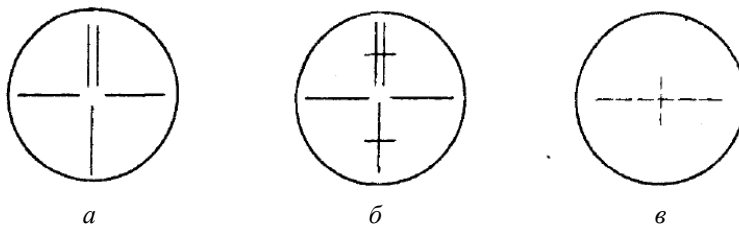


Рис. 2.10. Типи сіток ниток теодолітів: *a* – високоточні теодоліти; *б* – точні та технічні теодоліти; *в* – автоколімаційні прилади

Коефіцієнт ниткового віддалеміру сітки ниток типу, зображеного на рис. 2.10, *б*, дорівнює $100 \pm 0,5$ %, асиметрія віддалемірних ниток не повинна перебільшувати 0,2 %. Зорові труби формують пряме або обернене зображення візирної цілі.

Високоточні та точні оптичні теодоліти устатковують двосторонніми пристроями відлічування кругів. Зазвичай це двосторонні оптичні мікрометри з оптичними клинами або плоскопаралельними пластинками. Технічні та деякі точні теодоліти мають односторонні відлікові пристрої – шкалові мікроскопи, а деякі технічні – штрихові мікроскопи.

В усіх випадках відлічують одним відліковим мікроскопом, окуляр якого розташований поруч з окуляром зорової труби. Цим мікроскопом зазвичай відлічують обидва круги. Всі теодоліти устатковують електроосвітленням.

В електронних теодолітах застосовують кодову систему відлічування.

За конструкцією сучасні теодоліти поділяють на *оптичні, електронні та лазерні*.

Основною частиною теодоліта є горизонтальний круг, який складається з *лімба* і *алідади* В процесі вимірювання горизонтального кута площина лімба повинна бути горизонтальною, а його центр – установлюватися на висковій лінії, яка проходить через вершину вимірюваного кута. Вискова лінія, яка проходить через вісь обертання алідади горизонтального круга, називається віссю обертання теодоліта.

Вісь обертання теодоліта встановлюється у вискове положення (площина лімба – у горизонтальне положення) по циліндричному рівню за допомогою трьох підйомних гвинтів. Лімб і алідада забезпечені затискними (закріпними) гвинтами, які слугують для закріплення їх у нерухомому положенні, й навідними гвинтами – для їх повільного і плавного обертання.

2.5. Види (класифікація) теодолітів

Типи теодолітів розрізняють за точністю, видом відлікових пристроїв, конструкцією системи вертикальних осей горизонтального круга і призначенням.

Залежно від точності вимірювання горизонтальних кутів, теодоліти можуть бути поділені на три типи:

1. **Високоточні** (Т1), призначені для вимірювання кутів у триангуляції і полігонометрії 1-го і 2-го класів.

2. **Точні** (Т2, Т5): Т2 – для вимірювання кутів у триангуляції і полігонометрії 3-го і 4-го класів; Т5 – для вимірювання кутів у триангуляційних мережах і полігонометрії 1-го і 2-го розрядів і виконання маркшейдерських робіт на поверхні.

3. **Технічні** (Т15, Т30, і Т60) – для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах та зйомочних мережах, а також для виконання маркшейдерських робіт на поверхні і в підземних виробках.

Всі ці теодоліти можуть мати букви: А, К, П, М, які означають:

А – автоколімаційний теодоліт;

К – теодоліт з компенсатором при вертикальному крузі;

П – пряме зображення зорової труби;

М – маркшейдерські теодоліти.

В умовних позначеннях теодолітів цифра означає середню квадратичну похибку (СКП) вимірювання горизонтального кута одним прийомом у секундах: для теодоліту Т1 $m\beta = 1''$, для Т5 $m\beta = 5''$ тощо.

Як приклад розглянемо позначення теодоліта 3Т2КП, де: 3 – третя модифікація приладу; Т – теодоліт; 2 – СКП вимірювання горизонтального кута одним прийомом ($2''$); К – з компенсатором; П – пряме зображення зорової труби.

За видом відлікових пристроїв розрізняють верньєрні й оптичні теодоліти. Відлікові пристрої у вигляді верньєрів використовувалися в теодолітах із металевими кругами (ТТ-50, Т-4, Т-5, ТГ-5 і т. ін.). Теодоліти зі скляними кутомірними кругами і оптичними відліковими пристроями називаються оптичними. В них за допомогою оптичної системи зображення горизонтального і вертикального кругів передаються в поле зору спеціального мікроскопа.

За призначенням розрізняють такі типи теодолітів:

1. Власне, теодоліти – призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

2. Тахеометри – призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів та визначення відстаней за допомогою ниткового віддалеміра, а також перевищень між точками за допомогою номограмних кривих. Зараз з'явилися електронні тахеометри, які дозволяють автоматизувати виконання вищезазначених процесів.

3. Теодоліти спеціального призначення: астрономічні теодоліти (АУ $2''/10''$, АУ $2''/2''$) – призначені для визначення широти, довготи й азимутів з астрономічних спостережень; маркшейдерські теодоліти (Т15М, Т30М, 2Т30М).

4. Окрема група приладів, серед яких можна виокремити такі: *теодоліт-нівелір* (ТН) – має циліндричний рівень при зоровій трубі і може бути використаний для виконання геометричного нівелювання; *теодоліт проєктувальний* (ТПП) – має в комплекті накладний рівень, окулярну насадку, віддалемірний комплект, бусоль і оптичний центрир, застосовується для будівельних розмічувань; *спеціалізовані теодоліти* – гіртеодоліти, фототеодоліти, лазерні теодоліти, кодові теодоліти та ін.

2.6. Перевірки та дослідження теодолітів

Перед виконанням будь-яких операцій з теодолітом треба оглянути його, перевірити комплектність та правильність маркування. Прилад не повинен мати механічних пошкоджень, які могли б

вплинути на експлуатаційні якості, метрологічні характеристики та збереження приладу. Деталі та вузли приладу, які з'єднуються нерухомо, не повинні розхитуватися та мати зміщення один відносно одного. Треба перевірити рівномірність освітлення та чіткість зображення і чистоту поля зору оптичних систем, наприклад, зорової труби і оптичного центрира, відлікових пристроїв, робочих поверхонь кругів тощо. Необхідно випробувати плавність обертання зорової труби аліади горизонтального круга, навідних гвинтів і фокусувального пристрою, підймальних гвинтів підставки, інших деталей, що обертаються, а також дію закріпних пристроїв.

Перевірки теодоліта виконують у такій послідовності.

1. **Перевірки перпендикулярності осі циліндричного рівня вертикальній осі (осі обертання) приладу.** Ця перевірка є загальною для всіх приладів, які обладнані циліндричними рівнями для встановлення вертикальної осі приладу прямовисно. Рівень встановлюють паралельно до лінії, що проходить через центри двох підймальних гвинтів підставки, приводять бульбашку рівня до нуля-пункту і повертають рухоми частину приладу (аліаду) на 180° . Якщо бульбашка зміститься більше ніж на одну поділку, її повертають до нуля-пункту спочатку виправним гвинтом рівня, перемістивши бульбашку на половину дуги зміщення, а потім на другу половину дуги зміщення відповідними підймальними гвинтами. Після юстування перевірку обов'язково повторюють.

2. **Перевірка перпендикулярності візирної осі зорової труби до осі обертання труби (визначення колімаційної похибки).** Зорову трубу наводять на віддалену точку, розташовану приблизно на висоті приладу, у положенні, наприклад, круг ліворуч і відлічують горизонтальний круг КЛ. Спрямовують зорову трубу на ту саму точку в положенні круг праворуч і відлічують горизонтальний круг КП.

Помилка за непаралельність осей називається *колімаційною (С)*, її визначають згідно із залежністю.

$$C = \frac{\hat{E}\ddot{E} - \hat{E}\dot{I} \pm 180^\circ}{2}. \quad (2.5)$$

Якщо колімаційна похибка перевищує подвійну точність відлічування, її виправляють. Для цього на горизонтальному крузі встановлюють відлік КЛ–С або КП+С. Унаслідок цієї дії зображення точки зміститься відносно штрихів сітки ниток. Зображення точки в попереднє положення щодо штрихів сітки ниток повертають юс-

тувальними боковими гвинтами сітки, трохи послабивши спочатку вертикальні гвинти (рис. 2.11).

Після юстування перевірку, безумовно, повторюють.

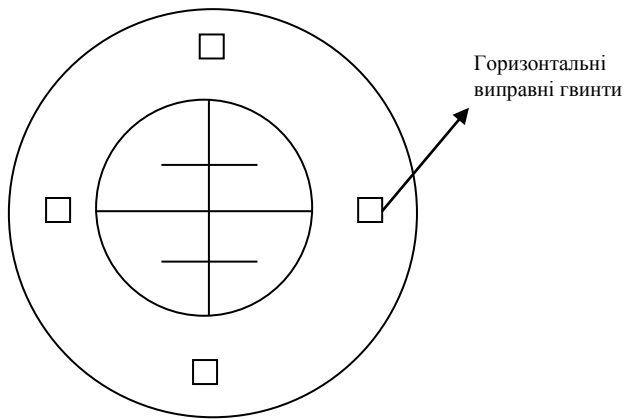


Рис. 2.11. Виправні гвинти сітки ниток

3. **Перевірка сітки ниток.** Горизонтальна сітка ниток повинна бути горизонтальною, а вертикальна – вертикальною.

Візують зорову трубу на нитку виска, розташованого на віддалі 20–30 м від теодоліта.

Якщо вертикальна нитка сітки ниток збігається з ниткою виска, то умова виконується. В протилежному разі повертають діафрагму, в якій кріпиться сітка ниток до повного збігу верхньої нитки сітки ниток з ниткою виска.

4. **Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі теодоліта.** Нахил осі обертання зорової труби i , спричинений неперпендикулярністю осі зорової труби до вертикальної осі теодоліта, визначають за зміною колімаційної похибки C_1, C_2, C_3 , коли зорову трубу спрямовують на три візирні цілі. Всі три візирні цілі мають розташовуватися у створі з відхиленням не більше ніж 1° . Одну ціль встановлюють під кутом нахилу $\gamma \sim 20^\circ$. Друга ціль має бути встановлена на висоті приладу так, щоб кут нахилу під час наведення на неї зорової труби був $\gamma \sim 0^\circ$, а для третьої $\gamma \sim -20^\circ$. Програма вимірювань для високоточних і точних теодолітів передбачає шість прийомів. У кожному прийомі у положенні вертикального круга, наприклад КЛ, зорову трубу спрямовують послідовно на верхню, горизонтальну і нижню цілі і від-

лічують горизонтальний круг. Перевівши зорову трубу через zenit, вимірювання виконують у зворотній послідовності. Для кожної цілі в кожному i -у прийомі обчислюють $C = \frac{\hat{E}\ddot{E} - \hat{E}\ddot{I} \pm 180^i}{2}$ і знаходять середні значення C_1, C_2, C_3 відповідно із шести прийомів. Одноразово визначають кути нахилу на візирні цілі γ_1, γ і γ_2 .

Кут нахилу осі обертання зорової труби визначають згідно із залежністю

$$i = \frac{C_1 - C_{\text{sec}} \gamma_1}{\text{tg} \gamma_1} \quad (2.6)$$

Величина кута i для високоточних теодолітів не повинна перевищувати $5''$, точних – о $10''$ (точних типу Т5 – $15''$).

Виправити кут нахилу осі обертання зорової труби, якщо він перевищує допустимий, можна тільки у спеціалізованій майстерні або у центрі сервісного обслуговування фірми виробника приладу.

5. Перевірка місця нуля МО. Місцем нуля називається відлік по вертикальному крузі теодоліта, за якого візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка циліндричного рівня вертикального круга на середині. Місце нуля повинно дорівнювати 0° .

Виконання перевірки. Візують на високу точку і беруть відліки по вертикальному крузі. Місце нуля розраховують за формулою:

$$\hat{I} \hat{I} = \frac{\hat{E}\ddot{E} + \hat{E}\ddot{I}}{2}, \quad (2.7)$$

де КЛ, КП – відліки по вертикальному крузі.

Вертикальний кут γ :

$$\gamma = \text{КЛ} - \text{МО}. \quad (2.8)$$

$$\gamma = \text{МО} - \text{КП}. \quad (2.9)$$

$$\gamma = \frac{\hat{E}\ddot{E} - \hat{E}\ddot{I}}{2}. \quad (2.10)$$

Юстування теодоліта. Розраховується вертикальний кут за формулами (2.8)–(2.10). Мікрометреним гвинтом вертикального круга встановлюємо правильний кут нахилу γ .

При цьому точка зійде з центру сітки ниток. Вертикальними виправними гвинтами сітки ниток вводимо точку в центр. Перевірку повторюємо.

6. Перевірка перпендикулярності осі обертання труби до осі обертання теодоліта. Горизонтальна вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярна до вертикальної осі обертання теодоліта. Візують на високу точку і проєктують на горизонтально встановлену лінійку при двох положеннях круга (рис. 2.12).

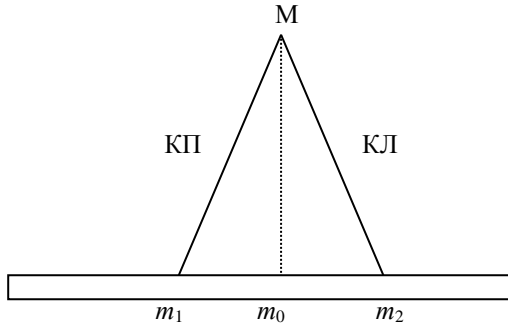


Рис. 2.12. Перевірка перпендикулярності осі обертання труби

Якщо точка M проєктується в точку m_0 , то умова виконується. Якщо точки проєктуються в точку m_1 при положенні $КП$ і відповідно в m_2 при $КЛ$ і віддаль m_1-m_2 становить декілька міліметрів, то можна вважати, що умова виконується. При значній віддалі m_1-m_2 теодоліт слід здати в ремонт.

7. Ексцентриситет алідади і горизонтального круга. Вісь обертання алідади, центр поділок круга і вісь обертання горизонтального круга в теодоліті мають збігатися. Проте у зв'язку з неминучою технічною недосконалістю виготовлення і складання деталей та вузлів виникає незбіг осей, який називають *ексцентриситетом*. У сучасних точних і високоточних теодолітах лінійна величина ексцентриситету дорівнює декільком мкм.

Ексцентриситетом алідади називають незбіг центру обертання алідади з центром поділок круга.

Ексцентриситетом круга називають незбіг центру обертання круга з центром поділок круга.

Ексцентриситетом осей називають незбіг центрів обертання алідади і круга.

Визначення ексцентриситету проводиться з досліджень, які для різних типів теодолітів відрізняються.

2.7. Приведення теодоліта в робоче положення

Перед початком вимірювань теодоліт встановлюється над точкою в робоче положення. Повне встановлення приладу в робоче положення складається з його центрування над точкою, горизонтування і встановлення зорової труби для спостережень.

Центруванням називається дія, унаслідок якої центр лімба горизонтального круга суміщається з висковою лінією, яка проходить через точку розташування приладу. Центрування може бути виконано за допомогою ниткового виска або за допомогою оптичного центрира.

Горизонтування теодоліта полягає в приведенні осі його обертання у вискове положення, а отже, площини лімба – у горизонтальне положення. Горизонтування приладу виконується в такій послідовності. Спочатку розташовуємо вісь циліндричного рівня вертикального круга за напрямком двох підйомних гвинтів підставки й, одночасно обертаючи їх, приводимо бульбашку рівня до нуля-пункту. Повертаємо теодоліт на 180° за напрямком третього підйомного гвинта і, обертаючи його приводимо бульбашку рівня до нуля-пункту. Після цього знову повертаємо теодоліт у початкове положення. Якщо бульбашка рівня відхилилася більше ніж на одну поділку, то необхідно попередні дії виконати наново.

Встановлення зорової труби для спостережень включає в себе встановлення труби і відлікового мікроскопа під око спостерігача і по предмету, тобто фокусування труби по спостережуваній цілі.

2.8. Вимірювання горизонтальних кутів

Залежно від конструкції приладів, умов вимірювань і поставлених до них вимог використовуються такі способи вимірювання горизонтальних кутів:

1. *Спосіб прийомів* (спосіб окремого кута) – для вимірювання окремих кутів при прокладанні теодолітних ходів, винесенні проєктів в натуру тощо.

2. *Спосіб кругових прийомів* – для вимірювання кутів з однієї точки між трьома напрямками і більше в мережах триангуляції і полігонометрії 2-го класу і більш низьких класів (розрядів).

3. *Спосіб повторень* – для вимірювання кутів, коли необхідно підвищити точність остаточного результату вимірювання шляхом

послаблення впливу похибки відліку. Використовується під час роботи з технічними повторювальними теодолітами.

Спосіб прийомів. Якщо, наприклад, необхідно виміряти горизонтальний кут між точками A і C (рис. 2.13, a), то потрібно встановити теодоліт на точці B і при положенні вертикального круга КЛ навести вертикальну нитку сітки ниток зорової труби теодоліта на точку A . Встановити відлік по горизонтальному кругу близький до 0° і записати його в журнал спостережень. Далі, при тому самому положенні вертикального круга, навести вертикальну нитку сітки ниток труби на точку C , зняти відлік по горизонтальному кругу і записати його в журнал спостережень. У результаті отримаємо I півприйм спостережень.

При положенні вертикального круга КП виконуємо аналогічні дії. В результаті отримаємо II півприйм. Загалом I і II півприйоми складають повний прийом.

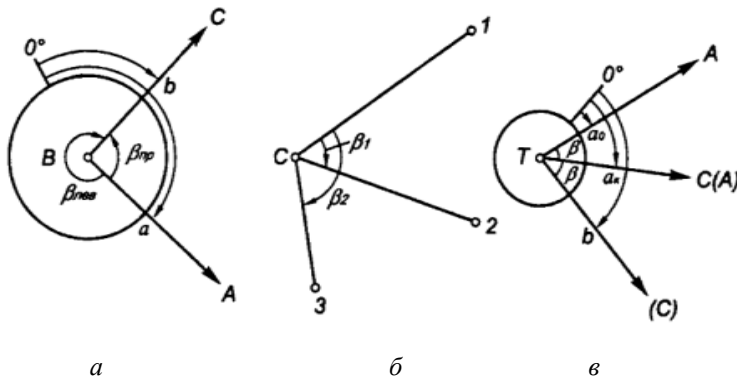


Рис. 2.13. Способи вимірювання горизонтальних кутів

Спосіб кругових прийомів. Установлюють теодоліт над точкою C (рис. 2.13, b) і, обертаючи теодоліт за рухом годинникової стрілки, послідовно візують на спостережувані точки $1, 2, 3$ і повторно на точку 1 спочатку при КЛ, а потім при КП. При наведенні зорової труби на кожну точку беруть відліки по лімбі. Повторне наведення на початкову точку 1 (замикання горизонту) виконується, щоби переконатися в тому, що під час спостережень не було збою лімба. Величина незамикавання горизонту не повинна перевищувати подвійної точності відлікового пристрою теодоліта.

Для послаблення впливу похибок поділок лімба і підвищення точності вимірювання куту вимірюють декількома прийомами з перестановкою лімба між прийомами на $180^\circ/n + 10'$, де n – кількість прийомів.

Спосіб повторень. Сутність способу полягає в послідовному відкладанні на лімбі декілька разів величини вимірюваного кута β (рис. 2.13, в).

Теодоліт встановлюють на точці T і приводять його в робоче положення, встановивши на лімбі відлік близький до 0° . Візують зорову трубу на задню точку A . Здійснюють відлік по горизонтальному колу a_0 . Потім візують на передню точку C і здійснюють відлік a_k .

Переводять трубу через зеніт і повторно візують на задню точку $A(C)$ при положенні вертикального колу КЛ. При цьому відлік по ГК не роблять, оскільки дорівнюватиме a_k . Потім знову візують на передню точку C і роблять остаточний відлік b . Цим закінчується вимірювання кута одним повним повторенням. Тоді величина горизонтального кута дорівнюватиме

$$\beta = \frac{b - a_0}{2}. \quad (2.11)$$

Отримане значення кута порівнюють з контрольним, яке визначається за формулою:

$$\beta_k = a_k - a_0. \quad (2.12)$$

Розходження між остаточним і контрольним значеннями кута не повинно перевищувати 1,5 точності відлікового пристрою теодоліта.

2.9. Вимірювання вертикальних кутів

Для вимірювання вертикальних кутів теодоліт встановлюють на даній точці і приводять його в робоче положення. При положенні КЛ наводять середню горизонтальну нитку сітки ниток зорової труби на верх візирної цілі і приводять бульбашку рівня при алідаді вертикального колу до нуля-пункту. Здійснюють відлік по вертикальному колу і записують його в журнал. Аналогічні дії виконують при положенні КП.

Використовуючи наведені раніше формули, обчислюють значення місця нуля і кут нахилу.

Висота горизонтальної осі приладу над маркою верхнього центру, а також висота геодезичного знаку вимірюються з точністю до 0,01 м.

2.10. Нівеліри, їх будова, перевірки і дослідження

Для вимірювання перевищень у геодезії застосовують переважно геометричне, тригонометричне, барометричне нівелювання і гідронівелювання.

Геометричне нівелювання виконують горизонтальним променем за допомогою нівеліра. За ДЕСТ нівеліри поділяють на *технічні, точні та високоточні* (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Класифікація нівелірів

Типи нівелірів	Стисла характеристика	Галузь застосування
Н-05 (Ni002, Ni004, Ni1, Ni-A1, Ni-A3 і т. ін.)	Нівелір <i>високоточний</i> з оптичним мікрометром для визначення перевищень із похибкою не більше ніж 0,5 мм на 1 км подвійного ходу	Нівелювання I і II класів у державних мережах, геодинамічних полігонах, при інженерно-геодезичних роботах
Н-3 (Н-3К, Н-3КЛ, НГ, НВ-1, НС-2, Ni007, Ni025, Ni-B5 і т. ін.)	Нівелір <i>точний</i> для визначення перевищень із похибкою не більше ніж 3 мм на 1 км подвійного ходу	Нівелювання III і IV класів в інженерно-геодезичних вишукуваннях
Н-10 (Н-10К, Н-10КЛ, НТ, Ni050 і т. ін.)	Нівелір <i>технічний</i> для визначення перевищень із похибкою не більше ніж 10 мм на 1 км подвійного ходу	Нівелювання для забезпечення топографічних зйомок, інженерно-геодезичних вишукуваннях, при будівництві

Технічні нівеліри слугують здебільшого для створення висотної основи топографічного знімання, інженерно-геодезичних вишукувань і вимірювань у будівництві. Технічними нівелірами визначають перевищення із середньою квадратичною похибкою не більше ніж ± 10 мм на 1 км подвійного ходу.

Точними нівелірами виконують нівелювання III і IV класів. Середня квадратична похибка визначення перевищення на 1 км подвійного ходу не повинна перевищувати ± 3 мм.

Високоточні нівеліри, які ще називають прецизійними, дають змогу визначити перевищення із середньою квадратичною похибкою не більше ніж $\pm 0,5$ мм на 1 км подвійного ходу. Їх використовують для нівелювання I та II класів, а також для виконання прецизійних інженерно-геодезичних робіт.

За способом встановлення візирної осі в горизонтальне положення розрізняють два типи нівелірів: 1) глухий нівелір із циліндричним рівнем при зоровій трубі (Н-05, Н-3, Н-10); 2) нівелір із компенсатором (Н-05К, Н-3К, Н-10К).

У нівелірів першого типу зорова труба і циліндричний рівень скріплені разом і можуть нахилитися на невеликий кут відносно підставки приладу за допомогою елеваційного гвинта. Така конструкція поліпшує приведення візирної осі в горизонтальне положення по циліндричному рівню.

Головна умова до глухих нівелірів – взаємна паралельність візирної осі зорової труби і осі циліндричного рівня. За дотримання цієї умови візирна вісь зорової труби займе горизонтальне положення після встановлення бульбашки рівня до нуля-пункту.

У нівелірів із компенсаторами наближене встановлення осі обертання приладу здійснюється по круглому рівню. Після цього до роботи підключається компенсатор, який автоматично приводить візирну вісь у горизонтальне положення. Головна умова, яка ставиться до нівелірів даного типу – горизонтальність візирної осі в межах кутів стабілізації компенсатора ($\pm 8-20''$). Нівеліри з компенсаторами отримали широке розповсюдження на практиці, оскільки забезпечують більш високу продуктивність праці.

За аналогією з теодолітами конструкцію оптичного нівеліра також можна розділити на три основні блоки: наведення, орієнтування і вимірювання.

Структурну схему нівеліра показано на рис. 2.14.

Призначення пристрою наведення полягає в забезпеченні наведення візирної осі зорової труби стосовно об'єкта спостережень (рейка нівелірна).

Порівняно з теодолітом точність наведення на нівелірну рейку не відіграє суттєвої ролі, оскільки відлік по горизонтальній нитці може бути зроблений на будь-якій її ділянці. Якщо відлік по рейці проводиться за допомогою кутового бісектора високоточного нівеліра, то залежно від відстані до рейки використовуються різні ділянки цього бісектора.

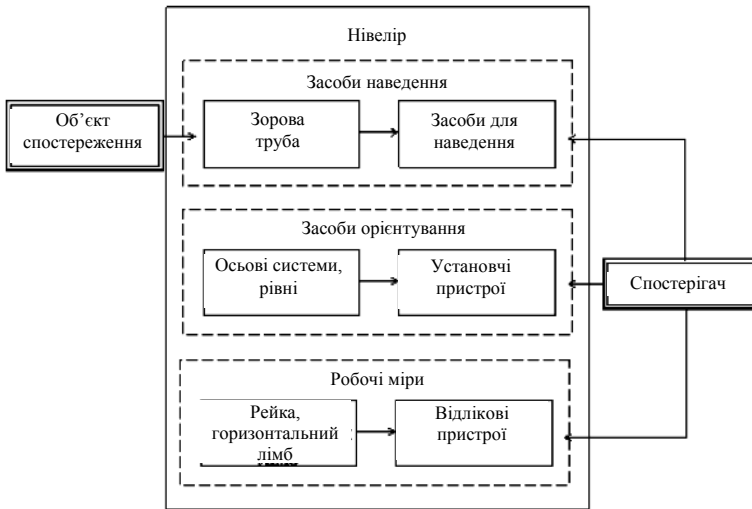


Рис. 2.14. Структурна схема нівеліра

Порівняно з теодолітами необхідна точність виконання орієнтування у нівелірів вище в кілька разів.

Призначення робочих мір полягає у забезпеченні вимірювання перевищення на станції. На відміну від процесу вимірювання кутів при нівелюванні використовуються робочі міри, що є частинами конструкцій як нівеліра, так і візирних цілей (нівелірних рейок).

2.11. Перевірки і дослідження нівелірів

Перед виїздом на польові роботи ретельно оглядають і досліджують нівелір, щоби переконатися в наявності необхідних приладь, запасних частин і справність нівеліра. Прилад повинен відповідати вимогам державного стандарту.

При огляді нівеліра звертають увагу на справність усіх його частин, плавність руху під час обертання підйомних, затискуючих і навідних пристроїв, відсутність корозії та інших дефектів. Оцінюють чіткість одночасного зображення сітки ниток і кінців бульбашки циліндричного рівня, якість зображення при фокусуванні труби на різні предмети.

Перевірки нівеліра виконують у такій послідовності:

1. **Перевірка круглого рівня.** Умова перевірки: вісь круглого рівня повинна бути перпендикулярною осі обертання нівеліра.

Для перевірки зорову трубу встановлюють за напрямком двох підйомних гвинтів і, одночасно обертаючи їх рухають бульбашку круглого рівня до нуля-пункту. При цьому третім підйомним гвинтом бульбашку також спрямовують до нуля-пункту. Після того як бульбашка рівня досягне нуля-пункту, повертаємо зорову трубу нівеліра на 180° . Якщо бульбашка рівня відхилиться від нуля-пункту більше ніж на одну поділку, то, діючи виправними гвинтами, розташованими знизу оправи рівня, і підйомними гвинтами, виправляють її положення. Потім знову нівелір повертають на 180° і у випадку, якщо бульбашка знову відхилиться від нуля-пункту більше ніж на одну поділку, виконують повторне виправлення. Перевірка виконується до того часу, поки умова не буде виконана.

2. Перевірка правильності встановлення сітки ниток. Умова перевірки: вертикальна нитка сітки ниток зорової труби повинна збігатися з напрямком виска.

Для виконання даної перевірки на відстані 20–25 м від нівеліра розташовують на нитці висок. Наводять вертикальну нитку сітки ниток зорової труби нівеліра на нитку виска. Якщо вони збіглися, то умова виконана. В іншому випадку, після відкріплення чотирьох торцевих гвинтів оправу сітки ниток повертають до дотримання умови.

3. Перевірка циліндричного рівня. Умова перевірки: візирна вісь зорової труби повинна бути паралельною осі циліндричного рівня.

Візирна вісь зорової труби приладу встановлюється в горизонтальне положення за допомогою циліндричного рівня. Тому дотримання паралельності вказаних осей є головною умовою, яка повинна бути висунута до будь-якого нівеліра.

Перевірка головної умови нівеліра виконується подвійним нівелюванням уперед однієї і тієї самої лінії завдовжки приблизно 75 м (рис. 2.15).

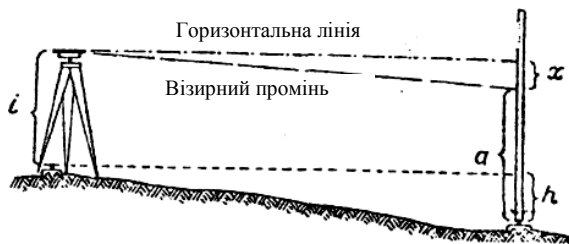


Рис. 2.15. До перевірки головної умови нівеліра

Кінці лінії закріплюють тимчасовими центрами, на один з яких встановлюють рейку, а над іншим центрують нівелір так, щоби окуляр проєктувався на виступ центру.

Після проведення осі рівня в горизонтальне положення здійснюють відлік, а по нівелірній рейці вимірюють висоту i нівеліра з похибкою 2 мм.

Припустимо, що візирна вісь не паралельна осі рівня. Тоді відлік по рейці a буде помилковим на величину x і перевищення

$$h_1 = i_1 - a_1 + x.$$

Величина x буде від'ємною, якщо візирний промінь проходить нижче від лінії горизонту.

Для визначення величини x необхідно нівелір і рейку поміняти місцями і знову визначити перевищення за формулою

$$h_2 = i_2 - a_2 + x.$$

Не звертаючи увагу на інші помилки, припустимо, що

$$h_1 = -h_2.$$

Отже,

$$2x = (a_1 + a_2) - (i_1 + i_2),$$

звідси

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (2.13)$$

За цією формулою розраховується непаралельність візирної осі труби до осі рівня в поділках рейки. Якщо величина x більше ніж 4 мм, то, обчисливши новий відлік за формулою

$$a'_2 = a_2 - x,$$

за допомогою виправних гвинтів сітки ниток встановлюють на нього горизонтальну нитку сітки.

Після виправлення помилки повторно визначають величину x .

2.12. Перевірки нівелірних рейок

Нівелірні рейки мають вигляд триметрових брусків завтовшки 2–3 см і завширшки 8–10 см. На лицевій стороні рейок, пофарбованій білою олійною фарбою, нанесені сантиметрові шашкові поділки чорного і червоного кольорів. На одній стороні пари рейок нуль чорних поділок збігається з площиною п'ятки, а на іншій стороні в першій рейці початок червоних поділок зсунуто на 4687 мм, у другій – на 4787 мм.

Нівелірна рейка є вимірювальним приладом, за допомогою якого визначається значення перевищення. Щоби переконатися у придатності рейки для нівелювання, зовнішнім оглядом встановлюють чіткість поділок, відсутність прогину, справність рівня і п'ятки.

Дійсні розміри метрових інтервалів рейки і правильність нанесення дециметрових поділок визначають компаруванням, тобто порівнянням їх із нормальною мірою.

Перевірки рейок здійснюють у такій послідовності:

1. Перевірка правильності встановлення круглого рівня на рейці.

У закритому приміщенні або в захищеному від вітру місці встановлюють рейку прямовисно по закріпленому на гачок виску. Потім виправними гвинтами, розташованими знизу оправи рівня, зміщують бульбашку рівня до нуля-пункту.

2. Визначення різниці висот нулів рейок.

Сутність перевірки полягає у визначенні різниці висот нулів чорної і червоної сторін кожної рейки, також різниці висот нулів червоних сторін пари рейок. Ці різниці використовуються для контролю якості спостережень і правильності обчислень на станції.

На відстані біля 20 м на кілочок встановлюють рейку, і, привівши бульбашку рівня до нуля-пункту, здійснюють відлік по рейці спочатку по чорній стороні, потім по червоній. Після цього обчислюють різницю висот нулів червоної і чорної сторін рейки. Аналогічні дії виконують із другою рейкою.

Таких визначень роблять не менш чотирьох, при цьому перед кожним визначенням змінюють місце рейки або горизонт приладу.

3. Визначення середньої довжини метра рейки. Визначення середньої довжини метра рейки виконується порівнянням заданих інтервалів з нормальною лінійкою, дійсна довжина якої отримана лабораторією мір довжини науково-дослідного інституту метрології.

На чорній стороні вимірюють довжину інтервалів між поділками 1–10, 10–20 та 20–29 дм; на червоній стороні першої рейки – 48–57, 57–67, 67–76 дм і другої рейки – 49–58, 58–68, 68–77 дм. Зазначені інтервали відмічаються на рейці олівцем.

Рейку і нормальну лінійку розташовують у закритому приміщенні за 2–3 години до початку проведення дослідження. Потім досліджувану лінійку розташовують на столі, уникаючи прогину або провисання кінців, і на лицеву сторону паралельно її краям

кладуть нормальну лінійку. Початок шкали лінійки розташовують проти штриха 01, а кінець – проти 10. У цьому положенні по лінійці здійснюють відліки Л і П з точністю до 0,01 мм. Після невеликого зсуву лінійки відліки повторюють. Таким чином досліджують довжину другого і третього інтервалів, а потім решту інтервалів зворотним шляхом.

Обчислені різниці відліків П–Л по кожному інтервалу повинні узгоджуватися в межах 0,06 мм.

Після контролю обчислень за сумами чисел кожної граfi обчислюють середню довжину одного метра рейки.

4. Визначення похибок дециметрових поділок рейок. Знаходженні похибок у нанесенні дециметрових поділок рейок виконують нормальною лінійкою при двох її положеннях. Сумістивши в першому положенні нульовий штрих лінійки з лезом, прикладеним до площини п'ятки при дослідженні чорної сторони рейки, або з першою дециметровою поділкою червоної сторони рейки, здійснюють відліки, які відповідають положенню дециметрових штрихів у межах першого метра.

У другому положенні лінійку дещо пересовують і знову здійснюють відліки. Аналогічні дії виконують на другому і третьому метрах рейки.

Коливання різниць відліків є контролем правильності вимірювань. Воно не повинно перевищувати 0,1 мм у межах кожного метра.

Частка від поділу алгебричної суми повних похибок на кількість інтервалів становить систематичну частку даних похибок. Різниця між повною похибкою і систематичною складає випадкові помилки дециметрових поділок, які не повинні перевищувати при нівелюванні III класу $\pm 0,5$ мм і IV класу ± 1 мм.

2.13. Методи визначення висот

Нівелювання – це сукупність геодезичних вимірювань, які виконуються для визначення різниці висот точок земної поверхні (перевищень), а також висот точок відносно прийнятої вихідної відлікової поверхні. Нівелювання необхідне для створення висотної основи топографічних зйомок, для вивчення форм рельєфу і визначення різниці висот точок при топографічних зйомках, проектуванні, будівництві й експлуатації різних споруд. Результати нівелювання мають важливе значення при розв'язанні наукових та практичних задач геодезії.

Для визначення перевищень застосовують геометричне, тригонометричне, барометричне і гідростатичне нівелювання.

Нівелювання гідростатичне – визначення перевищень виконується приладами, що діють на принципі сполучених посудин.

Нівелювання барометричне – визначення перевищень здійснюється через вимірювання атмосферного тиску у визначених точках земної поверхні з урахуванням температури повітря.

2.13.1. Геометричне нівелювання

Геометричне нівелювання – це визначення висот точок горизонтальним променем. Воно виконується за допомогою нівеліра і нівелірних рейок. Геометричне нівелювання є основним методом побудови опорної висотної мережі.

Державну нівелірну мережу поділяють на I, II, III і IV класи.

Державна нівелірна мережа всіх класів є висотною основою топографічних зйомок усіх масштабів і геодезичних вимірювань, які виконуються для потреб народного господарства. Сукупність точок, висоти яких визначені з геометричного нівелювання і закріплені на місцевості спеціальними знаками, називається нівелірною мережею.

Нівелірні мережі I і II класів слугують головною висотною основою, за допомогою якої встановлюється єдина система висот на всій території нашої країни, а також для наукових цілей.

Нівелірні мережі III і IV класів використовуються для забезпечення топографічних зйомок і розв'язання інженерних задач.

За початок відліку висот у нашій країні беруть «0» Кронштадтського футштока.

Вихідними даними для розвитку знімальних мереж є точки, визначені з геометричного нівелювання.

Способи геометричного нівелювання. Розрізняють два способи геометричного нівелювання: із середини і вперед.

Нівелювання із середини. При визначенні перевищення між точками A і B (рис. 2.16) геометричним нівелюванням установлюють нівелір на однакових відстанях між точками A і B , а над точками установлюють вертикально рейки. Нівелір – це прилад, у якого візирна вісь зорової труби після установлення його на станції за рівнем, займає горизонтальне положення. Наводячи послідовно нівеліром на рейки, беруть відліки a і b . Точка B , перевищення якої

визначається, називається передньою точкою, а точка A , відносно якої визначається перевищення, називається задньою. Так само називаються рейки.

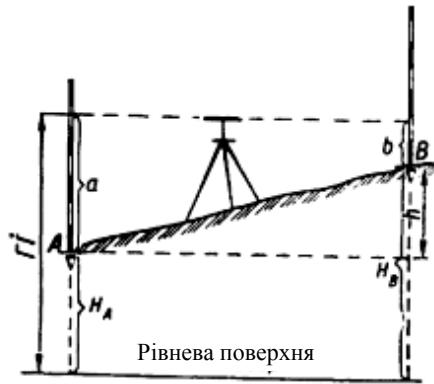


Рис. 2.16. Нівелювання із середини

Отже, перевищення h дорівнює різниці відліків по задній і передній рейках, тобто $h = a - b$, а висота точки B дорівнює висоті точки A « H_A » плюс перевищення h :

$$H_B = H_A + h. \quad (2.14)$$

Такий спосіб нівелювання називають нівелюванням із середини. Якщо відлік $a > b$, то перевищення буде додатним, а якщо $a < b$, то перевищення буде від'ємним. Висоту точки B можна визначити і за допомогою горизонту інструмента Γ_i :

$$\Gamma_i = H_A + a; \quad H_B = \Gamma_i - b. \quad (2.15)$$

Горизонт інструмента – це висота горизонтального візирного променя над вихідною рівневою поверхнею, яка дорівнює висоті задньої точки плюс відлік по рейці.

