Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

Кафедра геодезії та картографії

**05-04-117М**

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з навчальної дисципліни «**Основи геодезії**»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Архітектура та містобудування» спеціальності 191 «Архітектура та містобудування» денної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з якості ННІБА
Протокол №1 від 30 серпня 2022 р.

Рівне – 2022

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Основи геодезії» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Архітектура та містобудування» спеціальності 191 «Архітектура та містобудування» денної форми навчання [Електронне видання] / Панчук Ю. М., Янчук О. Є. – Рівне : НУВГП, 2022. – 103 с.

Укладачі:
Панчук Ю. М., к.т.н., доцент кафедри геодезії та картографії;
Янчук О. Є., к.т.н., доцент кафедри геодезії та картографії.

Відповідальний за випуск: Янчук Р. М. – к.т.н. доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії.

Керівник групи забезпечення
спеціальності Попапчук І. В.

© Панчук Ю. М.,
Янчук О. Є., 2022
© НУВГП, 2022

# ЗМІСТ

Передмова ..... 4
Тема 1. Задачі геодезії, системи координат і висот, плани та карти, масштаби ..... 5
Тема 2. Рельєф поверхні, зображення рельєфу на топографічних картах ..... 15
Тема 3. Суть та методи нівелювання. Будова нівелірів та рейок ..... 28
Тема 4. Перевірки нівелірів. Тригонометричне, гідростатичне та технічне нівелювання ..... 38
Тема 5. Будова і перевірки теодоліта 2Т30. Вимірювання вертикальних кутів ..... 55
Тема 6. Вимірювання горизонтальних кутів. Обчислення координат точок теодолітного ходу ..... 68
Тема 7. Теодолітне та тахеометричне знімання місцевості ..... 81
Тема 8. Ознайомлення з новими геодезичними приладами ..... 93
Література ..... 103

# ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна «Основи геодезії» вивчає основні методи вирішення інженерно-геодезичних завдань на стадіях вишукувань, проектування, перенесення проектів в натуру, будівництва та експлуатації споруд. Сучасне планування та забудова населених пунктів, проектування і будівництво різних інженерних споруд вимагає від студентів знань з геодезії. Студенти спеціальності «Архітектура та містобудування» повинні мати високу геодезичну підготовку, добре знати сучасні геодезичні прилади, які застосовуються в будівництві, а також вміло і правильно вирішувати геодезичні задачі в процесі проектування, будівництва та експлуатації будівель та споруд.

Метою вивчення дисципліни є навчити студентів:

- читати зміст зображень на картах, планах і профілях, вміти вирішувати на них інженерно-геодезичні задачі;
- навичкам у роботі з геодезичними приладами, виконувати їх перевірки;
- основам техніки геодезичних вимірювань;
- навичкам математичної обробки геодезичних вимірювань;
- виконувати обробку результатів тахеометричного знімання, складання топографічного плану;
- керуватись в роботі вимогами нормативної літератури з виконання геодезичних робіт.

Використання сучасних геодезичних приладів та ефективних підходів до обробки геодезичної інформації, які представлені у методичних вказівках, показує їх актуальність.

# ТЕМА 1. ЗАДАЧІ ГЕОДЕЗІЇ, СИСТЕМИ КООРДИНАТ І ВИСОТ, ПЛАНИ ТА КАРТИ, МАСШТАБИ

## *1.1. Предмет, задачі і зміст інженерної геодезії, її роль в народному господарстві*

***Геодезія (гр. geodaisia γεωδαισία*** – ділення землі від грецьких слів geo – Земля і daizo – ділю) – наука, що вивчає фігуру, розміри та гравітаційне поле Землі, методи зображення її поверхні на планах і картах, а також способи виконання спеціальних вимірювань та їх математичну обробку для розв'язання різних задач народного господарства та оборони країни.

Різноманітність наукових і практичних завдань, які вирішуються геодезією, призвела до виділення геодезичних напрямків, таких як: топографія, картографія, інженерна (прикладна) геодезія, фотограмметрія, вища геодезія, супутникова геодезія, морська геодезія, маркшейдерія.

*Вища геодезія* – вивчає форму та розміри Землі, її зовнішнє гравітаційне поле, рухи земної кори, створення астрономо-геодезичної, гравіметричної та нівелірної мереж.

*Топографія* – галузь геодезичної науки, що займається вивченням методів зображення великих і малих ділянок земної поверхні на топографічних планах і картах, детальним вивченням земної поверхні та об'єктів, які знаходяться на ній в просторовому відношенні.

*Картографія* – вивчає методи зображення сферичної поверхні Землі на площині у вигляді карт та технологію їх виробництва.

*Супутникова геодезія* – геодезичний напрямок, у якому вивчаються питання використання спостережень штучних та природних супутників Землі і планет, для розв'язання наукових та народногосподарських задач.

*Маркшейдерія* – займається питаннями виконання геодезичних робіт у підземних гірничих копальнях для складання карт і розв'язання різних технічних задач.

*Фотограмметрія* – займається розробкою методів створення карт і планів за фото- та аерофотознімками місцевості.

*Морська геодезія* – займається геодезичними вимірюваннями та картографуванням дна морів і океанів пов'язаними з розв'язанням наукових та прикладних задач.

*Прикладна (інженерна) геодезія* – геодезичний напрямок, що займається дослідженням, розробкою методів і засобів геодезичного забезпечення всіх видів будівництва на різних етапах: інженерні вишукування, проектування, будівництво, реконструкція, монтаж і експлуатація інженерних споруд та технологічного промислового устаткування тощо.

Основними задачами інженерної геодезії в будівництві є:

- топо-геодезичні вишукування будівельних майданчиків і трас, інші інженерні вишукування для проектування споруд;
- виконання геодезичних робіт для забезпечення будівництва при проектуванні, вирішенні горизонтального та вертикального планування, обчислення об'ємів і площ;
- перенесення проекту будівель і споруд в натуру, виконання розмічувальних робіт, (перенесення в натуру головних осей споруд, детальні розмічування для фундаментів, комунікацій, будинків, доріг);
- геодезичне забезпечення при встановленні будівельних конструкцій в проектне положення, контроль розмірів та геометричних форм будівельних і технологічних елементів, форм та розмірів частин споруд в цілому;
- геодезичне забезпечення при експлуатації промислових комплексів, комунального господарства, кар'єрів при розробці і добуванні корисних копалин;
- спостереження за деформаціями споруд та основ для вивчення просідань фундаментів, визначення зміщень і нахилів висотних будівель;
- спостереження за переміщеннями гірських порід для правильного вибору основ споруд при інженерних вишукуваннях та експлуатації.

### *1.2. Системи координат, які застосовуються в геодезії*

Координати визначають положення точки земної поверхні відносно початкових (вихідних) ліній чи поверхонь. Найбільше застосування в геодезії отримали системи географічних,

прямокутних, полярних координат, а також плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера.

Основними лініями земної поверхні в системі географічних координат є *меридіани і паралелі*.

Умовні лінії на земній поверхні, що утворюються від перерізу еліпсоїда площинами, що проходять через вісь обертання Землі та дану точку є еліпсами. Половина даного еліпса від полюса до полюса називається ***меридіаном***.

Початковим меридіаном прийнято вважати *Гринвічський меридіан*, який проходить через Гринвічську астрономічну обсерваторію поблизу Лондона (Англія). На географічних картах і глобусах меридіани найчастіше проводять через 6°, а земна поверхня, обмежена двома сусідніми меридіанами, називається „шестиградусною зоною”.

Умовна лінія перетину поверхні Землі площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі і яка проходить через дану точку утворює коло, яке називається ***паралеллю***. Найбільша паралель, що проходить через центр Землі, називається ***екватором*** і вважається початковою паралеллю.

Положення кожної точки земного еліпсоїда в географічній системі координат визначається *широтою* та *довготою* (рис. 1.1).

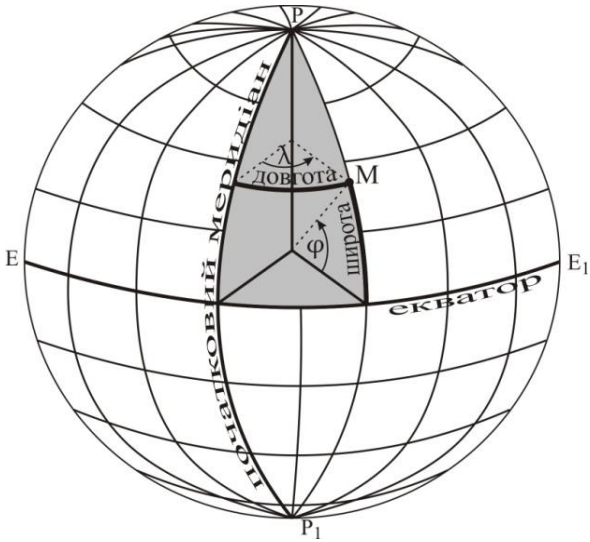



Рис. 1.1. Географічна система координат

***Географічна широта φ*** – кут між прямовисною лінією проведеною в точці *M* і площиною екватора. Вона відраховується від екватора в обидва боки в межах від *0°* до *90°* і називається відповідно північною або південною.

***Географічна довгота λ*** – двогранний кут між площинами початкового (нульового) меридіана і меридіана даної точки. Відраховується від початкового меридіана на схід і захід від *0°* до *180°* і називається відповідно східною та західною.

Переваги географічної системи координат:

1. Всі точки еліпсоїда визначаються в єдиній системі координат.
2. Кути $\varphi$ і $\lambda$ пов'язані з умовами обертання Землі.

Географічна система координат дозволяє вирішувати задачі на великих відстанях і з малою точністю, тому в інженерній геодезії перевага віддається прямокутним координатам.

У прямокутній системі координат основними координатними лініями є дві взаємно-перпендикулярні лінії з початком координат в точці *O*. Вертикальна вісь *x* суміщена з меридіаном, додатній напрямок – з півдня на північ, горизонтальна вісь *y* суміщена з паралеллю, додатній напрямок – із заходу на схід. Нумерація четвертей здійснюється за годинниковою стрілкою від північно-східної четверті (рис. 1.2). Положення точки *M* на площині визначається координатами *x* і *y* з відповідним знаком „+" або „-". Ця система координат застосовується на невеликих ділянках земної поверхні, яку приймають плоскою (*20×20 км*).

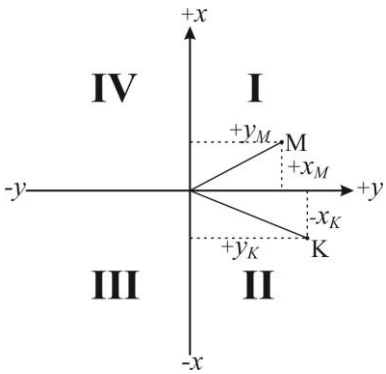



Рис. 1.2. Система прямокутних координат

Систему плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера застосовують для крупномасштабного зображення значних частин земної поверхні на площині. Тому необхідна проекція, яка забезпечувала б зберігання подібного зображення фігур при переході з поверхні кулі на площину, враховуючи при цьому викривлення. Для цих цілей з *1928 року* прийнята поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера.

Поверхню земної кулі розмічують меридіанами на зони шириною *3* або *6°* за довготою. Земну кулю вписують в циліндр так, щоб площина екватора сумістилась з віссю циліндра. Бічну поверхню циліндра розрізують за її твірними, що проходять через полюси і розгортують в площину. При цьому середні (осьові) меридіани зон і екватор – прямі лінії, а решта – меридіани і паралелі – криві (рис. 1.3). Спотворення розмірів контурів поблизу осьових меридіанів будуть мінімальними та за мірою віддалення будуть збільшуватись.

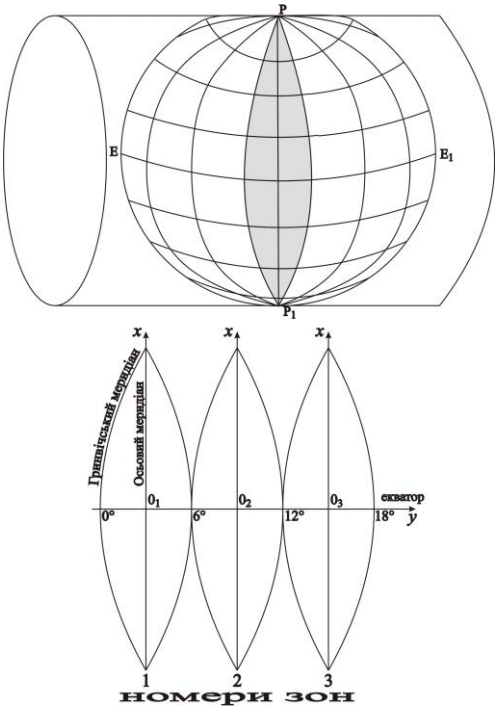



Рис. 1.3. Поділ поверхні еліпсоїда на зони у проекції Гаусса-Крюгера

За початок координат в кожній зоні приймають точку перетину осьового меридіану – осі абсцис *x* і екватора – осі ординат *y*. На картах проводять прямокутну сітку з прямих ліній, паралельних осьовому меридіану і екватору.

Система координат у кожній зоні однакова. Оскільки Україна знаходиться над екватором, то значення абсцис будуть додатними, а ординати можуть бути додатними та від'ємними. Для того, щоб ординати були додатними умовно перенесли вісь абсцис на *500 км* на захід.

Систему полярних координат застосовують для визначення положення точок на невеликих ділянках при зніманні і геодезичних розмічувальних роботах. За початок координат приймають полюс – точку *O*, а за початкову координатну лінію – полярну вісь *OA* довільно розташовану на місцевості. Як видно з рисунку 1.4, початковими координатами точки *M* будуть: полярний кут $\beta$, який відраховують за годинниковою стрілкою від полярної осі і полярна відстань (радіус вектор) $OM=S$.

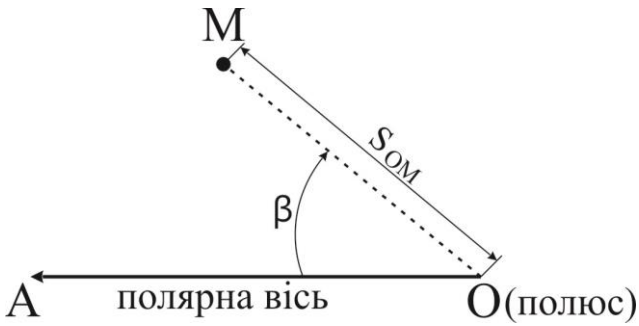


Рис. 1.4. Система полярних координат

### *1.3. Системи відліку висот, які застосовуються в інженерній геодезії*

Третьою координатою в геодезії є ***висота*** **–** це відстань від даної точки до прийнятої рівневої поверхні, виміряна за прямовисною лінією.

***Абсолютні висоти*** визначаються від основної рівневої поверхні (океан, геоїд). Для нашого випадку (рис. 1.5): $H_A = Aa$ і $H_B = Bb$ – абсолютні висоти. Числове вираження висоти називають ***позначкою*** *або* ***відміткою***.

***Відносною (умовною) висотою*** називають висоту (віддаль) між рівневою поверхнею даної точки і рівневою поверхнею точки, відносно якої відраховують висоту. Величина $H'_A$, яка дорівнює відрізку $Aa'$ є відносною висотою точки $A$ над точкою $B$. Цю величину називають також ***перевищенням h***, тобто різницею висот між двома точками.

У цивільному та промисловому будівництві при проектуванні і зведенні будинків та споруд застосовують відносну систему висот, яка співпадає з підлогою першого поверху або підлогою цеху промислової споруди. Таку відлікову поверхню називають рівнем „чистої підлоги”, а висоти, які відраховують від неї – ***умовними***.