Нівелювання вперед. При геометричному нівелюванні вперед нівелір установлюють так, щоб окуляр зорової труби проектувався на точку A , а на передній точці B установлюють рейку (рис. 2.17), беруть відлік b по рейці і вимірюють висоту інструмента i від центру окуляра нівеліра до точки A за допомогою рейки або рулетки.

Перевищення h визначають за формулою $h = i - b$, а висоту точки B – за формулою $H_B = H_A + h$, або за допомогою горизонту інструмента:

$$\Gamma_i = H_A + i; \quad H_B = \Gamma_i - b.$$

При нівелюванні переважно застосовується спосіб із середини. Крім цього розрізняють нівелювання просте і складне. Якщо перевищення однієї точки над іншою визначається з однієї установки інструмента між точками, то нівелювання буде простим, а якщо необхідне багаторазове установлення інструмента між точками для визначення перевищення між ними, то таке нівелювання називається складним.

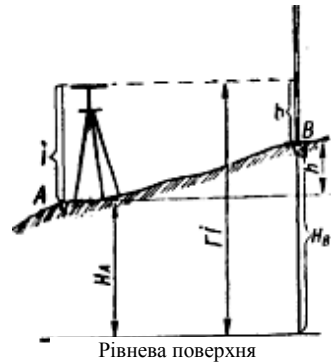


Рис. 2.17. Нівелювання вперед

Найчастіше доводиться нівелювати між точками *A* і *D* (рис. 2.18), які знаходяться на великій віддалі одна від одної.

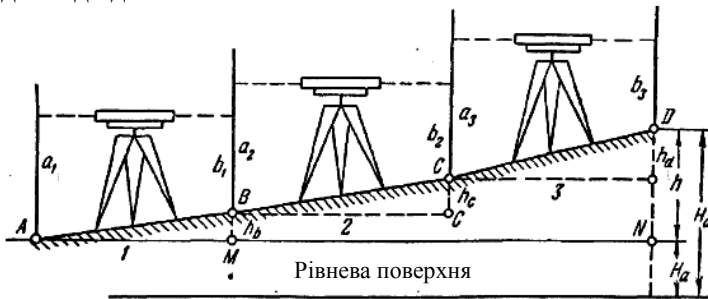


Рис. 2.18. Схема послідовного нівелювання

У цьому випадку виконують послідовне нівелювання, на станціях 1, 2, 3 визначають перевищення:

$$h_b = a_1 - b_1; h_c = a_2 - b_2; h_d = a_3 - b_3,$$

тоді

$$h = h_b + h_c + h_d,$$

$$\sum h = \sum a - \sum b.$$

При послідовному нівелюванні утворюється нівелірний хід.

2.13.2. Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання – це метод визначення різниці висот точок земної поверхні за результатами візування з однієї точки на іншу і вимірювання кута нахилу ν лінії та горизонтальної відстані d між цими точками (рис. 2.19).

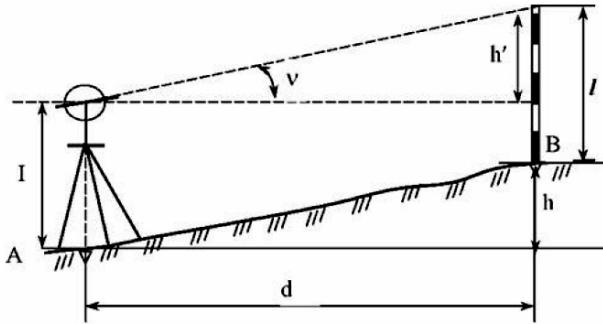


Рис. 2.19. Сутність тригонометричного нівелювання

За відомими величинами довжини рейки l та вимірюваної величини висоти приладу I обчислюють перевищення між точками за формулою тригонометричного нівелювання:

$$h = d \operatorname{tg} \gamma + I - l. \quad (2.16)$$

Якщо візувати на рейку на висоті приладу ($l = I$), то перевищення визначають за скороченою формулою тригонометричного нівелювання.

$$h = d \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.17)$$

У випадку, коли відстань між точками вимірюють нитковим віддалеміром, перевищення між точками обчислюють за формулою

$$h = 0,5 (k n + c) \sin 2 \gamma + I - l,$$

де k – коефіцієнт ниткового віддалеміра; n – відлік по рейці; c – стала віддалеміра.

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Яке призначення зорової труби геодезичних приладів?
2. Дайте визначення візирної осі зорової труби.
3. Що таке роздільна здатність зорової труби?
4. Що називають паралаксом сітки ниток зорової труби?
5. Як поділяють відлікові пристрої кутомірних приладів за способом вимірювання кутової величини Δ ?
6. Що таке штриховий мікроскоп?
7. Яке призначення рівнів у геодезичних приладах?
8. Дайте визначення теодоліта.

9. Яке призначення робочих мір теодоліта?
10. Назвіть основні частини теодоліта.
11. Як поділяють сучасні теодоліти за конструкцією?
12. На які типи поділяються теодоліти залежно від точності вимірювання горизонтальних кутів?
13. Назвіть основні перевірки теодолітів.
14. Що таке колімаційна помилка, як її визначають та виправляють?
15. Що таке місце нуля теодоліта, як його визначають?
16. Що таке ексцентриситет теодоліта?
17. Назвіть способи вимірювання горизонтальних кутів.
18. Назвіть суть геометричного нівелювання.
19. Як поділяються нівеліри за ДЕСТ?
20. Назвіть основні блоки оптичного нівеліра.
21. Назвіть основні перевірки нівеліра.
22. Як перевіряється головна умова нівеліра?
23. Назвіть перевірки нівелірних рейок.
24. Що таке нівелювання?
25. Що таке геометричне нівелювання?
26. Назвіть способи геометричного нівелювання.
27. Що таке горизонт інструмента?
28. Що таке тригонометричне нівелювання?
29. За якими формулами обчислюють перевищення між точками з тригонометричного нівелювання?

Розділ 3

ДЕРЖАВНІ ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ

3.1. Державна геодезична мережа

Державна геодезична мережа складається з мережі геодезичних пунктів, рівномірно розміщених на території держави, що забезпечує поширення систем координат і висот та гравіметричної системи, а також є вихідною для створення інших мереж.

Побудова Державної геодезичної мережі в Україні регламентується постановою Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646 «Порядок побудови Державної геодезичної мережі», далі Порядок.

Цей Порядок визначає механізм побудови Державної геодезичної мережі із застосуванням сучасних глобальних навігаційних супутникових систем, строгих математичних методів оброблення даних та інформаційних технологій, а також традиційних геодезичних методів.

Державна геодезична мережа закріплюється на місцевості геодезичними, гравіметричними пунктами та нівелірними реперами, положення яких визначено в установлених системах координат і висот.

Середня щільність геодезичних пунктів повинна становити не менше одного пункту на 30 км². Подальше збільшення щільності геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі здійснюється за результатами обґрунтованих розрахунків, виходячи з конкретних завдань топографо-геодезичної та картографічної діяльності на конкретній території.

Для топографічної та кадастрової зйомки в масштабі 1:2000 і більше на доповнення до геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі визначаються пункти геодезичних мереж згущення та знімальних геодезичних мереж.

Геодезична (планова) мережа забезпечує поширення на території країни Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 (далі – УСК-2000), яка застосовується як єдина система координат.

Геодезична (планова) мережа з необхідною точністю і щільністю геодезичних пунктів забезпечує поширення на території країни

світової геодезичної системи WGS-84, міжнародної земної референційної системи ITRS та європейської земної референційної системи 1989 року ETRS89.

За загальноземну систему координат береться Міжнародна земна референційна система – International Terrestrial Reference System (ITRS) Міжнародної служби обертання Землі. Система ITRS встановлена Секцією координатної основи Центрального бюро Міжнародної служби обертання Землі – International Earth Rotation Service (IERS) з присвоєнням їй назви – International Terrestrial Reference Frame (ITRF), що забезпечує відповідність ITRS певній часовій епосі.

За європейську систему координат береться Європейська земна референційна система 1989 року – European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89). Система ETRS89 встановлена підкомісією з питань європейської референційної основи – IAG Subcommisson for Europe (EUREF) з присвоєнням їй назви – European Terrestrial Reference Frame – ETRF, що забезпечує відповідність ETRS89 певній часовій епосі.

Державна геодезична референційна система координат УСК-2000 прийнята для проведення топографо-геодезичних та картографічних робіт на території України постановою Кабінету Міністрів України від 22.09.2004 р. №1259 «Деякі питання використання геодезичної системи координат».

Система УСК-2000 змодельована відносно Світових земних систем координат (ITRS) та відліку (ITRF2000).

Державна геодезична мережа подана пунктами 1-го, 2-го та 3-го класів, зокрема:

- 1-й клас – 813 пунктів;
- 2-й клас – 5586 пунктів;
- 3-й клас – 10084 пункти.

Фрагмент частини території з пунктами ДГМ відображено на рис. 3.1.

3.2. Геодезичні мережі спеціального призначення

Відповідно до Постанови, Геодезичні пункти Державної геодезичної мережі є вихідними пунктами для побудови геодезичних мереж спеціального призначення.

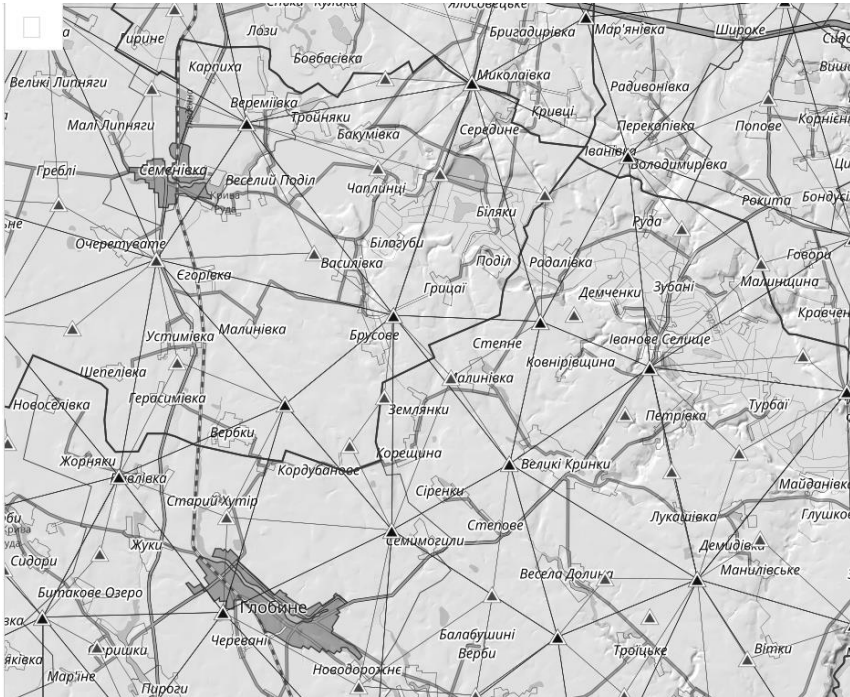


Рис. 3.1. Карта наявних пунктів ДГМ (червоний колір – пункти 1 класу, синій колір – пункти 2 класу, зелений колір – пункти 3 класу)

До геодезичних мереж спеціального призначення належать:

- геодезичні мережі згущення 4-го класу та 1-го і 2-го розрядів, які будуються для забезпечення кадастрової та містобудівної діяльності, створення місцевих систем координат;
- геодезичні мережі для інженерно-геодезичних вишукувань об'єктів будівництва, гірничої справи, формування інженерної та транспортної інфраструктури;
- геодезичні мережі для геодинамічних досліджень на основі геодезичних вимірювань.

Геодезичні мережі спеціального призначення будуються методами супутникових геодезичних спостережень, а також традиційними лінійно-кутовими методами, тобто із застосуванням методів полігонометрії, трilaterації, триангуляції та поєднанням цих методів.

3.3. Геодезичні мережі згущення

Порядок побудови Геодезичних мереж згущення регламентується Інструкцією з топографічного знімання в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98).

Геодезичні мережі згущення поділяються на:

- мережі полігонометрії, трилатерації і триангуляції 4-го класу;
- мережі полігонометрії, трилатерації, триангуляції 1-го і 2-го розрядів;
- мережі технічного та тригонометричного нівелювання.

Середню щільність пунктів державної геодезичної мережі і геодезичних мереж згущення для виконання топографічних знімачь встановлено таку:

- у масштабі 1:25 000 та 1:10 000 – один пункт на 30 км² та один репер на трапецію масштабу 1:10 000;
- у масштабі 1:5000 – один пункт на 20–30 км² та один репер на 10–15 км²;
- у масштабі 1:2000 і більше – один пункт на 5–15 км² та один репер на 5–7 км².

На забудованих територіях міст щільність пунктів державної геодезичної мережі повинна бути не менше одного пункту на 5 км².

Подальше збільшення щільності геодезичної основи великомасштабних знімачь досягається побудовою *розрядних геодезичних мереж згущення і знімальної основи*.

Щільність геодезичної основи повинна бути доведена побудовою геодезичних мереж згущення в містах, селищах та інших населених пунктах і на промислових майданчиках не менше ніж до чотирьох пунктів на 1 км² у забудованій частині та одного пункту на 1 км² на незабудованих територіях.

Для забезпечення інженерних вишукувань і будівництва в містах і на промислових об'єктах щільність геодезичних мереж може бути доведена до восьми пунктів на 1 км².

Щільність геодезичної основи для знімачь у масштабі 1:5000 територій поза населеними пунктами повинна бути доведена не менше ніж до одного пункту на 7–10 км², а для знімачь у масштабі 1:2000 – до одного пункту на 2 км².

Розглянемо окремо кожний з методів побудови Геодезичних мереж згущення.

3.3.1. Полігонометрія 4-го класу 1-го і 2-го розрядів

Полігонометрія – метод побудови геодезичної мережі шляхом вимірювання віддалей і горизонтальних кутів між пунктами ходу.

Побудову геодезичної мережі методом полігонометрії здійснюють шляхом прокладання на місцевості ламаної лінії чи системи пов'язаних між собою ламаних ліній, у яких послідовно вимірюють довжини сторін і горизонтальні кути між ними.

Полігонометрія – один із традиційних, найпоширеніших методів створення планових геодезичних мереж усіх класів і розрядів. Комплекс робіт при створенні планових геодезичних мереж методом полігонометрії складається з таких процесів:

- проєктування полігонометричних мереж;
- рекогностування полігонометричних ходів;
- виготовлення і закладання центрів;
- вимірювання кутів;
- вимірювання сторін;
- прив'язка полігонометричних мереж до пунктів вищого класу;
- попередня обробка результатів польових спостережень;
- вирівнювальні обчислення в полігонометрії.

Мережі полігонометрії 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів створюються у вигляді окремих ходів або систем ходів. Окремий хід полігонометрії (рис. 3.2) повинен опиратися на два вихідних пункти. На вихідних пунктах вимірюють прилеглі кути.

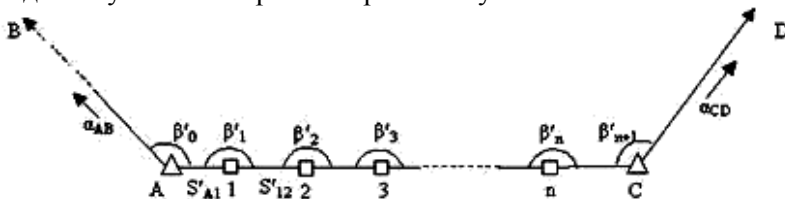


Рис. 3.2. Окремий полігонометричний хід

Як виняток, у разі відсутності між вихідними пунктами видимості з землі, допускається:

- прокладання ходу полігонометрії, що опирається на два вихідні пункти без кутової прив'язки на одному з них. Для контролю кутових вимірів використовують дирекційні кути на орієнтирні пункти державної геодезичної мережі або дирекційні кути прилеглих сторін, які одержані з астрономічних вимірів з середньою

квадратичною помилкою 5" або вимірів гіротеодолітами з середньою квадратичною помилкою 10";

– координатна прив'язка до пунктів геодезичної мережі. При цьому для контролю куткових вимірів використовують дирекційні кути на орієнтирні пункти або азимуту, одержані з астрономічних або гіротеодолітних вимірів. Прокладання висячих ходів не допускається.

При створенні мереж полігонометрії 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів треба дотримуватися вимог, що наведених у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вимоги до мереж полігонометрії згущення

Показники	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд
Гранична довжина ходу, км:			
– окремого	14,0	7,0	4,0
– між вихідною і вузловою точками	9,0	5,0	3,0
– між вузловими точками	7,0	4,0	2,0
Граничний периметр полігону, км	40	20	12
Довжини сторін ходу, км:			
– найбільша	3,00	0,80	0,50
– найменша	0,25	0,12	0,08
– середня	0,50	0,30	0,20
Кількість сторін у ході, не більше	15	15	15
Відносна помилка ходу, не більше	1:2500 0	1:1000 0	1:5000
Середня квадратична похибка вимірюного кута (за нев'язками у ходах і в полігонах), кутові секунди, не більше	3	5	10
Кутова нев'язка ходу або полігону, кутові секунди, не більше, де n – кількість кутів у ході	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$
Середня квадратична похибка вимірювання довжини сторони, см:			
– до 500 м	1	1	1
– від 500 до 1000 м	2	2	–
– понад 1000 м	1:4000 0	–	–

Віддалі між пунктами паралельних ходів полігонометрії даного розряду, що близькі до граничних, повинні бути не менше:

– у полігонометрії 4-го класу – 2,5 км;

– у полігонометрії 1 розряду – 1,5 км.

При менших віддальх найближчі пункти паралельних ходів повинні бути зв'язані ходами відповідного розряду.

Вимірюючи сторони полігонометрії, слід уникати переходу від дуже коротких сторін до найдовших. Як виняток, у ходах полігонометрії 1-го розряду довжиною до 1 км і в ходах полігонометрії 2-го розряду завдовжки до 0,5 км допускається абсолютна лінійна нев'язка 10 см.

Кількість кутових і лінійних нев'язок, близьких до граничних, не повинна перевищувати 10 %.

З метою забезпечення більшої жорсткості мережі треба прагнути до скорочення багатоступеневості мережі, обмежуючись розвитком полігонометрії 4-го класу і 1-го розряду.

На всі закріплені точки ходів полігонометрії повинні бути передані позначки нівелюванням IV класу або технічним.

У гірській місцевості при забезпеченні знімачь із перерізом рельєфу через 2 і 5 м допускається визначення висот точок ходів полігонометрії тригонометричним нівелюванням.

Вимірювання кутів на пунктах полігонометрії виконують способом вимірювання окремого кута або способом кругових прийомів за триштативною системою оптичними приладами не нижче 5-секундної точності. Центрування приладу та візирних марок виконують із точністю 1 мм.

Спосіб кругових прийомів застосовують, коли кількість напрямків на пункті більше двох.

Перед початком робіт, але не рідше одного разу на рік, прилади перевіряють і досліджують за відповідною програмою.

При вимірюваннях способом окремого кута аліададу обертають тільки за ходом годинникової стрілки або тільки проти ходу годинникової стрілки.

При вимірюваннях круговими прийомами в першому півприйомі аліададу обертають за ходом годинникової стрілки, а в другому – в протилежному напрямку.

Кількість прийомів, залежно від розряду полігонометрії і точності приладу, що застосовується, наведено в табл. 3.2.

При переході від одного прийому до другого лімб переставляють на кут $180^\circ/n + \text{СГ}$, де n – кількість прийомів, а $\text{СГ} = 10'$ або $5'$.

Результати вимірювання окремих кутів або напрямків на пунктах полігонометрії мають бути в межах допусків, наведених у табл. 3.3.

Таблиця 3.2

Вимоги щодо порядку кутових вимірювань

Прилади з точністю вимірювання кутів	Кількість прийомів		
	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд
1"	4	–	–
2"	6	2	2
5"	–	3	2

Таблиця 3.3

Вимоги щодо вимірювання кутових елементів

Елементи вимірювання	Допуски при вимірюванні кутів приладами з точністю		
	1"	2"	5"
Розходження між значеннями одного і того самого кута, отримані з двох півприймів	6"	8"	0,2'
Коливання значення кута, отримане з різних прийомів	5"	8"	0,2'
Розходження між результатами спостережень на початковий напрямок на початку і в кінці півприйому	6"	8"	0,2'
Коливання значень напрямків, приведених до спільного нуля, в окремих прийомах	5"	8"	0,2'

За наявності в групі вимірювань кутів в окремих прийомах, результати яких не відповідають установленим допускам, вимірювання повторюють при тих самих установках лімба.

Повторні вимірювання виконують після закінчення спостережень за основною програмою.

Якщо середнє значення кута (напрямку), одержане з основного і повторного вимірювань, задовольняє установлені допуски, то його обирають до подальшої обробки. У противному разі основний прийом вилучають і в обробку беруть повторний.

Розходження між значеннями виміряного і обчисленого кутів на вихідному пункті не повинні перевищувати: в полігонометрії 4-го класу – 6"; 1 розряду – 10"; 2 розряду – 20".

Якщо розходження будуть більшими, тоді визначається третій вихідний напрямок, за яким і проводять відповідний контроль.

Лінії в полігонометрії 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів вимірюють світловіддалемірами, електронними тахеометрами та іншими приладами, що забезпечують необхідну точність вимірювання (табл. 3.1).

Прилади й обладнання, що фіксують кінці лінії при її вимірюванні, встановлюють над центрами з точністю 1 мм.

При вимірюванні ліній світловіддалемірами та електронними тахеометрами в полігонометрії 4-го класу слід виконувати три прийоми, 1-го і 2-го розрядів – два прийоми. Під прийомом у цих випадках розуміють одне наведення на відбивач і три відліки по табло.

Коливання результатів вимірювань у прийомах не повинні бути більшими 3 m , де m – середня квадратична помилка вимірювання віддалі, що взята з паспорта приладу.

При вимірюванні ліній світловіддалемірами та електронними тахеометрами один раз за час вимірювання на одному кінці визначається температура повітря термометром-пращем з точністю 1 °С і тиск – барометром з точністю 5 мм рт. ст. При вимірюванні ліній більше 2 км або при великому перепаді висот між точками стояння віддалеміра і відбивача метеодані треба визначати на обох кінцях лінії.

3.3.2. Триангуляція 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів

Триангуляція (від лат. *triangulum* – трикутник) – метод побудови геодезичної мережі у формі прилеглих один до одного трикутників. У кожному трикутнику вимірюють три кути, а одну з його сторін визначають з обчислень шляхом послідовного вирішення попередніх трикутників, починаючи від того з них, в якому одна з його сторін отримана вимірами. Цю сторону триангуляції зазвичай називають *вихідною стороною*.

Триангуляція 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів будується з метою згущення геодезичних мереж до щільності, що забезпечує розвиток знімальної основи великомасштабних знімальних у відкритій і гірській

місцевостях, або у випадках, коли з будь-яких причин застосування методу полігонометрії неможливе або недоцільне.

Вихідними пунктами для розвитку триангуляції 4-го класу, 1-го та 2-го розрядів слугують пункти геодезичної мережі вищих класів або розрядів відповідно.

Залежно від розташування і густоти вихідних пунктів на об'єкті знімання мережу триангуляції 4-го класу, 1-го та 2-го розрядів будують у вигляді сіток, ланцюгів трикутників і вставок окремих пунктів у трикутники, утворені пунктами мереж вищих класів або розрядів (рис. 3.3–3.5).

**Приблизні схеми побудови
триангуляційних мереж 4-го класу 1 та 2 розрядів**

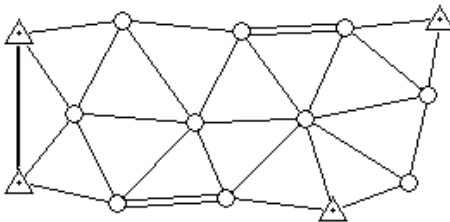


Рис. 3.3. Суцільна триангуляційна мережа

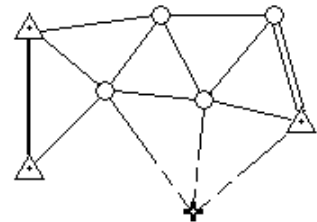
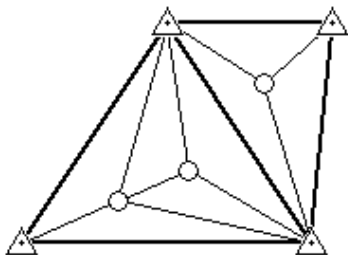


Рис. 3.4. Ланцюг трикутників та засічка








- Умовні позначення:**
-  Вихідний геодезичний пункт
 -  Вихідна сторона триангуляції
 -  Базис
 -  Сторони триангуляції з двосторонніми напрямками
 -  Односторонні напрямки

Рис. 3.5. Вставки в трикутники

Кожен пункт триангуляції 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів слід визначати із трикутників, у яких вимірюються всі кути. Засічками з кількістю напрямків не менше трьох визначаються тільки місцеві предмети, недоступні для спостереження.

Суцільна мережа триангуляції повинна опиратися не менш ніж на три вихідних геодезичних пункти і на дві вихідні сторони.

Ланцюг трикутників повинен опиратися на два вихідні геодезичні пункти і на дві вихідні сторони, що прилягають до пунктів. Вихідними можуть бути сторони полігонометрії, трилатерації або триангуляції вищих класів, а також сторони розрядної триангуляції, яка будується за умови, що довжини їх не коротші 1 км, а точність їх визначення не нижча зазначеної в табл. 3.4.

Триангуляція 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів має задовольняти основні вимоги, що викладені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Основні вимоги до побудови мереж триангуляції

Показники	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд
Довжина сторони трикутника, км, не більше ніж	5,0	5,0	3,0
Мінімально допустима величина кута:			
– у суцільній мережі	20°	20°	20°
– сполучного в ланцюжку трикутників	30°	30°	30°
– у вставці	30°	30°	20°
Кількість трикутників між вихідними сторонами	10	10	10
Мінімальна довжина вихідної сторони, км	2	1	1
Граничне значення середньої квадратичної похибки кута, обчислена за нев'язками у трикутниках	2"	5"	10"
Граничнодопустима нев'язка в трикутнику	8"	20"	40"
Відносна помилка вихідної (базисної) сторони, не більше ніж	1:200 000	1:50 000	1:20 000
Відносна помилка визначення довжини сторони в найслабкішому місці, не більше ніж	1:50 000	1:20 000	1:10 000

Якщо віддаль між пунктами триангуляції 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів, які належать різним побудовам, буде в мережі 4-го класу менше 3 км, 1 розряду менше 2 км, 2 розряду менше 1,5 км, то повинен бути передбачений їх зв'язок.

Кути в триангуляції 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів вимірюють круговими прийомами теодолітами точністю 2" та 5".

Кількість прийомів, яка залежить від розряду мережі і типу теодоліта, та допустимі коливання результатів вимірів наведено в табл. 3.5. Прийоми, що не задовольняють установлені допуски, повторюють на тих самих установках лімба.

Таблиця 3.5

Основні вимоги щодо точності кутових вимірювань

Показники	Теодоліти з точністю 2"			Теодоліти з точністю 5"	
	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд	1-й розряд	2-й розряд
Кількість прийомів	6	3	2	4	3
Розбіжність між результатами спостережень на початковий напрямок на початку і в кінці півприйому	6"	8"	8"	0,2'	0,2"
Колівання значень напрямків, зведених до загального нуля, в окремих прийомах	6"	8"	8"	0,2'	0,2"

До обробки береться середнє значення з основного і повторного прийомів, якщо воно задовольняє установлені допуски, в протилежному разі до обробки береться повторний прийом.

Під час вимірювання кутів у триангуляції 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів на (вихідних) пунктах у програму вимірювань треба включити один-два напрямки вихідної мережі.

Теодоліт на штативі центрують над центром пункту триангуляції з точністю не нижче ніж 2 мм.

Елементи приведення на пункті визначають графічним способом двічі (до початку спостережень і після).

Висотну прив'язку центрів триангуляції 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів проводять нівелюванням IV класу або технічним нівелюванням. Визначення висот центрів триангуляції нівелюванням IV класу залежить від надійності центрів.

3.3.3. Трилатерація 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів

Трилатерація (від лат. *trilaterus* – тристоронній) – метод побудови геодезичної мережі у формі прилеглих один до одного трику-

тників. У кожному трикутнику вимірюють усі сторони, а кути трикутників розраховуються за формулами тригонометрії.

Мережі трилатерації 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів будують у вигляді ланцюгів трикутників, геодезичних чотирикутників, поєднаних і стичних центральних систем, а також у вигляді суцільних мереж із трикутників та геодезичних чотирикутників (рис. 3.6–3.10).

Приблизні схеми розбудови трилатераційних мереж

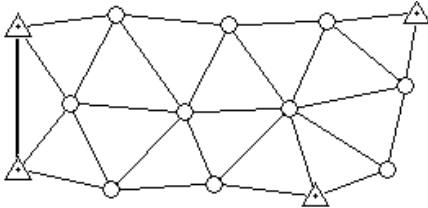


Рис. 3.6. Суцільна мережа

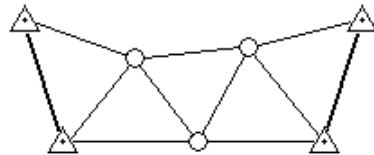


Рис. 3.7. Ланцюг трикутників

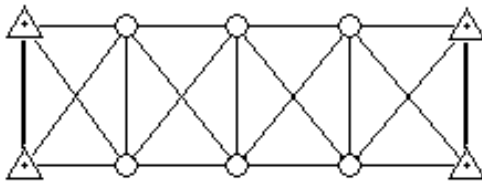


Рис. 3.8. Ланцюг геодезичних чотирикутників

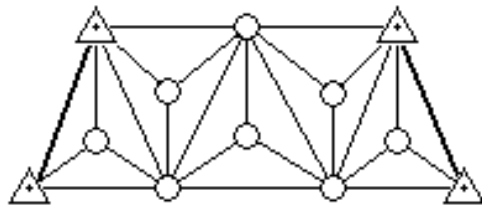
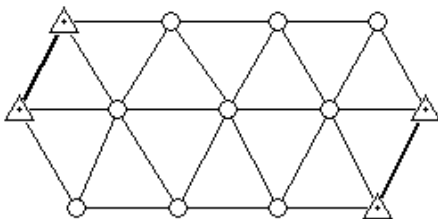


Рис. 3.9. Стичні центральні системи



Умовні позначення:





-  Вихідний геодезичний пункт
-  Вихідна сторона
-  Пункт, який визначається
-  Сторони трилатерації

Рис. 3.10. Поєднані центральні системи
 Мережі трилатерації 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів мають від-
 повідати вимогам, наведеним у табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Основні вимоги до побудови мереж трилатерації

Показники	Трилатерація		
	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд
Довжина сторони три- кутника, км	2–5	0,5–5	0,25–3
Мінімально допустима величина кута трикутника	30°	20°	20°
Гранична довжина ланцюга трикутників між вихідними сторонами або між вихідним пунктом і вихідною стороною, км	14,0	7,0	4,0
Мінімальна довжина вихідної сторони, км	2	1	1
Відносна середня квадра- тична помилка вимірю- вання сторони мережі	1:120 000	1:80 000	1:40 000

Метод трилатерації найефективніший у випадках застосування радіовіддалемірів з окремими приймачами-передавачами і переносних щогл у районах з несприятливими умовами видимості для кутових вимірювань.

Вимірювання сторін у трилатерації проводять світло-, радіо-віддалемірами та електронними тахеометрами різних типів.

Типи віддалеміра і програми вимірювань зазначаються в технічному проекті відповідно до технічних вимог щодо довжини і точності вимірювання сторін трилатерації відповідного розряду.

Середню квадратичну помилку вимірювання сторін розраховують за формулою

$$m = \pm (a + b 10 D^{-6}), \quad (3.1)$$

де D – довжина сторони, мм; a і b – коефіцієнти, що характеризують точність конкретного приладу.

Програма вимірювання ліній електронними віддалемірами залежить від типу приладу і довжини лінії, що вимірюється. Загальна

кількість прийомів у програмі не повинна бути меншою, ніж це рекомендується для даного типу приладу.

Усі прилади, які використовують для вимірювання сторін, до початку вимірювань повинні бути перевірені і досліджені за програмою, викладеною в інструкції з експлуатації приладу.

При довжині лінії до 2 км метеорологічні спостереження виконують на одному кінці лінії, при більшій довжині – на обох кінцях лінії, що вимірюється.

Основним документом, що регламентує порядок роботи при вимірюванні ліній, запис і обробку результатів вимірювань у журналі, є інструкція з експлуатації конкретного типу віддалеміра і його технічний опис.

Для визначення поправок за нахил лінії нівелюванням вимірюють перевищення між кінцями ліній.

Після виконання робіт з трилатерації здають такі матеріали:

- схему мережі трилатерації і прив'язки її до державної геодезичної мережі;
- журнали вимірювання довжин сторін або результати вимірювань у реєстраторах чи накопичувачах інформації;
- журнали визначення висот пунктів;
- аркуші графічного визначення елементів приведення;
- матеріали дослідження та еталонування електронних віддалемірів;
- матеріали обчислень і оцінки точності;
- пояснювальну записку.

3.3.4. Розвиток геодезичних мереж за допомогою GNSS-спостережень

Розвиток геодезичних мереж можна виконувати також за допомогою GNSS-спостережень. Для цього розглянемо принцип роботи GNSS.

GNSS – Глобальна Навігаційна Супутникова Система (Global Navigation Satellites System).

В основі визначення координат GNSS-приймача лежить обчислення відстані від нього до декількох супутників, розташування яких вважається відомим (ці дані знаходяться в прийнятому з GNSS-супутника «альманасі»). У геодезії метод обчислення положення об'єкта по вимірюванню його віддаленості від точок із заданими координатами називається *«трилатерацією»*.

Визначення координат користувача GNSS проводиться з допомогою спеціальних супутникових приймачів, що вимірюють або час проходження сигналу від кількох супутників до приймача, або фазу сигналу на несучій частоті. У першому випадку відстані вимірюються з метровим рівнем точності, у другому випадку – з міліметровим рівнем точності. При цьому реалізований односпрямований метод вимірювання відстаней, оскільки GNSS є беззапитним супутниковими системами, які допускають одночасне використання їх багатьма користувачами.

Кожний приймач може проводити вимірювання або незалежно від інших приймачів, або синхронно з іншими приймачами. У першому випадку, званому абсолютним методом, досягається точність одноразового визначення координат за кодами порядку 1–15 м. Такий метод ідеально підходить для навігації. Однак більш високу точність можна отримувати за одночасних спостереженнях супутників кількома приймачами по фазових вимірюваннях. За такої методики спостережень один із приймачів зазвичай розташовується в пункті з відомими координатами, тоді положення інших приймачів можна визначити щодо першого приймача з точністю до декількох міліметрів. Цей метод GNSS отримав назву відносного методу. При цьому можливі вимірювання на відстанях від декількох метрів до тисяч кілометрів.

Сучасні GNSS-пристрої зазвичай оснащені 6–8 приймачами, що дає можливість відстежувати майже всі навігаційні супутники, що знаходяться в зоні радіовидимості об'єкта. Якщо каналів менше, ніж «спостережуваних» супутників, автоматично вибирається найоптимальніше поєднання супутників.

Під час оброблення даних у реальному часі, тобто в процесі спостережень на точці, супутникова апаратура доповнюється радіомодемами та іншими засобами бездротового зв'язку для взаємобміну даними між приймачами. Пост-обробка зазвичай виконується найприскіпливіше, однак допущені в полі промахи можуть зажадати повторних виїздів на вимірювання.

Методи GNSS-вимірів можна розділити на статичні і кінематичні.

При статичних вимірах, щодо спостережень, приймачі знаходяться встановленими на пунктах у нерухомому стані. Тривалість спостережень становить від 5 хв (швидка статика) до декількох годин і навіть діб, залежно від необхідної точності і відстаней між приймачами.

При кінематичних вимірах один із приймачів знаходиться постійно на опорному пункті, а другий приймач (мобільний) – у русі. Точність кінематичних зйомок трохи нижче, ніж у статиці (зазвичай 2–3 см на лінію до 10 км).

Для визначення координат геодезичних пунктів застосовують такі методи GNSS-знімання:

- статичний (статичне знімання) (рис. 3.11);
- кінематичний (кінематичне знімання) (рис. 3.12);
- псевдокінематичний (статичний переривчастий) (рис. 3.13).



Рис. 3.11. Статичне знімання. Опорна станція (OC), координати якої відомі: X, Y, Z . Тривалість сесії – одна година. Станція, координати якої X, Y, Z визначаються (BC)

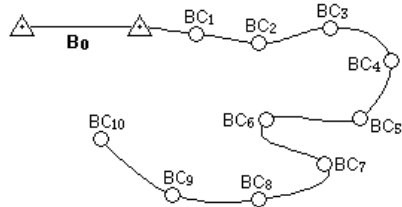


Рис. 3.12. Кінематичне знімання: B_0 – вихідна початкова база. Сесія 3–5 хв, потім переїзди між пунктами, які визначаються з тривалістю сесії 0,1–1 хв. Основна вимога – неперервність стеження

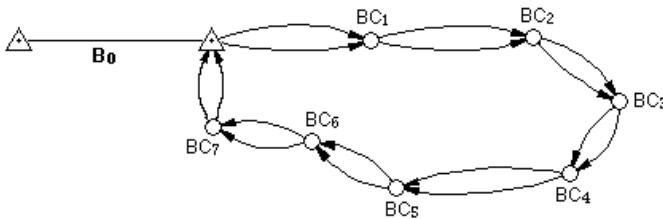


Рис. 3.13. Псевдокінематичне знімання: B_0 – вихідна початкова база. Сесія 3–5 хв. Повторний заїзд через 30–60 хв

Вибір методу знімання залежить від вимог до точності визначення пунктів. Основні типи мереж показано на рис. 3.14–3.16.

На практиці застосовують комбінації з цих трьох методів, виходячи з їх оптимальності для даного району робіт.

Методи визначення положення геодезичних пунктів із спостережень і вимоги до польового обладнання (типи приймачів, антен тощо) зазначають у технічному проєкті.

Проектування GNSS-знімань виконують на топографічних картах масштабів 1:25 000 – 1:100 000.

Основні типи GNSS -мережі

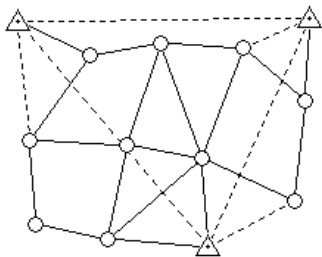


Рис. 3.14. GNSS -мережа у вигляді замкнутих геометричних фігур

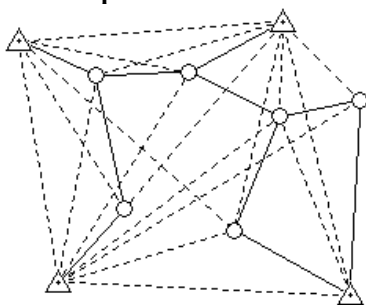


Рис. 3.15. Тип радіальної мережі з контролем

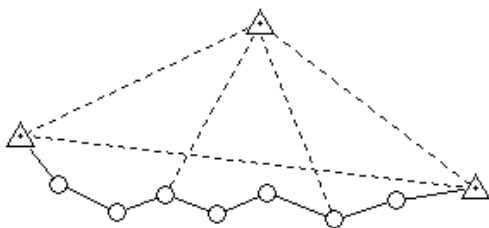






Рис. 3.16. Комбінація статистичного і псевдо-кінематичного методів знімання

Умовні позначення:

-  Вихідні пункти
-  Пункти мережі, які визначаються
-  Вектори, довжина яких визначається із GPS-спостережень
-  Вектори між пунктами, між якими існує оптична видимість

Точність визначення положення геодезичного пункту із застосуванням GNSS-знімання наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Вимоги щодо виконання GNSS -спостережень

Частота	Довжина бази, км	Кількість супутників	Тривалість сесії, хв.	Точність визначення $10 D^{-6}$ мм
Статичне знімання				
Одна	1	4	30	5–10
	5	4	15	5
	5	5	60	5
	10	4	30	4
10	10	4	90	4

	30	5 4 5	60 120 90	3
--	----	-------------	-----------------	---

Закінчення табл. 3.7

Частота	Довжина бази, км	Кількість супутників	Тривалість сесії, хв	Точність визначення 10 D ⁶ мм
Кінематичне знімання				
Одна	3	5	0,1	10
Дві (Р-код)	100	5	0,1	3

На основі затвердженого технічного проекту проводять рекогносцирування GNSS-мережі, під час якого уточнюється проект мережі і намічуються місця встановлення пунктів і закладання центрів. При цьому слід враховувати такі важливі вимоги:

- розташування пункту повинно бути в зоні безперешкодного огляду неба;
- відсутність поблизу пункту об'єктів, що відбивають радіосигнали від супутників (металеві споруди, огорожі, потужні радары, телепередавачі тощо).

Для визначення положення геодезичних пунктів застосовують два основних типи GNSS-мережі:

- радіальний;
- тип замкнутої геометричної мережі.

При радіальному типі мережі один приймач встановлюють на вихідному пункті і виконують вимірювання векторів (баз) від цього пункту до приймачів, встановлених на інших пунктах.

Тип мережі у вигляді замкнутої геометричної фігури полягає в послідовному спостереженні суміжних пунктів і переході від одного пункту до іншого по замкнутій кривій.

GNSS-мережа має відповідати таким основним вимогам:

- мережа повинна складатися із замкнутих петель або інших замкнутих геометричних фігур;
- має бути здійснена прив'язка мережі не менш як до трьох пунктів державної геодезичної мережі, на яких обов'язково виконуються GNSS-спостереження;

– GNSS-мережа повинна бути прив’язана не менше ніж до чотирьох нівелірних знаків з використанням безпосередніх методів прив’язки.

Головним документом, який регламентує порядок роботи на пункті під час виконання GNSS-спостережень та оброблення результатів спостережень, є інструкція оператора супутникової геодезичної системи GNSS.

Проміжок часу, коли спостереження одних і тих самих супутників виконується з двох чи більше пунктів, називається сесією.

Від тривалості сесій спостережень залежить точність і надійність визначення векторів (баз). Триваліша сесія дає змогу точніше визначити вектор бази, але вона дорожча.

До початку спостережень на пункті антену GNSS-системи центрують над центром пункту за допомогою оптичного центра і вимірюють її висоту.

Вимірювання висоти антени виконують за допомогою спеціальної лінійки, що знаходиться в комплекті системи GNSS. Висоту вимірюють двічі – до початку спостережень і після їх завершення.

Якщо під час спостережень антена кріпиться на столику сигналу, то двічі визначають елементи редукції антени з метою передачі координат центру пункту на центр антени. Визначення елементів приведення виконують як при лінійних вимірюваннях.

При GNSS-спостереженнях на кожному пункті вимірюють метеорологічні дані: температуру повітря, тиск і вологість. Результати вимірювань записують у журнал спостережень.

Після завершення GNSS-знімання слід здати такі матеріали:

- файли спостережень, записані на чотирьох носіях;
- журнали спостережень;
- технічний звіт про виконані роботи.

У технічному звіті, крім висвітлення питань, додається:

- опис GNSS-устаткування та методів перевірки установки штативів (триног) або оптичного центра у вертикальне положення;
- опис схеми обчислень, включно з інформацією про версію програмного забезпечення, що використовувалось, та метод зрівнювання;
- номери супутників, які спостерігались у кожній сесії;
- опис методів обчислень координат усіх пунктів, спостереження за якими виконувалися поза їх центрами;

– схеми приведення результатів спостережень до центрів пунктів як у плані, так і по висоті.

До технічного звіту додаються:

- перелік помилок замикання петель (фігур);
- схема відвідування пунктів для проведення спостережень;
- статистика векторів;
- результати вільного зрівнювання;
- список вирівняних координат;
- копії журналів спостережень;
- протокол неполадок устаткування;
- схема мережі і її прив'язка до державної геодезичної мережі;
- результати спостережень, записані на відповідних носіях.

3.3.5. Рекогностування геодезичних мереж згущення

Рекогностування геодезичних мереж згущення – це уточнення проекту побудови мереж на місцевості й остаточний вибір місць закладання пунктів.

Рекогностування полягає в: огляді місцевості, установленні змін у контурах, перевірці доцільності виконання наміченого проекту, уточненні його на місці, призначенні місця установки пунктів знімальної мережі, закріпленні їх геодезичними знаками і наміченні шляху прив'язки до пунктів геодезичної мережі більш високого порядку.

При рекогностуванні перевіряють взаємну видимість між пунктами і, якщо вона відсутня, здійснюють заходи для її забезпечення шляхом усунення перешкод на шляху візирного променя, зміни місця закладання пункту тощо.

Місця для закладання пунктів вибирають так, щоб забезпечувалась їхня довготривала збереженість. Тому не можна вибирати місця на зсувних ділянках, на ріллі, на штучних насипах, на проїжджих частинах доріг, на територіях, які підлягають забудові тощо. Пункти повинні бути закладені в таких місцях, щоб візирний промінь проходив не ближче ніж 0,5 м від перешкоди. Для дотримання вимог техніки безпеки пункти не повинні знаходитися дуже близько до колії, ліній електропередач високої напруги тощо.

Вибираючи місця закладання ґрунтових центрів, ураховують наявність підземних і наземних комунікацій і майбутню забудову. На забудованих територіях місця закладання пунктів вибирають

переважно у фундаментах і стінах капітальних бетонних або цегляних споруд, передбачаючи закріплення їх стінними центрами.

Вибрані на місцевості місця закладання пунктів закріплюють тимчасовими центрами: кілками, металічними стержнями тощо і складають на них абриси з прив'язкою до постійних предметів місцевості.

3.3.6. Виготовлення і закладання центрів

Пункти геодезичних мереж згущення закріплюються на місцевості центрами тривалого збереження. Центри слугують для точного позначення місця розміщення пункту і довготривалого його збереження. Центри можуть мати різну конструкцію, залежно від фізико-географічних умов їх закладання. Пункти планових мереж закріплюються ґрунтовими, скельними, стінними центрами, а також пунктами на будівлі.

Вузлові пункти геодезичних мереж згущення 4-го класу закріплюються центрами типу 160 (рис. 3.17). Ці центри закладаються на глибину, що знаходиться нижче межі промерзання ґрунту на 50 см. Таким чином, висота залізобетонного моноліту становить не менше ніж 120 см.

Зовнішнє оформлення центру типу 160 виконують обкопуванням квадратної форми з канавою, розміри якої наведені на рис. 3.18.

Інші пункти геодезичних мереж згущення 4-го класу (тобто не вузлові і не суміжні з вузловими), а також пункти 1-го і 2-го розрядів закріплюються менш капітальними монолітами, висота яких становить 70–75 см. На незабудованих територіях закладають центр, зображений на рис. 3.19, на забудованих – рис. 3.20.



Рис. 3.17. Центр пункту геодезичних мереж згущення (тип 160)

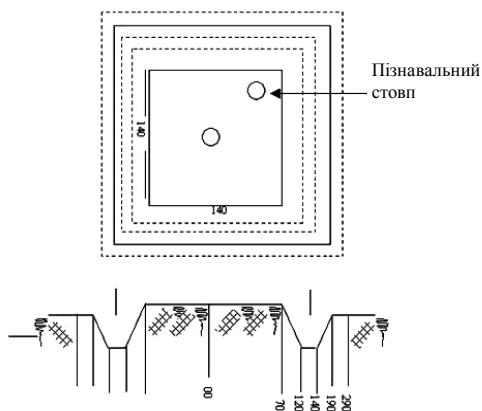


Рис. 3.18. Зовнішнє оформлення центру типу 160

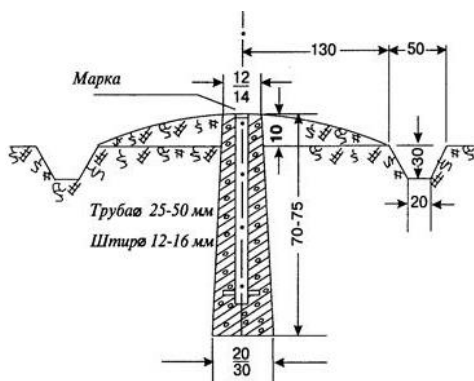


Рис. 3.19. Центр пункту полігонометрії, трилатерації, триангуляції 4-го класу 1-го і 2-го розрядів для незабудованої території

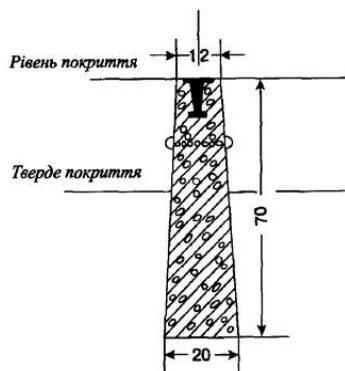


Рис. 3.20. Центр пункту полігонометрії, трилатерації, триангуляції 4-го класу 1-го і 2-го розрядів для забудованих територій, райцентрів, міст, селищ, сільських населених пунктів

На забудованих територіях пункти планових мереж усіх класів і розрядів встановлюють також на будівлях (рис. 3.21).

На забудованих територіях пункти також можуть бути закріплені стінними знаками. Загальний вигляд стінного знака показано на рис. 3.22.

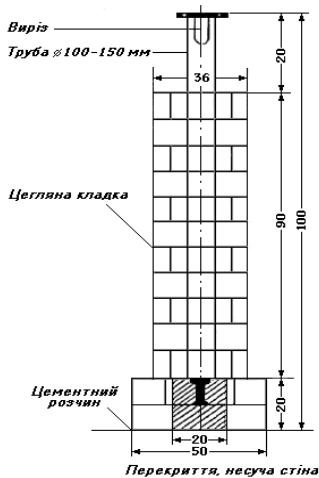


Рис. 3.21. Центр пункту триангуляції, трилатерації і полігонометрії на будівлі

У стіні або фундаменті капітальної будівлі видовбують отвір, у який на цементному розчині встановлюють стінний знак. Використовувати його для роботи можна не раніше ніж через два дні після закладання.

Пункт полігонометрії може бути закріплений одним стінним знаком або групою із двох-трьох знаків.

На стінні знаки координати передаються з тимчасових центрів, на яких виконуються всі кутові і лінійні вимірювання ходів полігонометрії. Визначення координат стінних знаків виконують із контролем шляхом порівняння віддалей між стінними знаками, отриманими з обчислень за координатами з вимірними віддалями, або з додаткових вимірювань (за відсутності видимості між стінними знаками).

У випадку втрати тимчасових центрів їх визначають заново під час прив'язки або прокладання ходів полігонометрії, а під час прив'язки знімальних ходів – засічками від стінних знаків по промірах, що є в абрисах.

Напрямки на стінні знаки в полігонометрії 4-го класу вимірюють трьома круговими прийомами після завершення спостережень на пункти лінії ходу.

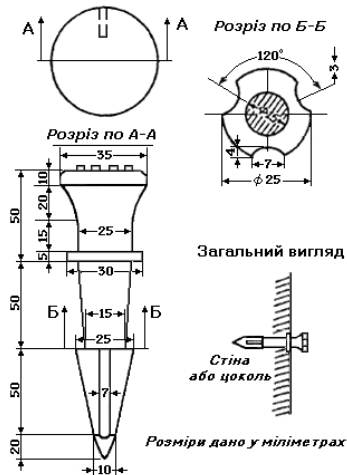


Рис. 3.22. Стінний знак пункту полігонометрії 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів

У полігонометрії 1-го і 2-го розрядів вимірювання на стінні знаки проводять за програмою вимірювання основних кутів.

Коливання в окремих прийомах напрямків, зведених до спільного нуля, не повинні перевищувати величин, наведених у табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Вимоги щодо вимірювання напрямків

Показники	Віддалі до стінного знака, м							
	2	4	6	8	10	15	20	30
Коливання напрямків в окремих прийомах	200"	150"	80"	60"	40"	30"	20"	10"

При віддальх, що перевищують 30 м, розходження в окремих прийомах не повинні перевищувати значень, наведених у табл. 3.4.

Передачу координат з тимчасових точок, на яких виконуються основні кутові і лінійні вимірювання ходу полігонометрії, на центри стінних знаків, що входять в орієнтирні системи, можна здійснювати способами редукування, полярним, кутової і лінійних засічок.

Спосіб редукування використовують у випадках, коли пункт закріплений одним стінним знаком.

Полярний спосіб використовується при передачі координат з тимчасових точок на стінні знаки, встановлені у вигляді одинарних знаків, подвійних і потрійних систем.

Спосіб кутових засічок доцільно використовувати у випадках, коли безпосереднє вимірювання віддалей від тимчасових точок до центрів стінних знаків ускладнене інтенсивним рухом транспорту і пішоходів.

Спосіб лінійної засічки можна застосовувати, якщо стінні знаки розташовані близько від тимчасових точок і немає жодних перешкод для проведення лінійних вимірювань.

Вимірювання для передачі координат з тимчасових точок на центри стінних знаків виконують із сумарною середньою квадратичною помилкою ± 2 мм у всіх розрядах полігонометрії.

Віддалі до стінних знаків вимірюють світловіддалемірами, електронними тахеометрами та сталевими рулетками. У виміряні віддалі вводять поправку за нахил лінії.

При вимірюванні віддалі рулеткою вводять поправку за компарування. Температуру повітря вимірюють із точністю 2°.

Перевищення між кінцем рулетки визначають із точністю 5 мм геометричним або тригонометричним нівелюванням. Компарування рулетки проводять на площині контрольною лінійкою.

3.4. Проектування полігонометричних мереж та їх оцінка

Полігонометричні мережі 4-го класу, 1-го і 2-го розряду для територій поза населеними пунктами проектують на топографічних картах, як правило, масштабів 1:25 000–1:10 000, а для територій, що знаходяться в населених пунктах або на будівельних майданчиках – на планах масштабів 1:5000 та 1:2000.

Полігонометричні мережі проектують у вигляді окремих ходів або систем з однією або кількома вузловими точками.

Під час проектування дотримуються технічних вимог, які розглядались у п. 3.3.1.

Запроектвані на карті мережі підлягають попередньому оцінюванню, за якого встановлюється очікувана точність полігонометричних мереж і відповідність її вимогам нормативних документів.

При оцінюванні проектів окремих ходів полігонометрії обчислюють очікувану середню квадратичну помилку положення кінцевої точки M . На її величину здійснюють вплив помилки лінійних та кутових вимірів. Якщо позначити сумарний вплив помилок лінійних вимірів m_L , а кутових вимірів m_u , то для видовженого ходу

$$M^2 = m_L^2 + m_u^2. \quad (3.2)$$

Величина впливу помилок лінійних та кутових вимірів на величину M залежить від конфігурації ходу, довжини ходу, довжин сторін, точності кутових і лінійних вимірювань.

За конфігурацією окремі ходи поділяють на видовжені, зігнуті й замкнені.

Для того, щоб з'ясувати, який хід вважається видовженим, а який зігнутим чи замкненим, введемо поняття замикаючої ходу. Замикаюча ходу – це пряма, яка з'єднує початкову і кінцеву точки окремого ходу (рис. 3.23).

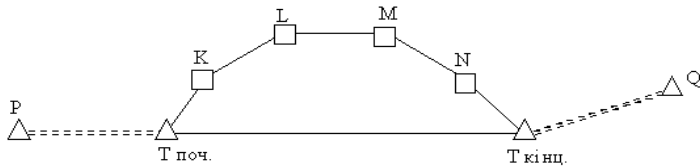


Рис. 3.23. Полігонометричний хід і його замикаюча

Довжина замикаючої ходу визначається за формулою:

$$L = \sqrt{[\Delta x]^2 + [\Delta y]^2}, \quad (3.3)$$

де $[\Delta x]$, $[\Delta y]$ – суми приростів координат уздовж осей X і Y .

3.4.1. Критерії зігнутих полігонометричних ходів

Хід вважається видовженим, якщо задовольняються одночасно такі три умови:

$$S \leq 1,3 L, \quad (3.4)$$

де S – периметр ходу; L – довжина замикаючої ходу;

$$\eta_{\max} \leq 1/8 L, \quad (3.5)$$

де η_{\max} – найбільша віддаль пунктів ходу від замикаючої ходу;

$$\alpha_{\max} \leq 24^\circ, \quad (3.6)$$

де α_{\max} – найбільше кутове відхилення сторін ходу від замикаючої.

Умови (3.4), (3.5) і (3.6) називають критеріями видовженості ходів.

Якщо хоча б одна з трьох умов не задовольняється, хід вважається зігнутим.

Замкнений хід – це один з окремих випадків зігнутого ходу. Оскільки в замкненому ході початкова і кінцева точки збігаються, його замикаюча $L = 0$ (рис. 3.24).

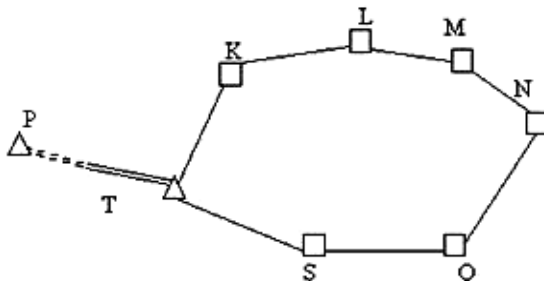


Рис. 3.24. Замкнений полігонометричний хід

3.4.2. Оцінка проєктів видовжених ходів

Розглянемо як впливають помилки лінійних та кутових вимірювань на положення кінцевої точки видовженого полігонометричного ходу. Нехай у полігонометричному ході n сторін і $n+1$ кутів. Якщо допустити, що кожна сторона вимірюється зі своєю помилкою, тобто $m_{S1}, m_{S2} \dots m_{Sn}$, то сумарна помилка впливу лінійних вимірювань:

$$m_L^2 = m_{S1}^2 + m_{S2}^2 + \dots + m_{Sn}^2. \quad (3.7)$$

Якщо довжини сторін приблизно однакові, а отже виміри рівноточні, тобто

$$m_{S1} = m_{S2} = \dots = m_{Sn}, \quad (3.8)$$

то

$$m_L^2 = m_S^2 n, \quad (3.9)$$

де m_S – середня квадратична помилка вимірювання однієї лінії ходу середньої довжини.

Встановимо зв'язок між сумарним впливом кутових вимірювань m_u^2 та помилкою вимірювання кутів m_β . Розглянемо рис. 3.25.

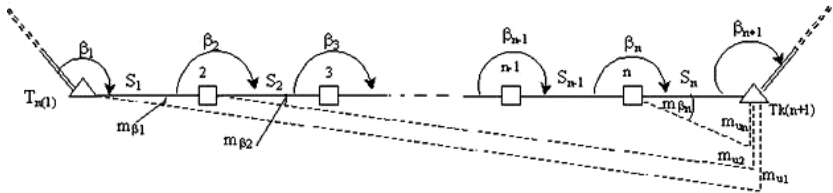


Рис. 3.25. Зв'язок між помилками кутових вимірювань і зміщеннями кінцевої точки ходу

Помилка в куті β_1 призведе до зміщення кінцевої точки T_k на величину

$$m_{u1} = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) \frac{m_{\beta1}}{\rho}. \quad (3.10)$$

Помилка в куті β_2 приведе до додаткового зміщення кінцевої точки T_k на величину

$$m_{u_2} = (S_2 + \dots + S_n) \frac{m_{\beta_2}}{\rho}. \quad (3.11)$$

і т.д., нарешті під впливом помилки в куті β_n точка T_k зміститься ще на величину

$$m_{un} = S_n \frac{m_{\beta_n}}{\rho}. \quad (3.12)$$

Сумарний вплив помилок кутів вимірювань на зміщення кінцевої точки ходу T_k може бути записаний так:

$$m_u^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2; \quad (3.13)$$

$$m_u^2 = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) \frac{m^2}{\rho^2} + (S_2 + \dots + S_n) \frac{m^2}{\rho^2} + S_n \frac{m^2}{\rho^2}. \quad (3.14)$$

При рівноточних вимірюваннях кутів, тобто

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = \dots = m_{\beta_n} = m_{\beta}, \quad (3.15)$$

а також вважаючи, що всі сторони приблизно рівні, тобто

$$S_1 \approx S_2 \approx \dots \approx S_n, \quad (3.16)$$

отримаємо

$$m_u^2 = m_{\beta}^2 S^2 \frac{n^2 + (n-1)^2 + \dots + 1^2}{\rho^2}. \quad (3.17)$$

Але відомо, що

$$1^2 + 2^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}. \quad (3.18)$$

Тоді

$$m_u^2 = m_{\beta}^2 S^2 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \rho^2. \quad (3.19)$$

Спростимо останній вираз, домноживши чисельник і знаменник правої частини на n . Матимемо

$$m_u^2 = m_{\beta}^2 S^2 \frac{n^2(n+1)(2n+1)}{6n} \rho^2. \quad (3.20)$$

Перетворимо член $\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}$:

$$\frac{(n+1)(2n+1)}{6n} = \frac{2n^2 + 2n + n + 1}{6n} = \frac{2n^2 + 3n + 1}{6n}. \quad (3.21)$$

Поділимо чисельник і знаменник на $2n$. Отримаємо вираз $\frac{n+1,5+\frac{1}{2n}}{3}$, у якому членом $\frac{1}{2n}$ можна знехтувати, враховуючи його малу величину. Таким чином, врахувавши у формулі (3.20), що $S \times n''L$, де L – довжина замикаючої ходу, запишемо

$$m_u^2 = m_\beta^2 L^2 \frac{(n+1,5)}{3\rho^2}. \quad (3.22)$$

Якщо хід прокладений між двома пунктами з вихідними дирекційними кутами, сумарний вплив помилок кутових вимірювань буде приблизно вдвічі меншим за рахунок вирівнювання кутів за нев'язку. В цьому випадку формула (3.22) набуде дещо іншого вигляду:

$$m_u^2 = m_\beta^2 L^2 \frac{n+3}{12\rho^2}. \quad (3.23)$$

Таким чином, формула (3.2) для обчислення очікуваної середньої квадратичної помилки кінцевої точки видовженого ходу набуде вигляду:

$$M^2 = m_L^2 n + m_\beta^2 L^2 \frac{n+3}{12\rho^2}, \quad (3.24)$$

де m_L – середня квадратична помилка вимірювання сторін, яка залежно від довжин сторін вибирається з табл. 3.1; n – кількість сторін; m_β – середня квадратична помилка вимірювання кутів, яка залежить від класу чи розряду полігонометрії і вибирається з табл. 3.1; L – довжина замикаючої полігонометричного ходу, яку можна визначити з карти графічно, приклавши лінійку до початкової і кінцевої точок ходу.

Для полігонометрії з вимірюванням ліній точними світловіддалемірами та електронними тахеометрами $[m_L^2] = nm_L^2$.

3.4.3. Оцінювання проєктів зігнутих полігонометричних ходів

Очікувана середня квадратична помилка M найслабкішої точки зігнутого ходу розраховується за формулою:

$$M^2 = [m_L^2] + \frac{m_B^2}{\rho^2} [D_{oi}^2], \quad (3.25)$$

де D_{oi} – віддаль від точки з номером i до центру ваги ходу O , координати якого визначаються як середнє арифметичне з усіх точок ходу.

Для визначення значення $[D_{oi}^2]$ необхідно знати координати центру ваги ходу, які цілком достатньо визначити графічно. Для цього складають креслення ходу в масштабі 1:5000 або 1:1000, на якому з'єднують прямою лінією початкову і кінцеву його точки. Цю лінію беруть за вісь абсцис, лінію, перпендикулярну до неї – за вісь ординат. Узявши початкову точку ходу за початок координат, графічно якомога точніше визначають для кожної точки ходу координати x і y (у метрах).

Координати центру ваги ходу знаходяться за формулами

$$x_0 = \frac{[x_i]}{n+1}; \quad y_0 = \frac{[y_i]}{n+1}, \quad (3.26)$$

де: x_i, y_i – координати пунктів ходу, визначені графічно; n – кількість сторін ходу.

Для початкового пункту $x = 0, y = 0$.

За одержаними координатами x_0, y_0 на креслення наносять центр ваги (точку O), від якого графічно визначають величини D_{oi} (м) для кожного пункту ходу. Потім кожне значення D_{oi} підносять до квадрата і знаходять суму квадратів, тобто $[D_{oi}^2]$.

Після цього обчислюють очікувану абсолютну нев'язку полігонометричного ходу

$$f_{\text{доп}} = 2M \quad (3.27)$$

і очікувану відносну нев'язку полігонометричного ходу

$$f_{\text{в}^{\text{в}i}} = \frac{f_{\text{в}^{\text{в}i}}}{[S]}, \quad (3.28)$$

порівнюють її з граничною відотною нев'язкою, що вибирається з табл. 3.1.

Якщо

$$\frac{1}{T} \leq \hat{\alpha} \leq \frac{1}{T}, \quad (3.29)$$

де $\frac{1}{T} = 1:25\ 000$ для полігонометрії 4-го класу; $\frac{1}{T} = 1:10\ 000$ для полігонометрії 1 розряду, $\frac{1}{T} = 1:5000$ для полігонометрії 2 розряду.

То це свідчить про те, що запроєктований хід відповідає необхідним технічним вимогам.

У протилежному випадку хід необхідно перепроєктувати, змінивши його параметри (периметр, кількість сторін, середні довжини сторін).

3.5. Прив'язка полігонометричних мереж до пунктів Державної геодезичної мережі

Прив'язка полігонометричних ходів 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів до державної геодезичної мережі передбачає передачу на них координат з пунктів державних мереж та відповідну орієнтацію полігонометричного ходу відносно державної системи координат.

Інструкція передбачає такі варіанти прив'язки полігонометричних ходів 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів до пунктів державних геодезичних мереж.

1. Окремий хід полігонометрії повинен спиратися на двох вихідних пунктах вищого класу, на кожному з яких є видимість щонайменше на один пункт цього самого або вищого класу, а отже, є два вихідних дирекційних кути $\alpha_{\text{поч}}$ і $\alpha_{\text{кінц}}$ (рис. 3.26). На вихідних пунктах вимірюють прилеглі кути β_1 і β_{n+1} .

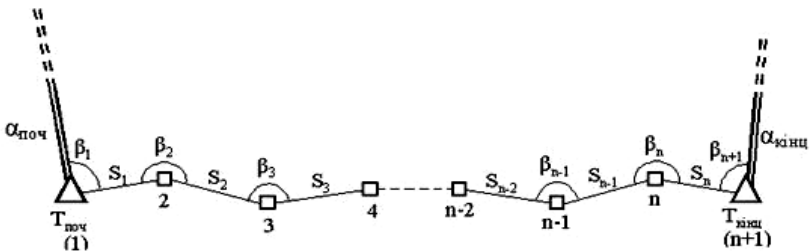


Рис. 3.26. Окремий хід полігонометрії, варіант 1

2. Окремий хід полігонометрії опирається на два вихідні пункти вищого класу, на одному з яких відсутня видимість на пункти цього самого або вищого класу, отже, є лише один вихідний дирекційний кут і вимірюється один прилеглий кут β_1 (рис. 3.27).

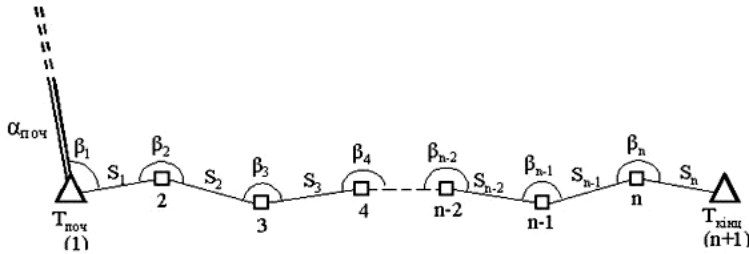


Рис. 3.27. Окремий хід полігонометрії, варіант 2

У цьому випадку на пункті $T_{кінц}$ для контролю кутів вимірів використовують дирекційні кути на орієнтирні пункти, які є на пункті $T_{кінц}$ або вимірюють дирекційний кут сторони S_n , астрономічними методами або гіртеодолітами.

3. Окремий хід полігонометрії опирається на два вихідних пункти вищого класу, на яких відсутня видимість на пункти цього самого або вищого класу, отже, є лише координатна прив'язка до пунктів геодезичної мережі вищого класу (рис. 3.28).

У цьому випадку для контролю кутів вимірів використовують дирекційні кути на пунктах $T_{поч}$ і $T_{кінц}$ на орієнтирні пункти або дирекційні кути сторін S_1 і S_n , отримані з астрономічних вимірів або вимірів гіртеодолітами.

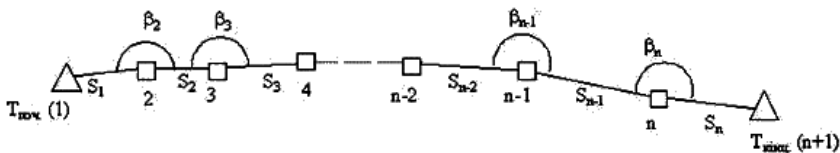


Рис. 3.28. Окремий хід полігонометрії, варіант 3

4. Окремий хід полігонометрії прокладається у вигляді замкнутого, який опирається на пункт вищого класу, на якому існує видимість на пункт того самого або вищого класу (рис. 3.29).

У цьому випадку вимірюються прилеглі кути β_1 і β_{n+1} та визначається дирекційний кут сторони S_i , що знаходиться приблизно на середині ходу, астрономічним або гіроскопічним методом.

5. Окремий хід полігонометрії прокладається у вигляді замкненого ходу, що опирається на пункт вищого класу, на якому відсутня видимість на пункти того самого або вищого класу. В цьому випадку для контролю кутових вимірів на пункті $T_{\text{поч}}$ вимірюється дирекційний кут на орієнтирний пункт або визначається дирекційний кут сторони S_1 астрономічним чи гіроскопічним методом. Крім того, необхідно визначити астрономічним чи гіроскопічним методом дирекційний кут сторони S_i , що знаходиться приблизно на середині ходу (рис. 3.30).

Прокладання висячих ходів не допускається.

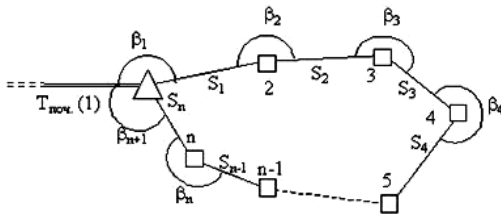


Рис. 3.29. Окремий хід полігонометрії, варіант 4

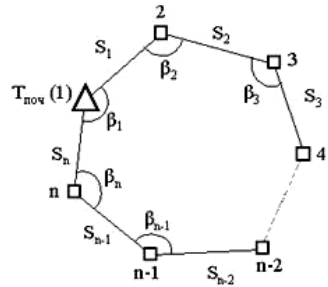


Рис. 3.30. Окремий хід полігонометрії, варіант 5

3.6. Попередня обробка результатів польових спостережень

Попередня обробка – це проміжний етап робіт, який виконується між польовими вимірами і вирівнювальними обчисленнями. Метою попередньої обробки є оцінка якості польових матеріалів та підготовка їх до вирівнювання. Попередня обробка полігонометричних ходів складається з таких процесів:

- перевірка й обробка польових журналів;
- обчислення ліній, приведених на площину в проекції Гаусса-Крюгера і на рівень моря;
- складання робочої схеми полігонометричного ходу;

- обчислення кутової нев'язки ходу та порівняння її з допустимим значенням;
- обчислення нев'язок координат f_x та f_y , абсолютної $f_{\text{абс}}$, та відносної $f_{\text{відн}}$ нев'язок та порівняння їх з допустимими значеннями;
- визначення поздовжнього і поперечного зміщень кінцевої точки ходу;
- оцінка точності кутових вимірів;
- оцінка точності лінійних вимірів.

Перевірка та обробка польових журналів. Польові журнали повинні бути належним чином оформлені і перевірені. Усі обчислення, зокрема контрольні, виконують у дві руки. Якщо при кутових та лінійних вимірюваннях використовувалися електронні геодезичні прилади та персональні комп'ютери, то виконують обробку результатів вимірювань, знятих з реєстраторів чи накопичувачів інформації.

Обчислення поправки за редукування лінії на площину в проєкції Гаусса-Крюгера. У довжини ліній, які приведені до горизонту, вводять поправку за редукування лінії на площину в проєкції Гаусса-Крюгера за формулою

$$\Delta S = \frac{Y_m^2}{2R_m^2} S, \quad (3.30)$$

де R_m – радіус кривизни земного еліпсоїда в точці m , що лежить посередині лінії; він обчислюється за формулами, які вивчаються в курсі вищої геодезії або знаходиться за спеціальними таблицями як функція широти точки; S – лінія, виміряна і приведена до горизонту; Y_m – віддаль точки m , що лежить посередині лінії, від осевого меридіана.

Поправка за редукування лінії на площину в проєкції Гаусса-Крюгера завжди буде додатною.

Складання робочої схеми полігонометричного ходу. Робоча схема зображується тушшю на креслярському папері в масштабі 1:50 000 або 1:25 000. Спочатку наносять вихідні пункти за координатами, потім інші пункти ходу графічно за допомогою транспортира та лінійки. Виписують номери або назви пунктів, значення кутів і сторін, значення вихідних дирекційних кутів. Схему складають в умовних знаках.

Обчислення кутової нев'язки ходу та порівняння її з допустимими значеннями. Кутова нев'язка розімкненого полігонометричного ходу обчислюється за формулою

$$f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{вим}} - (\alpha_{\text{кінц}} - \alpha_{\text{поч}}) \pm 180 n, \quad (3.31)$$

якщо виміряні ліві кути по ходу, і

$$f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{вим}} - (\alpha_{\text{поч}} - \alpha_{\text{кінц}}) \pm 180 n, \quad (3.32)$$

якщо виміряні праві кути по ходу.

Для замкненого ходу кутову нев'язку знаходять за формулою

$$f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{вим}} - 180 (n - 2). \quad (3.33)$$

У цих формулах $\Sigma\beta_{\text{вим}}$ – сума вимірних кутів, n – кількість сторін полігонометричного ходу.

Отримані нев'язки порівнюють із допустимими значеннями, які регламентуються інструкцією.

Якщо $f_{\beta} < f_{\text{доп}}$, роблять висновок, що якість кутових вимірів відповідає необхідним технічним вимогам.

Якщо передбачається подальше вирівнювання полігонометричного ходу, то кутову нев'язку не розподіляють у виміряні кути, оскільки вона ввійде в умовні рівняння як вільний член.

Якщо необхідно обчислити наближені координати пунктів без вирівнювання, нев'язку розподіляють порівну в усі виміряні кути і подальші обчислення координат виконують за виправленими кутами.

3.7. Державні висотні геодезичні мережі

Відповідно до вимог «Порядку побудови Державної геодезичної мережі» нівелірні (висотні) мережі I та II класу є висотною основою країни, яка забезпечує поширення єдиної системи висот на всій її території, а також використовується для визначення вертикальних рухів земної кори.

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

Нівелірна (висотна) мережа II класу формується в середині полігонів I класу окремими лініями або системами з вузловими

точками, в результаті чого утворюються полігони з периметром 400 км.

Нівелювання II класу виконується з точністю, яка забезпечує отримання нев'язки у ходах та полігонах, які за абсолютною величиною не більші ніж $5 \text{ мм} \sqrt{L}$, де L – периметр полігона або довжина ходу в кілометрах.

Лінії нівелювання I та II класу прокладаються переважно вздовж залізниць та автомобільних доріг державного значення, а в разі потреби – вздовж великих річок та інших доріг з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами і найменш складним рельєфом.

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

На лініях нівелювання I та II класу не рідше ніж через 60 км, а також у вузлових точках поблизу морських, основних річкових та озерних рівневих постів закладаються фундаментальні репери. У сейсмоактивних районах фундаментальні репери закладаються не рідше ніж через 40 км.

Нівелірні (висотні) мережі III і IV класу створюються з метою згущення висотної основи для забезпечення топографічної зйомки всіх масштабів та розв'язання інженерних задач.

Лінії нівелювання III класу прокладаються в середині полігонів II класу так, щоб утворювалися полігони з периметром 60–150 км.

Для забезпечення топографічної зйомки у масштабі 1:5 000 і більше лінії нівелювання III класу прокладаються з розрахунком утворення полігонів з периметром до 60 км.

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

Нівелювання IV класу з згущенням нівелірної (висотної) мережі III класу, яке здійснюється ходами завдовжки не більш як 50 км з точністю, що забезпечує отримання нев'язки в ході чи полігоні величиною не більше ніж $20 \text{ мм} \sqrt{L}$.

Нівелювання IV класу може виконуватися також методом GNSS-нівелювання із застосуванням відносних методів супутникової геодезії з урахуванням висот квазігеоїда, визначених за резуль-

татами гравіметричних вимірювань, яке забезпечує точність передачі висоти з похибкою не більше ніж $20 \text{ мм} \sqrt{L}$.

Нівелірні (висотні) мережі усіх класів закріплюються на місцевості реперами та марками, які закладаються не рідше ніж через 5 км (уздовж траси), у важкодоступних районах відстань між ними може бути збільшена до 7 км.

Технічну характеристику нівелірної мережі наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Технічна характеристика нівелірної мережі

Клас нівелювання	Периметр полігонів, км	Відстань від нівеліра до рейки, м	Мінімальна висота візирного проміння над землею, м	СКП на 1 км ходу	Допустима нев'язка ходу, мм
I	1200	50	0,8	1	$2\sqrt{L}$
II	400	65	0,5	2	$5\sqrt{L}$
III	60–150	75 (100)	0,3	5	$10\sqrt{L}$
IV	50	100–150	0,2	10	$20\sqrt{L}$

3.7.1. Польові роботи при нівелюванні III і IV класу. Інструктивні вимоги

Спосіб нівелювання III класу залежить від застосовуваних нівелірів. Перевагу віддають нівелірам із самовстановлювальною лінією візування (з компенсатором).