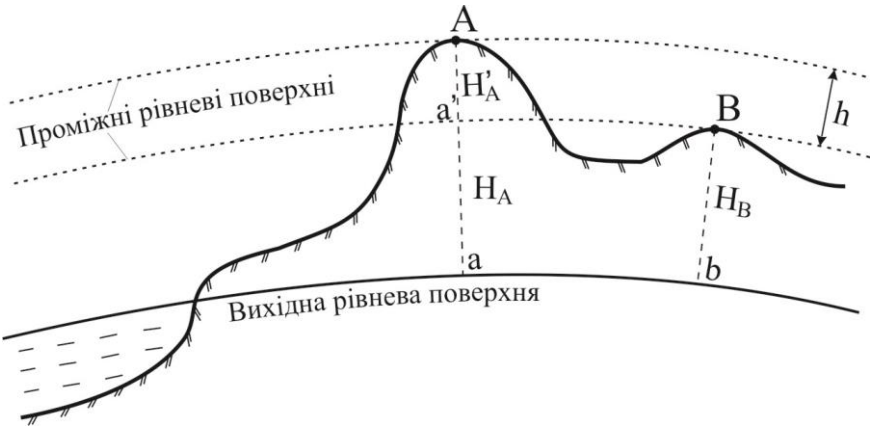



Рис. 1.5. Система абсолютних та відносних висот

Співвідношення між абсолютними і відносними висотами можна записати у вигляді:

$$h_{AB} = H_B - H_A; \qquad h_{BA} = H_A - H_B; \qquad h_{AB} = -h_{BA}. \qquad (1.1)$$

### *1.4. Поняття про карту, план і профіль*

***Топографічний план*** **–** це зменшене і подібне зображення на папері ситуації і рельєфу місцевості, яке отримують ортогональним

проектуванням ділянок земної поверхні, що не перевищують *20×20 км*, на горизонтальну площину. План дає зменшене і подібне зображення не дійсних контурів, а лише їх горизонтальних проекцій. За планом складають будівельні креслення, які входять до проектно-технічної документації, необхідної для зведення будівель та споруд. За планом можна вирішувати такі задачі: визначати відстані між окремими пунктами, знаходити висоти окремих точок, вимірювати кути між заданими напрямками, визначати крутизну схилів, вимірювати площі фігур тощо. План побудований без зображення рельєфу місцевості (горизонталей) називають ***ситуаційним*** або ***контурним***.

У випадках, коли на площині зображають значну територію і не можна нехтувати кривизною Землі, ділянки земної поверхні ортогонально проектують на поверхню еліпсоїда, а потім, за встановленими математичними законами (картографічними проекціями) переносять на площину. Отримане таким чином зменшене зображення на площині називають картою. ***Карта*** – це зменшене і подібне зображення на папері ситуації і рельєфу місцевості, яке виконується за певними математичними законами, що враховують кривизну поверхні землі. Карта виконана в проекції Гаусса-Крюгера і яка містить зображення ситуації і рельєфу називається ***топографічною***.

***Ситуація*** – це сукупність всіх предметів місцевості. ***Рельєф*** – це сукупність всіх форм нерівностей земної поверхні.

Прийнято називати карти масштабів 1:500 – 1:5000 топографічними планами, а 1:10000 – 1:100000 топографічними картами.

Масштабний ряд топографічних карт і планів наступний: 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

За призначенням топографічні карти і плани можуть бути основними і спеціалізованими. *Основні* – загальнодержавного картографування, *спеціалізовані* – для вирішення конкретних задач окремої галузі.

До картографічних матеріалів відносять також ***профілі*** – це зменшене зображення вертикального розрізу земної поверхні вздовж вибраного напрямку.

### *1.5. Масштаби топографічних планів і карт*

***Масштаб*** **–** це ступінь зменшення на планах і картах контурів місцевості, тобто відношення довжини лінії на плані (карті) *l* до відповідного горизонтального закладання (горизонтальної проекції) на місцевості *L*:

$$M = l / L. \qquad (1.2)$$

Масштаби бувають числові, графічні та описові (інколи їх називають ще мовні, словесні, іменовані).

Масштаб виражений дробом *1:N* називають ***числовим***. Знаменник *N* – число, яке вказує в скільки разів зменшені предмети місцевості при їх зображенні на планах, картах і профілях.

За масштабами карти розподіляють на:

1. Великомасштабні – 1:100000 і більше. Їх ще називають топографічними;
2. Середньомасштабні -1:200000 – 1:1000000;
3. Дрібномасштабні – 1:1000000 та дрібніші.

Поряд з числовим масштабом на картах та планах використовують ***описовий***, де словами описується скільки одному сантиметрові карти відповідає метрів горизонтального закладання на місцевості. Для прикладу числовий масштаб: 1:1000 відповідає описовому „в 1 сантиметрі – 10 метрів”.

Числовий масштаб можна виразити у вигляді ***лінійного масштабу*** – це пряма лінія, розділена на рівні відрізки – основи масштабу *a* (рис. 1.6). Основу приймають довжиною *1* або *2 см*. Ліву основу ділять на *10* рівних частин. Кожній основі відповідає визначений відрізок на місцевості.

Рис. 1.6. Лінійний масштаб

Більш точним є *поперечний масштаб* – це графік, що базується на пропорційному поділі. Для побудови поперечного масштабу на прямій декілька разів відкладають основу масштабу й з отриманих точок поділу проводять перпендикуляри на яких відкладають *10* рівних частин, через які проводять лінії паралельні до основи. Першу ліву основу знизу та зверху ділять також на *10* рівних

частин. Отримані точки з'єднують похилими лініями, як показано на рис. 1.7. Ці похилі лінії називаються ***трансверсалі***. Горизонтальні відрізки між трансверсалями рівні десятим долям основи, а вертикальні відрізки між лініями паралельними основі рівні сотим долям. За поперечним масштабом можна визначати довжини ліній на плані (карті) з точністю *0.1 мм*.

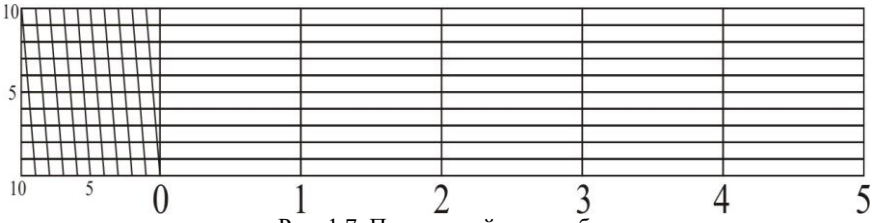


Рис. 1.7. Поперечний масштаб

Відрізок в натурі (на місцевості), який відповідає 0.1 мм на плані чи карті, називають ***точністю масштабу***. Так для масштабів: 1:500; 1:1000; 1:10000; 1:25000 точність масштабу складає відповідно: *0.05; 0.1; 1.0* та *2.5 м*.

**Запитання для самоконтролю:**

1. Що вивчає геодезія?
2. Основні задачі інженерної геодезії.
3. Прямокутна система координат.
4. Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера.
5. Система полярних координат.
6. Системи відліку висот.
7. Карта та план.
8. Масштаб.

# ТЕМА 2. РЕЛЬЄФ ПОВЕРХНІ, ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ

## *2.1. Умовні знаки для зображення предметів і контурів місцевості на топографічних планах і картах*

На топографічних планах і картах зображають різні об’єкти місцевості: річки, озера, канали, ліси, сади, городи, болота, будинки, дороги, лінії електропередач і т. ін. Сукупність цих, а також всіх інших об’єктів місцевості називають ***ситуацією***. Для зображення ситуації використовують умовні знаки, які поділяються на п’ять видів: *площинні, позамасштабні, лінійні, пояснюючі* та *спеціальні*.

***Площинними (масштабними)*** умовними знаками називають знаки, за допомогою яких предмети місцевості зображаються з дотриманням масштабу плану чи карти. Ці знаки застосовуються для зображення місцеположення та площ об’єктів (ліси, озера, луки) і складаються із контурів об’єктів, які на карті викреслюють крапками, або лінією і заповнюють значками, що визначають суть об’єктів, або умовним забарвленням (рис. 2.1, а).

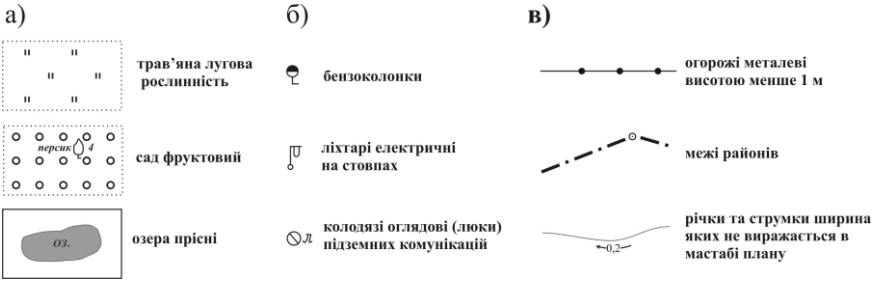



Рис. 2.1. Умовні знаки топографічних карт і планів:
а) – площинні; б) – позамасштабні; в) – лінійні

Якщо предмет не може бути зображений в даному масштабі умовним знаком, внаслідок невеликих своїх розмірів, застосовують ***позамасштабні*** умовні знаки, які займають на плані більше місця, ніж потрібно було б за масштабом (рис. 2.1, б). Тому такі знаки застосовують для зображення об’єктів, розміри яких не відповідають масштабу плану чи карти (мости, кілометрові стовпи, колодязі, джерела, геодезичні пункти). Позамасштабні умовні знаки

визначають лише місцезнаходження об’єктів. На них наводяться різні характеристики (довжина, ширина мосту, відмітки). Слід відмітити, що одні і ті ж місцеві предмети на картах великих масштабів можуть бути виражені контурним знаком, а на картах дрібних масштабів – позамасштабним умовним знаком.

***Лінійними*** умовними знаками показують об’єкти лінійного характеру (дороги, річки, лінії зв’язку, електропередач, канали), довжина яких виражається в даному масштабі, а положення на карті – поздовжньою віссю, яка проходить через середину знаку (рис. 2.1, в). Ширину лінійного об’єкту показують дещо збільшеною. На умовних знаках наводяться різні характеристики об’єктів (ширина проїзджої частини, ширина всієї дороги, висота насипу, глибина виїмки).

***Пояснюючі*** умовні знаки являють собою надписи і цифрові дані, які дають назви і характеристики об’єктів (глибину і швидкість течії рік, вантажопідйомність і ширину мостів, породу лісу, висоту, товщину дерев, ширину доріг). Ці знаки проставляють на основних площинних, лінійних, і позамасштабних умовних знаках.

***Спеціальні*** умовні знаки встановлюються відповідними відомствами галузей народного господарства і застосовуються для складання спеціалізованих планів і карт (знаки для маркшейдерських планів, нафтові споруди і устаткування для свердловин, промислові трубопроводи).

Багатокольорове оформлення топографічних карт різко підвищує їх наочність і полегшує користування ними. Так, контури населених пунктів, залізничні і автомобільні дороги, промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об’єкти зображаються на картах чорним кольором; ліси – зеленим; гідрографія – синім; рельєф – коричневим.

## *2.2. Зображення рельєфу на топографічних планах і профілях*

***Рельєфом*** місцевості називається сукупність всіх нерівностей земної поверхні. В залежності від характеру рельєфу місцевість поділяють на рівнинну, горбисту та гірську. Рівнинна місцевість має слабо виражені форми, або немає нерівностей (плоска); горбиста – характеризується наявністю невеликих за висотою

підвищень та знижень; гірська місцевість має височини більші за *500* метрів над рівнем моря, розділені долинами.

Розрізняють наступні найбільш характерні форми рельєфу (рис. 2.2):

***Гора*** це опуклість земної поверхні, нагадує конус, найвища точка називається ***вершиною*** (у вигляді площадки – плато, гострої форми – пік). Бокова поверхня складається із ***схилів,*** лінія злиття з навколишньою місцевістю називається ***підошвою.***

***Котловина*** це заглиблення земної поверхні у вигляді чашки, найнижча точка – ***дно***. Бокова поверхня складається із ***схилів***, лінія злиття з навколишньою місцевістю називається ***бровкою***.

***Хребет*** це підвищення, яке поступово знижується в одному напрямку і має два круті схили. Вісь хребта між схилами називається ***водорозділом***.

***Улоговина*** це витягнуте в одному напрямку жолобоподібне заглиблення земної поверхні з нахиленим в один бік дном. Схили улоговини (щоки) перетинаються за лінією, яку називають ***водостоком*** або ***тальвегом***.

***Сідловина*** це понижена частина місцевості між двома вершинами.

Вершина гори, дно котловини і найнижча точка сідловини є *характерними точками рельєфу*. Водорозділ і водостік являють собою *характерні лінії рельєфу*.

Рельєф місцевості на топографічних картах зображають за допомогою горизонталей. Побудову горизонталей на карті виконують за відмітками характерних точок рельєфу місцевості.

Поняття про горизонталь можна отримати, якщо уявити собі перетин фізичної поверхні Землі рівневою площиною. На рис. 2.3 представлено перетин ділянки місцевості рівневими площинами, що мають однакову висоту над рівнем моря. Така крива лінія, всі точки якої мають однакову висоту, називається ***горизонталлю***.

Щоб зобразити горизонталями рельєф ділянки місцевості необхідно уявити перетини поверхні цієї ділянки рівневими площинами, розташованими на однаковій відстані *h*.

Відстань *h* між сусідніми рівневими площинами називають ***висотою перетину (перерізу) рельєфу***.

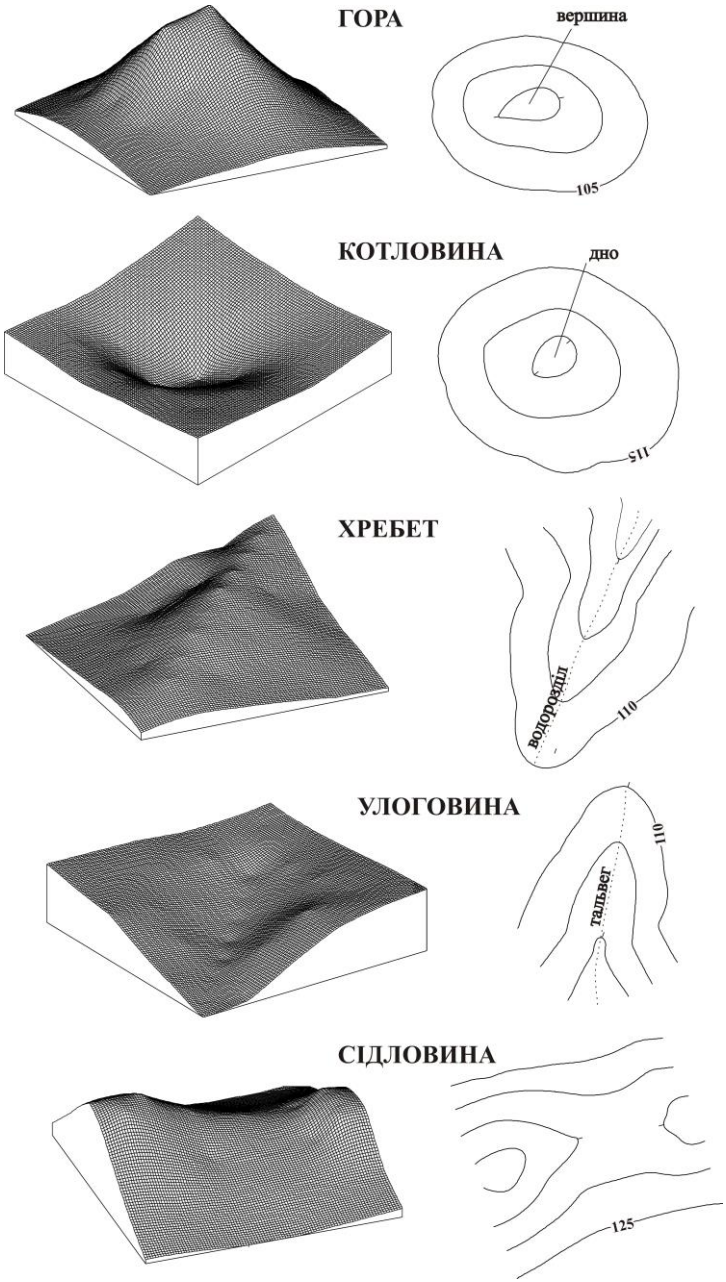



Рис. 2.2. Зображення горизонталями різних форм рельєфу

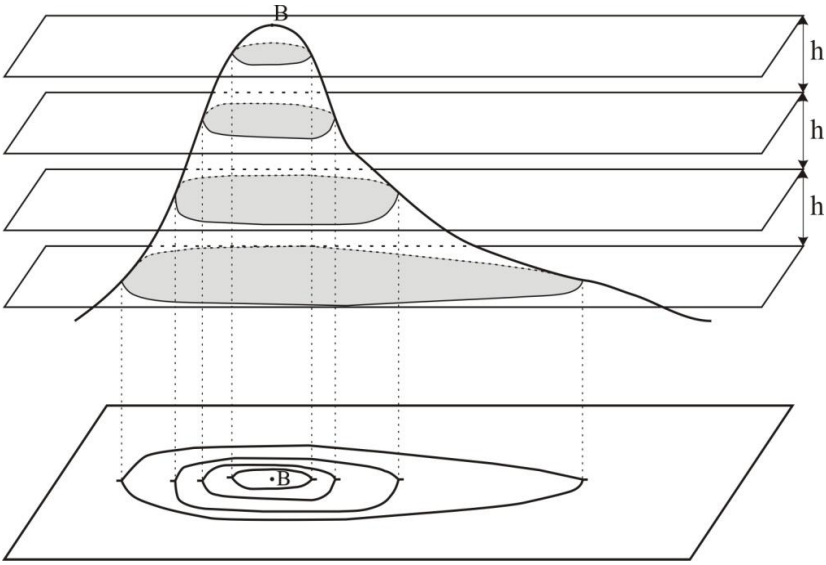


Рис. 2.3. Перетин фізичної поверхні Землі рівневими площинами

Основні властивості горизонталей:

1. Всі точки, що знаходяться на горизонталі мають однакову висоту;
2. Горизонталі, що замикаються на плані (карті) – позначають пагорб або котловину, вони розрізняються за бергштрихами і за надписами (***бергштрихи*** – короткі штрихи, перпендикулярні до горизонталей і направлені за схилом вниз; надписи висот горизонталей орієнтують основами цифр вниз за схилом);
3. Горизонталі є безперервними в межах плану (карти);
4. Горизонталі не перетинаються на плані (карті);
5. Відстані між горизонталями характеризують крутизну схилу;
6. Найкоротша відстань між горизонталями – лінія перпендикулярна до них, яка відповідає напрямку найбільшої крутизни;
7. Водороздільні лінії і осі улоговин перетинаються горизонталями під прямим кутом;
8. Горизонталі, що зображають похилу площину – прямі і паралельні.

## *2.3. Рішення інженерних задач за топографічними планами і картами за горизонталями*

### *2.3.1. Визначення довжин ліній за картою*

Топографічні карти і плани являють собою зменшену проекцію ситуації та рельєфу місцевості на площину. Ступінь зменшення виражають через масштаб (див. попередню лекцію).

Знаючи масштаб, можна перевести довжину відрізка, виміряного на карті або плані, в горизонтальне закладання цієї лінії на місцевості і навпаки. Для розв'язання цих задач користуються чисельним, лінійним та поперечним масштабами.

Шукане горизонтальне закладання $S$ визначають шляхом множення довжини відрізка $l$, виміряного на карті, на знаменник $M$ чисельного масштабу карти або плану:

$$d=l\cdot M. \qquad (2.1)$$

Знаючи чисельний масштаб, можна розв'язати зворотну задачу – за довжиною горизонтального закладання $CD$ лінії на місцевості визначити розміри $l_{CD}$ і побудувати цю лінію на карті.

Проте використовуючи лінійку можна виміряти горизонтальне закладення з точністю *±0.5 мм*. Щоб досягнути точності карти (*±0.1 мм*) необхідно використовувати поперечний масштаб.

Для цього встановлюють обидві голки вимірника на початок і кінець відрізку $AB$. Потім визначають значення розхилу вимірника на поперечному масштабі $AB_{осн}$. Далі використовують формулу (2.2) для обчислення горизонтального закладення:

$$AB= AB_{осн}\cdot BO, \qquad (2.2)$$

де $BO$ – ***величина основи*** – кількість метрів (або кілометрів) що містяться в одиниці поперечного масштабу, згідно масштабу плану, або карти.

Для контролю віддаль $AB$ вимірюють двічі. Розбіжність між обома вимірами не повинна перевищувати подвійної величини графічної точності масштабу карти.

Якщо довжина відрізка більша від довжини поперечного масштабу, то вимірювання лінії виконують частинами.

### *2.3.2. Визначення прямокутних координат точок*

При розв'язанні інженерних задач на обмежених територіях і картах великих масштабів користуються, як правило, прямокутними координатами точок.

Прямокутні координати точок (*x, y)* визначають на основі ліній координатної сітки, яку на топографічних картах масштабів 1:10000 та менше проводять та підписують через кілометрові інтервали (рис. 2.4).

Для вимірювання прямокутних координат заданої точки, наприклад *B,* спочатку визначають координати $x_0$ та $y_0$ південно-західного кута квадрата, в якому знаходиться визначувана точка *B* (рис. 2.4). Із заданої точки *B* опускають перпендикуляри до західної та південної сторін квадрата і за допомогою чисельного або лінійного масштабу визначають їх довжину, отримуючи таким чином прирости $\Delta x$, $\Delta y$. Тоді прямокутні координати *x, y* точки *B* обчислюються за формулами:

$$\left.\begin{aligned} x &= x_0 + \Delta x, \\ y &= y_0 + \Delta y, \end{aligned}\right\} \qquad (2.3)$$

де $x_0$, $y_0$ - координати південно-західного кута координатної сітки;

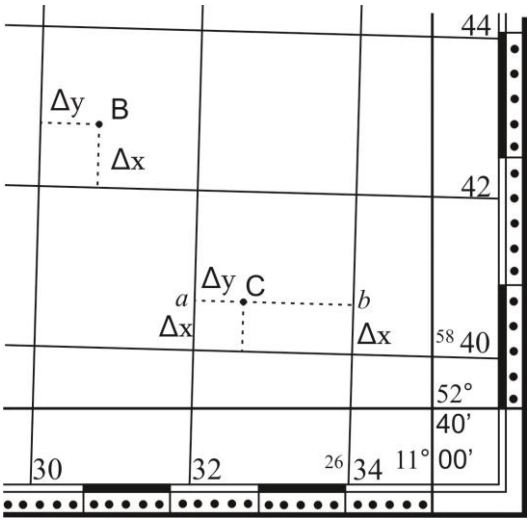



Рис. 2.4. Визначення прямокутних координат точок та нанесення точок за координатами

### *2.3.3. Нанесення точок за прямокутними координатами*

Завдання нанести на карту точку, задану географічними або прямокутними координатами, є зворотним відносно розглянутої вище задачі.

Наприклад необхідно нанести точку *C* на карту за її прямокутними координатами (рис. 2.4).

З рівняння (2.3) отримаємо

$$\left.\begin{aligned} \Delta x &= x - x_0, \\ \Delta y &= y - y_0. \end{aligned}\right\} \qquad (2.4)$$

Відкинувши останні цифри в заданих координатах визначають квадрат, в якому розміщена точка *C* і координати $x_0$ і $y_0$ його південно-західного кута.

Далі відкладаємо у масштабі карти приріст $\Delta x$ від південної лінії квадрата за боковими сторонами і з'єднуємо однойменні значення абсцис (точки *a* та *b*) лінією, на якій в масштабі карти від західної сторони відкладаємо приріст $\Delta y$, в результаті отримаємо положення точки *C* на карті. Щоб визначити прирости $\Delta x$ і $\Delta y$ в заданому масштабі за допомогою поперечного масштабу, потрібно їх значення поділити на величину основи *BO*: $\frac{\Delta x}{BO}, \frac{\Delta y}{BO}$.

### *2.3.4. Визначення висот точок*

Якщо точка знаходиться на горизонталі, її висота встановлюється за надписом цієї горизонталі. Наприклад точка *A* на рис. 2.5 має висоту *150* метрів.

Проте більш складний випадок коли точка знаходиться між горизонталями. Нехай точка *B* знаходиться між горизонталями з висотами *150* і *152.5* метри. Для того, щоб визначити її висоту, проводять через точку *B* найкоротшу відстань *d* між горизонталями. Відрізок *a* на плані є горизонтальною проекцією відстані від нижчої горизонталі до точки *B* місцевості. За подібними трикутниками (рис. 2.5):

$$\frac{\Delta h}{a} = \frac{h}{d}, \qquad \Delta h = h\frac{a}{d}. \qquad (2.5)$$

Для того, щоб визначити висоту точки *B*, необхідно до висоти нижчої горизонталі $H_o$ додати перевищення $\Delta h$:

$$H_B = H_o + \Delta h = H_o + \frac{a}{d} \cdot h = H_o + a \cdot i\,. \qquad (2.6)$$

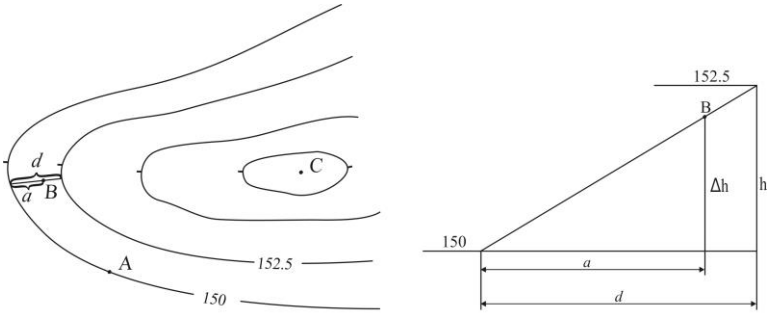



Рис. 2.5. Визначення висот точок за горизонталями

Якщо точка *C* знаходиться в середині замкненої горизонталі або між горизонталями з однаковими висотами, її висоту визначають за формулою:

$$H_C = H_г \pm \frac{h}{2}, \qquad (2.7)$$

де $H_г$ – висота замкненої горизонталі, або горизонталі, що має однакову висоту; *h* – висота перерізу рельєфу, яка додається, якщо точка знаходиться на вершині гори і віднімається, якщо точка є на дні котловини.

### *2.3.5. Визначення крутизни схилу*

***Кутом нахилу (v)*** називається кут між лінією місцевості і горизонтальною площиною. Кути нахилу ліній можуть бути додатніми або від'ємними, вони позначаються знаками „+” (плюс) і „–” (мінус).

Проте для характеристики нахилу земної поверхні до рівневої використовують величину ухил лінії (*i*).

Нехай лінія місцевості *AB* нахилена до горизонту під кутом *v* (рис. 2.6). Тангенс цього кута, або відношення перевищення між початковою і кінцевою точкою до горизонтального закладення між ними називається *ухилом лінії*:

$$i = \frac{h}{d} = tg\nu \,. \qquad (2.8)$$

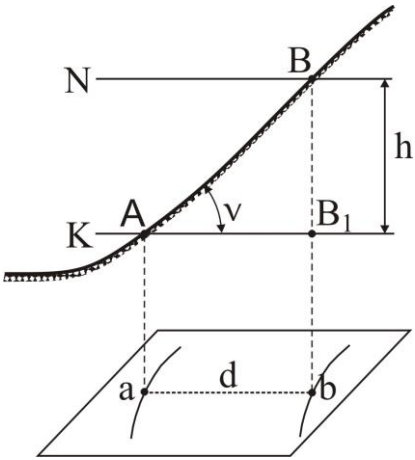


Рис. 2.6. Визначення крутизни схилу

Наприклад, якщо $h = 1$ *м*, а $d = 20$ *м*, то

$$i = h/d = 1/20 = 0.05 = 5.0\%. \qquad (2.9)$$

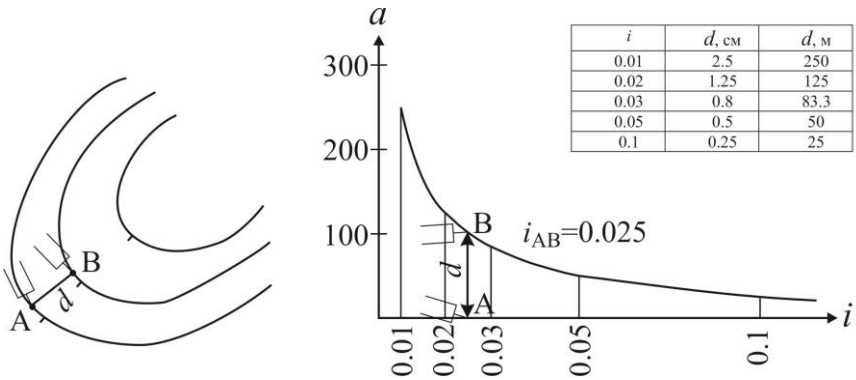
Якщо прийняти $d = 1$ *м*, то отримаємо:

$$i = h/d = h. \qquad (2.10)$$

Тобто ***ухил лінії*** – це перевищення, яке припадає на одиницю горизонтальної відстані. Ухил $i$ = 0.05 вказує на те, що лінія місцевості піднімається (знижується) на *5 см* через кожний метр, або на *5 м* через кожні *100 м* горизонтальної відстані.

При великій кількості ухилів, значення яких необхідно знайти за планом (картою), доцільно користуватись *масштабом закладання* (рис. 2.7), за яким за заданим закладанням $d$ графічно визначають ухил $i$. Для побудови масштабу закладання на горизонтальній осі „$i$” відкладають довільно рівні відрізки, які підписують. Через всі точки на осі „$i$” проводять вертикальні прямі, на яких відкладають в масштабі плану відповідне закладання „$d$” (2.11). Кінці відкладених відрізків з’єднують плавною кривою. Отриманий у такий спосіб графік є масштабом закладення.

$$d = \frac{h}{i}. \qquad (2.11)$$




| $i$ | $d$, см | $d$, м |
|---|---|---|
| 0.01 | 2.5 | 250 |
| 0.02 | 1.25 | 125 |
| 0.03 | 0.8 | 83.3 |
| 0.05 | 0.5 | 50 |
| 0.1 | 0.25 | 25 |

Рис. 2.7. Масштаб закладень для визначення ухилів на картах масштабу 1:10000, при $h = 2.5$ *м*

Взявши вимірником шуканий відрізок з карти (плана) *d*, переносять його на графік, нижню ніжку вимірника переміщають вздовж осі „*i*” до тих пір, поки верхня ніжка не досягне кривої. За положенням ніжки вимірника на осі „*i*” відраховують відповідний ухил. Якщо кінець відрізка не знаходиться на горизонталі, продовжують його до перетину з горизонталлю, знімають вимірником відстань між горизонталями і за графіком визначають ухил.

### *2.3.6. Побудова лінії із заданим ухилом*

Задача побудови лінії заданого ухилу на плані (карті) досить часто постає при проектуванні доріг, трубопроводів, каналізації тощо та має назву ***камеральне трасування лінії.*** Припустимо, що з точки *D* потрібно провести найкоротшу лінію в точку *C* так, щоб ухили окремих її ділянок не перевищували *0.05* (рис. 2.8). Так як горизонталі проведені на плані через *1 м* , то при дотриманні вимоги ухилу $i = 0.05$, відстань між сусідніми горизонталями не повинна перевищувати $d = h/i = 20$ *м*. Далі беруть вимірником в масштабі плану відстань *20 м* і роблять засічку цим радіусом з точки *D* на сусідній горизонталі, з отриманої точки $P_1$ знову засікають наступну горизонталь і т.д. В результаті можна отримати кілька варіантів вирішення задачі, за шуканий варіант приймають ту лінію, яка має найбільше збігання із вказаним напрямком.