Перед початком роботи нівеліри і рейки досліджують і перевіряють з метою встановлення їх придатності для нівелювання III класу, приведення в робочий стан і визначення постійних елементів.

Нівелювання III класу виконують у прямому і зворотному напрямках.

Порядок спостережень на станції такий:

- відлік по чорній стороні (основній шкалі) задньої рейки;
- відлік по чорній стороні (основній шкалі) передньої рейки;
- відлік по червоній стороні (додаткової шкали) передньої рейки;
- відлік по червоній стороні (додаткової шкали) задньої рейки.

Нівелювання виконують ділянками в 20–30 км. Перехід від нівелювання в прямому напрямку до нівелювання у зворотному на-

прямку роблять тільки на постійних знаках. При цьому рейки міняють місцями.

Нормальна довжина променя візування – 75 м. За відсутності коливань зображення рейок і збільшення труби не менше ніж 35* довжину променя дозволяється збільшувати до 100 м.

Відстані від нівеліра до рейок вимірюють тонким тросом або далекоміром; нерівність відстаней на станції допускають не більше 2 м, а їх накопичення по секції – не більше ніж 5 м.

Висота променя візування над підстилаючою поверхнею землі повинна бути не менше як 0,3 м.

Нівелювання виконують при гарній видимості, виразних і спокійних зображеннях рейок. У сонячні дні не слід нівелювати в періоди, близькі до сходу та заходу сонця.

Рейки встановлюють за рівнем на костилі або башмаки. У місцях установки башмаків попередньо знімають дерен. Для зручності рекомендується користуватися не менш ніж трьома милицями або башмаками.

Спостереження на станції способом «середньої нитки» виконують у такому порядку:

- приводять нівелір у робоче положення за допомогою установочного рівня;

- наводять трубу на чорну сторону задньої рейки, приводять бульбашку рівня елеваційним або підйомним гвинтом точно на середину і після повного заспокоєння бульбашки роблять відліки по середньому і далекомірним штрихах;

- перевищення на станції обчислюють з відліків тільки по середній нитці.

- наводять трубу на чорну сторону передньої рейки і діють аналогічно тому, як це було при спостереженні задньої рейки;

- наводять трубу на червону сторону передньої рейки і виконують дії, необхідні для взяття відліку по середньому штриху сітки труби.

- наводять трубу на червону сторону задньої рейки і виконують дії для отримання відліку по середньому штриху сітки труби.

Результати спостережень на станціях записують у журнал встановленої форми або вводять в оперативну пам'ять реєстратора.

У журналі нівелювання замальовують постановку рейки на кожному репері, записують тип, номер репера і висоту місця постановки відносно поверхні землі, знімають відбитки з номерів марок і реперів, наводять відомості про стан зовнішнього оформлення репера і роблять відмітку про його відновлення.

На кожній станції виконують контроль спостережень.

При нівелюванні способом «середньої нитки» необхідно дотримуватися таких допусків:

– відлік по середній нитці по чорній стороні кожної рейки не повинен розходитися більш ніж на 3 мм з відповідною півсумою відліків по дальномірних нитках.

– розбіжність між значеннями перевищення, отриманими по чорній та червоній сторонах рейок, не повинна бути більше ніж 3 мм з урахуванням різниці висот пари рейок .

При розбіжностях, що перевищують зазначені допуски, спостереження на станції повторюють, попередньо змінивши положення нівеліра по висоті не менше ніж на 3 см.

Після виконання нівелювання по секції порівнюють між собою значення перевищення, отримані з прямого і зворотного ходів; розбіжність між цими значеннями не повинна перевищувати 10 мм.

Якщо розбіжність вийшла більше допустимої, то нівелювання по секції повторюють в одному з напрямків. Явно незадовільне значення перевищення виключають. Решта два значення беруть в обробку, якщо вони не розходяться між собою більше ніж на 10 мм і отримані з нівелювання в протилежних напрямках. Нев'язки в полігонах і по лініях допускають не більше як 10 мм.

Нівелювання IV класу виконують в одному напрямку способом «по середній нитці».

Нівелювання IV класу виконують нівелірами з рівнем або компенсатором.

При нівелюванні IV класу застосовують триметрові рейки (цільні або складні). Для прив'язки до стінних марок використовують підвісну рейку з такими самими діленнями, як і на основних рейках.

Перед початком польових робіт нівеліри досліджують і перевіряють за відповідними програмами.

У період польових робіт нівеліри повіряють перед початком робіт.

При нівелюванні IV класу відліки по чорній та червоній сторонах рейок роблять за середнім штрихом, а для визначення відста-

ней від нівеліра до рейок використовують відліки по верхньому далекомірному та середньому штрихах по чорних сторонах рейок.

Порядок спостережень на станції такий:

- відліки по чорній стороні задньої рейки;
- відліки по чорній стороні передньої рейки;
- відлік по червоній стороні передньої рейки;
- відлік по червоній стороні задньої рейки.

Нормальна довжина променя візування – 100 м. Якщо роботи виконують нівеліром, труба якого має збільшення не менше ніж 30*, то за відсутності коливань зображень дозволяється збільшувати довжину променя до 150 м. Відстань від нівеліра до рейок можна вимірювати далекоміром. Нерівність відстаней від нівеліра до рейок на станції допускають до 5 м, а їх накопичення по секції – до 10 м.

Висота променя візування над підстилаючою поверхнею землі повинна бути не менше ніж 0,2 м.

Рейки встановлюють прямовисно за рівнем на костилі, башмаки, а на ділянках з пухким і заболоченим ґрунтом – на кілки.

Спостереження на станції виконують у такій послідовності:

– встановлюють нівелір в робоче положення за допомогою установочного або циліндричного рівня.

– наводять трубу на чорну сторону задньої рейки, приводять бульбашку рівня підйомним або елеваційним гвинтом точно на середину і роблять відліки по далекомірних та середньому штрихах сітки зорової труби.

– наводять трубу на чорну сторону передньої рейки і виконують дії, вказані при спостереженні задньої рейки.

– наводять трубу на червону сторону передньої рейки і роблять відлік по середньому штриху сітки.

– наводять трубу на червону сторону задньої рейки і роблять відлік по середньому штриху сітки.

Результати спостережень на станціях записують у журнал встановленої форми або вводять у запам'ятовуючий пристрій реєстратора.

Розбіжність значень перевищення на станції, визначених за чорними і червоними сторонами рейок, допускають до 5 мм з урахуванням різниці висот нулів пари рейок. При більшій розбіжності

спостереження на станції повторюють, попередньо змінивши положення нівеліра по висоті не менше ніж на 3 см.

По завершенні нівелювання по лінії між вихідними реперами розраховують нев'язку, яка не повинна перевищувати 20 мм. У таких же межах допускають нев'язки в замкнутих полігонах, утворених лініями нівелювання IV класу.

3.8. Знімальна геодезична мережа

Знімальну геодезичну мережу створюють з метою згущення геодезичної планової та висотної основ до щільності, що забезпечує виконання топографічного знімання та виконання землевпорядних робіт.

Щільність та розміщення пунктів знімальної основи встановлюють рекогносцируванням залежно від технології робіт, визначеної з дотриманням вимог нормативних документів.

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

Пункти знімальної мережі визначають методами супутникових геодезичних спостережень, побудовою знімальних триангуляційних мереж, прокладанням теодолітних та мензульних ходів, прямими, оберненими та комбінованими засічками.

Граничні похибки $\Delta_{\text{гран}}$ положення пунктів планової знімальної мережі (зокрема розпізнавальних знаків) відносно пунктів державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення не повинні перевищувати на відкритій місцевості та на забудованій території 0,2 мм у масштабі плану і 0,3 мм – на місцевості, що закрита деревами та чагарниками.

Пункти знімальної основи закріплюють на місцевості центрами тривалого збереження з таким розрахунком, щоб на кожному планшеті було закріплено не менше трьох точок при зніманні в масштабі 1:5000 і двох точок при зніманні в масштабі 1:2000, включно з пунктами державної геодезичної мережі та мережі згущення.

На території населених пунктів та промислових майданчиків усі точки знімальних мереж і планово-висотні розпізнавальні знаки закріплюють центрами тривалого збереження.

Зрівнювання знімальної основи виконують спрощеними способами.

3.8.1. Розвиток знімальних мереж теодолітними ходами

Розвиток знімальних мереж теодолітними ходами для створення топографічних планів у масштабах 1:25 000, 1:10 000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 може виконуватися:

– прокладанням теодолітних ходів з використанням теодолітів, мірних стрічок та рулеток;

– прокладанням теодолітних ходів з використанням оптичних теодолітів, світловідалемірів та електронних тахеометрів.

Теодолітні ходи прокладають по місцевості, зручній для лінійних вимірювань. Поворотні точки вибирають так, щоб забезпечити зручність установки приладу та гарний огляд для виконання знімання. Теодолітні ходи не повинні перетинати лінії полігонометрії.

Для визначення поправки за приведення довжин ліній до горизонту при кутах нахилу $1,5^\circ$ і більше одночасно з вимірюванням горизонтальних кутів одним прийомом вимірюють вертикальні кути.

Теодолітні ходи з використанням теодолітів, мірних стрічок та рулеток прокладають із граничними відносними помилками 1:3000, 1:2000, 1:1000 відповідно до табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Допустимі довжини теодолітних ходів

Масштаб	$\Delta_{\text{гран}} = 0,2 \text{ мм}$			$\Delta_{\text{гран}} = 0,3 \text{ мм}$	
	$1/N=1/3000$	$1/N=1/2000$	$1/N=1/1000$	$1/N=1/2000$	$1/N=1/1000$
	Допустимі довжини ходів між вихідними пунктами, км				
1:25 000	–	20,0	–	–	–
1:10 000	–	8,0	–	–	–
1:5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	–	–

Довжини сторін у теодолітних ходах мають бути в межах:

– на забудованих територіях – не більше ніж 350 м і не менше ніж 20 м;

– на незабудованих територіях не більше ніж 350 м і не менше ніж 40 м.

Сторони теодолітних ходів вимірюють мірними стрічками і рулетками в прямому і зворотному напрямках.

Кутові нев'язки в теодолітних ходах не повинні перевищувати величину:

$$f_B = \pm 1' \sqrt{n}, \quad (3.34)$$

де n – кількість кутів у ході.

Теодолітні ходи з використанням оптичних теодолітів і світло-віддалемірів та електронних тахеометрів прокладають із граничними відносними помилками 1:2000 відповідно до табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Параметри теодолітних ходів з використанням тахеометрів

Масштаб	$\Delta_{\text{гран}} = 0,2$ мм		$\Delta_{\text{гран}} = 0,3$ мм	
	Допустимі довжини ходів	Допустима кількість сторін	Допустимі довжини ходів	Допустима кількість сторін
1:25 000	25,0	60		
	20,0	80		
1:10 000	20,0	40		
	15,0	50		
	13,0	70		
1:5000	12,0	30	16,0	40
1:2000	7,0	20	9,0	30
1:1000	4,0	20	6,0	20
1:500	2,0	20	–	–

Довжини сторін у теодолітних ходах мають бути в таких межах:

- на забудованих територіях – не більше 1000 м і не менше як 20 м;
- на незабудованих територіях – не більше 1500 м і не менше ніж 40 м.

Сторони теодолітних ходів вимірюють світло-віддалемірами і електронними тахеометрами згідно з вимогами відповідних інструкцій з експлуатації даного типу приладу. Абсолютні лінійні помилки не повинні перевищувати 7,0 м для знімання в масштабі 1:25 000; 2,8 м – 1:10 000; 2,0 м – 1:5000; 1,0 м – 1:2000; 0,6 м – 1:1000; 0,3 м – 1:500.

Кутові нев'язки в теодолітних ходах не повинні перевищувати

$$f_B = \pm 20'' \sqrt{n}, \quad (3.35)$$

де n – кількість кутів у ході.

Горизонтальні кути в теодолітних ходах вимірюють теодолітами двома півприйомами з перестановкою лімба між ними на $1-2^\circ$.

Під час прив'язки теодолітних ходів до вихідних пунктів вимірюють два прилеглих кути. Сума вимірних кутів не повинна відрізнятися від значення кута, що отримане з вихідних даних, більше ніж на $1'$.

Центрування приладів та марок виконують із точністю 3 мм.

Допускається прокладання висячих теодолітних ходів. Довжини висячих ходів не повинні перевищувати величин, що вказані в табл. 3.12.

При цьому кількість сторін у висячих теодолітних ходах на незабудованій території має бути не більше трьох, а на забудованій – не більше чотирьох.

Таблиця 3.12

Параметри теодолітних ходів

Масштаб	Довжини, одержані з використанням мірних стрічок та рулеток		Довжини, одержані з використанням світловіддалемірів та електронних тахеометрів	
	забудовані території	незабудовані території	забудовані території	незабудовані території
1:5000	350	500	3000	4000
1:2000	200	300	1600	2500
1:1000	150	200	1000	1500
1:500	100	150	500	750

3.8.2. Розвиток знімальної мережі методом тріангуляції

Знімальні мережі у відкритій місцевості взамін теодолітних ходів можуть розвиватися методами тріангуляції у вигляді нескладних сіток та ланцюгів трикутників або вставок окремих пунктів, що визначаються прямими, оберненими або комбінованими засічками.

Тріангуляційні сітки, які мають більше двох пунктів, що визначаються, повинні опиратися не менш ніж на дві вихідні сторони.

Вихідними сторонами можуть бути сторони тріангуляції 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів та полігонометрії, а також спеціально виміряні базисні сторони з похибкою не більш як 1:5000. Розвиток

мереж і ланцюгів трикутників, що опираються на одну сторону (вісячих), не допускається.

Гранична довжина ланцюга трикутників або відстані між вихідними пунктами, на які опирається система трикутників, не повинна перевищувати довжину теодолітного ходу точністю 1:2000 залежно від масштабу знімання (див. табл. 3.10).

Між вихідними сторонами (пунктами) допускається побудова не більше:

20 трикутників для знімання в масштабі 1:5000

17 -''- 1:2000

15 -''- 1:1000

10 -''- 1:500.

Кути трикутників повинні бути не менше ніж 20° , а сторони не коротші за 150 м.

Вимірювання кутів проводять теодолітами не менш як $30''$ точності двома круговими прийомами з перестановкою лімба між півприйомами на 90° .

Розходження однойменних напрямків із різних прийомів, що приведені до спільного нуля, не повинні перевищувати $45''$.

Нев'язки в трикутниках не повинні перевищувати $1,5'$.

3.8.3. Пряма засічка

Пряма кутова засічка – це спосіб визначення невідомих координат деякої точки, шляхом вимірювання на пунктах з відомими координатами кутів між напрямком з даного пункту на точку, координати якої потрібно визначити, та напрямком на інший пункт із відомими координатами. Для розв'язання задачі потрібно виконати спостереження щонайменше на двох відомих пунктах (*однократна засічка*). За наявності вимірювання виконують із трьох пунктів (*багатократна засічка*), що дозволяє перевірити правильність отриманого результату.

Визначення точок прямою засічкою виконують не менше ніж з трьох пунктів опорної мережі, при цьому кути між напрямками при точці, що визначається, мають бути не менше ніж 30° і не більше як 150° .

Існує багато способів визначення координат цим способом. Розглянемо один з них, розв'язання прямої однократної засічки – метод Юнга.

Задача передбачає визначення координат пункту шляхом вимірювання кутів на двох пунктах з відомими координатами, між якими є взаємна видимість (рис. 3.31).

Розрахунок виконується за формулами Юнга, а також для перевірки та виключення обробки в другу руку – за контрольними формулами.

Розв’язання за формулами Юнга:

$$X_p = \frac{X_1 \text{ctg}\beta_2 + X_2 \text{ctg}\beta_1 + Y_2 - Y_1}{\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2}; \tag{3.36}$$

$$Y_p = \frac{Y_1 \text{ctg}\beta_2 + Y_2 \text{ctg}\beta_1 + X_1 - X_2}{\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2}. \tag{3.37}$$

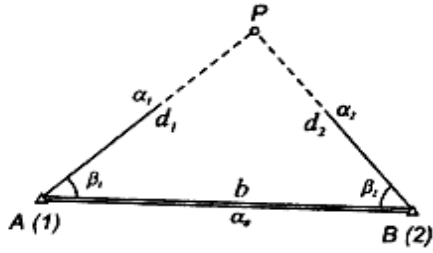


Рис. 3.31. Схема прямої засічки – метод Юнга

3.8.4. Обернена кутова засічка

Визначення точок оберненою засічкою виконують не менше ніж за чотирма вихідними пунктами за умови, що точка, яка визначається, не знаходиться біля кола, що проходить через будь-які три вихідні пункти.

Задача передбачає визначення координат точки, з якої здійснюються спостереження трьох пунктів з відомими координатами; у ході спостережень вимірюються кути між напрямками з точки стояння на пункти, що спостерігаються (рис. 3.32).

Рішення задачі виконується за формулою Праніс-Праневича в наступному порядку.

1. Визначаємо $\text{ctg}Q$, додаткового кута.

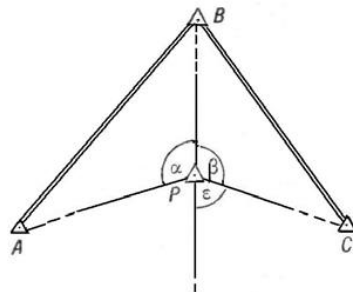


Рис. 3.32. Схема оберної кутової засічки

$$\operatorname{ctg}Q = \frac{(Y_B - Y_A)\operatorname{ctg}\alpha - (Y_C - Y_B)\operatorname{ctg}\beta + (X_C - X_A)}{(X_B - X_A)\operatorname{ctg}\alpha - (X_C - X_B)\operatorname{ctg}\beta + (Y_C - Y_B)}. \quad (3.46)$$

2. Здійснюємо контроль різниць координат:

$$(X_B - X_A) + (X_C - X_B) = (X_C - X_A); \quad (3.47)$$

$$(Y_B - Y_A) + (Y_C - Y_B) = (Y_C - Y_A); \quad (3.48)$$

3. Розраховуємо прирости координат точки P відносно точки B :

$$\begin{aligned} N &= (Y_B - Y_A)(\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}Q) - (X_B - X_A)(1 + \operatorname{ctg}\alpha\operatorname{ctg}Q) = \\ &= (Y_C - Y_B)(\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}Q) + (X_C - X_B)(1 + \operatorname{ctg}\beta\operatorname{ctg}Q); \end{aligned}$$

$$\Delta\delta_p = \frac{N}{1 + \operatorname{ctg}^2Q}; \quad (3.49)$$

$$\Delta y_p = \Delta\delta_p \operatorname{ctg}Q. \quad (3.50)$$

4. Визначаємо координати точки P :

$$X_P = X_B + \Delta x_p; \quad (3.51)$$

$$Y_P = Y_B + \Delta y_p. \quad (3.52)$$

Визначення точок комбінованою засічкою виконують поєднанням прямих та обернених засічок за участю не менш ніж трьох вихідних пунктів (рис. 3.3–3.34).

Типові схеми визначення координат точок знімальної мережі

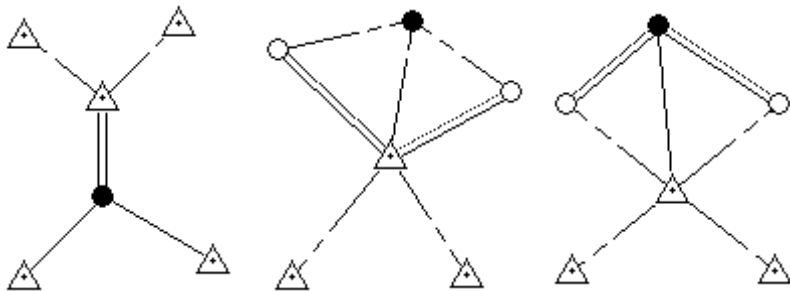


Рис. 3.33. Схеми визначення координат точок полярним способом

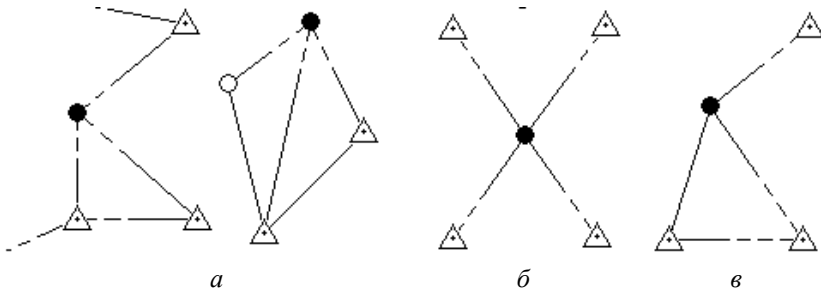


Рис. 3.34. Схеми визначення координат точок засічками:
a – пряма; *б* – обернена; *в* – комбінована

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Назвіть зміст державної геодезичної мережі.
2. Яка середня щільність геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі?
3. Що таке Державна геодезична референсна система координат УСК-2000?
4. Що належить до геодезичних мереж спеціального призначення?
5. Якими методами будуються геодезичні мережі спеціального призначення?
6. Яка середня щільність пунктів Державної геодезичної мережі і геодезичних мереж згущення для виконання топографічних знімань у масштабі 1:5000?
7. Дайте визначення полігонометрії.
8. З яких процесів складається комплекс робіт при створенні планових геодезичних мереж методом полігонометрії?
9. Яка допустима гранична довжина окремого ходу полігонометрії 4-го класу?
10. Дайте визначення триангуляції.
11. Яка допустима кількість трикутників між вихідними сторонами для триангуляції 4-го класу?
12. Дайте визначення трилатерації.
13. Що лежить в основі визначення координат GNSS- приймача?
14. Які методи GNSS-знімання застосовують для визначення координат геодезичних пунктів?
15. Що таке рекогностування місцевості?
16. Як закріплюються на місцевості пункти геодезичних мереж згущення?
17. Які критерії зігнутої полігонометричних ходів?

18. За якою формулою обчислюється очікувана середня квадратична помилка кінцевої точки видовженого ходу полігонометрії?
19. За якою формулою обчислюється очікувана середня квадратична помилка M найбільш слабкої точки зігнутого ходу?
20. Як визначаються координати центру ваги полігонометричного ходу?
21. Що таке прив'язка полігонометричних ходів до державної геодезичної мережі?
22. Із чого складається попередня обробка полігонометричних ходів?
23. Що таке Державні висотні геодезичні мережі?
24. Які допуски встановлені при нівелюванні III класу?
25. Який порядок спостереження на станції при нівелюванні IV класу?
26. З якою метою створюють знімальну геодезичну мережу?
27. Які граничні похибки $\Delta_{\text{гран}}$ визначення положення пунктів планової знімальної мережі відносно пунктів Державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення?
28. Дайте визначення прямої кутової засічки.

Розділ 4

ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ЗЕМЛЕУСТРОЇ

4.1. Значення топографо-геодезичних вишукувань та обстежень у землевпорядкуванні

Виконання землевпорядних робіт, організація раціонального використання та охорони земель, ведення державного земельного кадастру, проведення землеустрою, моніторингу земель неможливо без відповідного топографо-геодезичного забезпечення та якісного планово-картографічного матеріалу. Топографо-геодезичні роботи мають забезпечити надання повної інформації про просторове положення земельних ділянок, їх природний, господарський стан та правовий режим.

У ході проведення земельної реформи в Україні з'явився новий вид земельних відносин, що ґрунтується на рівноправності форм і охороні прав власності на землю. Землекористування стало платним, узаконені оренда й операції з земельними ділянками (купівля, продаж тощо), формується ринок землі і пов'язаної з нею нерухомості. Ведеться ресстрація земельних ділянок та права власності чи права користування нею. Основними принципами системи управління земельними ресурсами є: забезпечення гарантії права власності на землю, визначення правового статусу землі, забезпечення раціонального використання як самої землі, так і інформації про землю.

Топографо-геодезичне забезпечення являється важливим чинником для вирішення зазначених проблем. Від того наскільки якісно воно буде проведено залежить повнота і якість наступних землевпорядних робіт. Недостатня і неточна інформація призведе до помилкового визначення вартості землі та значних помилок при оформленні документів на право власності чи користування землею. І навпаки, надмірна картографічна інформація та підвищена точність виконання геодезичних робіт призведуть до значного збільшення вартості робіт. Тобто є необхідність визначитися з обсягом топографо-геодезичних робіт та встановити оптимальну точ-

ність геодезичних робіт при здійсненні землеустрою. Виходячи з цього і визначається перелік питань, що розглядатимуться нами протягом вивчення розділу «Геодезичні роботи при землеустрої».

4.2. Види геодезичних робіт, що виконуються при землеустрої

Розглянемо основні види геодезичних робіт, які необхідно виконувати для забезпечення всіх землевпорядних дій на сучасному етапі:

- побудова геодезичного знімального обґрунтування з необхідною щільністю та точністю;
- виконання зйомок земної поверхні;
- поновлення планів і карт;
- коригування планів і карт;
- складання й оформлення планів і карт на основі виконаних зйомок та переведення їх у цифрову форму;
- визначення загальних площ землекористувачів та землевласників, площ угідь зі складанням експлікації;
- інвентаризація земель;
- формування земельних ділянок;
- попереднє (ескізне) проектування об'єктів;
- технічне проектування об'єктів;
- підготовка до винесення проекту в натуру;
- перенесення проекту на місцевість;
- виконавчі зйомки;
- нагляд за деформацією та осіданням споруд.

4.3. Характеристика точності планів і карт

4.3.1. Масштаби зйомок, види зйомок, детальність і повнота планів і карт

Залежно від видів земель, форми власності чи користування землею, топографічних умов місцевості, розмірів землекористування чи землеволодіння визначається масштаб зйомки:

1. На землі територіальних утворень слід створювати карти масштабу 1:10 000 або 1:5000.

Карти масштабу 1:5000 готуються на землі зі складною контурністю особливо цінні, меліоровані землі.

2. На землі сільських населених пунктів карти виготовляються в масштабі 1:2000.

3. На землі міст і селищ виготовляються плани масштабу 1:500 – 1:1000.

Зйомки можуть бути виконані такими методами:

- стереотопографічним;
- комбінованим;
- мензульним;
- фототеодолітним;
- тахеометричним;
- теодолітним;
- лідарним.

У тих випадках, коли зйомка рельєфу не виконується, зйомки називаються *контурними горизонтальними*.

Нині основним видом зйомки являються стереотопографічні, оскільки вони є найбільш економічними і забезпечують необхідну точність.

Інші види зйомок виконуються нечасто та зумовлюються низкою причин:

Комбінована зйомка полягає в зображенні рельєфу на фотопланах у польових умовах, виконується в тих випадках, коли місцевість закрита рослинністю й не можливо визначати фотограмметричним шляхом висоти точок земної поверхні.

Мензульна зйомка виконується на невеликих ділянках, де немає можливості здійснювати аерофотозйомку через забруднення атмосфери та ін.

Фототеодолітна зйомка виконується для відкритих гірських і високогірних районів, де аерофотозйомка не доцільна. Використовується також для зйомки кар'єрів, відкритих гірських розробок.

Теодолітні та тахеометричні зйомки виконуються в населених пунктах для будівництва різних інженерних споруджень під час проєктування і будівництва окремих об'єктів.

Лідарне знімання – LIDAR (англ. *Light Detection and Ranging, лі́дар*) – технологія отримання й обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують лазерні промені. Лідар як прилад являє собою активний світловіддалемір оптичного діапазону. У лідарах використовують

потужні імпульсні лазери, що генерують випромінювання у фіолетовій частині електромагнітного спектра (0,26–0,28 мкм). Телескоп у лідарі є передавальною і приймальною антеною. Лідарне знімання є активним і засноване на безперервному отриманні відбиття від поверхні, що сканується лазерним променем з фіксованою довжиною хвилі.

Нівелірування поверхні дозволяє детально вивчити рельєф на невеликих ділянках у рівнинній місцевості, при проектуванні ділянок рисових чеків, для проєктування зрошувальних і осушувальних систем.

Залежно від призначення плани та карти бувають топографічні й спеціальні.

Надалі будемо розглядати спеціальні карти – земельно-кадастрові, які повністю задовольняють завдання землевпорядкування та земельного кадастру.

Земельно-кадастрові карти несуть інформацію про просторове, юридичне, економічне, фізичне положення і стан об'єктів.

На земельно-кадастрових картах відображаються:

- пункти державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення;
- адміністративно–територіальні межі;
- межі власників і користувачів землі;
- населені пункти;
- сільськогосподарські угіддя та багаторічні насадження;
- ліси й лісові насадження;
- дороги усіх видів та інженерні комунікації;
- гідрографія та гідротехнічні споруди;
- промислові об'єкти;
- землі природоохоронного, рекреаційного та історико–культурного призначення;
- меліоровані землі;
- болота;
- елементи рельєфу;
- землі, які не використовуються в сільському господарстві;
- порушені землі.

4.3.2. Точність планів і карт

Точність плану характеризується середньою помилкою положення точки на плані відносно найближчого пункту планового

знімального обґрунтування і регламентується відповідними інструкціями для кожного масштабу зйомки. Для планів і карт масштабів 1:500 – 1:25 000 середні похибки в положенні на карті чітких контурів та предметів місцевості відносно найближчих точок планового знімального обґрунтування не повинні перевищувати:

– 0,5 мм – при складанні карт рівнинної та горбистої місцевості з кутами нахилу до 6°;

– 0,7 мм – при складанні карт гірських районів.

Середні похибки зйомки рельєфу у відкритих районах відносно найближчих точок знімального обґрунтування, залежно від характеру місцевості та висоти січення рельєфу, не повинні перевищувати: 1/3 та 1/4 висоти січення.

Граничні похибки зйомки контурів і рельєфу місцевості не повинні перевищувати подвоєних значень середніх похибок. Кількість граничних похибок не має бути більше ніж 10 % від загальної кількості контрольних вимірювань. Для контролю на трапеції повинно бути не менше ніж 20 точок, рівномірно розміщених на карті.

Похибка положення точки є двовимірною і визначається за формулою:

$$M_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (4.1)$$

у якій m_x, m_y – похибки положення точки на плані по осях координат.

Оцінюючи точність плану в середньому напрямку зміщення точки можна взяти рівновеликими, і для розрахунку точності величини m_x, m_y беруть рівними і незалежними одна від одної.

Графічна точність планів – це середня квадратична похибка вимірювання довжини лінії при визначенні її по плану з допомогою вимірювача і масштабної лінійки.

За дослідженнями вона дорівнює 0,08 мм або 0,1 мм.

4.3.3. Точність віддалей на плані

Якщо положення окремих точок на плані помилкове, то віддаль і направлення між цими точками буде визначено помилково незалежно від способу визначення.

Для знаходження помилки віддалі і направлення між двома точками залежно від помилок їх положення покажемо, що кожна з точок визначається координатами X_1, Y_1, X_2, Y_2 із середніми квадра-

тичними похибками m_{x1} , m_{y1} , m_{x2} , m_{y2} . Тоді віддаль між точками визначається за формулою.

$$S^2 = (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2, \quad (4.2)$$

яка являє залежність між функцією S і аргументами X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 .

Для отримання залежності між середньою квадратичною похибкою функції і аргументів візьмемо її повний диференціал:

$$2Sds = -2(X_2 - X_1)dx_1 + 2(X_2 - X_1)dx_2 - 2(Y_2 - Y_1)dy_1 + 2(Y_2 - Y_1)dy_2.$$

Скоротивши обидві частини на 2, перейдемо від диференціалів до середніх квадратичних помилок.

$$2S^2m_s^2 = (X_2 - X_1)^2m_{x1}^2 + (X_2 - X_1)^2m_{x2}^2 + (Y_2 - Y_1)^2m_{y1}^2 + (Y_2 - Y_1)^2m_{y2}^2.$$

Візьмемо $m_{x1} = m_{y1} = m_{k1}$, $m_{x2} = m_{y2} = m_{k2}$, (4.3)
тоді

$$2S^2m_s^2 = m_k^2 \{ (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \} m_k^2 \{ (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \}.$$

Але згідно з (4.2) вираз у фігурних дужках є S^2 , тому, провівши скорочення, отримуємо:

$$m_s^2 = m_{k1}^2 + m_{k2}^2.$$

На підставі (4.1)

$$m_{t1}^2 = 2m_{k1}^2 \quad i \quad m_{t2}^2 = 2m_{k2}^2,$$

а

$$m_{k1}^2 = \frac{1}{2}m_{t1}^2 \quad i \quad m_{k2}^2 = \frac{1}{2}m_{t2}^2,$$

тому

$$m_s^2 = \frac{1}{2}(m_{t1}^2 + m_{t2}^2),$$

якщо $m_{t1} = m_t$,

то

$$m_s = m_t. \quad (4.4)$$

Отримуємо, що *середня квадратична похибка віддалі між точками на плані дорівнює середній квадратичній похибці положення точки.*

Похибка визначення віддалі між точками 1 і 2 по плану з допомогою вимірювача і масштабної лінійки, з урахуванням точності плану, визначається за формулою:

$$m_{s0} = \sqrt{m_t^2 + m_r^2}.$$

При $m_t = 0,4$ мм і $m_r = 0,08$ мм, $m_{s0} = 0,41$ мм, тобто точність вимірювання віддалі між точками на плані визначається переважно точністю плану.

4.3.4. Точність напрямлень на планах

Точність направлення характеризується дирекційним кутом лінії між двома точками і залежить від помилок положення цих точок на плані.

Нехай, як у попередньому підрозділі, положення кожної точки визначається координатами X_1, Y_1, X_2, Y_2 з середніми квадратичними помилками $m_{x1}, m_{x2}, m_{y1}, m_{y2}$.

Тоді дирекційний кут лінії в направленні з точки 1 на точку 2 визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}.$$

Для визначення залежності між середньою квадратичною похибкою дирекційного кута лінії і координат її кінців продиференціюємо вираз (4.5):

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} d\alpha = -\frac{Y_2 - Y_1}{(X_2 - X_1)^2} dx_2 + \frac{Y_2 - Y_1}{(X_2 - X_1)^2} dx_1 + \frac{1}{(X_2 - X_1)} dy_2 - \frac{1}{(X_2 - X_1)} dy_1.$$

Перейдемо від диференціалів до середніх квадратичних похибок:

$$\frac{1}{\cos^4 \alpha} m_\alpha^2 = \frac{(Y_2 - Y_1)^2}{(X_2 - X_1)^4} m_{x1}^2 + \frac{(Y_2 - Y_1)^2}{(X_2 - X_1)^4} m_{x2}^2 + \frac{1}{(X_2 - X_1)^2} m_{y1}^2 + \frac{1}{(X_2 - X_1)^2} m_{y2}^2.$$

Візьмемо $m_{x1} = m_{y1} = m_{k1}$, $m_{x2} = m_{y2} = m_{k2}$,
тоді

$$\frac{1}{\cos^4 \alpha} m_\alpha^2 = \frac{(Y_2 - Y_1)^2 + (X_2 - X_1)^2}{(X_2 - X_1)^4} (m_{k1}^2 + m_{k2}^2).$$

Враховуючи (4.2) та (4.3), а також те, що

$$\frac{S^2}{(X_2 - X_1)^4} = \frac{1}{S^2 \cos^4 \alpha},$$

отримаємо

$$m_\alpha^2 = \frac{m_{t1}^2 + m_{t2}^2}{2S^2}. \quad (4.6)$$

Якщо похибки положення точок дорівнюють $m_{t1} = m_{t2} = m_t$, то

$$m'_\alpha = \rho' \frac{m_t}{s}. \quad (4.7)$$

Так само можна вивести середню квадратичну похибку кута, розміщеного між двома лініями на плані:

$$m_\beta = m_t \frac{\rho}{s_1 s_2} \sqrt{s_1^2 + s_2^2}. \quad (4.8)$$

4.3.5. Точність площ контурів на плані

Похибки в положенні точок контуру викликають похибку його площі. Щоб визначити помилку площі контуру залежно від помилок положення поворотних точок цього контуру, необхідно, як і в попередніх випадках, уявити, що кожна точка визначається на плані незалежно від інших, і її положення характеризується координатами x_i, y_i з середніми квадратичними помилками m_{xi}, m_{yi} .

Залежність між площею контуру і координатами його поворотних точок можна визначити, використовуючи формулу визначення площі фігури за координатами точок, що її утворюють.

$$2P = \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}), \quad (4.9)$$

або

$$2P = Y_1 (X_n - X_2) + Y_2 (X_1 - X_3) + \dots + Y_n (X_{n-1} - X_1). \quad (4.10)$$

Для отримання залежності між середньою квадратичною похибкою площі і координат точок контуру продиференціюємо вираз (4.10) за всіма змінними x_i, y_i :

$$2dP = dy_1 (X_n - X_2) + dy_2 (X_1 - X_3) + \dots + dy_n (X_n - X_1) + dx_1 (Y_2 - Y_n) + dx_2 (Y_3 - Y_1) + \dots + dx_n (Y_1 - Y_{n-1}).$$

Перейдемо від диференціалів до середніх квадратичних похибок.

$$4m_p^2 = m_{y1}^2 (X_n - X_2)^2 + m_{y2}^2 (X_1 - X_3)^2 + \dots + m_{yn}^2 (X_{n-1} - X_1)^2 + m_{x1}^2 (Y_2 - Y_n)^2 + m_{x2}^2 (Y_3 - Y_1)^2 + \dots + m_{xn}^2 (Y_1 - Y_{n-1})^2.$$

Вважаючи, що похибки в положенні кожної точки по обох осях координат однакові і дорівнюють m_{ki} , дістанемо:

$$m_{pi}^2 = m_{xi}^2 + m_{yi}^2 = 2m_{ki}^2;$$

враховуючи (4.1), отримаємо

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n \{ (X_{i-1} - X_{i+1})^2 + (Y_{i+1} - Y_{i-1})^2 \} m_{ii}^2.$$

Але величини у фігурних дужках являються квадратами діагоналей, проведеними між точками $n-2$, $1-3$, $2-4$ і т. д (рис. 4.1).

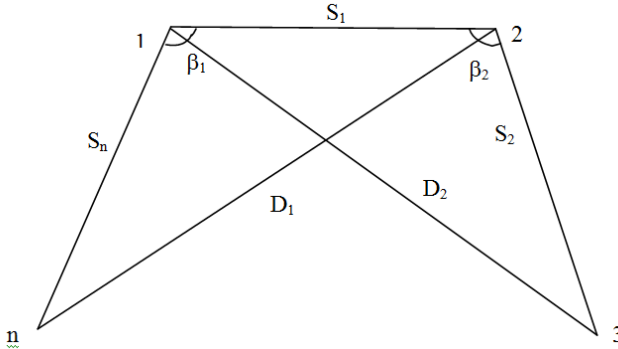


Рис. 4.1. Квадрати діагоналей

Ці діагоналі D можна виразити через віддалі s_{i-1} і s_i між точками $i-1$, $i+1$ і внутрішні кути β_i при точках i тому:

$$(X_{i+1} - X_{i-1})^2 + (Y_{i+1} - Y_{i-1})^2 = S_{i-1}^2 + S_i^2 - 2S_{i-1}S_i \cos \beta_i = D_i^2.$$

Тоді

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n (S_{i-1}^2 + S_i^2 - 2S_{i-1}S_i \cos \beta_i) m_{ii}^2, \quad (4.11)$$

або

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n m_{ii}^2 D_i^2. \quad (4.12)$$

4.3.6. Спотворення ліній і площ у проєкції Гаусса-Крюгера

Якщо план складено в проєкції Гаусса-Крюгера, то лінії чи площі ділянок, які визначені за планом, завжди більші, ніж відповідні горизонтальні положення ліній чи площ на місцевості.