### *2.3.7. Побудова профілю за заданим напрямком*

***Профіль*** це зменшене зображення вертикального розрізу місцевості за даним напрямком. Нехай потрібно побудувати профіль на карті за лінією $OO_1$. Сполучають ці точки і відмічають перетин прямої $OO_1$ з горизонталями плану (*1, 2, 3, 5, 6, 7*) та характерною точкою рельєфу (*4*) (рис. 2.8). Висоти цих точок відомі і рівні висотам відповідних горизонталей, або отримані інтерполяцією.

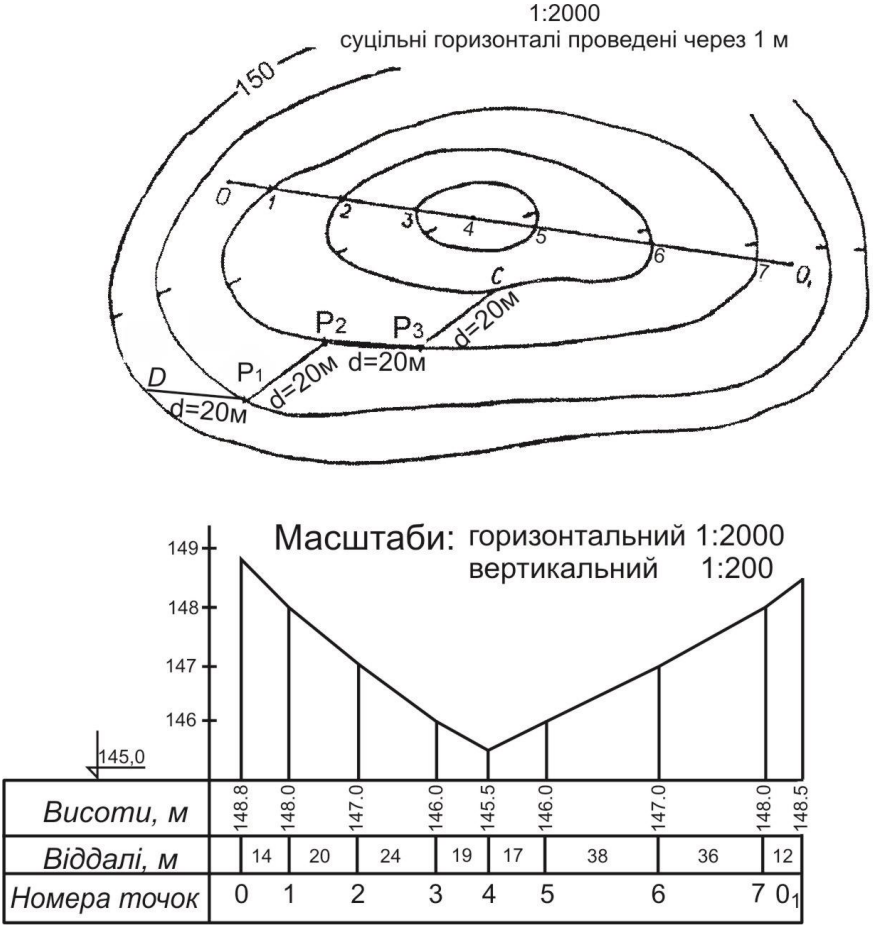



Рис. 2.8. Побудова профілю місцевості за даним напрямком

На аркуші паперу будують графи віддалей, висот і номерів точок. У графу віддалей переносять з карти точки перетину з горизонталями та характерними точками і записують довжини інтервалів між ними на місцевості (в метрах). У графу висот записують значення висот у точках перетину і від лінії умовного горизонту будують перпендикуляри, відкладаючи на них висоти у вертикальному масштабі. З'єднавши кінці перпендикулярів ламаною лінією одержують профіль місцевості. Відстані між точками *1, 2, 3, ... 7* відкладають в масштабі плану, а висоти точок – в масштабі у *5-10* разів крупнішому, для того, щоб виразити профіль місцевості більш рельєфно.

**Запитання для самоконтролю:**

1. Види умовних позначень.
2. Дайте визначення Рельєф.
3. Основні форми рельєфу.
4. Характерні точки та лінії рельєфу.
5. Горизонталі та їх властивості.
6. Дайте визначення Висота перерізу рельєфу.
7. Визначення довжин ліній за картою.
8. Визначення прямокутних координат точок за картою.
9. Нанесення точок за прямокутними координатами.
10. Визначення висот точок.
11. Визначення крутизни схилу.
12. Поняття про кут нахилу та ухил лінії.
13. Побудова лінії із заданим ухилом.
14. Дайте визначення Профіль.
15. Побудова профілю за заданим напрямком.

# ТЕМА 3. СУТЬ ТА МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ. БУДОВА НІВЕЛІРІВ ТА РЕЙОК

## *3.1. Види нівелювання*

Інженерні вишукування, будівництво споруд, супроводжуються визначенням висот точок земної поверхні. Сукупність дій на місцевості, внаслідок яких визначаються висоти точок, називається ***нівелюванням*** (вертикальним зніманням).

*Нівелювання* походить від французького дієслова niveler – зрівнювати. У процесі нівелювання знаходять різниці висот (перевищення) точок, за даною висотою початкової точки і за перевищенням, отримують висоти всіх інших точок місцевості. Визначення перевищень точок на місцевості може бути виконане горизонтальним або нахиленим променем зорової труби. Перший спосіб базується на теоремах геометрії і тому називається ***геометричним нівелюванням***, в другому способі перевищення визначають за формулами тригонометрії – ***тригонометричне нівелювання***.

Нівелювання можна виконувати також за допомогою барометра, воно базується на законах фізики і називається ***барометричним***. При барометричному нівелюванні використовують різницю повітряного тиску на різних за висотою над рівневою поверхнею точках.

***Гідростатичне*** нівелювання базується на властивості сполучених посудин. Перевищення між точками визначають як різницю рівнів рідини в посудинах. Як правило, відстань між точками, висоти яких визначають, обмежена довжиною з’єднувального шлангу між посудинами і досягає кількох десятків метрів.

***Механічне*** нівелювання, виконують нівелірами-автоматами, базується на дії виска. Під час руху на місцевості, автоматично викреслюється її рельєф.

***Фотограмметричне*** нівелювання виконують спеціальними приладами – фототеодолітами, шляхом обробки стереоскопічної пари фотознімків.

***Аеронівелювання*** виконують з літака за допомогою радіовисотоміра і статоскопа – приладів які дають можливість визначити висоту літака.

З перелічених вище способів, більш точним є геометричне нівелювання. Сьогодні найбільш прогресивним є метод автономного визначення висот точок ***системою GPS***.

### *3.2. Геометричне нівелювання*

В інженерній практиці при визначенні перевищень і висот точок на станції застосовують геометричне нівелювання. Перевищення між двома точками при цьому виді нівелювання визначається за допомогою горизонтального променя. Розрізняють два способи геометричного нівелювання: „*із середини”* та „*вперед”* (рис. 3.1).

При нівелюванні „із середини” в точках *1* і *2* місцевості встановлюють рейки, а приблизно по середині – нівелір (рис. 3.1 а). Таке робоче положення нівеліра і рейки при нівелюванні, називають ***станцією.*** При виконанні нівелювання в напрямку від точки *1* до точки *2*, рейку в точці *1* вважають *задньою* за рухом, а в точці *2 – передньою*.

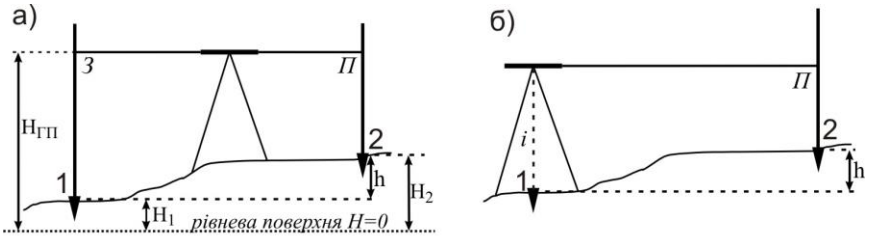



Рис. 3.1. Визначення висот точок:
а) нівелюванням „із середини”; б) нівелюванням „вперед”

<u>Основна формула геометричного нівелювання</u>:

$$h = З - П. \qquad (3.1)$$

Перевищення між двома точками $h$ дорівнює різниці відліку на задню рейку *З* та відліку на передню рейку *П*. Перевищення, отримане із знаком плюс, означає що точка 2 знаходиться вище від точки *1*, а зі знаком мінус – навпаки.

Висоту точки 2 знаходять за формулою:

$$H_2 = H_1 + h, \qquad (3.2)$$

де: $H_2$ та $H_1$ – відповідно абсолютні висоти *2-ї* та *1-ї* точок, $h$ – перевищення між ними.

Висота візирної лінії нівелювання відносно рівневої поверхні, називається ***горизонтом приладу ГП.***

$$ГП = H_1 + З = H_2 + П. \qquad (3.3)$$

Горизонт приладу *ГП* дорівнює висоті точки плюс відлік, знятий за чорним боком рейки в цій точці. Висота точки *2* дорівнює горизонту приладу *ГП* мінус відлік, знятий за чорною рейкою, встановлену в цій точці:

$$H_2 = ГП – П. \qquad (3.4)$$

При нівелюванні „вперед” (рис. 3.1 б) нівелір встановлюють на точці *1*, вимірюють висоту приладу *i* (відстань від верха кілочка, забитого в точці *1* до візирної осі нівеліра) і, за допомогою горизонтального променя, знімають відлік *П* за передньою рейкою:

$$ГП = H_1 + i\,, \qquad (3.5)$$

$$H_2 = ГП - П = H_1 + i – П, \qquad (3.6)$$

$$h = i – П. \qquad (3.7)$$

Перевищення між точками *1* і *2* дорівнює висоті приладу, мінус відлік, знятий за передньою рейкою.

Якщо робота виконується нівелюванням точок лише на одній станції, таке нівелювання називають ***простим***. Якщо для визначення перевищень нівелір встановлюють декілька разів, таке нівелювання називають ***послідовним*** або ***складним*** (рис. 3.2). В даному випадку загальне перевищення між точками *1* і *4* буде дорівнювати алгебраїчній сумі окремих перевищень:

$$\sum h = h_1 + h_2 + h_3 + ... + h_n. \qquad (3.8)$$

Геометричне нівелювання може виконуватись з різною точністю, і в залежності від точності ділиться на нівелювання *I, II, III, IV класів* і *технічне нівелювання*. Нівелювання, пов’язане з проектуванням і будівництвом інженерних споруд має загальну назву ***технічного нівелювання.***

Точність технічного нівелювання визначають за формулою:

$$f_{h\ доп} = \pm 50 мм \sqrt{L}\,, \qquad (3.9)$$

де $L$ – довжина нівелірного ходу в км.

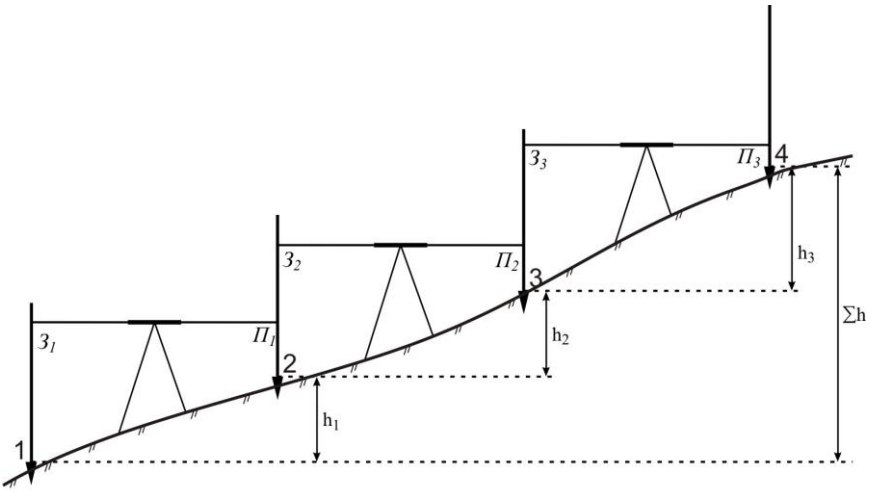



Рис. 3.2. Визначення висот точок послідовним нівелюванням

### *3.3. Будова нівелірів*

***Нівелір*** – оптико-механічний прилад, що призначений для виконання геометричного нівелювання. За допомогою нівеліра визначають перевищення між точками і висоти точок земної поверхні, тобто виконують нівелювання (вертикальне знімання), а також можливе визначення відстані від нівеліра до рейки.

Нівеліри класифікують за різними критеріями:

а) за точністю:

- високоточні: Н-О5, NI002;
- точні: Н-2, Н-3;
- технічні: НТ.

б) за конструкцією:

- нівеліри, візирна вісь яких в горизонтальне положення встановлюється за допомогою циліндричного рівня: Н-О5, Н-2. НТ, Н-3.
- нівеліри з компенсаторами: NI002, NI007.
- нівеліри з похилим променем візування: НЛС.

Нівеліри Н-3 і Н-3К належать до точних нівелірів, літера *Н* – означає нівелір, цифра *3* – значення середньої квадратичної похибки визначення перевищень (в мм) нівелірним ходом, довжиною

*1* кілометр. У нівелірах Н-3 горизонтальність візирного променя забезпечується циліндричним рівнем, а в нівелірах Н-3К – компенсатором.

Нівелір має *4 основні осі* (рис. 3.3):

$ZZ_1$– *вісь обертання нівеліра*;

$VV_1$ – *візирна вісь зорової труби*, проходить через центр об'єктива і центр сітки ниток;

$КК_1$ – *вертикальна вісь круглого рівня*, проходить через нуль-пункт шкали рівня;

$UU_1$ – *вісь циліндричного рівня*, яка є дотичною до поверхні бульбашки рівня, коли вона знаходиться в нуль-пункті.

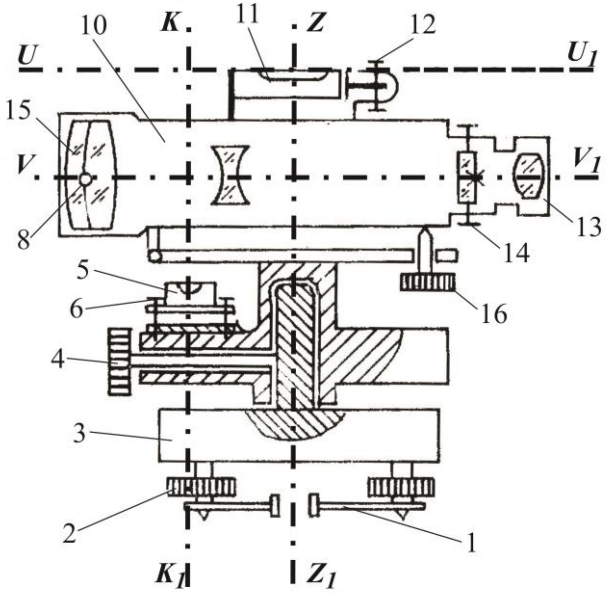



Рис. 3.3. Будова нівеліра з циліндричним рівнем та його осі

<u>Будова нівеліра Н-3</u> (рис. 3.4):

1 - *пружна пластина* для кріплення нівеліра на штативі;

2 - *підйомні гвинти*, для приведення осі круглого рівня $КК_1$ у вертикальне положення;

3 - *підставка з колонкою* – нерухома частина нівеліра ;

4 - *закріпний гвинт* для фіксації зорової труби;

5 - *круглий рівень* для приведення осі нівеліра $ZZ_1$ у вертикальне положення;
6 - *виправні гвинти круглого рівня*;
7 - *кремальєра (фокусуючий гвинт)* – для фокусування зображення у зоровій трубі;
8 - *візир (мушка)* – для грубого наведення зорової труби на рейку;
9 - *навідний (мікрометричний) гвинт* – для точного наведення зорової труби на рейку;
10 - *зорова труба*;
11 - *циліндричний рівень* – для приведення візирної осі $VV_1$ у горизонтальне положення;
12 - *виправні гвинти циліндричного рівня*;
13 - *окуляр*, його обертання наводить чіткість зображення сітки ниток;
14 - *виправні гвинти сітки ниток*;
15 - *об'єктив*;
16 - *елеваційний гвинт* – для приведення осі циліндричного рівня $UU_1$ у горизонтальне положення.

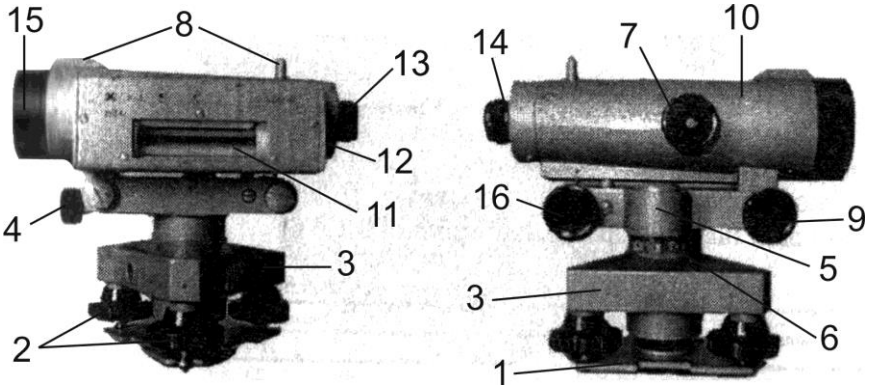


Рис. 3.4. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3

Особливістю будови *нівеліра з компенсатором* є наявність ***компенсатора*** – пристрою, який автоматично встановлює промінь візування у горизонтальне положення за невеликих нахилів зорової труби.

Основними частинами нівеліра Н-3К (рис. 3.5) є:
1 - *піднімальні гвинти*;

2 - *круглий рівень*;
3 - *дзеркало* – для підсвічування круглого рівня;
4 - *підставка нівеліра*;
5 - *зорова труба з компенсатором* всередині;
6 - *окуляр*;
7 - *об'єктив*;
8 - *фокусуючий гвинт (кремальєра)*;
9 - *навідний (мікрометричний) гвинт*.

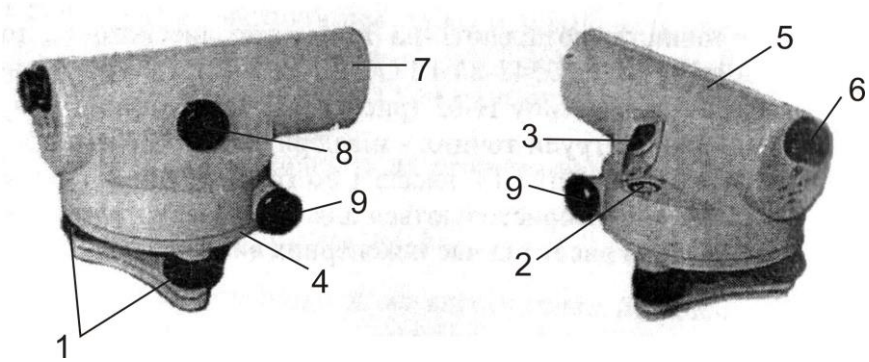


Рис. 3.5. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3К

У нівелірі Н-3К відсутні циліндричний рівень і елеваційний гвинт, тому що візирна вісь встановлюється автоматично в горизонтальне положення призмовим компенсатором (при кутах нахилу до *15'*).

<u>*Цифрові нівеліри.*</u> Автоматичні цифрові нівеліри (Trimble DiNi 12, 12T) призначені для простої та ефективної роботи, особливо для створення висотної основи або в інженерних роботах. Нівеліри дозволяють записувати точні вимірювання висот у мінімальний час. Вони зчитують і записують дані в цифровій формі, тому похибки спостерігача виключаються. Цифрові нівеліри дають можливість швидко вимірювати віддалі від них до рейок, що гарантує виконання вимог інструкцій.

<u>*Нівелір лазерний.*</u> Нівелір, в якому візирна вісь замінена або дублюється лазерним променем. Лазерні нівеліри також поділяють умовно на три групи: з рівнем, компенсатором та з обертовим лазерним пучком. Найчастіше застосовуються нівеліри з обертовим лазерним пучком. Лазерний промінь за допомогою обертового

оптичного блоку спрямовують горизонтально і розгортають у горизонтальну світлову площину – горизонт нівелювання. Відлічування з рейки виконують за геометричним центром світлової плями візуально або за допомогою фотоелектронного блока. Типи: СКП-1 (СССР), Геоплан (Швеція). Похибка стабілізації опорної площини становить *1″- 2″* або *5″- 10″*; похибка відлічування рейки *0,1- 0,5 мм* на відстані до *50 м*.

### *3.4. Будова нівелірних рейок*

Нівелірна рейка служить мірним приладом для визначення перевищення при геометричному нівелюванні. Для виконання нівелювання застосовують рейки трьох типів: високоточні (РН-0.5), точні (РН-3) і технічні (РН-10). Літера „*Р*” – рейка, „*Н*” – нівелірна, цифри вказують величину середньої квадратичної похибки (в мм) на *1* кілометр нівелірного ходу. Для нівелювання *I, II* та *III* класів використовуються суцільні рейки з круглим рівнем. У складних рейках після цифр додається літера „*С*” (РН-10С).

У комплект нівеліра входять дві однотипні нівелірні рейки. Рейки РН-3 і РН-10 виготовляють з дерева хвойних порід цільними або складеними. Нижня частина рейки називається *п’яткою*. До неї прибита металева пластинка, товщиною *2 мм*.

*Рейки РН-10* – двобічні, тобто мають з двох боків поділки, нанесені у вигляді сантиметрових стовпчиків чорного і білого, або червоного і білого (на зворотній стороні) кольорів. З одного боку рейки поділки нанесені чорним кольором на білому фоні (чорний бік), а з другого – червоним кольором на білому фоні (червоний бік). З чорного боку початок відліку починається від нуля, а з червоного боку відліки починаються від певного числа, наприклад *4687*. Перші *5* стовпчиків об’єднані вертикальною лінією (у вигляді літери **Е**) для зручності зняття відліків. Десять поділок становлять дециметр, який підписується двозначним числом (рис. 3.6). Початок кожного дециметра фіксується тонким горизонтальним штрихом , від якого і будується п’ятисантиметрова фігура у вигляді літери „**Е**”.

Різниця відліків, знятих з червоного та чорного боків однієї і тієї ж рейки – величина постійна і називається ***п’яткою рейки.***

$$P = a_{чер} - a_{чор}. \qquad (3.10)$$

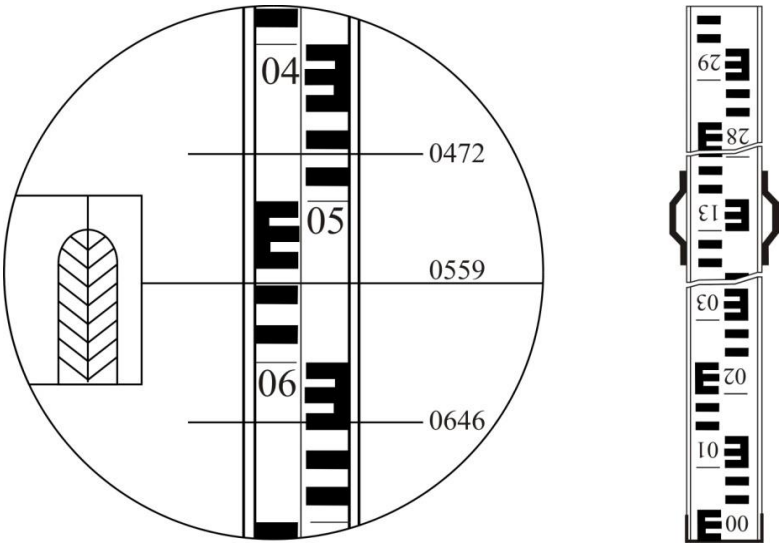


Рис. 3.6. Поле зору труби нівеліра Н-3 та вигляд нівелірної рейки РН-10 з оберненим зображенням

Для встановлення рейки в вертикальне положення, до рейки прикріплюють круглий рівень або висок. В робочому положенні рейку утримують за допомогою двох ручок. Рейку встановлюють п’яткою на кілок або репер. Виготовляють рейки довжиною *1.5, 3.0* і *4.0 м*. В стиснених умовах користуються спеціальними рейками, довжиною *0.8* і *1.0* м.

Зняття відліків з нівелірної рейки.

У полі зору труби (рис. 3.6) видно: горизонтальні штрихи сітки ниток; середній, верхній і нижній (верхній і нижній – називають ще віддалемірними, оскільки вони використовуються для визначення відстані до рейки)та вертикальний штрих; а також кінці бульбашки циліндричного рівня і рейку з поділками.

Перед зніманням відліку з рейки необхідно:

1) встановити нівелір на штатив і за допомогою піднімальних гвинтів вивести бульбашку круглого рівня на середину (в нуль-пункт);

2) приблизно навести зорову трубу на рейку за допомогою візира та зафіксувати напрям наведення закріпним гвинтом;

3) досягнути чіткого зображення рейки в полі зору труби за допомогою фокусуючого гвинта;

4) досягнути чіткого зображення сітки ниток в полі зору труби за допомогою обертання окуляра;

5) точно навести зорову трубу на рейку (сумістити вертикальний штрих сітки ниток з центром рейки) за допомогою навідного гвинта;

6) привести бульбашку циліндричного рівня на середину за допомогою елеваційного гвинта. При цьому зображення кінців бульбашки циліндричного рівня в полі зору труби повинні утворити параболу (рис. 3.6).

Відлік з рейки знімається в міліметрах і складається з чотирьох значущих цифр. Відлік являє собою відстань від нуля шкали рейки до променя даного штриха сітки. Перші дві цифри – номер дециметра, третя – число повних сантиметрових стовпчиків від початку дециметра до даного штриха, четверта – десяті долі наступного сантиметрового стовпчика, що перерізаний відповідним штрихом (знімаються на око). Увага – оскільки зображення в полі зору нівеліра обернене, то відліки знімаються зверху вниз.

В нашому випадку маємо на рис. 3.6 – за верхнім штрихом – *0472*, за середнім – *0559*, за нижнім – *0646* мм.

За допомогою віддалемірних штрихів сітки ниток (верхній та нижній) можна визначати віддалі від нівеліра до рейки. Віддалемірні відстані вираховують як різниці між відліками за нижнім та верхнім штрихами (у нівелірів з прямим зображенням навпаки – верхній мінус нижній), помножених на коефіцієнт віддалеміра ($K=100$):

$$D= (a_{ниж}-a_{вер})K. \qquad (3.11)$$

У нашому випадку на рис. 3.6: $D=(646-472)\cdot 100=17400$ *мм* $=$ *17,4 м*.

**Запитання для самоконтролю:**

1. Види нівелювання.
2. Способи геометричного нівелювання.
3. Визначення перевищення між точками.
4. Будова нівеліра Н-3.
5. Будова нівеліра Н-3К.
6. Будова нівелірних рейок.
7. Знімання відліку з рейки.

# ТЕМА 4. ПЕРЕВІРКИ НІВЕЛІРІВ. ТРИГОНОМЕТРИЧНЕ, ГІДРОСТАТИЧНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

## *4.1. Загальні поняття про перевірки*

***Перевіркою приладу*** називають сукупність експериментальних операцій, які направлені на здійснення контролю його метрологічної справності.

***Перевірки нівелірів*** – це операції, спрямовані на встановлення правильності взаємного розміщення частин інструмента. Якщо в процесі виконання перевірок виявляють невідповідності, їх усувають за допомогою виправлення (юстирування). Перевірки виконують лише за певних умов зовнішнього середовища.

Перевірки приладів слід подавати в такій послідовності:

1) назва перевірки;

2) геометрична умова, що перевіряється;

3) виконання перевірка;

4) виправлення (юстирується) приладу.

Варто зауважити, що перевірки необхідно виконувати в строгій послідовності.

***Умови проведення перевірок***

1. Прилади, які перевіряються і засоби перевірки повинні бути завчасно підготовлені до проведення перевірок. Перед початком перевірок необхідно перевірити зовнішній стан і комплектність приладу, а також працездатність всіх його частин.

2. Перед початком перевірки геодезичні прилади і засоби перевірки повинні бути приведені в робочий стан у відповідності до інструкцій з їх експлуатації.

3. При виконанні перевірок в приміщенні, або в польових умовах повинні виконуватись наступні вимоги:

а) температура навколишнього повітря повинна бути в межах температурного діапазону роботи приладу;

б) зміна температури навколишнього повітря повинна бути не більшою *3°С* в годину;

в) відносна вологість повинна бути не більшою *90 %*;

г) швидкість вітру не повинна перевищувати *4 м/с*;

д) у польових умовах на прилад не повинні попадати прямі сонячні промені.

4. При проведенні перевірок повинні виконуватись правила роботи з вимірними приладами, а також правила з техніки безпеки.

### *4.2. Перша перевірка*

*Назва перевірки.* **Перевірка круглого рівня.**

*Умова, що перевіряється. Вісь круглого рівня ($KK_1$) повинна бути паралельною до осі обертання нівеліра ($ZZ_1$).*

*Виконання перевірки.* Встановлюють зорову трубу нівеліра паралельно до двох піднімальних гвинтів, якими виводять бульбашку круглого рівня на середину. При необхідності, третім піднімальним гвинтом підправляють положення бульбашки круглого рівня. Повертають зорову трубу на *180°* (рис. 4.1). Вимога – бульбашка круглого рівня повинна бути на середині (у нуль-пункті).

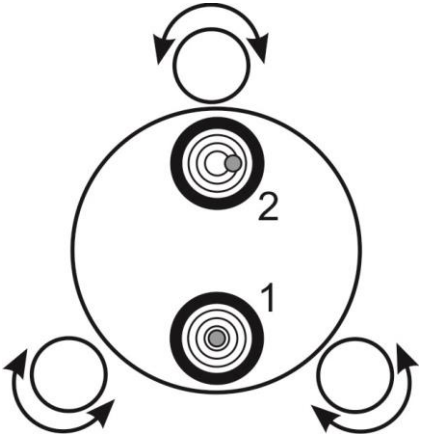


Рис. 4.1. Перевірка круглого рівня

*Виправлення (юстирування) приладу.* Якщо бульбашка зійшла з середини, то проводять юстирування. Для цього виправними гвинтами круглого рівня повертають бульбашку на половину дуги її відхилення до середини, а решту дуги (тобто на середину), виводять піднімальними гвинтами.

### *4.3. Друга перевірка*

*Назва перевірки.* **Перевірка сітки ниток.**

*Умова, що перевіряється. Вертикальна нитка сітки ниток повинна бути вертикальною (паралельною до осі обертання нівеліра ($ZZ_1$), а горизонтальна – горизонтальною.*

*Виконання перевірки.* Встановлюють вісь обертання нівеліра ($ZZ_1$) в вертикальне положення (бульбашка круглого рівня приведена в нуль-пункт). Далі візують прилад на нитку виска, що підвішений на відстані *20-25* метрів від нівеліра у захищеному від вітру місці. Вертикальна нитка сітки повинна співпадати з ниткою виска за всією довжиною (рис. 4.2).