Звідси масштаб зображення ліній на плані завжди більше того масштабу, який взятий для складання цього плану, при цьому збільшення масштабу тим більше, чим далі дана лінія чи ділянка розміщені від осевого меридіана зони.

Лінія вимірювання на місцевості при перенесенні її на площину проєкції Гаусса-Крюгера повинна бути збільшена, тобто

$$S_r = S \left(1 + \frac{Y^2}{2R^2} \right), \quad (4.13)$$

де S – горизонтальне положення лінії місцевості; Y – ордината середини цієї лінії; R – середній радіус кривизни земного сфероїда, який можна обрати 6370 км.

Величина $\frac{Y^2}{2R^2}$ – називається відносним спотворенням лінії.

Величину спотворення ліній залежно від її віддалення від осьового меридіана наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Величини спотворення ліній

Віддалення від осьового меридіана, км	Величина спотворення лінії, м		
	Довжина ліній, м		
	100	500	1000
20	0,000	0,002	0,005
50	0,003	0,015	0,031
100	0,012	0,061	0,122
150	0,028	0,138	0,276
200	0,049	0,245	0,491
250	0,077	0,383	0,767

Спотворення ліній викликає відповідно й спотворення площ контурів.

Проекція Гаусса-Крюгера – рівнокутна, тому для невеликої ділянки (практично в десятки тисяч гектарів) його зображення можна вважати подібним до горизонтального положення на місцевості.

Значення площі цієї ділянки на місцевості P і отримане за планом у проєкції P_r будуть співвідноситися як квадрати збіжних сторін:

$$\frac{P}{P_r} = \frac{S^2}{S_r^2}.$$

Або на основі формули (4.13)

$$\frac{P}{P_r} = \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{Y^2}{2R^2} \right)^2}.$$

Помноживши чисельник і знаменник правої частини на $1 - \frac{y^2}{R^2}$

та відкинувши малі величини порядку $\frac{y^4}{R^4}$, отримаємо

$$P = P_r \left(1 - \frac{y^2}{R^2}\right), \quad (4.14)$$

де $\frac{y^2}{R^2}$ – відносне спотворення площі, яке вдвічі більше відносного спотворення лінії. Наприклад, якщо $y = 200$ км, відносне спотворення площі дорівнює $1/1000$, відповідно площу в 1000 га, отриману на плані в проєкції Гаусса, необхідно зменшити на 1 га.

Із цього прикладу видно, що для невеликих ділянок поправку за спотворення можна не враховувати, а для великих площ її потрібно враховувати тільки на краях шести градусних зон.

Приводячи площі контурів до теоретичної площі трапеції, необхідно мати на увазі те, що площі трапеції визначені неспотвореними, тому поправки до площ ділянок не вводять, оскільки вони вже механічно введені в процесі ув'язки площ трапеції.

4.3.7. Деформація планів і її врахування

Плани складаються на картографічному папері, лавсановій основі. Для кращого зберігання часто плани складені на папері, наклеюють на тверду основу (алюміній, фанера).

Розв'язуючи задачі (визначаючи площі, лінії тощо) на планах, складених на папері без твердої основи, необхідно враховувати деформацію плану.

Величина деформації характеризується коефіцієнтами деформації, які визначаються у двох взаємноперпендикулярних напрямках за формулою:

$$g = \frac{l_0 - l}{l_0}, \quad (4.15)$$

де l_0 – теоретична довжина лінії; l – практична довжина лінії.

Вимірювання проводять по лініях, теоретичні розміри яких відомі, наприклад: лінії координатної сітки, лінії зовнішніх меж.

Коефіцієнти деформації бувають різними, їх величина залежить від виду паперу, умов оточуючого середовища, часу зберігання планів тощо.

Якщо план деформується у двох взаємноперпендикулярних напрямленнях однаково, то його враховувати неважко. За нерівномірної деформації облік її ускладнюється, особливо, якщо лінія знаходиться під кутом до лінії координатної сітки.

Облік деформації паперу виконується шляхом внесення виправлень у виміряні лінії. Нехай l – результати вимірювання ліній на деформованому плані. Необхідно визначити відповідне їй горизонтальне положення на місцевості l_0 , тобто внести виправлення за деформацію паперу.

На підставі формули (4.15) запишемо

$$l_0 = \frac{l}{1-g}.$$

Помноживши чисельник і знаменник на величину $(1+g)$ та відкинувши мале значення величини g^2 , отримаємо

$$l_0 = l + lg,$$

де lg поправка до лінії, зумовлена деформацією паперу.

Якщо поправка в лінії менше точності масштабу, то її не вводять до результатів вимірювання ліній на плані.

За лініями, виправленими за деформацію паперу, обчислюють площі фігур.

Нехай за не виправленими за деформацію результатами на плані основи трикутника l і висоти h отримана площа

$$P = 1/2 l h.$$

Значення площі P_0 , виправлене за деформацію паперу, буде:

$$P_0 = 1/2 l_0 h_0.$$

Але згідно з формулою (4.16) отримаємо:

$$P_0 = \frac{1}{2}(l + lg)(h + hg) = \frac{1}{2}lh(1 + g)^2,$$

відкинувши невелике g^2 , дістаємо:

$$P_0 = P + 2lg. \quad (4.17)$$

Ця формула підходить для фігури будь-якої форми.

Якщо у двох взаємно перпендикулярних напрямлень (ездовж осей координат) коефіцієнти деформації неоднакові і дорівнюють

$g_x = 1/200$, $g_y = -1/100$, то можна вивести середнє значення коефіцієнта деформації $g = 1/2(1/200 - 1/100) = -1/100$, яке можна використовувати для вираховувань за формулою (4.17).

Середній коефіцієнт деформації можна використовувати у тому випадку, якщо g_x і g_y відрізняються не більше, ніж на 20 %, у протилежному випадку коефіцієнт деформації визначають у напрямленнях, паралельних лінії, до якої потрібно внести виправлення.

4.4. Вирахування площ

4.4.1. Способи вирахування площ

Вирахування площ є одним із найважливіших технологічних процесів при виконанні геодезичних робіт в землеустрі.

Залежно від господарського значення ділянок і контурів, їх розмірів, форми, наявності або відсутності планів та карт, умов місцевості застосовують такі способи вирахування площ.

Аналітичний спосіб. Площі вираховують за результатами вимірювання ліній та кутів на місцевості із застосуванням формул геометрії, тригонометрії та аналітичної геометрії. Використовують при обрахуванні площ великих ділянок також координатами вершин полігонів.

Графічний спосіб. Площі вираховують за результатами вимірювання ліній на плані (карті), коли ділянку, зображену на плані, розбивають на прості геометричні фігури, переважно на трикутники, рідше на прямокутники та трапеції. У кожній фігурі на плані вимірюють висоту і основу, за якими вираховують площу. Сума площ фігур дає площу ділянки. До графічного способу належать визначення площі за допомогою палеток.

Механічний спосіб. Площі визначають за планом (картою) за допомогою спеціальних приладів – планіметрів, дигитайзерів.

Усі три способи застосовують як для визначення малих, так і великих площ при складанні проектів землевпорядкування і при обліку земель. Інколи способи визначення площ застосовують комбіновано. Наприклад, частину лінійних величин для обрахування площ визначають за планом, а частину – за результатами вимірювань по місцевості.

Нерідко головну площу ділянки, замкнену в полігон, визначають аналітичним способом (за координатами вершин полігона), а площу, що виходить за межі полігону та замкнену між лініями по-

лігона (серединою струмка, берега річки), – графічним або механічним способом.

Найточніший – аналітичний спосіб, оскільки на точність визначення площі за цим способом впливають тільки похибки вимірювань на місцевості, в той час як при графічному та механічному способах, крім похибок вимірювань на місцевості, впливають похибки складання планів, визначення площ за планом і деформація паперу. Але аналітичний спосіб потребує вимірювань ліній та кутів по межах ділянок, багато вираховувань. Водночас його доцільно використовувати, якщо площу потрібно отримати з великою точністю, не чекаючи складання плану.

Менш точний, але найрозповсюдженіший механічний спосіб, оскільки, користуючись ним, можна швидко і просто визначити за планом площу ділянки будь-якої форми.

Графічний спосіб вигідно використовувати тоді, коли межа ділянки – ламана лінія з невеликою кількістю поворотів.

4.4.2. Обчислення площі аналітичним способом

Площі обчислюють аналітичним способом, тобто за результатами вимірювань на місцевості або за координатами вершин полігонів.

Для обчислення площ за координатами вершин полігона використовуються такі формули:

$$2P = \sum_1^n Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}). \quad (4.18)$$

Відповідно, подвоєна площа полігону дорівнює сумі добутків кожної ординати на різницю абсцис попередньої та наступної точок.

$$2P = \sum_1^n X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1}); \quad (4.19)$$

тобто, подвоєна площа полігону дорівнює сумі добутків кожної абсциси на різницю ординат наступної та попередньої точок.

Для контролю площі обчислюють двічі за формулами (4.18), (4.19). Також для контролю перевіряється сума різниць, яка повинна дорівнювати нулю.

Щоб визначити площі ділянок різної конфігурації за результатами вимірювань ліній та кутів на місцевості, застосовують формули геометрії, тригонометрії та аналітичної геометрії.

На рис. 4.2 відображено прості геометричні фігури; розглянемо їх.

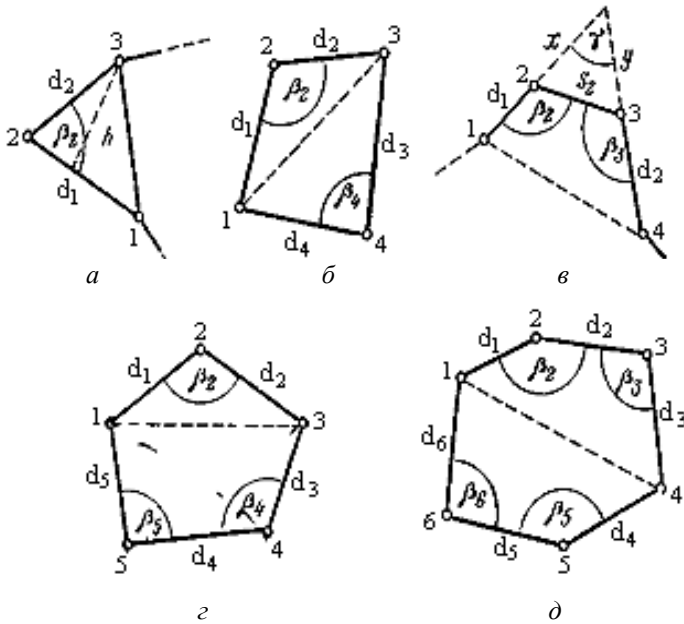


Рис. 4.2. Вирахування площ простих геометричних фігур

Трикутник (рис. 4.2, а).

Визначимо його площу по сторонах d_1 , d_2 і куту β_2 між ними.

$$2P = d_1 h, \quad (4.20)$$

але $h = d_2 \sin \beta_2$.

Підставивши це значення h у формулу (4.20), отримаємо:

$$2P = d_1 d_2 \sin \beta_2. \quad (4.21)$$

Якщо відомі координати вершин трикутника, то

$$2P = (X_1 - X_2)(Y_2 - Y_3) - (X_2 - X_3)(Y_1 - Y_2). \quad (4.22)$$

Коли маємо **чотирикутник** (рис. 4.2, б), де відомі чотири сторони d_1 , d_2 , d_3 , d_4 , і два протилежних кути β_2 та β_4 , то площа обчислюється за формулою

$$2P = d_1 d_2 \sin \beta_2 + d_3 d_4 \sin \beta_4. \quad (4.23)$$

При відомих сторонах d_1 , d_2 , d_3 і двох кутах β_2 та β_3 між ними площа цього чотирикутника розраховується за формулою

$$2P = d_1 d_2 \sin \beta_2 + d_2 d_3 \sin \beta_3 + d_1 d_3 [\sin (\beta_2 + \beta_3 - 180^\circ)]. \quad (4.24)$$

Якщо відомі координати кутів чотирикутника, то:

$$2P = (X_1 - X_3)(Y_2 - Y_4) - (X_2 - X_4)(Y_1 - Y_3). \quad (4.25)$$

Коли маємо **п'ятикутник** (рис. 4.2, *з*), де виміряно п'ять сторін d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 і три кути β_2, β_4 та β_5 , площа обчислюється за формулою

$$2P = d_1 d_2 \sin \beta_2 + d_3 d_4 \sin \beta_4 + d_4 d_5 \sin \beta_5 + d_3 d_5 [\sin (\beta_4 + \beta_5 - 180^\circ)]. \quad (4.26)$$

Якщо на місцевості в полігоні поміряно шість сторін і чотири горизонтальних кути $\beta_2, \beta_4, \beta_5$ та β_6 (рис. 4.2, *д*), то площу шестикутника можна розрахувати за формулою:

$$2P = d_1 d_2 \sin \beta_2 + d_2 d_3 \sin \beta_3 + d_1 d_3 [\sin (\beta_2 + \beta_3 - 180^\circ)] + d_4 d_5 \sin \beta_5 + d_5 d_6 \sin \beta_6 + d_4 d_6 [\sin (\beta_5 + \beta_6 - 180^\circ)]. \quad (4.27)$$

Такого самого виду формули можна одержати для будь-якого n -кутника; тільки зі збільшенням n прогресивно збільшується кількість додатків у формулі, тому при $n > 6$ доцільніше обчислювати площі по координатах вершин полігону.

4.4.3. Обчислення площ графічним способом

Графічний спосіб визначення площ полягає в тому, що ділянки, зображені на плані, розбивають на найпростіші геометричні фігури, переважно трикутники, рідше на прямокутники і трапеції. У кожній фігурі на плані вимірюють висоту й основу, по яких обчислюють площу. Сума площ фігур дає площу ділянки.

Що більше кутів має границя ділянки, то менше ефекту від застосування цього способу. Отже, для обчислення площ ділянок, що мають велике число кутів, застосовувати цей спосіб недоцільно.

Найкращим варіантом розбивки ділянки на трикутники буде той, за якого трикутники близькі до рівностороннього (правильнішого, висоти по величині близькі до основи).

Для контролю і підвищення точності обчислення площу кожного трикутника визначають двічі: по двох різних основах і двох висотах, і якщо розбіжність допустима, то із двох значень площі виводять середнє. Допустимість розбіжності між двома значеннями площі визначають за формулою

$$\Delta E_{aa} = 0,04 \frac{\dot{I}}{10000} \sqrt{E_{aa}}, \quad (4.28)$$

де M – знаменник чисельного масштабу плану.

Для забезпечення контролю обчислень і підвищення точності при виборі висот і основ не слід прагнути до того, щоб у суміжних трикутниках вони повторювалися, тому що це веде до залежності результатів обчислень і може призвести до грубих помилок.

Розвиток засобів автоматизації картографічних робіт дозволяє значно спростити й одночасно підвищити точність визначення площ графічним способом. Серед основних засобів, різного виду дигітайзери та сканери, які дають змогу визначати графічно координати точок границі контура далі за допомогою комп'ютера та програмного забезпечення, обчислювати площі контурів аналітичним способом.

Також площі контурів можна визначати фотограмметричним способом, використовуючи для цього аерофотознімки, ортофотоплани та стереотопографічні прилади.

4.4.4. Обчислення площ механічним способом

Механічним способом визначаються площі контурів земельних угідь із використанням спеціальних приладів. Раніше таким приладом був планіметр. Планіметром називають механічний прилад, який дає можливість шляхом обведення контуру будь-якої форми визначити його площу.

Вони бувають різноманітних систем: від найскладніших до найпростіших. Планіметри розділяють на лінійні і полярні. До *лінійних* відносять планіметри, у яких усі точки приладу під час обведення фігури рухомі, а до *полярних* – у яких одна точка (полюс) під час обведення фігури нерухома.

У сучасних умовах для вимірювання площ на картах, складених на паперових носіях, застосовують електронні планіметри, дигітайзери. Ці прилади, крім обвідного пристрою, мають можливість за допомогою програмного забезпечення визначати площі контурів.

На сьогодні на виробництві використовуються практично тільки цифрові моделі місцевості та застосовується велика кількість програмних продуктів, які дозволяють із необхідною точністю ідентифікувати кожен контур, визначити його координати та роз-

рахувати його площу по координатах. Це дозволяє підвищити точність обчислення площ, тобто підвищує якість і продуктивність роботи з визначення.

4.4.5. Визначення та ув'язка площ контурів ситуації, експлікація угідь

Виконуючи роботи з визначення та ув'язки площ контурів ситуації, застосовують загальне правило геодезії – від загального до часткового.

Загальна площа землекористування визначається аналітичним способом по координатами поворотних точок межі земельної ділянки.

Щоб виключити накопичення похибок при обведенні великої кількості контурів і компенсації грубих помилок під час визначення площ, землекористування розбивають на секції по 50–100 контурів. Площі секцій визначають механічним способом. При ув'язці площ секцій до загальної площі землекористування нев'язка не повинна перевищувати

$$f_{\text{в'яз}} \leq \frac{D}{500}. \quad (4.29)$$

Допустима нев'язка розподіляється між секціями пропорційно їх площам.

Площі контурів обчислюються з використанням цифрової моделі місцевості. Результати визначень реєструються відповідним чином на паперових та магнітних носіях. Ураховуючи, що при ідентифікації границь контурів фіксується межа земельної ділянки, яка одночасно буде також межею суміжної ділянки, то нев'язка при обчисленні площ буде відсутня. Через це необхідно передбачати проведення контрольних обчислень площ іншим виконавцем. Контрольні розрахунки необхідно проводити не менше ніж 20 % від загальної кількості контурів.

Після завершення обчислювальних робіт складаються поконтурні та зведені експлікації земель.

Поконтурні експлікації складаються по кожному угіддю з відображенням номера контуру та його площі. По кожному угіддю визначається його загальна площа в розрізі кожного власника чи користувача.

Зведена експлікація складається загалом на землекористування (територіальне утворення). У ній відображаються всі наявні влас-

ники чи користувачі земельних ділянок та вказується площа кожного угіддя. Площі угідь переносяться з поконтурних експлікацій.

Результати розрахунків площ відображаються на спеціальному кресленні. На цьому кресленні позначаються границі секцій, їх номери (римськими цифрами) і площі (арабськими цифрами) червоним кольором. Номери контурів і їх площі пишуться чорною тушшю (арабськими цифрами) у вигляді дробу: в чисельнику – номер, у знаменнику – площа.

При складанні креслення контурів їх номери повинні бути розташовані в порядку зростання від першої секції і до останньої, без повторень.

4.4.6. Точність визначення площі аналітичним способом

Якщо площа фігури визначається за результатами безпосередніх вимірювань на місцевості, то точність обчислення площі можна знайти, користуючись формулами теорії помилок. Наприклад, розглянемо трикутник, площа якого розраховується за формулою:

$$P = \frac{1}{2}ah.$$

Далі, взявши логарифм цього виразу, отримаємо:

$$\ln P = \ln a + \ln h - \ln 2.$$

Візьмемо його диференціал

$$\frac{dp}{P} = \frac{da}{a} + \frac{dh}{h},$$

і перейшовши до середньоквадратичних похибок, отримаємо

$$\left(\frac{m_p}{P}\right)^2 = \left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2. \quad (4.30)$$

Таку саму формулу отримаємо для визначення точності площі прямокутника, паралелограма, трапеції.

Таким чином, квадрат відносної похибки обчислення площі дорівнює сумі квадратів відносних похибок вимірювання висоти та основи.

Якщо наближено вважати, що вимірювання ліній на місцевості виконується з відносною похибкою

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_h}{h} = \frac{1}{C},$$

то

$$m_p = \frac{P}{C} \sqrt{2}. \quad (4.31)$$

У тих випадках, коли площа полігона визначається за координатами його вершин, можна застосовувати формулу:

$$m_p^2 = \mu^2 P \sqrt{P} \frac{K+1}{2\sqrt{K}} + (Qm_\beta KP)^2, \quad (4.32)$$

де m_p – середньоквадратична похибка площі в квадратних метрах; μ – коефіцієнт випадкового впливу лінійних вимірів, який для мірної стрічки дорівнює $\pm 0,005$; P – площа полігону в квадратних метрах; K – коефіцієнт витягнутості, або відношення довжини до ширини; m_β – середньоквадратична похибка вимірювання кута в радіанній мірі; Q – коефіцієнт, що залежить від числа кутів у полігоні.

У формулі (4.32) перший член передає вплив випадкових похибок лінійних вимірювань, другий – похибок вимірювання кутів.

4.4.7. Точність визначення площ графічним способом

Розглянемо декілька фігур.

Точність визначення площі кожного трикутника за основою та висотою можна визначити за формулою (4.30). Ця формула справедлива також для прямокутника, паралелограма, трапеції.

Похибки вимірювання ліній за планом можна вважати однако-вими, тобто:

$$m_a = m_h = m,$$

тоді за формулою (4.30)

$$\frac{m_p}{P} = \frac{m}{ah} \sqrt{a^2 + h^2}, \quad (4.33)$$

оскільки для трикутника $ah = 2P$, а для інших фігур $ah = P$, то отримуємо для трикутника:

$$m_{p\Delta} = \frac{m}{2} \sqrt{a^2 + h^2}; \quad (4.34)$$

для прямокутника, паралелограма, трапеції:

$$m_{p\Delta} = m \sqrt{a^2 + h^2}. \quad (4.35)$$

Таким чином, площа трикутника графічним способом визначається точніше, ніж площі інших фігур.

Якщо фігуру розбити на n -трикутників і обчислити її площу за незалежними вимірюваннями в цих трикутниках, то

$$m_p = \sqrt{m_{p_1}^2 + m_{p_2}^2 + \dots + m_{p_n}^2},$$

але відповідно до (4.36) отримаємо, що

$$m_p = m\sqrt{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = m\sqrt{P}.$$

Оскільки похибка визначення відстані за планом дорівнює 0,1 мм, то похибку визначення площі можна записати так:

$$m_{p_{\text{мм}^2}} = 0,01\sqrt{P_{\text{мм}^2}}.$$

Або для планів різних масштабів

$$m_{p_{\text{аа}}} = 0,01 \frac{i}{10000} \sqrt{D_{\text{аа}}}. \quad (4.36)$$

4.4.8. Точність визначення площ механічним способом

Як зазначалося вище, площі контурів механічним способом визначаються на картографічній основі, яка подана у вигляді цифрової моделі місцевості. Кожен контур утворюється рядом точок, які відображені на цій моделі. Тобто, на помилку площі впливатимуть помилки у визначенні координат цих точок, які своєю чергою, складаються з: помилки в положенні точок на картографічній основі, помилки наведення відлікового пристрою на точку (графічна точність плану).

Сумарна помилка визначення координат точок контура m_s розраховується за формулою

$$m_s = \sqrt{m_t^2 + m_r^2},$$

де m_t – середньоквадратична похибка створення плану (цифрової моделі місцевості); m_r – середньоквадратична похибка наведення на точку.

Для знаходження середньоквадратичної похибки визначення площі m_p доцільно скористатися формулою:

$$m_p = m_s \sqrt{P} \sqrt{\frac{1+k^2}{2k}}, \quad (4.37)$$

тут P – площа ділянки; k – коефіцієнт видовження (відношення довжини ділянки до її ширини).

4.5. Порядок і способи складання проєктів землеустрою

4.5.1. Методи та способи проєктування при землепорядкуванні

Складання проєкту, а потім перенесення його в природу – це процес зворотний зйомці і складанню плану. Для складання проєкту використовують план з експлікацією по землекористуванню і власниками землі, а також угіддям, калькам контурів, матеріалам агрогосподарчих, ґрунтових, геоботанічних та інших обстежень.

Проєкт землепорядкування складається відповідно до перспективного плану розвитку кожного конкретного підприємства або володіння землі з урахуванням економічних та природних умов.

На основі вказаних матеріалів і побажань користувачів або власників землі на плані складається графічний проєкт розміщення складових частин та елементів організації території.

У багатьох випадках найбільш правильне проєктне рішення знаходиться у результаті складання та економічного аналізу декількох варіантів.

Перші проєктні рішення роблять наближено, по можливості простими технічними засобами і способами, аби швидше отримати попереднє графічне оформлення, спочатку загалом, а потім у деталях. Тому проєкти землепорядкування розробляють, як правило, у два прийоми (дві стадії):

- 1) складання попереднього або ескізного проєкту;
- 2) складання кінцевого або технічного проєкту.

Складання попередніх (ескізних) проєктів. Ескізний проєкт складається на тому самому плановому матеріалі, на якому складається і технічний проєкт. Проєктування об'єктів виконують за допомогою програмних засобів. Площі ділянок, що проєктуються, на ескізному проєкті даються округлено: крупних – до 1 га, а середніх та дрібних – до 0,5 га.

Способи та правила складання технічних проєктів. Технічні проєкти складають на основі завершених ескізних проєктів, обговорених на громадських слуханнях і перевірених стосовно господарської доцільності та юридичної правильності.

Залежно від виробничих вимог і точності розміщення лінійних елементів проєктування, їх конфігурації та наявності геодезичних даних по межах земельних масивів застосовуються такі способи проєктування:

- 1) *графічний* – за лінійними величинами, вимірними на плані;
- 2) *механічний* – за допомогою планіметра, електронних планіметрів, дигітайзерів, цифрових моделей місцевості тощо;
- 3) *аналітичний* – по лінійних та кутових величинах, вимірних на місцевості, або ж по їх функціях (координатах).

Важливою умовою застосування того чи іншого способу складання технічного проєкту землевпорядкування є господарське значення ділянок, що проєктуються, їх площі та конфігурація.

Проєктування ділянок – один із трудомістких геодезичних процесів, що вимагає великої уваги та охайності до обчислювальних операцій, ведення записів розрахунків і обчислювань.

Технічно проєктування ділянок являється дією оберненою визначенню площ. Якщо під час обчислення площ визначаються і площі фігур на плані, то при проєктуванні визначаються положення ліній, що обмежують фігуру на плані відповідно до заданої площі. Внаслідок цього точність проєктування може бути приблизно прирівняна до точності обчислення площ.

Проєктування також, як і визначення площ, виконують, керуючись правилом – від загального до часткового, тобто групами ділянок, після чого в кожній групі проєктують окремі ділянки.

Кількість ділянок у групі може коливатися від 3 до 8. Також цей порядок проєктування зменшує кількість вирахувань і спрощує ув'язку зареєстрованих на плані ділянок.

Для того, щоб своєчасно знайти грубі помилки, використовують поточний контроль правильності проєктування ділянок за допомогою номограм, одного обводу планіметра; обчислення відстані контролюють графічними визначеннями за планом.

4.5.2. Проєктування графічним способом

Графічним способом ділянки, як правило, проєктують шляхом обчислення площі попередньо запроєктованої ділянки, після чого

проектують відрізки або прирізки до заданої площі. При цьому попередньо запроєктована площа розраховується аналітичним способом. Відрізки і прирізки проектують *трикутником або трапецією* залежно від умов до напрямлення проектної лінії.

Проектування трикутником виконують у тому випадку, коли проектна лінія повинна проходити через якусь визначену точку, при цьому за заданою площею і відомою висотою (чи основою) визначають основу (чи висоту) трикутника. Розглянемо частину землекористування, у якій необхідно запроєктувати площу P лінією, що проходить через точку E (рис. 4.3).

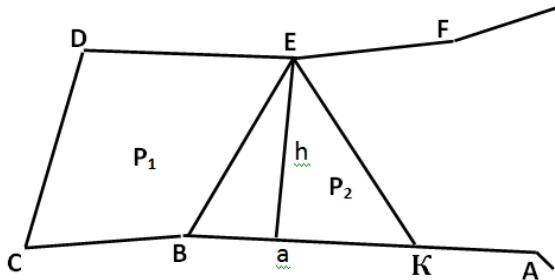


Рис. 4.3. Схема проектування методом трикутника

Розв'язання. За координатами вершин розраховують площу фігури $BCDE$ (P_1), після чого обчислюють площу необхідної прирізки (P_2):

$$P_2 = P - P_1.$$

Прирізка площі P_2 визначається з трикутника KBE , тобто розв'язок задачі зводиться до знаходження положення точки K на лінії AB . Оскільки висотою трикутника KBE буде перпендикуляр h , опущений з точки E на основу трикутника – лінію a (BK), то основу можна буде визначити за формулою:

$$a = \frac{2P_2}{h}. \quad (4.38)$$

Отриману віддаль виписують окремо на план чи відомість і надалі використовують при винесенні проекту в натуру для визначення на місцевості проектної точки K .

Для знаходження точності обчислення віддалі a за формулою (4.38) прологарифмуємо цей вираз:

$$\ln a = \ln 2 + \ln P_2 - \ln h.$$

Продиференціюємо отриманий вираз:

$$\frac{da}{a} = \frac{dP_1}{P_1} - \frac{dh}{h}.$$

Перейдемо до середньоквадратичних похибок

$$\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 = \left(\frac{m_{P_1}}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2.$$

Якщо P задана і відповідно рахується безпомилково ($m_{P_1} = 0$), то:

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_h}{h}. \quad (4.39)$$

Отже, з якою відносною похибкою виміряна висота, з такою самою відносною похибкою буде розрахована основа, і навпаки.

Проектування трапецією виконують, якщо проектна лінія повинна проходити паралельно заданому напрямку; в цьому випадку за заданою площею і середньою лінією цієї трапеції, визначеною за планом, розраховують висоту трапеції, а потім її бокові сторони. Проектування трапецією менш зручніше і менш точніше, ніж трикутником.

Складність розв'язання задачі полягає в необхідності досить точного визначення на плані довжини середньої лінії, оскільки положення її невідоме, оскільки невідома висота. Розглянемо частину землекористування (рис. 4.4), у якому необхідно запроектувати площу P лінією KL , паралельною лінії DC . Для цього з точки E проводимо лінію EO паралельно лінії DC і вираховуємо площу $OBCDE = (P_1)$.

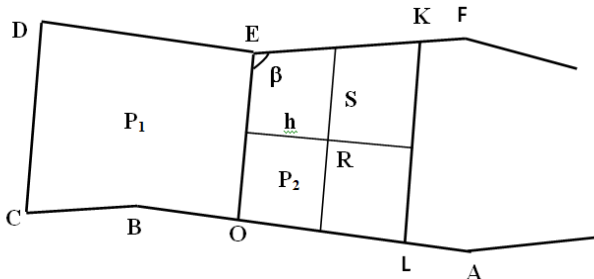


Рис. 4.4. Схема проектування методом трапеції

Площа необхідної прирізки (P_2) вираховується, як різниця:

$$P_2 = P - P_1.$$

Розв'язання. Трапецію починають проєктувати з визначення довжини її середньої лінії S_1 за планом, обравши її положення на око, відповідно до площі P_2 , після чого розраховують попереднє значення висоти трапеції за формулою:

$$h_1 = \frac{P_2}{S_1}.$$

Відклавши половину величини h_1 провівши через отриману точку R лінію, паралельну EO , вимірюють друге наближене значення середньої лінії трапеції – S_2 . Поділивши відповідно

$$h_2 = \frac{P_2}{S_2},$$

отримують нове, найточніше, значення висоти трапеції h_2 .

Висота h_2 може вважатися кінцевою, якщо розходження її з значенням висоти h_1 не перевищує графічної точності. В іншому випадку знаходять нове значення середньої лінії і відповідну висоту. Розходження кінцевої довжини середньої лінії з попередньою допускається не більше подвійної графічної точності.

Отримавши кінцеве значення висоти, відкладають його на перпендикулярі до лінії EO , і через отриману точку проводять лінію KL паралельно DC . Виміри EK і BL , за необхідні для винесення проєктних точок у натуру, визначають графічно за планом.

Похибка визначення висоти h знаходиться за формулою:

$$\left(\frac{m_h}{h}\right)^2 = \left(\frac{m_{P_2}}{P_2}\right)^2 + \left(\frac{m_s}{S}\right)^2,$$

водночас, якщо площа P вважається безпомилковою ($m_{P_2} = 0$), то:

$$\frac{m_h}{h} = \frac{m_s}{S}.$$

Тобто, відносна помилка визначеної висоти дорівнює відносній помилці визначення середньої лінії.

На точність проєктування відрізків EK та BL , які визначаються за планом з загальною помилкою, крім помилки розрахування висоти h , впливатимуть ще такі помилки:

1. Відкладання висоти – 0,08 мм.
2. Проведення проєктної лінії KL – 0,08 мм.
3. Помилки графічного визначення промірів EK та BL .

Щоб виключити накопичення такої великої кількості помилок, проміри доцільно розраховувати відрізок EK за формулою:

$$EK = \frac{h}{\sin \beta}$$

(кут β отримуємо як різницю дирекційних кутів DC та EF). Інший промір BL немає сенсу визначати за формулою, оскільки він складається з двох відрізків, один з яких знаходиться графічно.

Проміри FK і BL , необхідні для винесення проєктних точок у натуру, визначають графічно за планом.

Із розглянутих прикладів проєктування трикутником і трапецією видно, що проєктування трикутником точніше.

4.5.3. Проєктування ділянок аналітичним способом

Під час проєктування аналітичним способом розрахунки виконують за вимірними кутовими та лінійними величинами.

До найпростіших випадків аналітичного проєктування належить проєктування прямокутників і паралелограмів, яке зводиться до ділення двох паралельних сторін масиву на відрізки, пропорційні заданим площам. Це проєктування можна виконувати безпосередньо в натурі.

Значно складніші розрахунки сторін проєктних ділянок, що мають форму трапеції, неправильних чотирикутників, п'ятикутників тощо.

За великої кількості сторін ділянки, що проєктуються, спочатку визначають площу якої-небудь частини спроєктованої ділянки, а потім проєктують прирізку або відрізку. Тому під час аналітичного способу застосовують формули як для обчислення площ, так і для проєктування.

Для трикутника, якщо відомі дві сторони і кут, що міститься між ними:

$$2P = S_1 S_2 \sin \beta_2. \quad (4.40)$$

Коли відомі координати його вершин:

$$2P = (x_1 - x_2)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_2). \quad (4.41)$$

Для чотирикутника, якщо відомі чотири сторони і два протилежних кути:

$$2P = S_1 S_2 \sin \beta_2 + S_3 S_4 \sin \beta_4. \quad (4.42)$$

Якщо відомі три сторони і два кути, що містяться між цими сторонами:

$$2P = S_1 S_2 \sin \beta_2 + S_2 S_3 \sin \beta_3 + S_1 S_3 \sin (\beta_2 + \beta_3 - 180^\circ). \quad (4.43)$$

Якщо відомі координати вершин, то

$$2P = (x_1 - x_3)(y_2 - y_4) - (x_2 - x_4)(y_1 - y_3). \quad (4.44)$$

Для багатокутника, прирости координат і координати вершин якого відомі:

$$2P = \sum_1^n X_k \Delta y_k + \sum_1^n X_{k+1} \Delta y_k; \quad (4.45)$$

$$P = \sum_0^n X_k \Delta y_k + \frac{1}{2} \sum_1^n \Delta x_k \Delta y_k; \quad (4.46)$$

$$2P = \sum_1^n X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1}) = \sum_1^n Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}). \quad (4.47)$$

Розглянуті вище методи проектування передбачали використання планів та карт, виготовлених традиційними методами на паперовій основі з застосуванням аналогових вимірювальних засобів. На сучасному етапі здебільшого застосовуються цифрові та електронні карти і програмно-технічні засоби для їх обробки.

Цифрова карта – модель земної поверхні, записана цифрами в кодовій формі і за встановленою структурою на носіїв інформації з урахуванням прийнятих елементів математичної основи карти і вимог картографічної генералізації щодо її картографічного зображення. Цифрові карти створюються у вигляді цифрових моделей місцевості, цифрових моделей рельєфу, цифрових карт місцевості і цифрових топографічних карт.

Електронні карти – це цифрові карти, які візуалізовані з використанням програмних та технічних засобів у заданій проекції, системі координат та умовних знаків і призначені для автоматизації картографічного відображення та аналізу об'єктів, процесів і явищ з урахуванням динаміки їх розвитку, а також вирішення прикладних завдань із використанням різноманітної додаткової інформації.

Електронні карти дозволяють застосовувати інтерактивний режим роботи з картографічними даними, описами та оперативною інформацією. Це дає можливість автоматизувати процес проектування земельних ділянок, застосувавши кожний з розглянутих методів.

4.6. Перенесення проєктів у природу

4.6.1. Суть і способи перенесення проєкту в природу

Перенесення землепорядного проєкту в природу полягає у визначенні та закріпленні на місцевості меж ділянок, доріг та інших елементів, які запроєктовані на плані. Для перенесення проєкту в природу вибирають найпростіші методи, які потребують менших витрат часу і працевитрат на виконання робіт і забезпечують необхідну точність.

Технічно перенесення проєкту в природу являє собою дію, обернену зйомці: у процесі зйомки і складання плану контури угідь і ділянок місцевості наносять на план, при перенесенні ж проєкту в природу межі ділянок із плану переносять на місцевість. Відтак, точність перенесення проєкту в природу можна прирівняти до точності зйомки.

Від перенесення проєкту в природу як завершальної стадії землепорядних робіт в значній мірі залежить точність розміщення на місцевості ділянок.

Необхідно, щоб три геодезичні процеси: зйомка, проєктування і перенесення проєкту в природу – виконувалися за точністю узгоджено. У разі допущеної неточності в одному із процесів не можна досягнути бажаної точності по проєкту загалом.

Умови вибору способів перенесення проєктів у природу.

Застосування методів перенесення в природу можливе для будь-якого проєкту землеустрою і на матеріалі будь-якого виду зйомки.

Однак доцільність застосування того чи іншого методу залежить від:

- технічних вимог до паралельності і перпендикулярності сторін запроєктованих ділянок;
- способу проєктування, який застосовувався при складанні проєкту землеустрою;
- топографічних умов місцевості (рівнинна, з чітко вираженим рельєфом, відкрита, закрита);
- виду проєктних ліній (прямі або ламані проєктні лінії);
- виду планово-картографічного матеріалу, який використовувався при проєктуванні (плани теодолітної, мензульної зйомки, аерофотозйомки та ін.).

Залежно від цих умов перенесення проєкту в природу в межах одного землекористування може бути виконано різними способами.

Способи перенесення проєктів землеустрою в природу:

1. Спосіб *лінійних промірів* – мірним приладом (мірна стрічка, світловіддалемір).