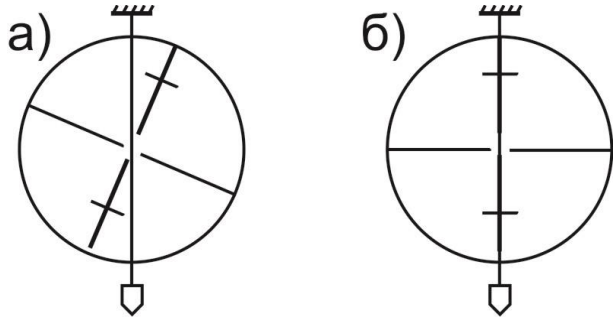



Рис. 4.2. Перевірка сітки ниток

*Виправлення (юстирування) приладу.* Якщо вертикальна нитка сітки ниток не співпадає з ниткою виска, викруткою відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і послаблюють виправні гвинти діафрагми. Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Не закріплюючи гвинтів діафрагми, приставляють окуляр і остаточно перевіряють положення сітки ниток. Якщо сітки співпадають, закріплюють гвинти діафрагми, прикручують окуляр, та повторюють перевірку.

### *4.4. Третя перевірка*

*Назва перевірки.* **Перевірка головної геометричної умови нівеліра.** Для нівелірів Н-3 і Н-3К вона відрізняється, тому розглянемо їх окремо.

***Нівелір Н-3:***

*Умова, що перевіряється. Вісь циліндричного рівня $UU_1$ повинна бути паралельною до візирної осі зорової труби $VV_1$.*

*Виконання перевірки.* Перевірка виконується подвійним нівелюванням: з середини та вперед. На місцевості закріплюють дві точки *A* та *B* на відстані одна від одної приблизно *70-80 м* (рис. 4.3, а). Нівелір встановлюють строго посередині між точками *A* і *B*, приводять в робоче положення та знімають відліки з чорних боків рейок встановлених на цих точках – $a_1^{чор}$ і $b_1^{чор}$ за середнім штрихом сітки ниток. Після цього рейки на точках повертають навколо своєї осі та знімають відліки за червоними боками рейок – $a_1^{чер}$ і $b_1^{чер}$. За знятими відліками обчислюють *перевищення* за чорним та червоним боками: від *відліку за задньою рейкою віднімають відлік за передньою рейкою*, тобто:

$$h_1^{чор} = a_1^{чор} - b_1^{чор},$$
$$h_1^{чер} = a_1^{чер} - b_1^{чер}. \qquad (4.1)$$

За остаточне значення перевищення $h_1$ беруть середнє з обчислених перевищень за чорним та червоним боками.

$$h_1^{сер} = (h_1^{чор} + h_1^{чер})/2. \qquad (4.2)$$

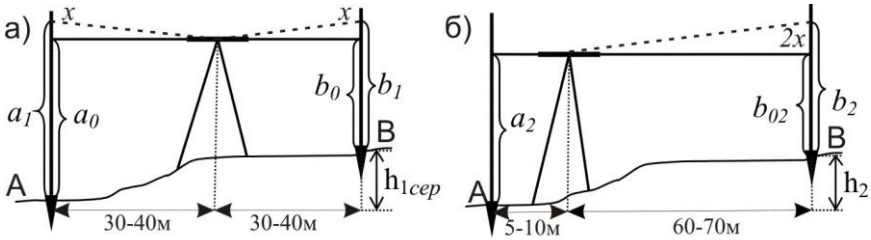



Рис. 4.3. Перевірка головної умови нівеліра:
а) нівелювання з середини; б) нівелювання вперед

Після цього нівелір переносять та встановлюють ближче до задньої рейки так, щоб відстань до неї була приблизно *5-10 м* (рис. 4.3, б). Приводять прилад у робоче положення та знімають відліки на задній і передній рейках за чорним – $a_2^{чор}$ та $b_2^{чор}$ та червоним – $a_2^{чер}$ та $b_2^{чер}$ боками. Після чого обчислюють *перевищення* за чорним та червоним боками:

$$h_2^{чор} = a_2^{чор} - b_2^{чор},$$
$$h_2^{чер} = a_2^{чер} - b_2^{чер}. \qquad (4.3)$$

За остаточне значення перевищення $h_2$ приймають середнє з обчислених перевищень за чорним та червоним боками.

$$h_2^{сер} = (h_2^{чор} + h_2^{чер})/2. \qquad (4.4)$$

Перевищення $h_1$ визначене за нівелюванням з середини буде правильним, оскільки в такому випадку компенсується похибка за непаралельність осі циліндричного рівня до візирної осі. Адже з рис. 4.3:

$$a_1 = a_0 + x,$$
$$b_1 = b_0 + x. \qquad (4.5)$$

Тоді:

$$h_1 = a_1 - b_1 = (a_0 + x) - (b_0 + x) = a_0 - b_0. \qquad (4.6)$$

При нівелюванні способом вперед перевищення $h_2$ буде правильним, лише при виконанні головної геометричної умови нівеліра. Тому обчислюють різницю перевищень (похибку) за формулою:

$$2x = h_1^{сер} - h_2^{сер}. \qquad (4.7)$$

Якщо $\left| h_1^{сер} - h_2^{сер} \right| \le 4$ *мм*, то умова перевірки виконана, якщо $\left| h_1^{сер} - h_2^{сер} \right| > 4$ *мм*, то виконують виправлення.

*Виправлення (юстирування) приладу.* При виправленні прилад лишають в останньому положенні (спосіб вперед), та обчислюють безпомилковий відлік $b_{02}^{чор}$ за однією з формул:

$$b_{02}^{чор} = a_2^{чор} - h_1^{сер}, \qquad (4.8)$$

$$b_{02}^{чор} = b_2^{чор} - 2x = b_2^{чор} - (h_1^{сер} - h_2^{сер}). \qquad (4.9)$$

За допомогою елеваційного гвинта середню нитку сітки встановлюють на обчислений відлік $b_{02}^{чор}$. В цьому випадку бульбашка циліндричного рівня зійде з нуль-пункту. Повертають виправні гвинти циліндричного рівня так, щоб бульбашка знову стала в нуль-пункт. Після виправлення перевірку повторюють.

***Нівелір Н-3К:***

*Умова, що перевіряється. Візирна вісь зорової труби нівеліра $VV_1$, встановленого в робоче положення повинна бути горизонтальною.*

*Виконання перевірки.* Перевірка виконується точно так само як і для нівеліра Н-3.

*Виправлення (юстирування) приладу.* Після визначення правильного відліку (4.8) або (4.9), в нівелірі відкручують ковпачок в окулярній частині, послаблюють закріпні гвинти діафрагми з сіткою ниток, та суміщають середній штрих сітки ниток з правильним відліком, після чого перевірку повторюють.

### *4.5. Перевірки та дослідження рейок*

Для нівелірних рейок передбачені такі перевірки:

1. Визначення похибок дицеметрових поділок;
2. Визначення довжин метрових інтервалів;
3. Визначення стрілки прогину рейки;
4. Визначення різниці нулів червоного та чорного боків рейок (знаходження п’ятки рейки);
5. Перевірка паралельності осі круглого рівня до осі рейки (для рейок з рівнем).

Потрібно зазначити що перевірки і нівелірів і нівелірних рейок виконуються згідно відповідних затверджених інструкцій.

### *4.6. Тригонометричне нівелювання*

***Тригонометричне нівелювання*** – це визначення перевищення похилим променем візування і базується на законах тригонометрії. Воно виконується за допомогою теодоліта. Для визначення перевищення необхідно виміряти кут нахилу лінії $v$ та відстань $D$ (рис. 4.4). Тригонометричне нівелювання є менш точним, ніж геометричне, але широко застосовується при топографічних зніманнях місцевості і при вирішенні різних інженерних задач, оскільки дозволяє швидко визначити перевищення довільних точок на значній відстані.

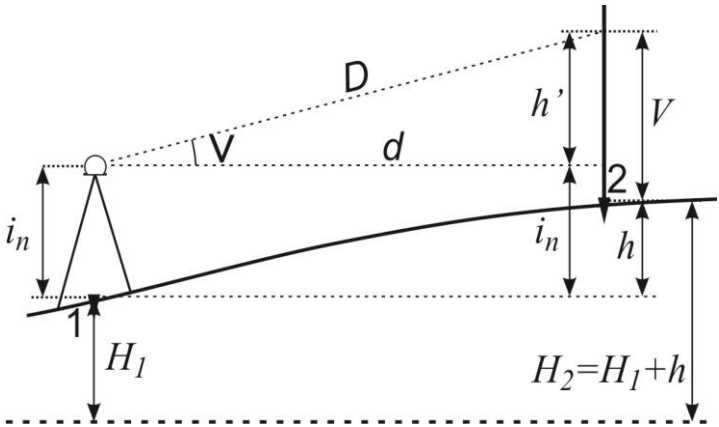


Рис. 4.4. Тригонометричне нівелювання

У тригонометричному нівелюванні необхідно знайти перевищення між точками *1* та *2* – *h*. Як видно з рис. 4.4:

$$h + V = h' + i_n, \tag{4.10}$$

$$h = h' + i_n - V, \tag{4.11}$$

де: $h'$ – попереднє перевищення, $i_n$ – висота приладу, $V$ – висота неведення візирного променя на рейку на *2* точці.

Висота приладу $i_n$ та висота наведення $V$ визначаються під час постережень, а попереднє перевищення $h'$ визначають за формулою (рис. 4.4):

$$h' = d\ tg\ v\ , \tag{4.12}$$

де $d$ – горизонтальне закладання, $v$ – кут нахилу візирного променя (вертикальний кут визначають за допомогою теодоліта).

Проте при спостереженнях ми визначаємо не горизонтальне закладання $d$, а відстань до рейки $D$. Горизонтальне закладання визначають за формулою:

$$d = D\ cos^2 v. \tag{4.13}$$

Використовуючи тригонометричні перетворення та формули (4.11), (4.12) і (4.13) отримаємо перевищення:

$$h = \frac{1}{2} D\ sin\ 2\nu + i - V\ . \tag{4.14}$$

Потрібно сказати, що формули (4.13) і (4.14) є основними у тригонометричному нівелюванні. Висоту точки *2* визначають за формулою:

$$H_2 = H_1 + h. \tag{4.15}$$

Тригонометричне нівелювання виконують в такій послідовності:

1. Над точкою *1* встановлюємо та центруємо теодоліт і приводимо його в робочий стан;
2. Вимірюємо рулеткою чи рейкою висоту приладу $i_n$ – це відлік від верха кілочка точки *1* до осі обертання зорової труби;
3. Наводимо трубу на рейку, яка встановлена у точці *2*. Знімаємо відлік *V* за середньою ниткою з рейки (відлік *V*- висота наведення);
4. Визначаємо кут нахилу *v*;
5. За нитковим віддалеміром визначаємо відстань до рейки *D*;
6. Обчислюємо перевищення *h* за формулою (4.14);
7. Обчислюємо висоту точки *2* за формулою (4.15).

### *4.7. Гідростатичне нівелювання*

*Гідростатичне нівелювання* при будівельно-монтажних і вимірювальних роботах виконують за допомогою *водяного нівеліра*, який складається із двох скляних трубок, вставлених в оправки (рейки) і з'єднаних між собою гумовим шлангом, довжиною *10-20* метрів. На оправі нанесені міліметрові або сантиметрові поділки, нуль яких суміщений з низом (п'яткою) оправи. За законом сполучених посудин рідина в трубках встановиться на одному рівні. Тому якщо поставити оправки на дві точки, то перевищення буде дорівнювати різниці відліків рідини в трубках (рис. 4.5).

Виходячи з вищенаведеного перевищення буде дорівнювати:

$$h = a_з - a_п, \qquad (4.16)$$

де $a_з$ і $a_п$ – відліки рідини в задній і передній посудинах. А висота визначається за формулою:

$$H_п = H_з + h\,. \qquad (4.17)$$

Якщо $l_з$ і $l_п$ – висоти посудин, то висоти стовпців рідини можна визначити як:

$$a_з = l_з - c_з \quad \text{та} \quad a_п = l_п - c_п\,. \qquad (4.18)$$

Тоді перевищення *h* знаходять як:

$$h = a_з - a_п = (c_п - c_з) - (l_п - l_з), \qquad (4.19)$$

де $(l_п - l_з) = MO$ – місце нуля даного приладу, тоді перевищення визначається:

$$h = (c_п - c_з) - MO. \qquad (4.20)$$

Очевидно, що при $h_0 = 0$, місце нуля буде рівне $MO = c_п - c_з$.

Гідростатичне нівелювання застосовують для встановлення і вивірення опорних площин і направляючих шляхів технологічного обладнання, вимірювання просідань, передачі висот через великі водяні перешкоди. Перевищення, визначені за допомогою водяного нівеліра, знаходять з похибкою до *1-2 мм*. При високоточних монтажних роботах застосовують гідростатичні нівеліри, в яких у якості рідини залита ртуть. Перевищення такими нівелірами визначають з середньою квадратичною похибкою *5-10 мкм*.

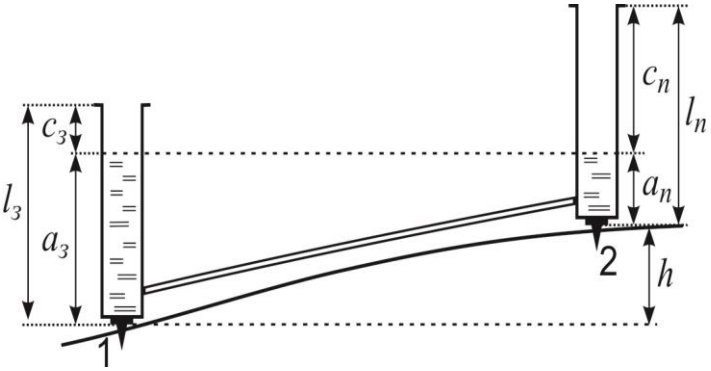



Рис. 4.5. Гідростатичне нівелювання

### *4.8. Технічне нівелювання та його зміст*

Для визначення висот точок на будівельному майданчику в основному застосовують *технічне нівелювання.* Це вид геометричного нівелювання, а отже і визначення висоти шуканої точки відбувається послідовною передачею перевищень від точки з відомою висотою. Така послідовна передача перевищень називається ***нівелірним ходом***.

Хід технічного нівелювання починають з передачі висоти від репера державної геодезичної мережі на початковий пункт ходу. Таку операцію називають ***прив'язкою ходу*** до репера. В кінці хід також повинен бути прив'язаний до репера державної геодезичної мережі.

Розрізняють *замкнені* та *розімкнені* нівелірні ходи (рис. 4.6). ***Замкнений нівелірний хід*** розпочинається і закінчується на одному репері. ***Розімкнений нівелірний хід*** розпочинається на одному репері, а закінчується на іншому. Нівелювання виконують на

станціях. ***Станцією*** називають одноразове встановлення нівеліра з наступним зніманням відліків за рейками, які називають *задніми, передніми* і *проміжними*.

Задні і передні точки називають ще ***зв'язуючими*** або ***основними***. Саме через ці точки і відбувається передача перевищень у нівелірному ході. ***Проміжні точки*** – це додаткові точки, висоти яких необхідно визначити згідно завдань, що виникають, найчастіше це характерні точки рельєфу, або ситуації.

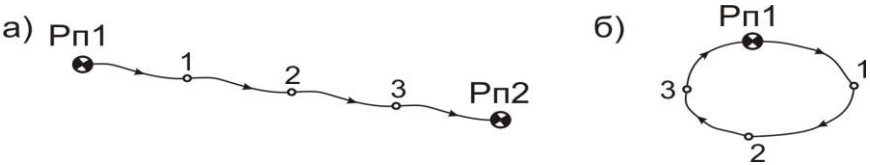



Рис. 4.6. Схема нівелірного ходу:
а) розімкненого; б) замкненого

<u>Вимоги до проведення технічного нівелювання:</u>

1. Технічне нівелювання виконується способом із середини;
2. Довжина візирного променя від нівеліра до рейки (***плече нівелювання***) не повинна перевищувати *120 м*;
3. Відліки знімають тільки за середньою ниткою;
4. Розбіжність перевищень, визначених за відліками з чорного та червоного боків задньої і передньої рейок допускається *±5 мм;*
5. Розбіжність п'яток на всіх станціях не повинна перевищувати *±5 мм;*
6. Нев'язка ходу має знаходитись в допустимих межах що визначається за формулою:

$$f_{доп} = \pm 50\sqrt{L} \ \ (мм)\ , \qquad (4.21)$$

де: $L$ – довжина ходу в км.

<u>Спостереження на станції виконують в такій послідовності:</u>

а) встановлюють нівелір в робоче положення на визначеному місці (прилад встановлюється приблизно посередині між двома точками, якщо у створі між точками відсутня пряма видимість, то допускається змістити нівелір в бік від прямої);

б) наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з чорного боку рейки;

в) наводять зорову трубу на передню рейку і знімають відліки з чорного та червоного боків рейки;

г) наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з червоного боку рейки;

д) якщо на станції є проміжні точки, то задню рейку послідовно встановлюють на ці точки і знімають відліки лише з чорного боку.

Така послідовність знімання відліків дозволяє контролювати стійкість штатива на станції. *Перед зніманням відліків необхідно щоразу приводити бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт.*

### *4.9. Опрацювання результатів технічного нівелювання*

*Всі результати спостережень записують у журналі технічного нівелювання (табл. 4.1).*

При цьому починають заповнювати та обчислювати журнал в полі (польові роботи), далі продовжують в приміщенні (камеральні роботи).

Порядок заповнення журналу (див табл. 4.1)

*Польове заповнення журналу:*

1. Заповнення журналу починається з перших двох колонок. При цьому необхідно пам'ятати, що з однієї станції проводяться спостереження на *2* зв'язуючі точки – задню і передню, та довільну кількість проміжних (проміжні точки можуть бути відсутні).

Приклад заповнення журналу технічного нівелювання наведено в табл. 4.2.

Плануючи заповнення журналу враховують наступне:

- обчислення з однієї станції обов'язково повинні починатися і закінчуватися на одній сторінці;
- для кожної зв'язуючої точки необхідно по два рядочки;
- для кожної проміжної точки – один рядок;
- один рядок знизу для додаткової інформації.

Таким чином для кожної станції необхідно по *5* рядків та по рядку на кожну проміжну точку.

Номер станції позначається посередині рядків станції. В другій колонці позначаються номери точок в такій послідовності: спочатку номер задньої точки, через один рядок номери проміжних точок (якщо вони є), а потім номер передньої точки. Журнал заповнюється згідно схеми нівелірного ходу (рис. 4.7).

*Таблиця 4.1*

**Журнал технічного нівелювання**

Дата: Спостерігав: Погода:

Нівелір Н-3 № Обчислював:

| №№ ст | №№ точок нівелю-вання | Відліки з рейок | | | Переви-щення, мм | Середнє переви-щення, мм | Горизонт приладу, м | Висоти точок, м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | задня | передня | про-міжна | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Рп 1 | $a_з^{чор}$ | | | | | | $H_{Рп1\ з}$ |
| | | $a_з^{чер}$ | | | $h_1^{чор}$ | $V_{1h}$ | | |
| 1 | 2 | $Р_{1з}$ | $b_п^{чор}$ | | $h_1^{чер}$ | $h_1^{сер}$ | | $H_{2\ п}$ |
| | | | $b_п^{чер}$ | | | $h_1^{сер}{}_{В}$ | | |
| | | | $Р_{1п}$ | | | | | |
| | 2 | $a_з^{чор}$ | | | | | | $H_{2\ з}$ |
| | | $a_з^{чер}$ | | | $h_2^{чор}$ | $V_{2h}$ | | |
| 2 | 3 | $Р_{2з}$ | $b_п^{чор}$ | | $h_2^{чер}$ | $h_2^{сер}$ | | $H_{3\ п}$ |
| | | | $b_п^{чер}$ | | | $h_2^{сер}{}_{В}$ | | |
| | | | $Р_{2п}$ | | | | | |
| | 3 | $a_з^{чор}$ | | | | | $ГП_3$ | $H_{3\ з}$ |
| | | $a_з^{чер}$ | | | | $V_{3h}$ | | |
| 3 | 4 | $Р_{3з}$ | | $a_{пр}^{чор}$ | $h_3^{чор}$ | $h_3^{сер}$ | | $H_{4\ пр}$ |
| | Рп 1 | | $b_п^{чор}$ | | $h_3^{чер}$ | $h_3^{сер}{}_{В}$ | | $H_{Рп1\ п}$ |
| | | | $b_п^{чер}$ | | | | | |
| | | | $Р_{3п}$ | | | | | |

$\sum З =$ $\sum П =$ $\sum h =$ $\sum h_{сер} =$

$\sum З - \sum П =$ $\sum h/2 =$

$\sum h_{вим} =$

$\sum h_{теор} = H_{Рп\ К} - H_{Рп\ П} =$

$f_h = \sum h_{вим} - \sum h_{теор} =$

$f_{h\ доп} = \pm 50\sqrt{L} =$

*Таблиця 4.2*

**Журнал технічного нівелювання**

Дата: 15.06.2011 р. Спостерігав: Іванюк Погода: тихо, ясно

Нівелір Н-3 № 545545 Обчислював: Петрук

| №№ ст | №№ точок нівелювання | Відліки з рейок | | | Перевищення, мм | Середнє перевищення, мм | Горизонт приладу, м | Висоти точок, м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | задня | передня | проміжна | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Рп 1 | 2124 | | | | | | 103.584 |
| | | 6808 | | | +1342 | +2 | | |
| 1 | 2 | 4684 | 0782 | | +1340 | +1341 | | 104.927 |
| | | | 5468 | | | +1343 | | |
| | | | 4686 | | | | | |
| | 2 | 1159 | | | | | | 104.927 |
| | | 5845 | | | -784 | +2 | | |
| 2 | 3 | 4686 | 1943 | | -783 | -784 | | 104.145 |
| | | | 6628 | | | -782 | | |
| | | | 4685 | | | | | |
| | 3 | 1434 | | | | | 105.579 | 104.145 |
| | | 6121 | | | | +1 | | |
| 3 | 4 | 4687 | | 1645 | -563 | -562 | | 103.934 |
| | Рп 1 | | 1997 | | -561 | -561 | | 103.584 |
| | | | 6682 | | | | | |
| | | | 4685 | | | | | |

$\sum З = 23491$ $\sum П = 23500$ $\sum h = -9$ $\sum h_{сер} = -5$

$\sum З - \sum П = -9$ $\sum h/2 = -4{,}5$

$\sum h_{вим} = -5$ *мм*

$\sum h_{теор} = H_{Рп\,К} - H_{Рп\,П} = 0$ *мм*

$f_h = \sum h_{вим} - \sum h_{теор} = -5$ *мм*

$f_{h\,доп} = \pm 50\sqrt{L} = \pm 29$ мм

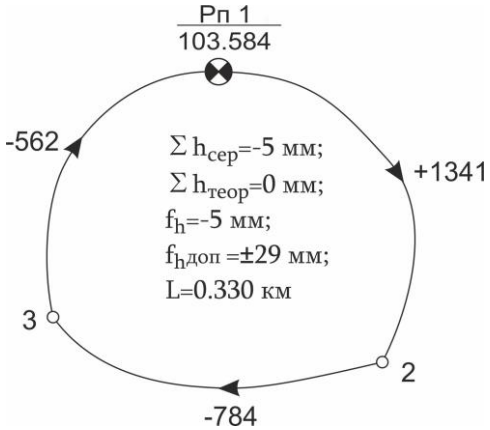


Рис. 4.7. Зразок схеми нівелірного ходу

На схемі ходу вказуються всі точки нівелювання, та порядок і напрямок нівелювання. Записуються перевищення між точками. У середині вказуються результати обчислень при зрівнюванні ходу.

*2.* Під час спостережень знімають відліки та записують їх в колонках *3, 4, 5* у відповідні рядки. При цьому використовуємо позначення: *a, b* – відліки; *з, п, пр* – із відповідно задньої, передньої та проміжної рейок; *чор, чер* – із відповідно чорного та червоного боків.

3. Обчислюємо п’ятки рейок на зв’язуючих точках:

$$P = a^{чер} - a^{чор}, \qquad (4.22)$$

та перевіряємо, щоб розбіжність п’яток на всіх станціях не перевищувала *±5 мм;*

4. Обчислюємо червоні та чорні перевищення основних точок:

$$h_{чор} = a^{чор} - b^{чор}, \qquad (4.23)$$

$$h_{чер} = a^{чер} - b^{чер}, \qquad (4.24)$$

та перевіряємо, щоб розбіжність перевищень, визначених за відліками з чорного та червоного боків задньої і передньої рейок не перевищувала *±5 мм;*

*Камеральне обчислення журналу:*

5. Обчислюємо середні перевищення

$$h^{сер} = (h^{чер} + h^{чор})/2 \qquad (4.25)$$

Зауважимо, що значення середнього перевищення необхідно заокруглювати до цілих міліметрів.

6. Виконуємо посторінковий контроль

Посторінковий контроль виконується в кінці кожної сторінки журналу технічного нівелювання, а дані про його виконання записуються під таблицею, його виконують в кілька етапів.

6.1. Обчислюємо суму всіх відліків із задніх рейок (і з чорного і з червоного боків) на кожній сторінці:

$$\sum З = \sum a_З . \qquad (4.26)$$

6.2. Обчислюємо суму всіх відліків із передніх рейок (і з чорного і з червоного боків) на кожній сторінці:

$$\sum П = \sum a_п . \qquad (4.27)$$

6.3. Обчислюємо суму всіх перевищень з червоного та чорного боків на кожній сторінці:

$$\sum h = \sum h^{чор} + \sum h^{чер} . \qquad (4.28)$$

6.4. Обчислюємо суму середніх перевищень на кожній сторінці$\sum h_{сер}$

6.5. Знаходимо різницю суми задніх та передніх відліків і перевіряємо чи збігається вона із сумою перевищень:

$$\sum З - \sum П = \sum h . \qquad (4.29)$$

6.6. Ділимо суму перевищень на два та перевіряємо чи збігається вона їз сумою середніх перевищень (при цьому необхідно врахувати, що середні перевищення на сторінці могли заокруглюватись):

$$\sum h/2 = \sum h^{сер}. \qquad (4.30)$$

7. Обчислюємо, та враховуємо нев’язку (зрівнюємо нівелірний хід). Оскільки нівелірний хід починається і закінчується точками з відомою висотою, то теоретично перевищення між ними буде дорівнювати різниці цих висот. І в ідеалі під час спостережень ми також маємо отримати це перевищення. Проте насправді під час вимірювань на точність впливає багато факторів і виміряні перевищення відрізняються від теоретичних. Ця різниця називається ***нев’язкою.*** Якщо нев’язка нівелірного ходу знаходиться в допустимих межах, то її рівномірно розподіляють за станціями, щоб виміряні перевищення дорівнювали теоретичним. Цей процес називається зрівнюванням нівелірного ходу. Отже зрівнювання нівелірного ходу виконують в такій послідовності (розглянемо спочатку зрівнювання розімкненого ходу):

7.1. Обчислюємо суму виміряних перевищень ходу:

$$\sum h_{вим} = \sum h_1^{сер} + \sum h_2^{сер} + \ldots + \sum h_n^{сер}, \qquad (4.31)$$

де $n$ – кількість сторінок.

7.2. Обчислюємо суму теоретичних перевищень:

$$\sum h_{теор} = H_{Рп\ К} - H_{Рп\ П}\ , \qquad (4.32)$$

де $H_{Рп\ К}$ і $H_{Рп\ П}$ – відповідно висоти кінцевого і початкового реперів.

7.3. Обчислюємо нев'язку:

$$f_h = \sum h_{вим} - \sum h_{теор}. \qquad (4.33)$$

7.4. Обчислюємо допустиму нев'язку та порівнюємо нев'язку з допустимою:

$$f_{h\ доп} = \pm 50 мм \sqrt{L}\ , \qquad (4.34)$$

де: $L$ – довжина ходу в км.

7.5. Якщо нев'язка знаходиться в допустимих межах, то приступають до зрівнювання ходу. Для цього обчислюють поправки, які необхідно внести на кожній станції:

$$V_h = - f_h/n\ . \qquad (4.35)$$

Поправки рівномірно розподіляються на кожну станцію, але при цьому заокруглюються до цілого значення. Якщо нев'язка не ділиться без остачі на кількість станцій, то на деякі станції необхідно записувати більше число поправки, а на деякі менше. При цьому значення поправок на різних станціях не повинні відрізнятися більше ніж на *1 мм*, а їх загальна сума повина дорівнювати нев'язці з протилежним знаком

$$\sum V_h = - f_h\ . \qquad (4.36)$$

Всі обчислення нев'язки записують в кінці журналу технічного нівелювання, а поправки для кожної станції над відповідними середніми перевищеннями.

7.6. Після обчислення поправок знаходять виправлені середні перевищення:

$$h^{сер}{}_B = h^{сер} + V_h\ , \qquad (4.37)$$

і записують під відповідними середніми перевищеннями.

<u>Особливості зрівнювання замкненого нівелірного ходу:</u>

Особливістю замкненого нівелірного ходу є те, що він починається та закінчується одним і тим самим репером. Тому сума теоретичних перевищень виходячи із формули (4.32) дорівнює нулю:

$$\sum h_{теор} = 0, \qquad (4.38)$$

а сама нев'язка згідно формули (4.33) становить:

$$f_h = \sum h_{вим} \qquad (4.39)$$

Всі інші обчислення проводяться за формулами розімкненого нівелірного ходу.

Особливості зрівнювання висячого нівелірного ходу:

Досить часто при виконанні практичних завдань в інженерній геодезії необхідна висота однієї опорної точки, заради якої і прокладають нівелірний хід. При цьому прокладають хід в прямому і в зворотному напрямку від одного і того самого репера по тих самих точках. Найпростіше такий хід зрівнювати так само як замкнений нівелірний хід (за суттю він і є частковим випадком замкненого нівелірного ходу).

8. Обчислюємо висоти основних точок (значення перевищення необхідно ділити на 1000, щоб перевести в метри):

$$H_n = H_з + h^{сер}{}_B /1000. \qquad (4.40)$$

Висота вихідної точки (репера) нам відома, тому за формулою (4.40) легко знайдемо висоту передньої точки. Висота задньої точки на наступній станції така ж, як і висота передньої точки на попередній станції (адже це одна й та ж точка), тому переписуємо це значення та знову рахуємо висоту передньої точки. Після закінчення маємо отримати висоту кінцевого репера без будь-яких відмінностей, оскільки хід було зрівняно.

9. Обчислюємо висоти проміжних точок.

9.1. Спочатку на станціях де є проміжні точки обчислюємо горизонт приладу (значення перевищення необхідно ділити на *1000*, щоб перевести в метри):

$$ГП = H_з + a_з^{чор} /1000. \qquad (4.41)$$

9.2. За горизонтом приладу знаходять висоту проміжної точки:

$$H_{пр} = ГП - a_{пр}^{чор} /1000. \qquad (4.42)$$

На цьому обчислення журналу технічного нівелювання завершене. До журналу технічного нівелювання обов’язково складається схема нівелірного ходу (рис. 4.7)

**Запитання для самоконтролю:**

1. Умови проведення перевірок.
2. Послідовність виконання перевірок нівеліра Н-3.
3. Перевірки нівелірних рейок.
4. Тригонометричне нівелювання.
5. Гідростатичне нівелювання.
6. Порядок спостережень на станції при технічному нівелюванні.
7. Опрацювання журналу технічного нівелювання.