2. *Кутомірний* спосіб – теодолітом з мірним приладом, тахеометром світлодалекоміром.

3. *Графічний* спосіб – мензулою.

4. *За матеріалами аерофотознімання*.

Застосування цих методів можливо для будь-якого землевпорядного проєкту і на матеріалі будь-якого виду зйомки.

Передбачені методи перенесення проєкту в природу повинні відповідати способам знімальних і проєктних робіт. Не можна переносити в природу від контурів ситуації проєкт, складений аналітичним способом, але немає необхідності прокладати теодолітний хід для визначення меж між ділянками неправильної конфігурації, в яких унаслідок існуючої криволінійності контуру відсутні прямі кути та сторони між собою непаралельні. В цьому випадку застосовується спосіб визначення меж ділянок промірами від чітко виражених контурів ситуації: доріг, лісосмуг тощо.

4.6.2. Підготовка до перенесення проєкту в природу

Яким би способом не виконувалось проєктування, який би метод не обирався для перенесення проєкту в природу, необхідно детально розробити в камеральних умовах порядок та послідовність виконання робіт з мінімальними працевитратами.

Тому перед перенесенням проєкту в природу виконують підготовчі роботи, які складаються з:

- огляду місцевості;
- визначення методів перенесення проєкту;
- згущення знімального обґрунтування для перенесення проєкту;
- визначення значень довжин ліній та кутів, необхідних для перенесення проєкту;
- підпис цих значень на проєктному плані;
- складання робочого креслення.

При огляді місцевості уточнюється можливість застосування різних методів перенесення проєкту, перевіряється наявність закріпленої в природі геодезичної мережі, необхідної для виконання робіт, та визначається потреба в її згущенні.

Геодезичну опору згущують, якщо між зйомкою і перенесенням проєкту пройшло багато часу і закріплені пункти могли бути знищені.

Для перенесення на місцевість проєктних точок, розміщених на лініях теодолітного ходу або на прямолінійних контурах ситуації, необхідно виміряти на плані віддаль від опорних до проєктних точок, якщо ці віддалі не отримані шляхом обчислень при проєктуванні ділянок. Довжини виміряних відрізків ув'язати з загальною довжиною ліній, на якій визначені ці відрізки. Ув'язану довжину кожного відрізка підписати на проєктному плані біля відповідних відрізків ліній.

Під час визначення ліній на плані необхідно враховувати деформацію паперу, якщо величина деформації перевищує величину графічної точності. Крім поправок за деформацію паперу, в довжини проєктних ліній перед перенесенням проєкту в натуру вводять також поправки за ухил лінії та перенесення лінії з проєкції Гаусса-Крюгера.

Розв'язуючи обернені геодезичні задачі за графічними координатами проєктних точок і аналітичними координатами вихідних точок, визначають кути з закругленням до $0,1'$ і горизонтальні прокладання із закругленням до $0,1$ м. Отримані результати записують у відомість встановленої форми. *Величини кутів і ліній на проєктному плані* підписують одночасно з проєктуванням на плані. Усі підписи виконують олівцем.

Складання робочого креслення. Після завершення розрахунків з технічного проєктування складають робоче креслення перенесення проєкту на місцевість. Робочі креслення складають тушшю на кальці, тільки на ту частину землекористування, на якій проєкт буде переноситися протягом одного-двох робочих днів.

На робочому кресленні відображаються методи винесення проєкту на місцевість залежно від наявності геодезичної мережі (зовнішніх меж), виду проєктних ліній та маршруту руху виконавця під час виконання польових робіт.

Робоче креслення складають тільки на підставі геодезичних даних проєктування, повністю записаних на проєктному плані. На робочому кресленні викреслюють та записують:

чорною тушшю – існуючі межі землеволодінь, межові знаки, контури ситуації та об'єкти місцевості, необхідні для самоконтролю та орієнтування на місцевості;

червоною тушшю – проєктні межі ділянок з їх позначеннями та нумерацією по проєкту, проєктні елементи теодолітних ходів з геодезичними даними (кутами і мірами ліній);

синьою тушшю – допоміжні геодезичні дані (елементи геодезичних даних, що знаходяться за межами проєктної ділянки);

стрілками – напрямом маршруту руху виконавця робіт.

Робоче креслення є важливим технічним документом і додається до технічного звіту про перенесення проєкту в натуру.

4.6.3. Перенесення проєкту в натуру методом вимірювань

Цей метод найпростіший, широко застосовується, забезпечує досить точні результати, але потребує відповідної підготовки планового матеріалу та рекогносцирування місцевості.

Переносять проєкт в натуру методом промірів із планового матеріалу всіх видів зйомки і на основі будь-якого способу проєктування, але в умовах відкритої і рівнинної місцевості.

Плановою опорою для перенесення проєкту в натуру методом промірів є пункти ДГМ та мереж згущення, межові знаки. В тому випадку, коли проєктування виконувалося графічним або механічним способами, опорою можуть бути також точки ситуації місцевості.

Перенесення проєкту в натуру виконується за робочим кресленням, на якому повинні бути виписані всі проміри, які визначають положення проєктних точок.

Перенесення проєкту починають із провішування ліній. Лінію вимірюють і на відліках по стрічці, що відповідають записам робочого креслення, забивають кілки. Якщо лінія проходить по нахиленій місцевості, то перед забиванням кілка пересовують його, а з ним і стрічку, вперед на величину поправки за ухил.

Через похибки вимірювань довжина лінії, отримана промірами при перенесенні проєкту в натуру, буде розходитися з довжиною, вказаною на робочому кресленні. Різниця в довжині ліній не повинна перевищувати встановленого допуску.

Отримане розходження ув'язують пропорційно довжинам промірів. На величину поправок, у створі лінії, пересовують кілки і на їх місце закопують стовпи.

Якщо проектування виконувалося графічним або механічним способом, без обчислень, що забезпечують паралельність і перпендикулярність сторін ділянки, то розходження, яке не перевищує точності масштабу (0,1 мм), не ув'язують. Якщо розходження дорівнює подвоєній точності масштабу, то поправки вводять у положення двох останніх точок.

Якщо проектування виконувалося аналітичним способом чи проводились розрахунки, які забезпечують строгу паралельність і перпендикулярність сторін ділянок, розходження, що не перевищує 1/1000 ширини запроєктованих ділянок, не ув'язують.

Після перенесення проєкту, на робочому кресленні виправляють чорною тушшю всі лінії, в які вводилися поправки при перенесенні проєкту в натуру.

4.6.4. Перенесення проєкту в натуру кутомірним методом

Проєкт в натуру кутомірним методом переносять після проектування будь-якими способами і з плану будь-якого виду зйомки, особливо, якщо на плані містяться пункти геодезичної опори.

Даний метод використовують, коли:

- місцевість закрита (заліснена, заросла кущами, деревами, забудована, або горбиста), тобто закрита видимість у потрібних напрямках, що не дозволяє здійснити перенесення проєкту тільки способом промірів;
- проєктні границі являють собою ламані лінії і при їх прокладанні виникає необхідність будувати кути;
- точки ситуації не можуть слугувати надійною опорою для перенесення проєкту в натуру, і виникає необхідність визначити положення точки шляхом побудови кутів і промірів ліній від точок і ліній теодолітних ходів і пунктів геодезичної мережі.

Залежно від розташування проєктних точок щодо пунктів геодезичної опори в практиці перенесення проєкту в натуру цим методом можуть бути різні випадки визначення положення проєктних точок на місцевості, а саме:

- *прокладання теодолітного ходу;*
- *полярний спосіб* (спосіб полярних координат);
- *спосіб куткових засічок.*

Якщо проектування виконувалось аналітичним способом, то всі геодезичні дані (кути і міри ліній) отримують шляхом обчислень у процесі проектування. При графічному або механічному способі проектування ці дані можна отримати з плану графічно.

Існує два способи графічного визначення геодезичних даних на плані.

1. Кути вимірюються транспортиром, лінії – вимірювачем з масштабною лінійкою; в цьому випадку виміряні кути ув'язують між дирекційними кутами кінцевої та початкової лінії ходу.

2. Кути і міри ліній визначають шляхом розрахунків за графічними координатами.

У результаті нагромадження помилок при прокладанні проектного ходу отримуємо нев'язку. Допустиму нев'язку розподіляють у натурі за способом паралельних ліній.

Якщо проектування виконувалося графічним способом, то нев'язку, що не перевищує точності масштабу (0,1 мм на плані), не розподіляють; якщо нев'язка дорівнює подвоєній точності масштабу, то поправки вводять у положення двох останніх проектних точок. Коли нев'язка перевищує подвоєну точність масштабу, поправки вводять у положення кожної точки пропорційно довжині частини ходу від початку до проектної точки.

Якщо проектування виконувалось аналітичним способом, то нев'язку, що не перевищує 1:1000 ширини ділянок, які проектується, не розподіляють. У всіх інших випадках нев'язку розподіляють також пропорційно довжині ходу.

4.6.5. Особливості перенесення проекту в натуру за матеріалами дистанційного зондування (ортофотопланами)

Ортофотоплан – це фотографічний план місцевості на точній геодезичній основі, отриманий шляхом аерофотозйомки або космічної зйомки із подальшим перетворенням знімків з центральної проєкції в ортогональну за допомогою методу ортотрансформування.

Ортофотоплани мають велику перевагу порівняно з матеріалами наземних зйомок. Вони дають можливість значно зменшити кількість лінійних і кутових вимірювань, оскільки опорою є кожний чітко виражений контур.

Для перенесення краще використовувати не віддешифровані ортофотоплани. У вигляді опори, крім контурних точок, широко використовують прямі лінії контурів угідь, доріг, канав тощо, які розпізнаються на ортофотопланах.

Для підвищення точності доцільно використовувати закріплені на місцевості опознаки.

Точність перенесення проєкту в натуру за матеріалами дистанційного зондування приблизно така сама, як і за планом наземних зйомок.

4.6.6. Встановлення (відновлення) втраченого межового знака

Встановлення (відновлення) втраченого межового знака здійснюють, використовуючи точки теодолітного ходу або пункту полігонометрії або від пункту GPS-спостережень (рис. 4.5).

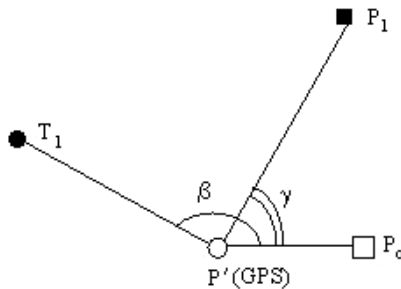


Рис. 4.5. Схема встановлення втраченого місцеположення межового знака

На місцевості поблизу втраченого межового знака P_0 вибирається допоміжна точка P' , координати якої визначаються з теодолітного ходу або із GPS-спостережень. За одержаними координатами точки P' і координатами одного з сусідніх пунктів (наприклад, пункту P_1 або точки теодолітного ходу T_1) і координатами пункту P_0 обчислюються дирекційні кути α напрямків $P'P_1$ і $P'P_0$, а за їхніми різницями кут $\gamma = P_1P'P_0$ та довжину відрізка $P'P_0$.

Після цього в точці P' за допомогою теодоліта вимірюють кут $\gamma = P_1P'P_0$ і, відкладаючи довжину відрізка $P'P_0$ уздовж напрямку $P'P_0$, знаходять положення центру межового знака P_0 . Для контролю на місцевості також вимірюють кут β .

Точність визначення координат допоміжної точки має відповідати вимогам, які визначені нормативними документами щодо знаходження координат межових знаків відповідної території.

4.7. Точність геодезичних робіт при землепорядкуванні

4.7.1. Точність проектування аналітичним способом і порівняльна точність проектування різними способами

Оскільки аналітичний спосіб передбачає використання матеріалів польових геодезичних вимірювань, то точність проектування цим способом залежить тільки від точності куткових і лінійних вимірювань.

Похибка площі залежно від похибок лінійних вимірювань, користуючись наближеною формулою, визначається.

$$\frac{m_p}{P} = \frac{m_s}{S}. \quad (4.48)$$

Із рівняння (4.48) видно, що відносна похибка площі ділянки дорівнює відносній похибці лінійних вимірювань.

Вважатимемо середню квадратичну відносну похибку вимірювання ліній стрічкою, що дорівнює $\pm 1/2000$; тоді середньоквадратична похибка площі залежно від похибок лінійних вимірювань буде:

$$m_{pf} = \pm \frac{P}{2000}. \quad (4.49)$$

Таку точність у середньому дає аналітичний спосіб проектування. Назвемо цей випадок *першим (I)*.

Розглянемо *випадок другий (II)*, коли застосовується графічний спосіб проектування, і опорою під час проектування являються нанесені на план точки теодолітних ходів.

У цьому випадку на похибки площ ділянок впливатимуть три види похибок:

1) вимірювань кутів і ліній на місцевості; їх вплив на похибку площі можна вирахувати за формулою (4.49);

2) нанесення точок теодолітних ходів на план за координатами; оскільки кожна точка наноситься незалежно від інших точок, похибку нанесення можна взяти такою, що дорівнює $\pm 0,018$ см, то вплив цих похибок на похибку площі можна обчислити за формулою вигляду:

$$m_{P_N} = m_{\text{іа}} \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{аа}}} = 0,018 \frac{M}{10000} \sqrt{E}; \quad (4.50)$$

3) властивих графічному способу проєктування, вплив яких на площу можна розраховувати за формулою

$$m_{P_Q} = 0,01 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{аа}}}. \quad (4.51)$$

Сумарний вплив похибок буде:

$$m_{P_{\text{и}}} = \sqrt{m_{P_F}^2 + m_{P_N}^2 + m_{P_Q}^2}. \quad (4.52)$$

Випадок (III), коли застосовується графічний спосіб проєктування на плані, і опорою для перенесення проєкту в натуру являються контури ситуації. На похибку площ ділянок впливатимуть похибки:

1) у положенні точок контурів ситуації на плані; їх вплив на похибку площі можна розрахувати за формулою (4.50), вважаючи, що середньоквадратична похибка положення контурної точки дорівнює $\pm 0,04$ см;

2) властиві графічному способу проєктування, передбачені випадком II (похибка m_{P_Q}).

Сумарний вплив похибок дорівнює:

$$m_{P_{\text{и}}} = \sqrt{m_{P_N}^2 + m_{P_Q}^2}. \quad (4.53)$$

Усі ці похибки являються середніми квадратичними, і в якості граничних можна взяти потроєні їх значення.

Випадки II і III порівняно з випадком I дають велику похибку, яка збільшується зі зменшенням масштабу плану.

4.7.2. Точність площ ділянок, перенесених у натуру

Точність перенесення проєкту в натуру залежить від точності проведення двох основних стадій цього процесу: камерального визначення геодезичних даних для перенесення проєкту і польових вимірювань при перенесенні проєкту.

Камеральне визначення геодезичних даних необхідне тільки при застосуванні графічного або механічного способів. За аналітичного способу проєктування геодезичні дані отримуються в процесі

поектування, і їх точність залежить лише від похибок вимірювань на місцевості.

Якщо проєкт у природу переносять методом промірів, то з плану беруться тільки проміри з похибкою 0,1 мм. Якщо положення поворотних точок ділянки визначається цими промірами, то похибка площі ділянки, що залежить від похибок визначення промірів, виражатиметься за формулою:

$$m_{P_{\text{д}}} = 0,01 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{д}}}. \quad (4.54)$$

При перенесенні проєкту в природу кутомірним способом похибки положення проєктних точок залежать від того, яким способом визначаються кути і міри ліній на плані для прокладення проєктного ходу в природі.

Якщо кути і лінії розраховують за координатами проєктних точок, то похибка площі залежатиме від похибок визначення координат на плані і виражатиметься за формулою:

$$m_{P_{\text{д}}} = 0,018 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{д}}}. \quad (4.55)$$

Однак часто на лінії проєктного теодолітного ходу опираються межі проєктних ділянок, і положення точок цих меж визначається графічно від точок проєктного ходу. В цьому випадку на похибки площ ділянок впливатимуть додатково похибки положення кожної проєктної точки, що дорівнюють $0,08 \approx 0,1$ мм на плані, і їх вплив на площу буде виражатися за формулою (4.54).

Похибки польових робіт при перенесенні проєкту тільки мірною стрічкою або теодолітом зі стрічкою, коли опорою являються точки раніше прокладених теодолітних ходів, можна прирівняти до похибок зйомки. Якщо як опору використовують контурні точки ситуації, похибки положення яких $\pm 0,3$ мм на плані, то вплив цих похибок на похибки площ проєктних ділянок буде виражатиметься за формулою вигляду:

$$m_{P_{\text{д}}} = 0,03 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{д}}}. \quad (4.56)$$

Вплив помилок лінійних вимірювань у природі в цьому випадку буде настільки малим порівняно з іншими похибками, що ними можна знехтувати, або вважати, що їх вплив на похибку площі ділянки виражається формулою (4.49).

При перенесенні проєкту з плану або карти, де як опору використовують пункти знімальної мережі; положення кожної проєктної точки в натурі визначиться із середньою похибкою $\pm 0,4$ мм на плані, і вплив цих похибок на площі проєктних ділянок виражатиметься формулою (4.56).

Сумарні похибки площ проєктних ділянок стосовно трьох випадків, які розглянуті в попередньому розділі, будуть такі.

Випадок I. Проєктування ділянок виконано аналітичним методом. Похибка площі ділянки залежатиме тільки від похибок вимірювань на місцевості при зйомці і перенесенні проєкту в натуру, і виражатиметься формулою:

$$m_{P_f} = \pm \frac{P}{2000}.$$

Випадок II. Проєктування виконано графічним методом, і опорою при проєктуванні були нанесені на план точки теодолітних ходів. Перенесення проєкту в натуру виконано методом промірів або кутомірним. На похибку площі, крім похибок, перерахованих у попередньому параграфі, впливатимуть похибки визначення промірів на плані, і їх вплив на похибку виражатиметься формулою:

$$m_{P_{\text{aa}}} = 0,01 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{aa}}}.$$

Випадок III. Проєктування ділянок виконано графічним методом, і опорою для перенесення проєкту були контури ситуації. В цьому випадку до двох похибок, наведених у попередньому розділі, додадуться похибки графічного визначення промірів на плані, вплив яких на площу ділянки виражатиметься за формулою:

$$m_{P_{\text{aa}}} = 0,01 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{aa}}}.$$

Розглянуті похибки являються середніми квадратичними, і як граничні можна взяти їх потроєні значення.

Крім цього, для витягнутих ділянок ці похибки треба збільшити

в $\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$ разів, де K – коефіцієнт витягнутості.

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Назвіть види геодезичних робіт, які необхідно виконувати для забезпечення всіх землепорядних дій.
2. Чим характеризується точність плану?
3. Що таке графічна точність планів?
4. Чому дорівнює середньоквадратична похибка віддалі між точками на плані?
5. Від чого залежить точність напрямку лінії на плані?
6. Як враховується спотворення ліній і площ у проєкції Гаусса-Крюгера?
7. Як визначається і враховується деформація планів?
8. Назвіть принцип розрахування площ аналітичним способом.
9. Назвіть принцип обчислення площ графічним способом.
10. Назвіть принцип знаходження площ механічним способом.
11. Як здійснюється оцінювання точності визначення площ графічним способом?
12. Назвіть способи та правила складання технічних проєктів.
13. Назвіть порядок проєктування ділянок способом трикутника.
14. Назвіть порядок проєктування ділянок способом трапеції.
15. Назвіть суть і способи перенесення проєкту в натуру.
16. Як складають робочі креслення перенесення проєкту в натуру?
17. Назвіть порядок перенесення проєкту в натуру методом промірів.
18. Назвіть порядок перенесення проєкту в натуру кутомірним методом.
19. Що впливає на точність площ ділянок, перенесених у натуру?

Розділ 5

ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЕРОПОРТІВ

5.1. Загальні відомості про аеропорти

Для обслуговування повітряного транспорту використовують спеціальний комплекс інженерних споруд і обладнання. Складовою такого комплексу є аеропорт.

Аеропорт – комплекс споруд, призначений для приймання, відправлення повітряних суден, обслуговування повітряних перевезень, проведення робіт з їх технічного обслуговування.

До складу аеропорту входять – аеродром, службово-технічна територія, відокремлені допоміжні споруди та приаеродромна територія.

Аеродром – головна складова аеропорту. Це спеціально підготовлена земельна ділянка, яка має комплекс споруд і обладнання, що забезпечують зліт, посадку, руління, стоянку та технічне обслуговування повітряних суден.

За призначенням розрізняють такі аеродроми:

- 1) *транспортні, або пасажирські;*
- 2) *спеціальні* для обслуговування різних галузей економіки і служб (сільського та лісового господарств, медицини, геології, геодезії, морського та риболовецького флотів, поштового зв'язку тощо);
- 3) *заводські* для проведення випробувальних польотів літаків, що виробляє завод;
- 4) *навчальні* для проведення навчальних польотів льотним навчальним закладом;
- 5) *військові.*

Службово-технічна територія (СТТ) – це частина земельної ділянки аеропорту, яка призначена для розташування будівель і споруд, обслуговування пасажирських і вантажних перевезень, технічного обслуговування літаків і допоміжного призначення. Вона розташована безпосередньо в межах аеродрому.

Відокремлені допоміжні споруди – це частина території аеропорту, яку використовують для розташування об'єктів керування повітряним рухом, радіонавігації, складів паливно-мастильних матеріалів тощо.

До торців аеродрому прилягає смуга повітряних підходів – ділянка *приаеродромної* території встановлених розмірів, над якою повітряні судна здійснюють початковий етап набирання висоти під час зльоту та кінцевий етап зниження під час заходу на посадку.

Навколо аеропорту розташована *приаеродромна територія* – обмежена регламентованими розмірами місцевість, до якої встановлено спеціальні вимоги щодо розташування різних об'єктів, висота яких контролюється з урахуванням умов безпеки маневрування, зльоту та заходу на посадку повітряних суден. На цій території знаходяться також відокремлені споруди, комунікації та устаткування, які умовно відносяться до аеродрому (світлотехнічні та радіотехнічні засоби, перевалочний склад паливно-мастильних матеріалів тощо).

Повітряний простір над аеродромом та прилеглою до нього місцевістю з установленими розмірами в плані та по висоті, у якому відбувається маневрування ПС для заходу на посадку, набору висоти для зльоту, виходу на друге коло, у зони очікування, вихідні коридори тощо є *районом аеродрому*.

За тривалістю експлуатації аеродроми поділяють на постійні, що обладнані для регулярної експлуатації, та тимчасові, які мають обмежений термін експлуатації; за транспортним призначенням – на базові та запасні, за розташуванням відносно повітряних ліній, які вони обслуговують – на початкові, проміжні та кінцеві.

Для безпечної експлуатації аеродромів під час використання важких швидкісних літаків основні елементи льотного поля повинні мати штучні покриття, які відзначаються високою міцністю, довговічністю, стійкістю в разі впливу природних факторів. Покриття складаються з двох штучних шарів, які залягають на природній ґрунтовій основі.

На етапі виконання передпроектних робіт для будівництва нового аеродрому завдання вишукувань зводиться до пошуку найбільш вигідного місця розміщення аеродрому в заданому районі будівництва, яке б забезпечувало максимальні зручності зон повітряних підходів, розташування ЗПС та інших споруд для мінімальних обсягів робіт з будівництва та експлуатації. Для цього виконують комплекс геодезичних і інженерно-геологічних робіт, у результаті яких отримують вихідні дані для складання проекту нового летовища або реконструкції наявного.

Проектування аеродромів виконується у дві стадії: технічний проєкт і робочі креслення. Вишукування аеродромів залежно від етапу проєктних робіт також поділяються на стадії: попередні вишукування (як правило, зйомка масштабу 1:5000) і вишукування вже безпосередньо для виконання проєктних рішень (зйомка масштабів 1:2000, 1:1000, 1:500).

На етапі виконання передпроєктних рішень виконується комплекс топографо-геодезичних робіт, таких як:

- повітряне і наземне рекогносрування району виконання робіт;
- розвиток планово-висотної основи (разом із закріпленням будівельної сітки);

- геометричне нівелювання по квадратах території майбутнього аеродрому;

- великомасштабна зйомка (1:500, 1:1000) передбачуваної ділянки, розташування всього комплексу будівель і споруд аеропорту, включно з підземними спорудами й комунікаціями;

- зйомка території майбутнього аеродрому в масштабах 1:2000;

- виконання спеціальних геодезичних спостережень і закріплення окремих точок на місцевості;

- землевпорядні та кадастрові роботи.

Програма проведення топографо-геодезичних вишукувань включає в себе створення мережі згущення, що спирається на пункти Державної геодезичної мережі. Мережі згущення будуються методами, визначеними чинними нормативними документами. Також проєктом передбачається розвиток мережі знімальної геодезичної основи.

Для проєктування необхідно також надати інформацію і про геологічну будову території аеропорту за даними інженерно-геологічних вишукувань. Для цього використовують результати опису геологічних виробок – свердловин і шурфів. Горловини цих виробок координуються у плані та за висотою від пунктів геодезичної основи.

Рельєф на території аеродрому згідно з проєктом описується такими характеристиками, як поздовжній і поперечний ухили. Тому до складу геодезичного супроводу під час будівництва аеродрому входить винесення на місцевість проєктних відміток та ухилів від пунктів будівельної сітки під час перетворення рельєфу території аеропорту – згідно з проєктом вертикального упорядкування. Роботи виконуються за технологією і точністю технічного нівелювання.

Під час геодезичного забезпечення будівництва основних елементів льотного поля здійснюється набір операцій з винесення об'єктів на місцевість.

5.2. Загальні відомості з інженерної геодезії

Інженерна (прикладна) геодезія – один з основних напрямів сучасної геодезії. Вона вивчає методи геодезичних робіт, виконуваних при вишукуванні, проектуванні, будівництві й експлуатації різних будівель і споруд, а також раціональному використанні й охороні природних ресурсів.

У сучасній інженерній геодезії знаходять застосування новітні вимірювальні засоби, використовують останні досягнення у фізиці, механіці, електроніці, оптиці, обчислювальній техніці.

Основними завданнями інженерної геодезії є:

- топографо-геодезичні вишукування, в ході яких виконуються створення на об'єкті робіт геодезичної мережі, топографічне знімання, геодезична прив'язка точок геологічної і геофізичної розвідки;

- інженерно-геодезичне проектування, що включає розроблення генеральних планів споруд та їх цифрових моделей; геодезичну підготовку проекту для винесення його в природу, розрахунки по горизонтальному і вертикальному плануванню, визначенню площ, об'ємів земляних робіт та ін.;

- геодезичні розмічувальні роботи, що включають створення на об'єкті геодезичної розмічувальної мережі і подальше винесення в природу головних осей споруди та її детальне розмічування;

- геодезична перевірка конструкцій і технологічного устаткування при установці їх в проектне положення;

- спостереження за деформаціями споруд, для визначення осідання основ і фундаментів, планових зсувів і кренів споруд.

Геодезичне забезпечення будівництва й експлуатації сучасних інженерних споруд пов'язане з необхідністю виконання точних вимірювань, для визначення координат і висот геодезичних пунктів, складання топографічних карт і планів, подовжніх профілів трас; спостереження за деформаціями споруд.

Для забезпечення необхідної точності вимірювання виконуються високоточними геодезичними приладами: теодолітами, нівелірами, електронними віддалемірами. Електронними тахеометрами виконують кутові і лінійні вимірювання з одночасним вирішенням різних інженерно-геодезичних завдань.

Під час визначення просторового положення об'єктів використовується апаратура, що працює за сигналами супутникових навігаційних систем. Виконуючи топографічні знімання місцевості та знімання інженерного призначення, застосовують лазерні сканери. Обробка результатів геодезичних вимірювань виконується на сучасних комп'ютерах з використанням розвинутого програмного забезпечення. До таких програмних продуктів належать геоінформаційні системи, що слугують для збирання, обробки, систематизації, відображення й аналізу картографічної інформації.

Склад геодезичних робіт, їх точність, використовувані методи і прилади розрізняються залежно від особливостей об'єкта.

У процесі будівництва і в міру завершення окремих його етапів виконуються виконавчі знімання, метою яких є встановлення точності винесення проєкту споруди в натуру, виявлення відхилень, допущених під час будівництва, а також визначення фактичних координат і висотних відміток побудованих об'єктів, розмірів його окремих частин.

Геодезичні роботи – вимірювання і знімання є складовою організаційно-технологічного процесу зведення будівель і споруд. Їх виконують на всіх етапах будівельного виробництва – у процесі вишукувань, проєктування, зведення й експлуатації споруд.

Кожна зведена споруда має відповідати своєму призначенню, бути довговічною і красивою. Повинні витримуватися встановлені терміни зведення споруд, при мінімумі витрат праці, часу і грошових коштів. Дотриманню цих умов значною мірою сприяють правильно організовані і ретельно виконані топографо-геодезичні роботи.

5.3. Інженерно-геодезичні вишукування аеропортів

5.3.1. Загальні відомості про розмічувальні роботи

Геодезичні вимірювання, що виконуються для розміщення на місцевості споруд аеропортів загалом або окремих її частин відповідно до проєкту, називаються *розмічувальними* роботами. Створення будь-якої інженерної споруди має три етапи: вишукування, проєктування та будівництво. Розмічувальні роботи є одним з елементів забезпечення будівництва споруди і за своїм змістом спрямовані на дотримання її проєктної геометрії. Відхилення від проєктних розмірів та форми споруди в процесі її будівництва дуже небезпечні і небажані, тому що можуть стати причиною зниження

міцності споруди, порушення технологічних зв'язків її з іншими спорудами, або її окремих частин.

Розмічувальні роботи протилежні знімальним геодезичним роботам. У результаті виконання знімальних робіт місцевість зображується на геодезичних кресленнях (топографічних планах, картах тощо). Унаслідок виконання розмічувальних робіт на місцевості розмічаються інженерні споруди згідно з проектними кресленнями.

Розрізняють такі розмічувальні роботи: а) планові, що виконуються для розміщення інженерної споруди в плані відповідно до проектних креслень; б) висотні, що виконуються для розміщення інженерної споруди по висоті відповідно до проектних креслень; в) планово-висотні, що виконуються для розміщення інженерної споруди в плані і по висоті відповідно до проектних креслень.

Геометричною основою будівництва будь-якої споруди є її осі, відносно яких у проектних кресленнях вказується положення всіх вузлів та деталей споруди. Розрізняють такі осі: а) головні – це осі симетрії споруди; б) основні – це осі, що визначають форму споруди; в) допоміжні – це міжпрогінні, міжсекційні та всі інші осі споруди.

Відмітки точок споруди в проекті вказуються, як правило, відносно рівня підлоги першого поверху споруди. Для кожної споруди рівень підлоги першого поверху відповідає певній відмітці в абсолютній системі висот, що вказується в проектних кресленнях. Розміщення відмітки підлоги першого поверху споруди виконується від пунктів геодезичної мережі (реперів, марок).

Розмічувальні роботи загалом виконуються в такій послідовності: а) спочатку розмічають головні або основні осі споруди; такі розмічення називають ще головними розмічувальними роботами; б) потім стосовно винесених осей розмічають окремі частини та вузли споруди; такі розмічення називають ще детальними розмічувальними роботами; в) на завершальному етапі будівництва розмічають згідно з проектними кресленнями монтажні осі, осі технологічного обладнання споруди тощо.

Розмічувальні роботи виконують за наявності та відповідно до проекту споруди. Склад та зміст розмічувальних робіт залежить від виду та характеру споруди. Незалежно від виду та характеру споруди, що будується, окремими складовими елементами розмічувальних робіт є побудування на місцевості проектною відстані; побудова проектного кута; знаходження на місцевості точки з проектною відміткою; побудова на місцевості лінії з заданим ухилом;

розмічення на місцевості горизонтальної чи похилої площини, детальне розмічення колової кривої.

Для виконання розмічувальних робіт аеропортів використовуються будівельні робочі креслення, а саме: генеральний план об'єкта; плани, перерізи окремих вузлів споруд об'єкта; проєкт вертикального планування рельєфу території та транспортних сполучень; плани та профілі інженерних мереж об'єкта; креслення монтажу технологічного обладнання тощо. Для складних та об'ємних будівельних об'єктів створюються спеціальні розмічувальні креслення, або ж геодезичний проєкт виконання розмічувальних робіт на об'єкті, який є складовою проєкту організації будівництва аеропорту.

Для створення розмічувальних креслень або ж геодезичних проєктів розмічувальних робіт дані для розмічення (кути та відстані між існуючими точками на місцевості та точками запроєктованої споруди) визначають графічним, аналітичним або комбінованим способом.

Точність розмічення споруд на місцевості залежить від виду та призначення споруди; матеріалу, з якого будується споруда; технологічних особливостей будівництва та інших факторів і визначається загалом будівельними нормами та правилами (БНіП).

Під час будівництва розрізняють два види точності розмічувальних робіт:

1) точність розмічення споруди загалом відносно найближчих постійних об'єктів місцевості; її ще називають точністю розмічення основних або головних осей споруди, або точністю розмічення I роду;

2) точність розмічення окремих частин та конструкцій будівлі відносно основних або головних осей; її називають точністю детальних розмічувальних робіт, або точністю розмічення II роду.

Розмічення осей більшості споруд та будівель аеропорту виконується з точністю IV класу. Вимоги щодо класів точності наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Таблиця вимог щодо точності вимірювань

Класи точності розмічення осей	Середня квадратична похибка кутових вимірювань	Відносна середня квадратична похибка лінійних вимірювань
I, II, III, IV	5", 8", 20", 30"	1:40 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000

5.3.2. Побудова проєктної відстані

Для побудови на місцевості проєктної відстані від вихідної точки за допомогою мірної стрічки чи рулетки відкладають у заданому напрямку потрібну відстань L_i , яка може відрізнятись від $L_{пр}$. Далі від кінцевої точки відкладають із відповідним знаком сумарну поправку ΔL , яку визначають за формулою:

$$\Delta L = \Delta_i + \Delta L_v + \Delta L_t + \Delta L_k, \quad (5.1)$$

де $\Delta_i = L_{пр} - L_i$ – поправка за різницю відкладеної відстані від проєктної; $\Delta L_v = 2L_{пр} \sin^2(\nu/2)$ – поправка за ухил лінії; $\Delta L_t = \alpha L_{пр} (t_k - t_s)$ – поправка за різницю температури повітря під час вимірювання t_s (вимірюється термометром) від температури, яка була при компаруванні мірної стрічки t_k (відома із паспорта компарування стрічки чи рулетки); $\Delta L_k = L_{пр} (l_n - l_\phi)$ – поправка за різницю довжини мірного приладу l_ϕ (значення l_ϕ відоме із паспорта компарування стрічки чи рулетки) від номінального значення l_n ; ν – кут нахилу (вимірюється теодолітом); α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу, з якого виготовлений мірний прилад (для сталі $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$).

5.3.3. Побудова проєктного кута

Для побудови проєктного кута $\beta_{пр}$ (рис. 5.1) необхідно встановити теодоліт у точці A і привести його в робоче положення. При крузі право (КП) візують зорову трубу на точку B і беруть відлік по горизонтальному кругу a .

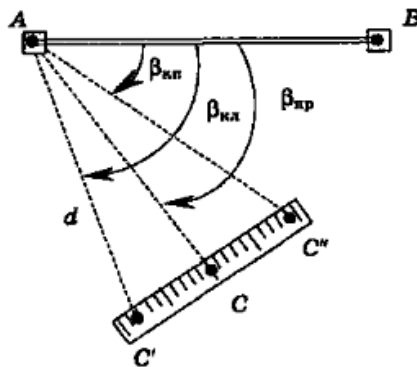


Рис. 5.1. Розмічення на місцевості проєктного значення кута

Далі обчислюють відлік на точку C при побудові кута $\beta_{\text{пр}}$ при КП: $C = a + \beta_{\text{пр}}$. Встановлюють на горизонтальному крузі відлік C і за створеним напрямом за проекцією центру сітки ниток труби фіксують шпилькою точку C' . Аналогічні дії виконують при КЛ і фіксують шпилькою точку C'' .

Через вплив дії колімаційної похибки положення точок C' і C'' можуть не збігтися. За допомогою лінійки відстань $C' C''$ ділять навпіл і фіксують точку C .

5.3.4. Находження на місцевості точки із проектною відміткою

Винести на місцевість точку з проектною відміткою $H_{\text{пр}}$ – це значить зафіксувати на місцевості точку, висота якої дорівнює проектній $H_{\text{пр}}$. Для цього приблизно на середині відстані між репером з відомою відміткою $H_{\text{рп}}$ і шуканою точкою встановлюють нівелір та приводять його в робочий стан. Наводять зорову трубу на рейку, яка встановлена на репері, і беруть відлік a (рис. 5.2). Знаходять горизонт інструмента $ГІ$ за формулою:

$$ГІ = H_{\text{рп}} + a. \quad (5.2)$$

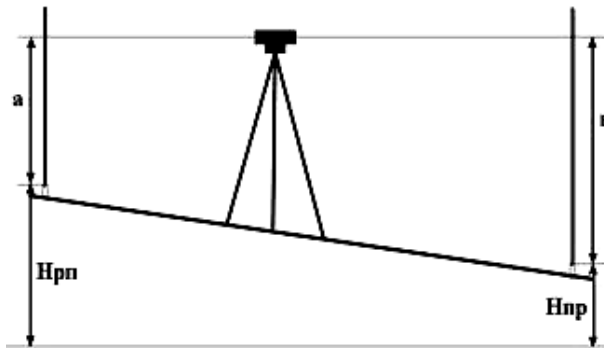


Рис. 5.2. Розмічення на місцевості проектною відміткою

Віднімаючи від горизонту інструмента проектну відмітку, розраховують відлік $в$, який повинен бути на рейці, коли її п'ятка знаходиться на рівні проектною відміткою:

$$в = ГІ - H_{\text{пр}} = H_{\text{рп}} + a - H_{\text{пр}}. \quad (5.3)$$

На шуканій точці забивають кілок, який повинен виступати над землею на 0,20 ...0,50 м. До нього приставляють рейку, яку переміщують уздовж кілка поки по рейці не буде видно потрібний відлік v . У цьому положенні п'ятка рейки фіксує проектну відмітку $H_{пр}$. На рівні п'ятки рейки фарбою (олівцем) намічають позначку для фіксування винесеної проектної відмітки. Можна також добиватися потрібного відліку v , поступово забиваючи кілок та спостерігаючи за відліком по рейці, яку встановлюють на верх кілка.

5.3.5. Побудова на місцевості лінії із заданим ухилом

Побудова на місцевості лінії заданого ухилу полягає у висотному розміщенні на місцевості ряду точок, що належать до цієї лінії.

Відлік по рейці для будь-якої точки, яка фіксуватиме лінію заданого ухилу, знаходять за формулою (рис. 5.3)

$$v = a + d \operatorname{tg} \nu, \quad (5.4)$$

де a – відлік по рейці, встановленої на попередній чи початковій точці похилої лінії; d – горизонтальна відстань між точками; ν – заданий ухил лінії.

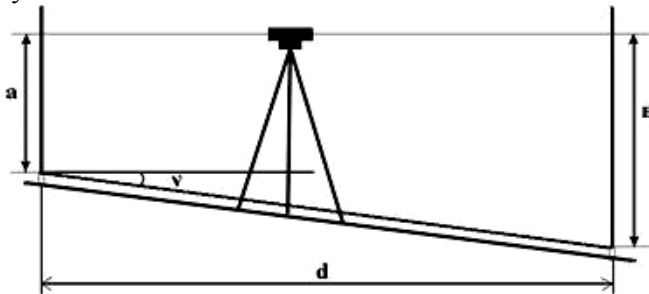


Рис. 5.3. Розмічення лінії заданого ухилу за допомогою нівеліра

Нехай від точки A треба побудувати за допомогою теодоліта лінію AB із заданим ухилом ν . Спочатку визначають кут нахилу візирної лінії теодоліта ν , що відповідає ухилу ν , за формулою:

$$\nu = \arcsin \operatorname{tg} \nu. \quad (5.5)$$

Над точкою A встановлюють теодоліт. Приводять його у робоче положення, та зорову трубу наводять на рейку, приставлену до

кілочка, який фіксує точку B (рис. 5.4). Вимірюють висоту установки теодоліта a . На вертикальному крузі з урахуванням його «місця нуля» (МО) відкладають кут нахилу v . Візирна вісь теодоліта тепер паралельна до проєктної лінії. Рейку в точці B переміщують доти, доки по рейці не буде відлік a . На рівні п'ятки рейки роблять позначку, яка фіксує на місцевості лінію заданого ухилу i . Аналогічні дії виконують для решти точок лінії. Побудова на місцевості похилої лінії теодолітом провадиться зі значно більшою похибкою, ніж нівеліром.

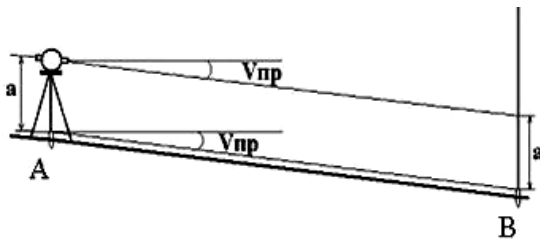


Рис. 5.4. Побудова похилої лінії теодолітом

5.4. Геодезичні способи розмічування споруд аеропортів

Розмічування запроектованих споруд полягає у встановленні на місцевості їх характерних точок і ліній, за якими у процесі будівництва простими методами і засобами визначають положення всіх її частин.

Розмічування ведеться з пунктів геодезичної основи, створеної ще при зніманні місцевості для проектування або до початку будівництва споруд аеропортів. Значення потрібних елементів проекту (кутів та довжин ліній) визначають графічно або аналітично за проєктними матеріалами.

Спосіб розмічувальних робіт обирають залежно від потрібної точності будівництва, наявності геодезичних приладів, умов місцевості тощо.

Розрізняють метод *безпосереднього* розмічування, який передбачає пряму побудову розмічувальних величин із заданою точністю, і метод *редукування*, який ґрунтується на попередньому розмічуванні точки, близької до попередньої, та наступному її зміщенні у проєктне положення.

Спосіб полярних координат. Для перенесення в натуру проєктної точки в опорному пункті A будують полярний кут β (рис. 5.5), відкладають відстань d і фіксують точку C .

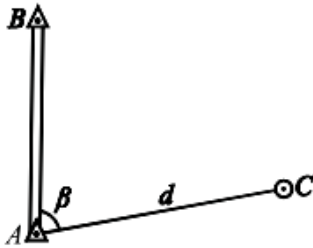


Рис. 5.5. Спосіб полярних координат

Спосіб створно-лінійних координат. Цей спосіб застосовують у випадку, якщо точка розташована на опорній лінії у проміжку між її кінцями або на її продовженні. Тахеометр і відбивач встановлюють на кінцях A і B опорної лінії і в напрямку візування відкладають проєктну відстань d та фіксують точку C (рис. 5.6).

Якщо розмічувана точка розташована на продовженні опорної лінії (рис. 5.7), то створ доцільно задавати поворотом труби через зеніт, при двох положеннях вертикального круга. При цьому розмічування здійснюють з ближнього пункту.

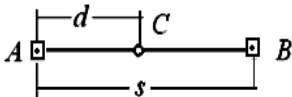


Рис. 5.6. Спосіб створно-лінійних координат з точкою на опорній лінії

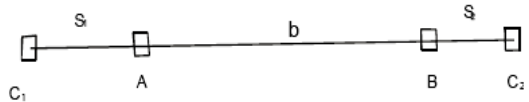


Рис. 5.7. Спосіб створно-лінійних координат поза опорною лінією

Спосіб прямокутних координат. В основу цього способу покладено розмічування проєктної точки від лінії геодезичної основи AB за прямокутними координатами x та y відносно точки A , взятої умовно за початок системи координат.

Для розмічування точки тахеометр встановлюють у пункті S й орієнтують по лінії ST . Потім уздовж лінії візування відкладають абсцису X_P і фіксують точку створу C . Установивши в ній тахеометр, будують прямий кут при двох положеннях круга та відкладають ординату Y_P і фіксують проєктну точку P (рис. 5.8).

Спосіб прямої кутової засічки. Спосіб застосовується переважно для розмічування віддалених і важкодоступних точок об'єктів. При цьому положення проєктної точки C з відомими координатами визначають у натурі шляхом побудови двох проєктних кутів β_1 і β_2

відповідно в двох твердих пунктах A і B (рис. 5.9). Кути будують при двох положення вертикального круга теодоліта чи тахеометра. У результаті на перетині двох напрямків і фіксують проктну точку C .

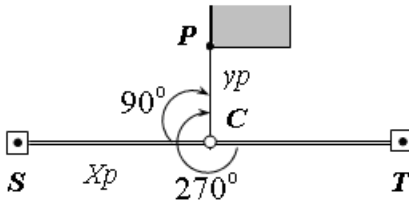


Рис. 5.8. Спосіб прямокутних координат

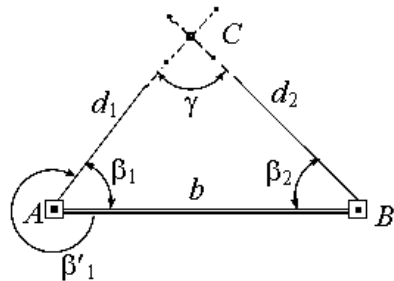


Рис. 5.9. Спосіб прямої кутової засічки

Спосіб лінійної засічки. Цей спосіб застосовують здебільшого для розмічування точок споруди за відстанями S_1 та S_2 , які не перевищують довжини мірних приладів (рис. 5.10). Розмічування полягає у визначенні точки перетину дуг, побудованих металевими рулетками з довжинами S_1 та S_2 .

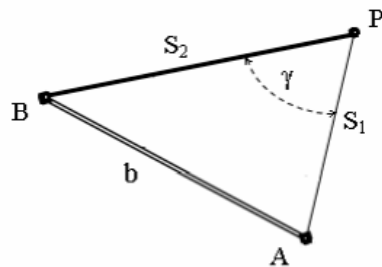


Рис. 5.10. Спосіб лінійної засічки

5.5. Геодезичне забезпечення вертикального планування території аеропорту

Існуючий рельєф земної поверхні, як правило, не задовольняє вимоги до розташування споруд аеропорту, особливо, аеродрому. Надмірно великі нахили поверхні для аеродрому впливають на безпеку зльоту та посадки повітряного корабля; надмірно малі нахили не забезпечують стоку поверхневих вод; велика зміна нахилу поверхні (малий радіус кривизни земної поверхні) може викликати недопустимі навантаження на шасі літака при його зльоті або посадці; великі мікронерівності рельєфу викликають вібрацію фюзеляжу та інших вузлів літака; недостатня відстань видимості не дозволяє пілоту своєчасно вжити необхідних заходів при раптовій появі

перешкод на злітно-посадковій смузі при зльоті та посадці літака. Поздовжні та поперечні профілі злітно-посадкової смуги (ЗПС) і рульових доріжок (РД) повинні також задовольняти низку інших вимог.

З метою виправлення існуючого рельєфу відповідно до вказаних вимог виконуються земляні роботи, для чого попередньо складається проект вертикального планування. Проект вертикального планування рельєфу складається на основі топографічного знімання аеродрому в масштабі 1:2000 з висотою перерізу рельєфу через 0,25–0,5 м і включає такі документи та креслення:

- поздовжні профілі ЗПС, РД;
- план вертикального планування; картограму земляних робіт та схему переміщення ґрунту;
- план вертикального планування ґрунтової основи штучних покриттів аеродрому;
- план штучних покриттів у відмітках.

План вертикального планування, який використовується для геодезичного забезпечення виконання земляних робіт, складається, як правило, по сітці квадратів 40х40 м у масштабі 1:2000 з висотою перерізу рельєфу через 0,25–0,5 м. На плані для всіх вершин сітки квадратів показуються фактичні відмітки землі H_f , проектні відмітки $H_{пр}$ та робочі відмітки $H_r = H_{пр} - H_f$, а також горизонталі що зображують фактичну та проектну поверхні (рис. 5.11).



Рис. 5.11. Відмітки для вершин квадрата сітки плану вертикального планування рельєфу

Вертикальне планування рельєфу згідно зі складеним проектом супроводжується такими геодезичними роботами.

Спочатку на місцевості розмічають вершини сітки квадратів 40x40 м. Сітка квадратів розмічається за допомогою теодоліта та приладу для вимірювання відстаней (мірної стрічки, рулетки, віддалеміра необхідної точності). Похибка розмічення вершин сітки квадратів на місцевості має бути не більше ніж 0,1 м.

На кілочках або сторожках, які фіксують вершину сітки квадратів із плану вертикального планування надписують робочі відмітки для виконання земляних робіт. Відповідно до з картограми земляних робіт та схеми переміщення ґрунту на місцевості розмічають контури масивів та виїмок, показують місця складування рослинного ґрунту та напрямки переміщення мінерального ґрунту. На ряді вершин масивів насипу встановлюють візирки, верх яких збігається з проектною відміткою з похибкою не більше як 1 см (рис. 5.12).

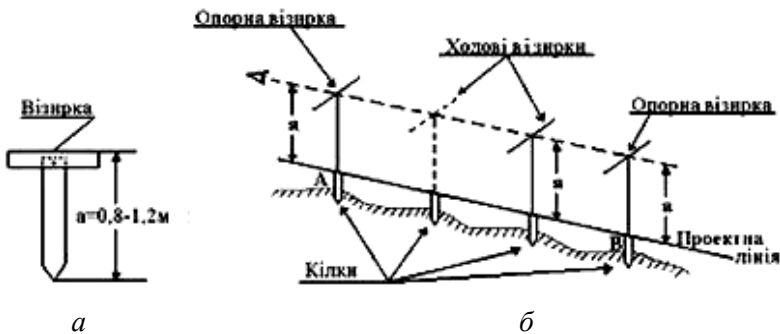


Рис. 5.12. Візирка та окомірне побудування похилої лінії з її допомогою

Після наведеної геодезичної підготовки виконується перший етап (чернетковий) земляних робіт за допомогою екскаваторів, бульдозерів, скреперів, самоскидів та інших машин та механізмів. При цьому частково або повністю втрачається місцеположення вершин сітки квадратів та інша геодезична інформація для виконання земляних робіт.

Після завершення першого етапу земляних робіт повторно розмічають вершини первинної сітки квадратів, визначають їх фактичні відмітки шляхом нівелювання і знову виконують необхідну геодезичну підготовку для продовження земляних робіт. Число

поновлень геодезичної інформації при виконанні земляних робіт залежить від складності проєкту вертикального планування, значень робочих відміток у проєкті, досвідченості технічного персоналу.

Вертикальне планування завершується створенням верхнього ґрунтового шару та контрольним нівелюванням вершин сітки квадратів на спланованій території.

Відхилення встановлених при нівелюванні фактичних відміток від їх проєктних значень не повинно перевищувати 50 мм, при цьому повинен бути дотриманий загальний ухил спланованої території для безперешкодного стоку поверхневих вод.

Мікронерівності ґрунтової частини аеродрому контролюють триметровою металевою рейкою. На ґрунтовій частині аеродрому прогін під металевою рейкою не повинен перевищувати 30 мм, а на тих ділянках, де будуть штучні покриття – 20 мм.

5.6. Геодезичні роботи при будівництві підземних інженерних мереж

Підземними інженерними мережами є трубопроводи, колектори та кабельні мережі. Трубопроводи включають водопровідні, каналізаційні, теплопостачальні, дренажні, спеціальні та інші мережі. У трубопроводах та колекторах рідина може переміщатися самопливно або під тиском, що створюють насосні станції. Найскладніше геодезичне забезпечення потребує будівництво самотечних трубопроводів та колекторів.

Будівництво підземної інженерної мережі та його геодезичне забезпечення виконуються згідно з проєктом інженерної мережі. Обов'язковими в проєкті підземної інженерної мережі є два креслення:

1) план мережі, що визначає планове положення всіх її споруд та вузлів;

2) профіль інженерної мережі, що визначає її висотне положення.

На місцевості розмічають та закріплюють відповідно до проєктного плану характерні точки інженерної мережі (колодязі, кути повороту тощо). Розмічення виконуються:

а) від пунктів планової геодезичної мережі;

б) чітких ситуаційних предметів місцевості;

в) лінії забудови по даних, вказаних на проєктному плані інженерної мережі.

Кожна розмічена точка мережі додатково закріплюється створними знаками, які розташовуються поза зоною земляних робіт. Складається схема розміщення розмічених знаків, що позначають характерні точки мережі та допоміжні (створні) точки (рис. 5.13).

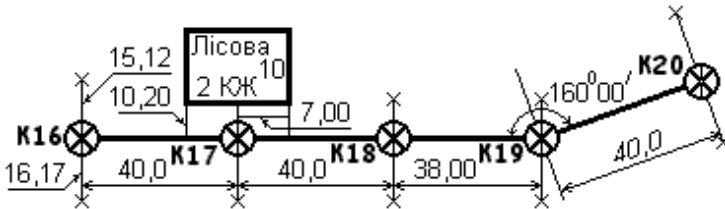


Рис. 5.13. Схема розміщення інженерної мережі

На характерних осьових точках мережі з проектного профілю випиують робочі відмітки ($H_p = H_{пр} - H_{ф} < 0$) для копання траншеї. В необхідних місцях інженерної мережі, де значні робочі відмітки, розмічають ширину траншеї по верху.

Розмічувальні роботи під час влаштування траншеї для трубопроводів полягають у тому, що на місцевості теодолітом за даними профілю і розмічувальних креслень виносять вісь траси, яку закріплюють кілками через 5–10 м.

Водночас на місцевості позначають межі брівки траншеї, а також центри колодязів кілками, в оголовки яких забивають цвяхи. Оскільки осьові кілки під час копання траншеї будуть знищені, то положення осі трубопроводу і колодязів закріплюють за допомогою обносок, які за великих відстаней між колодязями установлюють і на осі трубопроводу.

Обноска (рис. 5.14) – це вкопані в землю на глибину близько 1 м стовпчики діаметром 10 см на відстані від брівки траншеї не менше ніж 1,5 м, на висоті 0,5–0,7 м від поверхні землі, до яких прибивають цвяхами горизонтально встановлену по рівню обрізну дошку завтовшки 40–50 мм. На дошці з нижнього боку олійною фарбою пишуть номер колодязя і діаметр труб, які будуть прокладуватись.

Осі на обноску виносять за допомогою теодоліта і фіксують цвяхами. Надалі через цвяхи натягують дріт, з якого виском проєктують вісь трубопроводу на дно траншеї.

При копанні потрібно дотримуватись вказаних робочих відміток і, обов'язково, не викопувати траншею глибше, чим вказано у проєкті.

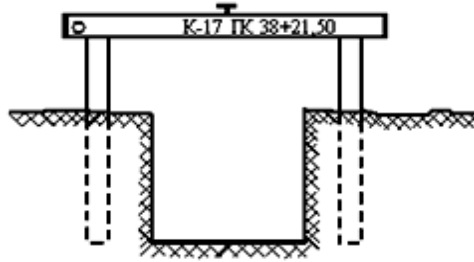


Рис. 5.14. Обноска

Після копання розмічають вісь інженерної мережі на дні траншеї, а також контролюють зачистку її дна до проектної відмітки.

Від створних точок, розташованих поза траншеєю, промірами розмічають ось підземної мережі і фіксують її на дошці обноси цвяхом, фарбою, кольоровим олівцем і т. ін.

Нівелюванням від реперів, закладених в період вишукувань мережі, визначають відмітку верха горизонтальної дошки обноси $H_{об}$. Для забезпечення будівництва мережі ось проектують з дошки на дно траншеї виском, а фактичну відмітку дна траншеї $H_{ф}$ визначають, вимірюючи відстань l рулеткою (рис. 5.13):

$$H_{ф} = H_{об} - l. \quad (5.6)$$

Для укладання труб на задану глибину і по заданному ухилу застосовують ходові візирки.

Для укладання водопровідних труб ходова візирка має бути коротшою від земляної на величину зовнішнього діаметра труби.

Для укладання каналізаційних труб застосовують візирку, яка закінчується башмаком, виступ якого прикріплений під прямим кутом до вертикального бруска візирки.

Під час укладання труби ходова візирка засовується власним башмаком (який опирається на низ труби) всередину труби. Труба буде правильно укладена, якщо верх ходової візирки та двох постійних знаходиться на одній прямій.

Прямолінійність укладання каналізаційних труб перевіряють висками, підвішеними на дріт, натягнутий по осі труб між обносками.

Влаштування колодязів для самотічної каналізації потребує високої точності. Тому всі роботи з влаштування колодязів постійно перевіряють нівеліром. Відхилення позначок жолобків від проект-

них у колодязях безнапірних трубопроводів допускається не більше ніж ± 5 мм.

Нині для укладання труб застосовують лазерні візирки. Цей прилад дозволяє одержати лазерний промінь, спрямований під заданим ухилом або кутом нахилу, і використати цей промінь як безпосередньо для укладання, так і для виконання контролю.

Розмічування тепломереж аналогічне розмічуванням трас водопроводу і каналізації. Під час укладання тепломережних труб у каналах (зазвичай на їх стінках) нівеліром виставляють точки на проектній висоті, по яких установлюють опори і ведуть монтаж труб.

Розмічування й укладання кабельних мереж не є складними, якщо їх виконують після вертикального планування майданчика всіх інших підземних мереж.

Перед засипанням підземних трубопроводів виконують виконавчу зйомку, на основі даних якої складають виконавчий профіль і план трубопроводу.

5.7. Геодезичні роботи при виконанні будівельних робіт нульового циклу

Згідно з проектними розмічувальними або іншими кресленнями на місцевості розмічають основні або головні осі будівлі. Кожна розмічена вісь позначається на місцевості не менше ніж чотирма знаками. Крайні з цих осьових знаків повинні розташовуватися поза зоною будівельних робіт, зберігатися на весь період будівництва та забезпечувати в подальшому передачу осей на монтажний горизонт (поверх, на якому ведуться будівельні роботи). Це вимагає, щоб крайні осьові знаки розмічалися на відстані від будівлі $(1,5-2,0) H_6$, де H_6 – висота будівлі.

Для виконання геодезичного забезпечення будівництва розмічають у відповідності до проекту контури котловану, а потім на відстані 3–5 м від межі котловану розмічають будівельну обноску.

Геодезичні розмічувальні роботи на будівельному майданчику виконують за такою методикою, як і геодезичні вимірювання – від загального до часткового. Однак під час виконання розмічувальних робіт точність підвищується.

Геометричною основою проекту споруди або будівлі під час перенесення його з плану на місцевість є розмічувальні осі, віднос-

но яких у робочих кресленнях даються розміри всіх деталей будівлі або споруди.

Головні або основні осі споруди прив'язують до пунктів геодезичної розмічувальної основи на будівельному майданчику і задають їх координати.

Осі будинків і споруд поділяють на *головні*, *основні* та *детальні*, або *проміжні*. Крім того, осі поділяють на *поздовжні* та *поперечні* осі (рис. 5.15).

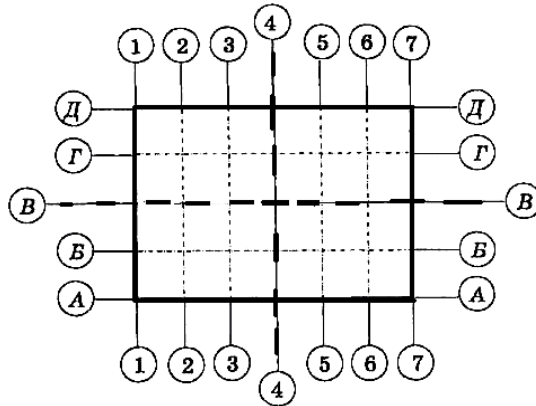


Рис. 5.15. Схема розмічування осей прямокутної будівлі

Поздовжні осі розміщуються уздовж більшої сторони будинку. На робочих кресленнях їх позначають літерами А-А, Б-Б і т. д.

Поперечні осі розміщуються перпендикулярно до поздовжніх і нумеруються цифрами 1-1, 2-2 та ін. (рис. 5.15).

Осі будинків споруд можуть бути криволінійними і повторювати їх конфігурацію.

Головними осями називаються дві взаємно перпендикулярні осі, відносно яких споруда розміщується симетрично (В-В та 4-4 рис. 5.15). Ці осі розмічають при зведенні великих за розмірами будинків і споруд.

Основними осями називаються осі, які проходять по контуру будинків та споруд. На рис. 5.15 – А-А, Д-Д поздовжні основні осі та 1-1, 7-7 поперечні.

Детальними, або проміжними осями називають усі інші осі, які визначають планове положення окремих елементів конструкцій споруди. Це осі Б-Б, Г-Г, 2-2 та інші.

Для геодезичного контролю за *установкою обладнання* використовують *монтажні осі*, які розміщені паралельно розмічувальним.

Для виконання розмічувальних робіт під час зведення підземної частини будівлі або споруди до рівня підлоги першого поверху роблять обноску.

Обноскою називають спеціальну огорожу, яка встановлюється за зовнішнім контуром споруджуваного будинку, з винесеними на неї осями. Обноска забезпечує високу точність розмічування осей (1–2 мм) і передачу їх у котлован або траншею в процесі влаштування фундаментів.

Обноску проєктують на будівельному генеральному плані так, щоб вона не потрапляла в зону проведення земляних робіт, встановлення будівельних кранів, або на місця складування будматеріалів і конструкцій.

За формою будівельна обноска паралельна контуру будинку, віддалена від вертикальної площини стін приблизно на 4–8 м, але не менш ніж 1,5–2 м від верхньої брівки котловану. За конструкцією обноска поділяється на суцільну і створну.

5.8. Передача проєктної позначки

5.8.1. Передача проєктної позначки на дно котловану

Передачу проєктної позначки на дно котловану виконують за допомогою геометричного або тригонометричного нівелювання.

Спосіб геометричного нівелювання (рис. 5.16).

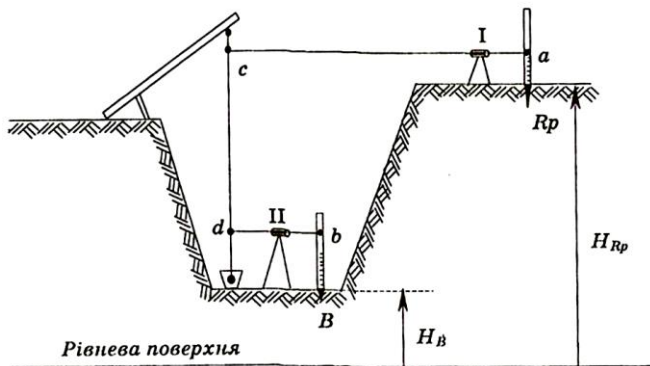


Рис. 5.16. Передача позначки на дно котловану способом геометричного нівелювання

На спеціальному кронштейні підвішують прокомпаровану мірну стрічку (рулетку) зі спеціальним виском вагою 10 кг, котрий поміщують у ємкість із машинним маслом. Рейки установлюють на репер з відомою позначкою та на точку B , закріплену на дні котловану. Одночасно встановлюють перевірені нівеліри на станціях I і II та приводять їх у робоче положення. Злічують відліки a , b по рейках і c , d по рулетці.

Позначка точки B на дні котловану обчислюється за формулою:

$$H_B = H_{Rp} + a - (d - c) - b, \quad (5.7)$$

де a – відлік по рейці на репері; b – відлік по рейці на точці B на дні котловану; c , d – відліки по мірній стрічці (рулетці); H_{Rp} – позначка репера.

Спосіб тригонометричного нівелювання (рис. 5.17). Теодоліт встановлюють на репер з відомою позначкою. Виміряють висоту теодоліта. Рейку установлюють на точку B , закріплену на дні котловану. Виміряють нахилена відстань D та кут нахилу γ .

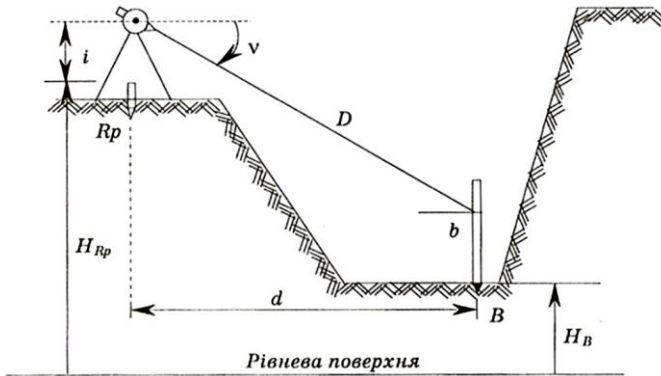


Рис. 5.17. Передача позначки на дно котловану способом тригонометричного нівелювання

Позначку точки B обчислюють за формулою

$$H_B = H_{Rp} - d \operatorname{tg} \gamma + i - b, \quad (5.8)$$

де H_{Rp} – позначка репера; b – висота наведення візирної вісі на рейку; i – висота теодоліта.

$$d = \frac{1}{2} D \cos^2 \frac{\gamma}{2}, \quad (5.9)$$

де γ – кут нахилу; D – нахилена відстань, виміряна віддалеміром.

Точність тригонометричного нівелювання достатня для передачі позначок на дно котловану.

Для контролю позначку на дно котловану передають двічі (від двох реперів). Похибка винесення не має перевищувати ± 1 см.

5.8.2. Передача позначки на монтажний горизонт

Передачу проектної позначки на монтажний горизонт також виконують за допомогою геометричного або тригонометричного нівелювання.

Спосіб геометричного нівелювання. З монтажного горизонту на кронштейні підвішують рулетку з виском, який поміщений в ємкість з машинним маслом (рис. 5.18).

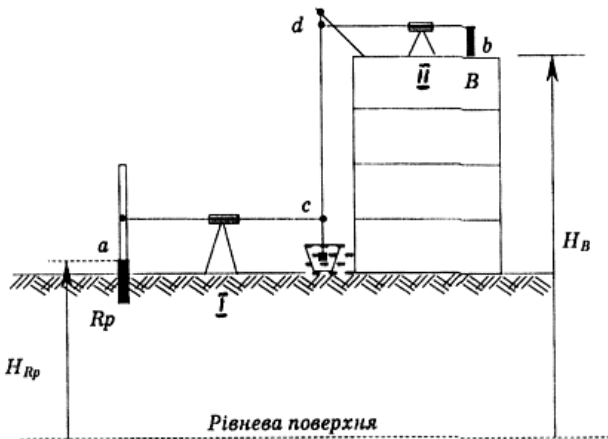


Рис. 5.18. Передача позначок на монтажний горизонт способом геометричного нівелювання

На вихідному репері R_p і монтажному горизонті в точці B встановлюють рейки. За допомогою нівелірів на станції I беруть відліки a – по рейці та c – по рулетці.

Відповідно на монтажному горизонті на станції II беруть відліки d – по рулетці та b – по рейці.

Позначку точки B обчислюють за формулою

$$H_B = H_{R_p} + a + (c - d) - b. \quad (5.10)$$

Спосіб тригонометричного нівелювання. Теодоліт встановлюють на вихідному репері R_p , а рейку на монтажному горизонті в точці B (рис. 5.19).

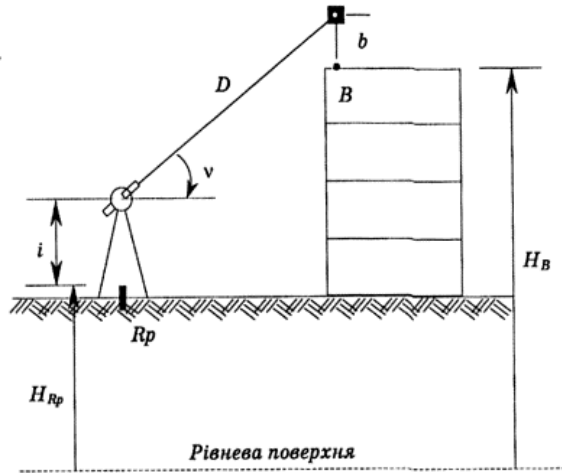


Рис. 5.19. Передача позначок на монтажний горизонт способом тригонометричного нівелювання

Вимірюють на висоті b нахилenu відстань D та кут нахилу γ . Позначку точки B обчислюють за формулою

$$H_B = H_{R_p} + d \operatorname{tg} \gamma + i - b, \quad (5.11)$$

де H_{R_p} – позначка репера; b – висота наведення візирної вісі на рейку; i – висота теодоліта.

$$d = \frac{1}{2} D \cos^2 \frac{\gamma}{2},$$

де γ – кут нахилу; D – нахилена відстань, виміряна віддалеміром.

5.9. Геодезичне забезпечення будівництва штучних покриттів аеродрому

Штучні покриття аеродромів бувають різних конструкцій (щебеневі, ґрунтогравійні, асфальтобетонні, цементно-бетонні, армобетонні та ін.) і зміст геодезичних робіт під час їх будівництва значною мірою залежить від їх конструкцій.

За характером роботи під навантаженням аеродромні покриття діляться на дві групи: жорсткі (бетонні, залізобетонні, армобетонні та ін.) та нежорсткі (асфальтобетонні, щебеневі, ґрунтощебеневі, ґрунтогравійні та ін.). Штучні покриття, як правило, мають декілька шарів, які мають різне призначення:

а) власне, покриття – це верхній, найбільш міцний і стійкий до зносу шар, що безпосередньо сприймає навантаження;

б) штучна основа – це шар або декілька шарів, що разом з покриттям забезпечує передачу навантаження на ґрунтову основу;

в) ґрунтова основа – це верхня частина спланованого та ущільненого мінерального ґрунту.

Верхній шар аеродромних покриттів для забезпечення стоку поверхневих вод має поздовжній та обов’язково поперечний ухили. Один із варіантів конструкції аеродромного покриття показаний на рис. 5.20.

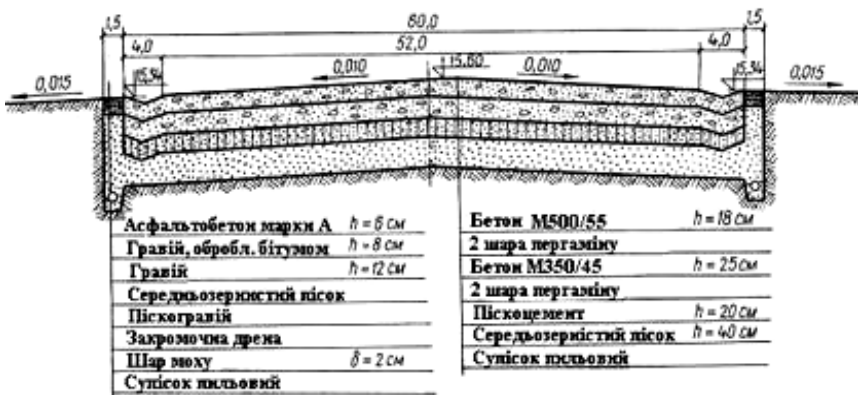


Рис. 5.20. Варіант конструкції штучних покриттів аеродрому

Технологія будівництва штучних покриттів загалом передбачає такі операції:

- 1) розмічення на місцевості характерних точок та ліній покриття (осей, країв, точок перелому профілю тощо);
- 2) підготовка ґрунтової основи;
- 3) доставка матеріалів та створення з ущільненням штучної основи;
- 4) будівництво, власне, покриття з необхідним обробленням його верху;
- 5) контрольне знімання побудованих штучних покриттів.

Розмічення на місцевості характерних точок та ліній ґрунтової основи штучних аеродромних покриттів (земляного корита) виконують від попередньо закріпленої на місцевості осі злітно-посадкової смуги (ЗПС) по поперечниках, як правило, через 20 м. На кожному поперечнику, одночасно з розміченням характерних точок, також встановлюють поза зоною земляних робіт на однаковій відстані від осі ЗПС допоміжні створні знаки, які утворюють на місцевості допоміжну (створну) лінію, паралельну осі ЗПС (рис. 5.21).

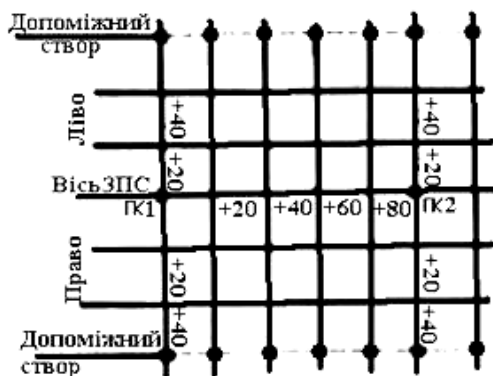


Рис. 5.21. Схема розмічення характерних точок для ґрунтової основи ЗПС

Допоміжні створи слугують для відновлення розмічених точок при їх ненавмисному пошкодженні в процесі виконання будівельних робіт. На практиці розмічати допоміжні створи прийнято по обидва боки від осей ЗПС, перону, місць зберігання літаків і по один бік від осі рулевої доріжки. Похибки розмічення точок допоміжних створів та інших точок на поперечниках у плані не повинні перевищувати 1–2 см.

На кілочках, що фіксують характерні точки земляного корита, з проекту надписують робочі відмітки для виконання земляних робіт. Шляхом нівелювання контролюється правильність виконання земляних робіт для створення ґрунтової основи покриттів. Після завершення планування земляного корита виконується контрольне нівелювання, за результатами якого складають виконавче креслення земляного корита (рис. 5.22).

	Фактична відмітка				Проектна відмітка	
л+40	39,09	39,07	39,05	39,00	38,98	38,96
Лоток	39,10	39,07	39,04	39,01	38,98	38,95
	39,11	39,09	39,06	39,04	39,00	38,97
39,03/ 39,05	39,13 39,01	39,10 39,00	39,07 38,96	39,04 38,91	39,01 38,89	38,98
л+20	39,25	39,21	39,18	39,14	39,12	39,11
	39,25	39,22	39,19	39,16	39,13	39,10
Вісь ЗПС	39,39	39,36	39,33	39,31	39,29	39,25
	39,40	39,37	39,34	39,31	39,28	39,25
пр+20	39,26	39,21	39,19	39,16	39,17	39,09
	39,25	39,22	39,19	39,16	39,13	39,10
39,06/ 39,05	39,04 39,02	38,99 38,99	38,94 38,96	38,91 38,93	38,88 38,90	38,98
	39,14	39,10	39,06	39,03	39,00	38,98
Лоток	39,13	39,10	39,07	39,04	39,01	38,98
пр+40	39,09	39,08	39,03	39,00	38,99	38,94
	39,10	39,07	39,04	39,01	38,98	38,95
	ПК1	+20	+40	+60	+80	ПК2

Рис. 5.22. Виконавче креслення земляного корита

У процесі будівництва земляного корита та окремих шарів штучної основи покриття ведуть контроль будівельних робіт, у тому числі геодезичними методами. При поточному контролі якості будівництва аеродромних покриттів для кожного шару не менше, ніж через 100 м перевіряють: висотні позначки, ширину, товщину шару смуги укладення покриття; поперечний ухил кожної укладеної смуги покриття; її рівність (просвіти під рейкою завдовжки 3 м в контрольних точках, розташованих на відстані 0,5 м. одна від одної та від кінця рейки).

Найбільш складного геодезичного забезпечення потребує будівництво верхнього шару всіх типів жорстких та асфальтобетонних покриттів. Для того, щоб верхній шар вказаних типів покриттів мав проєктні геометричні параметри (висотні відмітки, ухили, рівність), технологія будівництва передбачає використання відповідних геодезичних прийомів із використанням комплекту машин з ковзними формами (рейко-формами).

На робочий майданчик рейко-форми доставляють спеціальним візком. Розкладають їх на основі відповідно до проєкту з використанням крана. Рейко-форми виконують роль стаціонарної опалубки і слугують опорами для бетоноукладальних машин у процесі їх

роботи. Тому при їх встановленні слід контролювати прямолінійність, висотне положення та надійність їх закріплення на основі. Контроль правильності встановлення рейко-форм здійснюють за допомогою геодезичних інструментів. Планове положення рейко-форм визначається геометричними розмірами, а висотне положення – висотними позначками кожного шару.

Будівництво верхнього шару покриттів виконується смугами певних розмірів, які залежать від технологічної схеми будівництва та застосовуваних механізмів. Для цієї смуги виконується геодезичне забезпечення встановлення або копіювальних струн, або рейко-форм, або різного типу опалубок.

По завершенні будівництва окремих ділянок аеродромних покриттів завдовжки 300–400 м ведеться приймальний контроль виконаних робіт зі складанням відповідної документації. Контролю підлягає стан поверхні покриття та його рівність; відповідність товщини, ширини, ухилів та висотних позначок покриття проектним; відповідність показників властивостей матеріалу покриття проектним та ін.

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Що таке аеропорт, аеродром?
2. Як розрізняють аеродроми за призначенням?
3. Що вивчає інженерна геодезія?
4. Які основні завдання інженерної геодезії?
5. Що називається інженерним вишукуванням?
6. Які геодезичні вимірювання виконуються для розміщення на місцевості споруд аеропортів?
7. Дайте визначення терміна «розмічувальні роботи».
8. Назвіть види розмічувальних робіт.
9. Що являється геометричною основою будівництва споруди?
10. Як виконується побудова проектної відстані?
11. Як виконується побудова проектного кута?
12. Як здійснюється знаходження на місцевості точки із проектною відміткою?
13. Як виконується побудова на місцевості лінії із заданим ухилом?
14. Як здійснюється перенесення в природу проектною точки способом полярних координат?
15. Як здійснюється перенесення в природу проектною точки способом створно-лінійних координат?

16. Як здійснюється перенесення в натуру проєктної точки способом прямої кутової засічки?
17. Як здійснюється перенесення в натуру проєктної точки способом лінійної засічки?
18. Як здійснюється перенесення в натуру проєктної точки способом прямокутних координат?
19. Як здійснюється геодезичне забезпечення вертикального планування території аеропорту?
20. Які документи включає проєкт вертикального планування рельєфу території аеропорту?
21. Що являється підземними інженерними мережами?
22. Які креслення являються обов'язковими в проєкті підземної інженерної мережі?
23. Як розмічають та закріплюють на місцевості характерні точки інженерної мережі?
24. Що являється геометричною основою проєкту споруди або будівлі під час перенесення його з плану на місцевість?
25. Як поділяють осі будинків і споруд?
26. Що називається головними осями споруд?
27. Який порядок передачі проєктної позначки на дно котловану за допомогою геометричного нівелювання?
28. Який порядок передачі проєктної позначки на дно котловану за допомогою тригонометричного нівелювання?
29. Який порядок передачі проєктної позначки на монтажний горизонт за допомогою геометричного нівелювання?
30. Який порядок передачі проєктної позначки на монтажний горизонт за допомогою тригонометричного нівелювання?
31. Назвіть технологічні операції будівництва штучних покриттів.

Розділ 6

ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

6.1. Інженерно-геодезичні вишукування лінійних споруд

У ході вишукувань для лінійних споруд розв'язують питання планового і висотного положення траси. Траса – лінія, що зумовлює вісь проєктованої лінійної споруди, позначена на місцевості, топографічному плані або нанесена на карті, чи позначена системою точок у цифровій моделі місцевості (ЦММ).

Основні елементи траси: план – проєкція траси на горизонтальну площину і поздовжній профіль – вертикальний розріз по проєктованій лінії споруди. У плані траса повинна бути, як правило, прямолінійною, тому що відхилення від прямолінійності призводить до подовження траси, збільшення вартості будівництва і витрат на експлуатацію. У поздовжньому профілі траси повинен забезпечуватися певний допустимий ухил.

У реальних умовах місцевості одночасне дотримання вимог плану і профілю не завжди вдається, тому що доводиться скривляти трасу для обходу перешкод, ділянок з великим ухилом рельєфу і несприятливими геологічними і гідрогеологічними умовами. Тому план траси складається з прямих ділянок різного напрямку, що сполучаються між собою кривими з різними радіусами. Поздовжній профіль траси являє собою лінії різних ухилів, що з'єднуються між собою вертикальними кривими. На трасах ліній електропередачі, трубопроводів, каналізації горизонтальні й вертикальні криві не проєктують, і траса являє собою просторову ламану лінію.

Залежно від призначення траса повинна відповідати певним вимогам, згідно з технічними умовами на її проєктування. На дорожніх трасах установлюють мінімально дозволені ухили і максимально можливі радіуси кривих. На самопливних каналізаціях і трубопроводах необхідно витримувати проєктні ухили при допустимих швидкостях течії води.

Ступінь викривленості траси визначається величиною кутів повороту. Кутом повороту траси називають кут θ з вершиною ВК, утворений продовженням напрямку попередньої сторони і напрям-

ком наступної сторони. На кутах повороту трас вставляють кругові криві як дуги кіл великих радіусів (рис. 6.1).

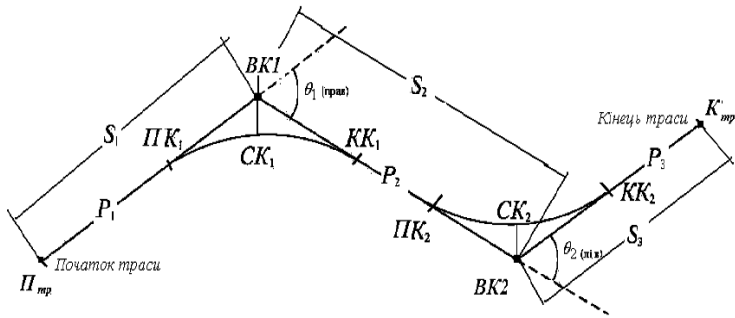


Рис. 6.1. Елементи плану траси

На трасах магістральних залізниць, трубопроводів і ліній електропередачі (ЛЕП) кути повороту не повинні перевищувати 15–20°. Прямолінійні ділянки трас доріг і трубопроводів сполучаються переважно круговими кривими, що являють собою дуги кола визначеного радіуса.

Мінімально допустимі радіуси кругових кривих: на залізницях – 400–200 м; на автомобільних – 600–60 м, трасах трубопроводів – 1000 d , де d – діаметр трубопроводу.

Найважливішим елементом профілю траси є її поздовжній ухил i . На трасах магістральних залізниць I і II категорій ухил (тангенс її кута нахилу) не повинен перевищувати 0,012; на дорогах місцевого значення – 0,020; на гірських дорогах – 0,030; на автомобільних дорогах ухили коливаються від 0,040 до 0,090. На трасах іригаційних і водопровідних каналів – 0,001; 0,002.

Комплекс інженерно-геодезичних вишукувальних робіт із прокладення траси, що відповідає всім вимогам технічних умов, які дають найбільший економічний ефект, називається трасуванням. Залежно від виду проектування існує *камеральне* і *польове* трасування.

Якщо траса проектується на топографічних планах і картах, цифровій моделі або матеріалах аерофотознімання, то трасування називають камеральним; якщо вона вибирається безпосередньо на місцевості – польовим. Незалежно від характеру лінійної споруди і її вимірювань вона повинна вписуватися в ландшафт місцевості, не

порушуючи природної естетики. Для складання робочої документації проекту траси виконують польові вишукування. У процесі польових вишукувань на підставі проекту траси й обстеження місцевості визначають у натурі положення початку траси, кутів повороту і роблять трасування.

Трасування включає: провішування ліній, вимірювання кутів і сторін ходу по трасі, розмічення пікетажу і поперечних профілів, закріплення траси, нівелювання, а також за необхідності великомаштабне знімання переходів, місця перетину зі складним рельєфом.

6.2. Розрахунок прямих і кривих ділянок плану траси

Трасою називається вісь лінійної споруди. Основними елементами траси є: план – її проєкція на горизонтальну площину і поздовжній профіль – вертикальний розріз за проєктною лінією, тобто проєкція на вертикальну площину. В плані траса складається із прямих ділянок різного напрямку, сполучених між собою круговими кривими (рис. 6.2). У поздовжньому профілі траса складається з ліній різноманітних ухилів, за необхідності з'єднаних між собою вертикальними круговими кривими. Для розбивки плану траси на місцевості необхідно знати довжини її прямих та кривих ділянок і їх розміщення відносно пікетів.

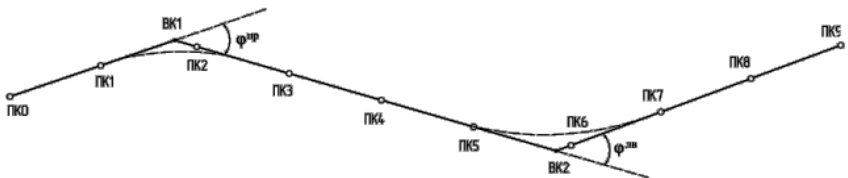


Рис. 6.2. План траси лінійної споруди

Головними точками кругової кривої, що визначають її положення на місцевості, є: її початок (ПК), середина (СК), кінець (КК) та вершина кута повороту траси (ВК). За вихідними даними (радіусами кругових кривих R_1 і R_2 , та кутами повороту траси $\varphi^{пр}$ та $\varphi^{лв}$, пікетажним положенням вершин двох кутів повороту ВК1 і ВК2 розраховують основні елементи двох кругових кривих і пікетажне розміщення їх головних точок. Основні елементи кругової кривої (рис. 6.3) визначають за допомогою спеціальних таблиць або обчислюють за формулами:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad (6.1)$$

$$\hat{E} = \frac{\pi R \varphi}{180}; \quad (6.2)$$

$$Д = 2T - K; \quad (6.3)$$

$$\acute{A} = \left(\frac{1}{\cos \frac{\varphi}{2}} - 1 \right); \quad (6.4)$$

де T – тангенс (відстань від початку кривої до вершини кута повороту траси); K – довжина кривої; R – радіус (обирають при проєктуванні, виходячи з конкретних технічних умов); φ – кут повороту траси; $Д$ – домір (різниця між двома тангенсами та довжиною кривої); $Б$ – бісектриса (відстань від вершини кута повороту до середини кривої).

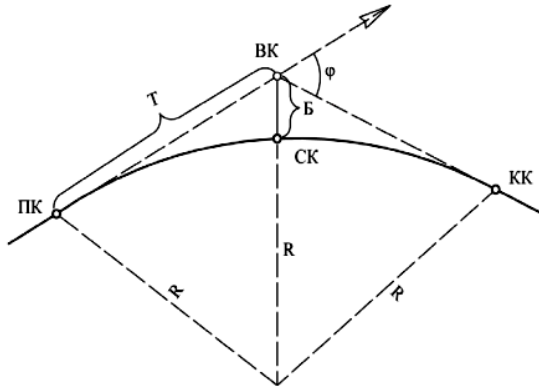


Рис. 6.3. Головні точки і основні елементи кругової кривої

Пікетажне значення головних точок кругової кривої обчислюють за формулами:

$$Пк\ ПК = Пк\ ВК - T; \quad (6.5)$$

$$Пк\ КК = Пк\ ПК + K,$$

де $Пк\ ПК$ – пікетажне значення початку кривої; $Пк\ ВК$ – пікетажне значення вершини кута повороту траси; $Пк\ КК$ – пікетажне значення кінця кривої.

Контроль обчислень здійснюють за формулою

$$P_k \text{ КК} = P_k \text{ ВК} + T - Д. \quad (6.6)$$

Розрахунки пікетажного значення головних точок кругових кривих виконують в пікетажному журналі праворуч від абриса траси.

За заданим дирекційним кутом початкового напрямку траси $\alpha_{\text{ПК0}} - \text{ВК1}$ і кутами повороту $\varphi^{\text{ПР}}$, $\varphi^{\text{ЛБ}}$ обчислюють дирекційні кути решти прямих ділянок траси за формулами:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \varphi^{\text{ПР}}; \quad (6.7)$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \varphi^{\text{ЛБ}}, \quad (6.8)$$

де α_{n+1} – дирекційний кут наступної прямої ділянки траси; α_n – дирекційний кут попередньої прямої ділянки траси; $\varphi^{\text{ПР}}$ – правий кут повороту траси; $\varphi^{\text{ЛБ}}$ – лівий кут повороту траси.

6.3. Детальне розмічування на місцевості осі траси

Для винесення траси на місцевість трьох головних точок кривої недостатньо. Тому будують додаткові точки, так щільно, щоб проміжки між ними можна було вважати практично відрізками прямих.

Для кривих радіусом менше ніж 100 м проміжок (l) беруть рівним 5 м, при радіусі 100–500 м і більше 500–20 м.

Способів детального розмічування осі кривої існує багато. Найбільш розповсюдженими є способи прямокутних координат, спосіб продовжених хорд, спосіб кутів. Розглянемо найточніший із них – спосіб прямокутних координат.

Спосіб прямокутних координат. За початок координат в умовній системі обирають початок кривої $ПК$; за вісь абсцис – тангенс T (рис. 6.4).

Обчислюють кут θ , що відповідає довжині дуги l : $\theta = \frac{180^\circ l}{\pi R}$.

Розраховують прямокутні координати точок на кривій 1, 2, 3... за формулами:

$$\begin{aligned} X_1 &= R \sin \theta; & Y_1 &= 2R \sin^2 \frac{\theta}{2}; \\ X_2 &= R \sin 2\theta; & Y_2 &= 2R \sin^2 \theta; \\ X_n &= R \sin n\theta; & Y_n &= 2R \sin^2 \frac{n\theta}{2}. \end{aligned}$$

Перенесення на місцевість точок 1, 2, 3.....n виконується полярним способом, кути і лінії розраховують за отриманими координатами X та Y .

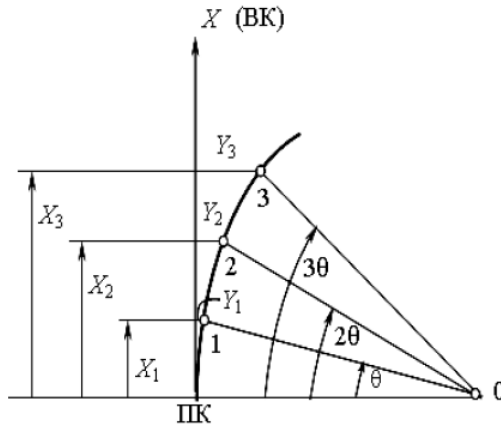


Рис. 6.4. Спосіб прямокутних координат

6.4. Геодезичні роботи при проєктуванні і будівництві гідротехнічних споруд

До гідротехнічних належать споруди, які слугують для використання водних ресурсів або для захисту від них.

Інженерно-геодезичні роботи, як складова частина інженерно-технічних вишукувань провадяться з метою:

- створення топографічних планів різних масштабів на територію будівництва;
- виконання інженерно-геодезичних робіт у процесі інженерно-геологічних і гідрологічних вишукувань.

Масштаби топографічного знімання території будівництва ГЕС вибираються залежно від виду і точності виконання будівельних робіт. Так, для підрахунку об'єму водосховища укладають топографічний план масштабу 1:10 000 з перерізом рельєфу 0,5 м. Для берегової зони, зокрема в місцях розташування населених пунктів, використовують плани масштабу 1:2000 з перерізом рельєфу 1,0 м, що дозволяє розраховувати обсяг земляних робіт з похибкою 4 %. Такі плани задовольняють і вимоги проєктування дренажних систем захисту населених пунктів від підтоплення внаслідок фільтрації води з водосховища.

Планову геодезичну мережу території ГЕС створюють на основі Державної геодезичної мережі 1-го і 2-го класів.

Висотна мережа II–IV класів будується з метою забезпечення великомасштабного картографування території.

Геодезичні роботи під час будівництва водосховищ. Для проектування водосховищ використовуються топографічні карти масштабу 1:25 000–1:10 000, а в окремих випадках і плани масштабу 1:2000.

Площу майбутнього водосховища визначають за картами з позначками рівня води верхнього б'єфу та кривої підпору, а об'єм – за поперечниками або горизонталями.

Винесення контуру водосховища в натуру – це процес визначення і закріплення на місцевості точок з позначками, які дорівнюють позначкам кривої підпору, тобто визначенню границі затоплення. У проєкті для кожної зони водосховища встановлюється зональна проєктна позначка Н.

Геодезичні роботи при будівництві каналів. Після остаточного вибору положення траси каналу виконується топографічне знімання смуги майбутнього каналу завширшки 1–2 км у масштабі 1:5000–1:10 000 з перерізом рельєфу через 1–2 м, розмічування та закріплення траси каналу на місцевості.

На стадії робочого проектування уточнюються окремі елементи траси каналу і після цього проводиться топографічне знімання смуги каналу завширшки до 200 м у масштабі 1:2000 і майданчиків гідротехнічних споруд у масштабі 1:1000. В обох масштабах переріз рельєфу береться 0,5 м.

Для перенесення проєкту в натуру під час будівництва каналу проводять аналітичну підготовку даних за графічними координатами вершин повороту траси. Параметри траси обчислюють із точністю до 0,01 м. З такою самою точністю їх переносять у натуру від пунктів геодезичного обґрунтування.

Геодезичне забезпечення будівництва основних споруд ГЕС. До основних належать споруди ГЕС, розташовані в самому гідровузлі: гребля, машинний і станційний зали, суднохідний та водоскидний канали, шлюзи тощо.

Для геодезичного забезпечення зведення споруд гідровузла на місцевості створюється головна геодезична мережа – гідротехнічна триангуляція (ТАЛ). Два пункти такої мережі обов'язково розмі-

щуються на осі початку та кінця греблі, інші – на обох берегах водотоку, а за можливості – на природному або штучному острові.

Кожен пункт мережі вибирають так, щоб з них було видно не менше ніж на два сусідні або віддалені пункти мережі.

Горизонтальні кути і сторони мережі вимірюють електронними тахеометрами ($m_{\beta} = 1''$, $m_s = 1-2$ мм) шістьома прийомами.

При монтажі гідроагрегатів спочатку розмічують їх осі й створюють мережу робочих реперів високоточного геометричного нівелювання.

Великомасштабну топографічну зйомку масштабу 1: 500, 1: 1000 для проєктів ГЕС ведуть із перерізом рельєфу $h = 0,5-1$ м.

Під час проєктування гребель велике значення має вибір висоти нормального підпірного рівня (НПУ), відмітка НПУ – це найвищий рівень верхнього б'єфу. Саме НПУ визначає величину напору і розрахункову потужність ГЕС, а також межу контуру водосховища.

Зміст і обсяг геодезичних робіт залежать від виду гідротехнічної споруди, стадії його проєктування й будівництва. Під час проєктування більшості гідротехнічних споруд геодезичні роботи виконують для складання топографічних і гідрографічних планів, поздовжніх профілів рік, а також для обслуговування геологічних, гідрологічних й інших спеціальних робіт.

Склад геодезичних робіт при вишукуваннях, проєктуванні і будівництві гідротехнічних споруд:

1) геодезичні роботи для складання топографічних і гідрографічних планів, поздовжніх і поперечних профілів річок, для обслуговування інженерно-геологічних, гідрологічних та інших спеціальних робіт;

2) створення вихідного і знімального планово-висотного геодезичного обґрунтування;

3) зйомки, в тому числі і руслових, у різних масштабах;

4) роботи з винесення в природу контуру водосховища;

5) визначення об'єму водосховища;

6) розбивка осі греблі, основних осей інших будівель і споруд гідровузла;

7) геодезичні роботи при виконанні земляних, бетонних робіт, при монтажі металоконструкцій і гідроагрегатів і т. д.;

8) геодезичні роботи, пов'язані з установкою в проєктне положення технологічного обладнання та його вивірка;

9) спостереження за опадками та іншими деформаціями основ і фундаментів інженерних об'єктів.

При зведенні гідротехнічних споруд виконують різноманітні за складом й більші за обсягом геодезичні вимірювання, пов'язані з винесенням у натуру проекту споруди. Вихідними даними для них слугують робочі креслення проекту. Для виконання розбивочних робіт як основу частково використовують пункти осей обґрунтування, створених для цілей досліджень, а також будують спеціальні розбивочні мережі.

Розбивочні роботи виконують на всіх стадіях будівництва: при винесенні осей споруд, при виконанні земляних і бетонних робіт, при монтажі металоконструкцій і гідроагрегатів тощо. Крім того, під час виконання монтажних робіт здійснюють геодезичні вимірювання, пов'язані з установкою технологічного встаткування в проектне положення.

У процесі будівництва гідроспоруд ведуть спостереження за їхніми деформаціями.

Геодезичне забезпечення будівництва меліоративних споруд.
Система меліорації – комплекс споруд і заходів для покращення структури і підвищення родючості ґрунтів, які забезпечують зрошення засушливих та осушення зволжених земель.

Мета геодезичних робіт – забезпечення проєктування детальною топографічною основою масштабу 1:25 000–1:10 000–1:2000. Переріз рельєфу горизонталями виконують через 1–2 м і 0,25–0,5 м.

Для вертикального планування рельєфу виконують топографічне знімання в масштабі 1:1000 з перерізом 0,25 або 0,5 м.

При укладанні керамічних дренажних труб, у закритих мережах осушення, їх ухил визначається технічним нівелюванням від реперів нівелювання IV класу. Похибка нівелювання суміжних точок не повина перевищувати 3–5 мм.

6.5. Спостереження за деформаціями інженерних споруд

Деформацією будівлі або споруди називають відносну зміну її форми, геометричних параметрів і просторового положення.

Під постійним тиском будівлі або споруди ґрунт в їх основі поступово ущільнюється, а також унаслідок дії карстових і зсувних

явищ, зміни рівня ґрунтових вод, сейсмічних явищ виникає *зміщення* чи *осідання* будівель і споруд.

Осідання від власної маси споруди по мірі ущільнення ґрунтів з часом закінчується. Як правило, на піщаних ґрунтах осідання характеризується великими проявами в початковий період з наступним швидким згасанням. У глинистих ґрунтах, навпаки, осідання проходить із позначеними швидкостями спочатку і помалу згасають протягом 10–15 років і більше.

Геодезичні спостереження за деформацією інженерних споруд дають змогу визначити величину деформації споруд та розробити комплекс інженерних заходів щодо їх стабілізації з метою забезпечення нормальної роботи споруди.

За результатами спостережень перевіряють правильність проєктних розрахунків, виявляють закономірності, роблять прогнози розвитку деформацій споруди, установлюють граничнодопустимі величини осадок для різних ґрунтів та груп споруд.

Спостереження деформації відповідальних споруд здійснюють на початку будівельних робіт, у процесі зведення та в період експлуатації.

Для проведення спостережень за деформаціями будівель і споруд спочатку обстежують місцевість та об'єкти спостереження. Обирають місця встановлення опорних реперів поза зоною впливу осідань або зміщень ґрунту так, щоб гарантувати їх стабільність.

У тілі будівлі або споруди встановлюють і закріплюють марки, положення яких реагує на деформацію і дозволяє виміряти її величину.

Місцезорозташування опорного (фундаментального) репера враховує як геологічні, так і сприятливі умови для виконання геодезичних вимірів. Їх розміщують якомога ближче до деформаційних марок для підвищення точності вимірювання деформації будівель або споруди.

Спостереження за осіданням інженерних споруд і будівель, просадкою земної поверхні виконують способами геометричного і тригонометричного нівелювання, мікронівелювання, стереофотограмметричним способом.

Спосіб геометричного нівелювання найпоширеніший і не потребує багато часу, а результати спостережень можна одержати безпосередньо на місці.

Точність визначення деформацій способом геометричного нівелювання залежно від методики вимірювань знаходиться в межах 0,05–0,5 мм на відстані від 5–10 м до декількох сотень метрів.

Для спостережень за осіданнями гідротехнічних бетонних споруд застосовують нівелювання I і II класів, а для відповідальних промислових і цивільних споруд – III і IV класів. Залежно від вимог точності відстань від нівеліра до рейки може дорівнювати 3, 6, 10, 15 і 25 м. Для нівелювання використовують високоточні нівеліри типу Н05, Н1, Н2, сучасні високоточні електронні нівеліри, інварні штрихові та кодові геодезичні рейки різної довжини.

Нівелювання виконуються замкненими нівелірними ходами при двох горизонтах приладу. Нівелірні ходи обов'язково прив'язують не менш ніж до двох фундаментальних реперів.

Візорний промінь має проходити на висоті не менше ніж 0,3–0,5 м від поверхні землі або конструкції споруди. Вимірювання виконують у найбільш сприятливих умовах, що забезпечує їх високу точність.

Способом тригонометричного нівелювання вимірюють вертикальні деформації конструкцій споруд, розміщених на різних висотах і важкодоступних місцях висотних споруд, веж, гребель та під час спостереження через перешкоди.

Застосування сучасних високоточних електронних теодолітів та електронних тахеометрів, безвідбиткових тахеометрів за спеціальною методикою вимірювань дає змогу визначити перевищення з точністю до 0,1–0,5 мм на відстані до 100 м. Це передбачає розробку методики та її дотримання у процесі вимірювань: дослідження та юстування приладів, вертикальних рейок; вибір часу і умов для спостережень; зменшення впливу вертикальної рефракції та дії інших джерел похибок.

Відстані до точок мають визначатися з точністю 3–5 мм, а кутів $1''$ – $5''$.

За **стереофотограмметричним способом** використовують фототеодоліт для фотознімання досліджуваної інженерної споруди. Під час цього обчислюють різницю координат характерних точок споруди за фотознімками початкового або попереднього циклів фотознімання.

За стереофотограмметричним способом фотознімання виконують із двох точок закріпленого базису, виміряного з високою точ-

ністю. Визначення деформацій споруд стереофотограмметричним способом може досягти середньої квадратичної похибки близько ± 1 мм.

У процесі спостережень за осіданнями інженерних споруд з підвищеними вимогами до точності виконання робіт розробляють спеціальну методику геодезичних вимірювань.

Горизонтальні зміщення у плані інженерних споруд та їх окремих елементів вимірюють лінійно-кутовим, створним і стереофотограмметричним способами, прямими та оберненими засічками.

Лінійно-кутовим способом визначають величину зміщення по осях координат X та Y . Для цього біля інженерної споруди створюють мережі триангуляції, трilaterації, полігонометрії, комбінованих мереж, кутових і геометричних форм та характеру споруди, вимог точності та умов вимірювань, організацій робіт тощо.

Баштові споруди під час нерівномірного осідання, дії вітру, перепаду температури середовища можуть деформуватись у вигляді **нахилу (крену)** або **перелому** верхньої частини. Для виявлення причин таких деформацій необхідно систематично проводити комплексні спостереження за положенням фундаментів, корпусу баштової споруди та зміною факторів, які можуть вплинути на нахил (крен) і перетин споруди.

Нахил споруди можна визначити методом вертикального проєктування (за допомогою оптичних або лазерних приладів вертикального проєктування).

Метод **вертикального проєктування** можна застосувати, коли є можливість встановити прилад над центром споруди, або створити вертикаль на незначній (до 1,5 м) відстані паралельно конструкції споруди.

Метод нахилоного проєктування можна застосувати для визначення крену споруди у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Дайте визначення терміна «траса лінійної споруди».
2. Які основні елементи траси?
3. Що включає в себе поняття «трасування лінійної споруди»?
4. Назвіть головні точки кругової кривої, що визначають її положення на місцевості.

5. За якими формулами обчислюють пікетажне значення головних точок кругової кривої?
6. Назвіть суть способу прямокутних координат для детального розмічування осі кривої.
7. Назвіть зміст геодезичних робіт при вишукуваннях, проєктуванні і будівництві гідротехнічних споруд.
8. Як виконуються геодезичні роботи під час будівництва водосховищ?
9. Як виконуються геодезичні роботи при будівництві каналів?
10. Як здійснюється геодезичне забезпечення будівництва основних споруд ГЕС?
11. Як здійснюється геодезичне забезпечення будівництва меліоративних споруд?
12. Що називають деформацією будівлі або споруди?
13. Якими способами виконують спостереження за осіданням інженерних споруд і будівель?
14. З якою точністю виконують роботи з геометричного нівелювання для визначення деформацій споруд або будівель?
15. З якою точністю виконують роботи з тригонометричного нівелювання для визначення деформацій споруд або будівель?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баран П. І.* Інженерна геодезія: монографія / П. І. Баран. – К.: ПАТ «Віпол», 2012. – 617 с.
2. *Божок А. П.* Топографія з основами геодезії: підручник / А. П. Божок, В. Д. Барановський, К. І. Дрич. – К. : Вища шк., 1995. – 275 с.
3. *Войтенко С. П.* Геодезичні роботи в будівництві: навч. посібник / С. П. Войтенко. – К.: Інститут системних досліджень України, 1993. – 142 с.
4. *Войтенко С. П.* Інженерна геодезія : підручник / С. П. Войтенко. – К.: Знання, 2009. – 55 с.
5. *Войтенко С. П.* Інженерна геодезія / С. П. Войтенко. – К.: Знання, 2012 р.
6. *Войтенко С. П.* Основи інженерної геодезії / С. П. Войтенко, Г. М. Литвин, Р. Г. Юрковський [та ін.]. – Одеса : Папірус, 2000. – 185 с.
7. *Білокриницький С. М.* Геодезія: навч. посібник / С. М. Білокриницький. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2011. – 576 с.
8. *Маслов А. В.* Геодезия. Ч. III / А. В. Маслов, Г. И. Горохов.– М. : Издательство геодезической литературы, 1959. – 169 с.
9. *Маслов А. В.* Геодезические работы при землеустройстве / А. В. Маслов, Г. Н. Горохов, Э. М. Ктиторов, А.Г. Юнусов. – М. : Недра, 1976. – 256 с.
10. *Гофманн-Велленгоф Б.* Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз; пер. з англ. третього вид. / за ред. Я. С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1995. – 380 с.
11. *Довідник із землеустрою* / за ред. акад. Л. Я. Новаковського. – К. : Аграрна наука, 2015. – 490 с.
12. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500” (ГКНТФ-2.04-02-98)*). – К., 1999. – 155 с.

13. *Інструкція* по нивелюванню I, II, III и IV класов. – М.: Недра, 1990.
14. *Маслов А. В.* Геодезія / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М.: Недра, 1980. – 616 с.
15. *Могильний С. Г.* Геодезія. Частина перша / С. Г. Могильний, С. П. Войтенко. – Чернігів: Чернігівські обереги, 2002. – 408 с.
16. *Могильний С. Г.* Геодезія. I частина / С. Г. Могильний, С. П. Войтенко. – Донецьк, 2003. – 458 с.
17. *Неумывакин Ю. К.* Земельно-кадастровые геодезические работы / Ю. К. Неумывакин, М. К. Перский. – М.: Колосс, 2006. – 184 с.
18. *Основы проектирования аэропортов* / В. И. Блохин. – М.: Транспорт, 1985. – 203 с.
19. *Островський А. Л.* Геодезія / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарковський. – Л.: Простір М, 2007. – 410 с.
20. *Островський А. Л.* Геодезія : підручник. Частина друга / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарнавський; за заг. ред. А. Л. Островського. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 564 с.
21. *Перович Л. М.* Геодезія: навч. посібник / Л. М. Перович, М. П. Лісевич. – Львів: Новий світ, 2000. – Ч. II. – 2005, 208 с.
22. *Петрович Л. М.* Основи кадастру : навч. посібник. Частина I / Л. М. Петрович, Б. І. Волосецький. – Львів: ЛАГТ, 2000. – 128 с.
23. *Порядок побудови Державної геодезичної мережі.* Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646.
24. *Проектування автомобільних доріг. Ч.1;* за ред. О. А. Білятинського, Я. Б. Хомяка. – К.: Вища шк., 1997. – 518 с.
25. *Ранський М. П.* Геодезичні роботи в землевпорядкуванні : метод. посібник / М. П. Ранський. – Чернівці: Рута, 2007. – 59 с.
26. *Справочник геодезиста* (в двух книгах). – М.: Недра, 1975. – 1056 с.
27. *Справочник по геодезических работах в строительном-монтажном производстве* / под ред. Ю. В. Полищука. – М.: Недра, 1990. – 310 с.
28. *Тревого І. С.* Геодезичні прилади. Практикум: навч. посібник / Т. Г. Шевченко, О. І. Мороз, І. С. Тревого; за ред. Т. Г. Шевченко. – 2-е вид. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 236 с.

29. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. – К., 2001. – 255 с.

30. *Чеботарев А. С.* Геодезія. Ч. I / А. С. Чеботарев. – М.: Геодезиздат, 1955.

31. *Чеботарев А. С.* Геодезія. Ч. II / А. С. Чеботарев, В. Г. Селиханович, М. Н. Соколов. – М.: Геодезиздат, 1962.

32. *Чижмаков А. Ф.* Геодезія / А. Ф. Чижмаков, А. М. Чижмакова. – М. : Недра, 1977. – 342 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ГЕОДЕЗІЇ	6
1.1. Зміст і завдання геодезії.....	6
1.2. Одиниці вимірювання, що застосовуються в геодезії.....	8
1.3. Поняття про форму і розміри Землі.....	9
1.4. Системи координат.....	13
1.4.1. Географічні координати.....	13
1.4.2. Система прямокутних координат	16
1.4.3. Система прямокутних координат Гаусса-Крюгера	17
1.4.4. Полярна система координат	18
1.5. Висоти точок земної поверхні.....	19
1.6. Масштаби карт.....	20
1.7. Елементи вимірювань на місцевості (горизонтальні прокладання ліній, горизонтальні кути, кути нахилу).....	24
1.8. Зображення земної поверхні на площині (план, карта, профіль).....	28
1.9. Картографічні умовні знаки для зображення елементів місцевості.....	29
1.10. Основні форми рельєфу	33
1.11. Способи зображення рельєфу на планах і картах. Спосіб горизонталей	35
1.12. Розв'язання задач за зображеними на топографічних планах і картах горизонталями	38
1.13. Орієнтування ліній на місцевості. Азимути	41
1.14. Дирекційні кути	43
1.15. Пряма та обернена геодезичні задачі. Прирости координат	45

1.16. Передача дирекційного кута на лінію.....	47
1.17. Загальногеографічні, топографічні й тематичні карти.....	49
1.18. Міжнародне розграфлення і номенклатура аркушів карти масштабу 1:1000 000	49
1.19. Номенклатура і розміри аркушів топографічних карт....	51
<i>Запитання та завдання для самоперевірки</i>	<i>55</i>

Розділ 2. ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ЇХ

ДОСЛІДЖЕННЯ	58
2.1. Оптичні системи геодезичних приладів	58
2.1.1. Елементи конструкції зорової труби	59
2.1.2. Основні оптичні характеристики зорових труб	60
2.2. Відлікові пристрої геодезичних приладів	61
2.2.1. Шкали геодезичних приладів	61
2.2.2. Призначення відлікових пристроїв.....	63
2.2.3. Верньєр.....	64
2.2.4. Штриховий мікроскоп	64
2.2.5. Шкаловий мікроскоп.....	65
2.2.6. Односторонній оптичний мікромметр.....	65
2.2.7. Двосторонній оптичний мікромметр	66
2.3. Рівні.....	67
2.3.1. Рідинні рівні	67
2.4. Загальні відомості про сучасні теодоліти.....	68
2.5. Види (класифікація) теодолітів	71
2.6. Перевірки та дослідження теодолітів	72
2.7. Приведення теодоліта в робоче положення	77
2.8. Вимірювання горизонтальних кутів	77
2.9. Вимірювання вертикальних кутів	79
2.10. Нівеліри, їх будова, перевірки і дослідження	80
2.11. Перевірки і дослідження нівелірів	82
2.12. Перевірки нівелірних рейок.....	84
2.13. Методи визначення висот	86

2.13.1. Геометричне нівелювання.....	87
2.13.2. Тригонометричне нівелювання.....	89
<i>Запитання та завдання для самоперевірки</i>	<i>90</i>
Розділ 3. ДЕРЖАВНІ ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ	92
3.1. Державна геодезична мережа.....	92
3.2. Геодезичні мережі спеціального призначення	93
3.3. Геодезичні мережі згущення	95
3.3.1. Полігонометрія 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів	96
3.3.2. Триангуляція 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів	100
3.3.3. Трилатерація 4-го класу, 1-го і 2-го розрядів	103
3.3.4. Розвиток геодезичних мереж за допомогою GNSS-спостережень.....	106
3.3.5. Рекогностування геодезичних мереж згущення.....	112
3.3.6. Виготовлення і закладання центрів	113
3.4. Проектування полігонометричних мереж та їх оцінювання.....	116
3.4.1. Критерії зігнутості полігонометричних ходів	117
3.4.2. Оцінювання проєктів видовжених ходів	118
3.4.3. Оцінювання проєктів зігнутих полігонометричних ходів	121
3.5. Прив'язка полігонометричних мереж до пунктів Державної геодезичної мережі.....	122
3.6. Попередня обробка результатів польових спостережень.....	125
3.7. Державні висотні геодезичні мережі	126
3.7.1. Польові роботи при нівелюванні III і IV класу. Інструктивні вимоги.....	128
3.8. Знімальна геодезична мережа	132
3.8.1. Розвиток знімальних мереж теодолітними ходами....	133
3.8.2. Розвиток знімальної мережі методом триангуляції .	135
3.8.3. Пряма засічка	136
3.8.4. Обернена кутова засічка	137
<i>Запитання та завдання для самоперевірки</i>	<i>139</i>

Розділ 4. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ЗЕМЛЕУСТРОЇ..	141
4.1. Значення топографо-геодезичних вишукувань та обстежень у землевпорядкуванні	141
4.2. Види геодезичних робіт, що виконуються при землеустрої.....	142
4.3. Характеристика точності планів і карт.....	142
4.3.1. Масштаби зйомок, види зйомок, детальність і повнота планів і карт	142
4.3.2. Точність планів і карт.....	144
4.3.3. Точність віддалей на плані	145
4.3.4. Точність направлень на планах	147
4.3.5. Точність площ контурів на плані	148
4.3.6. Спотворення ліній і площ у проєкції Гаусса-Крюгера.....	149
4.3.7. Деформація планів і її врахування	151
4.4. Вирахування площ.....	153
4.4.1. Способи вирахування площ.....	153
4.4.2. Обчислення площі аналітичним способом.....	154
4.4.3. Обчислення площ графічним способом	156
4.4.4. Обчислення площ механічним способом	157
4.4.5. Визначення та ув'язка площ контурів ситуації, експлікація угідь	158
4.4.6. Точність визначення площі аналітичним способом.....	159
4.4.7. Точність визначення площ графічним способом.....	160
4.4.8. Точність визначення площ механічним способом ..	161
4.5. Порядок і способи складання проєктів землеустрою.....	162
4.5.1. Методи та способи проєктування при землевпорядкуванні.....	162
4.5.2. Проєктування графічним способом	163
4.5.3. Проєктування ділянок аналітичним способом.....	167
4.6. Перенесення проєктів у натуру.....	169

4.6.1. Суть і способи перенесення проєкту в природу.....	169
4.6.2. Підготовка до перенесення проєкту в природу.....	170
4.6.3. Перенесення проєкту в природу методом промірів...	172
4.6.4. Перенесення проєкту в природу кутомірним методом.....	173
4.6.5. Особливості перенесення проєкту в природу за матеріалами дистанційного зондування (ортофотопланами).....	174
4.6.6. Встановлення (відновлення) втраченого межового знака.....	175
4.7. Точність геодезичних робіт при землепорядкуванні.....	176
4.7.1. Точність проєктування аналітичним способом і порівняльна точність проєктування різними способами.....	176
4.7.2. Точність площ ділянок, перенесених у природу.....	177
<i>Запитання та завдання для самоперевірки.....</i>	<i>180</i>

Розділ 5. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЕРОПОРТІВ.....

5.1. Загальні відомості про аеропорти.....	181
5.2. Загальні відомості з інженерної геодезії.....	184
5.3. Інженерно-геодезичні вишукування аеропортів.....	185
5.3.1. Загальні відомості про розмічувальні роботи.....	185
5.3.2. Побудова проєктної відстані.....	188
5.3.3. Побудова проєктного кута точки із проєктною позначкою.....	188
5.3.4. Находження на місцевості точки із проєктною відміткою.....	189
5.3.5. Побудова на місцевості лінії із заданим ухилом.....	190
5.4. Геодезичні способи розмічування споруд аеропортів.....	191
5.5. Геодезичне забезпечення вертикального планування території аеропорту.....	193

5.6. Геодезичні роботи під час будівництва підземних інженерних мереж	196
5.7. Геодезичні роботи під час виконання будівельних робіт нульового циклу	199
5.8. Передача проєктної позначки.....	201
5.8.1. Передача проєктної позначки на дно котловану	201
5.8.2. Передача позначки на монтажний горизонт.....	203
5.9. Геодезичне забезпечення будівництва штучних покриттів аеродрому	204
<i>Запитання та завдання для самоперевірки</i>	208
 Розділ 6 ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
БУДІВНИЦТВА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД	210
6.1. Інженерно-геодезичні вишукування лінійних споруд	210
6.2. Розрахунок прямих і кривих ділянок плану траси	212
6.3. Детальне розмічування на місцевості осі траси.....	214
6.4. Геодезичні роботи під час проєктування і будівництва гідротехнічних споруд	215
6.5. Спостереження за деформаціями інженерних споруд	218
<i>Запитання та завдання для самоперевірки</i>	221
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	223