# ТЕМА 5. БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ ТЕОДОЛІТА 2Т30. ВИМІРЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КУТІВ

## *5.1. Класифікація теодолітів. Будова теодоліта 2Т30*

***Теодоліт*** – геодезичний прилад, що призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів. За допомогою цього пристрою можна також виміряти відстані до рейки (зорова труба використовується як нитковий оптичний віддалемір), проте точність визначення віддалей не дозволяє використовувати цю можливість у всіх геодезичних вимірюваннях. Визначення віддалей за допомогою теодоліта використовується найчастіше при тригонометричному нівелюванні (тахеометричному зніманні місцевості).

Теодоліти класифікують за різними ознаками:

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

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

Механічні теодоліти мають металеві відлікові круги. Оптичні – мають скляні лімби. Електронні теодоліти містять електроніку, що дозволяє автоматично знімати відліки та вести записи в електронній формі.

Варто також відмітити, що сучасна промисловість випускає ***тахеометри***. Це прилади, що призначені для визначення горизонтальних, вертикальних кутів і відстаней, і по суті є теодолітом, що обладнаний віддалеміром.

*За точністю вимірювань* теодоліти поділяють на:

*Високоточні* теодоліти (Т05, Т1) застосовують для вимірювання кутів планової опорної мережі *1* і *2* класів, а також для виконання високоточних геодезичних робіт при будівництві і експлуатації особливо відповідальних інженерних споруд.

*Точні* теодоліти (Т2, Т5, Theo-010, Theo-020) застосовують для створення планових опорних мереж *3* і *4* класів і при виконанні геодезичних розбивочних робіт, що відповідають цій точності.

*Технічні* теодоліти (Т15, Т30, 2Т30, Т60, Theo-030) застосовують при розвитку знімальної мережі і при виконанні топографічних знімань.

*За типом відлікового пристрою*: верньєрні, із шкаловим мікроскопом, із штриховим мікроскопом, із оптичним мікрометром, із електронною цифровою індикацією.

*За конструкцією вертикальної осі*: повторювальні, неповторювальні або прості. Простим називають теодоліт, лімб якого має лише закріпний гвинт або пристрій для повороту і закріплення його у різних положеннях. Конструкція повторювальних теодолітів дозволяє обертати алідаду як окремо, так і разом з лімбом.

*За конструкцією оптичної відлікової системи*: з двобічним відліком за кругами і однобічним;

*За типом зорової труби*: з прямим і оберненим зображенням;

*За конструкцією стабілізації відлікового індекса*: з рівнем при вертикальному крузі, з рівнем при алідаді горизонтального круга, з компенсатором кутів нахилу.

У шифрі вітчизняних теодолітів літера „*Т*” означає „теодоліт”, а *цифри* – середню квадратичну похибку вимірювання горизонтального кута одним прийомом (у секундах). Додаткова літера в шифрі теодоліта означає його модифікацію або конструктивне рішення: „*А*” – астрономічний, „*М*” – маркшейдерський, „*К*” – з компенсатором вертикального круга, „*П*” – зорова труба з прямим зображенням. Якщо на основі базової моделі розроблена нова модифікація – перед шифром додається цифра, наприклад „*2*”.

<u>*Будова теодоліта 2Т30*</u>

Як випливає з принципу вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, для теодоліта мають виконуватись деякі геометричні умови, основою яких є осі теодоліта (рис. 5.1):

1. *вертикальна вісь обертання теодоліта* $ZZ_1$;
2. *горизонтальна вісь обертання зорової труби* $HH_1$;
3. *візирна вісь* $VV_1$;
4. *вісь циліндричного рівня* $UU_1$ (при встановленні осі циліндричного рівня $UU_1$ в горизонтальне положення, вісь обертання теодоліта $ZZ_1$ встановлюється у вертикальне).

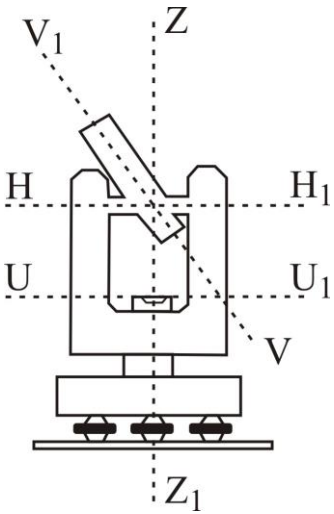


Рис. 5.1. Осі теодоліта

Далі ми розглянемо будову теодоліта на прикладі приладу 2Т30.

*Теодоліт 2Т30* відноситься до технічних, з повторювальною системою вертикальної осі. Система відліку однобічна, з шкаловим мікроскопом. Призначений для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних геодезичних мережах, при перенесенні в натуру споруд і інженерно-технічних вишукуваннях трас.

Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30 показані на рис. 5.2. Він складається з основних частин, до яких відносять кутомірні круги та зорову трубу:

- *Горизонтальний круг* (*ГК*), який в свою чергу складається з нерухомого *лімба* (*21*) та *алідади* (*22*), що обертається навколо нього. ***Лімб*** – це скляний горизонтальний круг, що розмічений поділками від *0°* до *360°* за рухом годинникової стрілки. При вимірюванні кута лімб має бути нерухомим. Вісь алідади суміщена з віссю лімба і називається *віссю обертання теодоліта* ($ZZ_1$). На алідаді нанесено *відліковий пристрій у вигляді шкали*, за допомогою якої знімається відлік за лімбом. Таким чином при обертанні алідади навколо лімба, відбувається зміна відліків, і кут, на який обернулася алідада навколо лімба дорівнює різниці цих відліків.

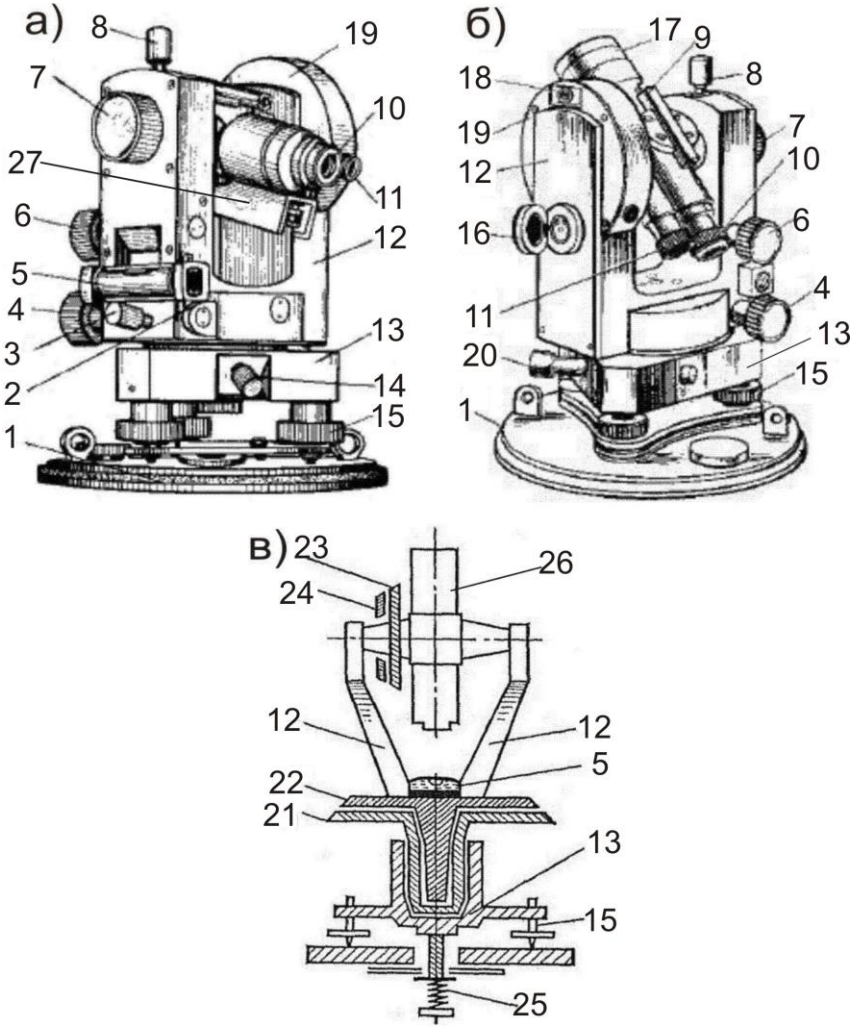



Рис. 5.2. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30:
а) вигляд при крузі праворуч; б) вигляд при крузі праворуч;
в) схематичний розріз

- *Вертикальний круг* (*ВК*) за аналогією з *ГК* також має *лімб* (*23*) та *алідаду* (*24*). Лімб вертикального круга скріплений з зоровою трубою і обертається разом з нею, а алідада вертикального круга – нерухома. За рахунок цього обертання і відбувається вимірювання вертикальних кутів. На відміну від *ГК*, лімб і алідада *ВК* розміщені

вертикально. Вісь лімба суміщена з віссю алідади та віссю обертання зорової труби ($HH_1$). Під час вимірювань вертикальний круг може розміщуватись від зорової труби ліворуч (*круг ліворуч – КЛ)* або праворуч (*круг праворуч – КП)*.

- *Зорова труба* (26)– оптичний пристрій призначений для візуальних спостережень віддалених предметів.

Крім того теодоліт також умовно ділять на нерухому нижню (в ній знаходиться лімб *ГК*) та рухому верхню (в ній знаходяться всі інші основні частини теодоліта) частини. У теодоліті є також багато обслуговуючих частин та гвинтів, що використовуються під час вимірювання. Розглянемо їх по порядку.

Теодоліт на станції встановлюється та кріпиться на штативі за допомогою *станового гвинта* (*25*). Він входить до складу штатива і прикручується до *підставки* (*1*) теодоліта.

На підставку спирається *трегер* (*13*) з трьома *піднімальними гвинтами* (*15*). Піднімальні гвинти розташовані через *120°* один від одного. Їх призначення – приводити вісь обертання приладу у вертикальне положення за допомогою *циліндричного рівня при алідаді* (*5*) (тобто за їх допомогою виводять бульбашку рівня в нуль-пункт).

Над *трегером* (*13*) розміщена верхня частина теодоліта, яка називається ***алідадною*** (або рухомою). Вона обертається навколо вертикальної осі теодоліта і складається з *алідади ГК* (*22*), *колонок* (*12*) на яких кріпиться *зорова труба* (*26*) та *вертикального круга,* що закріплений на осі обертання труби (*19*). Зорова труба може обертатися навколо своєї осі обертання від *0 °* до *360 °*.

*Зорова труба* (*26*) має:

– *об'єктив* (*17*) та *окуляр* (*10*) (обертання окуляра приводить до наведення чіткості зображення сітки ниток теодоліта);

– *фокусуючий гвинт* (*кремальєру*) (*7*), що призначена для наведення чіткості зображення в окулярі;

– *візир* (*9*) для швидкого попереднього наведення зорової труби на ціль;

– *закріпний гвинт* (*8*) для фіксації зорової труби у нерухомому положенні,

– *мікрометричний* або *навідний гвинт зорової труби* (*6*), для точного наведення зорової труби на ціль у вертикальній площині (навідний гвинт працює лише при закріпленому закріпному гвинті);

– *відліковий мікроскоп* (*11*) в поле зору якого передається зображення штрихів лімбів ГК і ВК та шкали. Споглядаючи у відліковий мікроскоп знімають відліки з горизонтального та вертикального кругів. Для підсвічування відліків використовується *дзеркало* (*16*), що знаходиться збоку вертикального круга.

– *циліндричний рівень при зоровій трубі* (*27*) для виведення візирної осі в горизонтальне положення.

Крім того існують також:

– *закріпний гвинт лімба ГК (14)* — фіксує лімб *ГК* (під час спостережень лімб *ГК* має бути нерухомим);

– *навідний гвинт лімба ГК (20)* — точно наводить нуль відлік *ГК* в заданому напрямку;

– *закріпний гвинт алідади ГК (3)* — фіксує алідаду. *Лише при закріпленій алідаді працює гвинт 4;*

– *навідний гвинт алідади ГК (4)* — точно наводить вертикальній штрих сітки ниток в заданому напрямку. Разом із *навідним гвинтом зорової труби* (*6*) точно наводить зорову трубу на точку.

Крім того в комплект теодоліта входить *орієнтир-бусоль*, яка призначена для вимірювання магнітних азимутів. Для її кріплення в теодоліті є спеціальний *паз* (*18*) на колонці зорової труби.

### *5.2. Перевірки і юстирування теодолітів*

Перевірки теодолітів (як і нівелірів) – це операції, спрямовані на встановлення правильності взаємного розміщення частин інструмента. Якщо в процесі виконання перевірок виявляють невідповідності, їх усувають за допомогою виправлення (юстирування). Перевірки виконують лише за певних умов зовнішнього середовища. Перевірки теодоліта необхідно виконувати в строгій послідовності.

### *5.3. Перша перевірка*

*Назва перевірки.* **Перевірка осі циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга (перевірка циліндричного рівня)** (див. рис. 5.3)**.**

*Умова, що перевіряється. Вісь циліндричного рівня $UU_1$ при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта $ZZ_1$.*

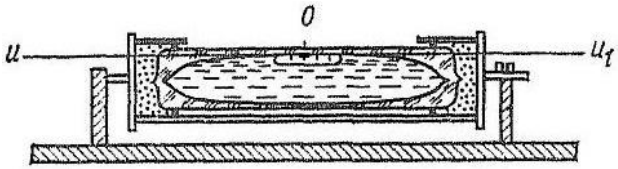



Рис. 5.3. Вісь циліндричного рівня

*Виконання перевірки.* Приводять теодоліт в робоче положення. Після цього розташовують циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів (рис. 5.4, *1* положення). Оскільки теодоліт приведений в робоче положення бульбашка рівня має знаходитись на середині. Далі повертають алідадну частину теодоліта на *180°* (рис. 5.4, *2* положення). Якщо бульбашка рівня змістилась від нуль-пункта не більше однієї поділки, то умова виконана. В іншому випадку виконують виправлення.

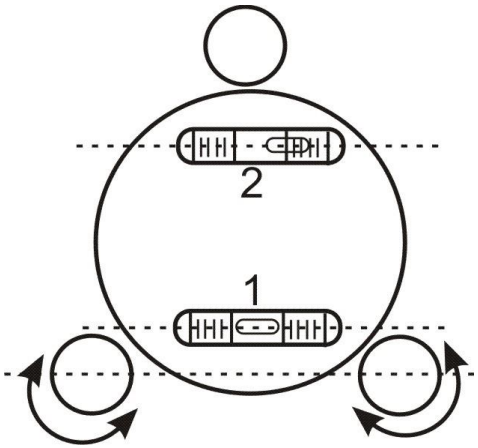



Рис. 5.4. Перевірка циліндричного рівня

*Виправлення (юстирування) приладу.* В положенні *2* на половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуль-пункта виправними гвинтами рівня, а на другу половину – піднімальними гвинтами. Після виправлення перевірку повторюють знову.

### *5.4. Друга перевірка*

*Назва перевірки.* **Перевірка сітки ниток.**

*Умова, що перевіряється. Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта* $ZZ_1$.

*Виконання перевірки.* Приводять теодоліт в робоче положення і на відстані *10-15 м*, у захищеному від вітру місці, підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска, та обертають її у вертикальній площині за всією довжиною нитки виска. Якщо вертикальна нитка сітки співпадає з ниткою виска, то умова виконана. Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска, то виконують виправлення. (рис. 5.5).

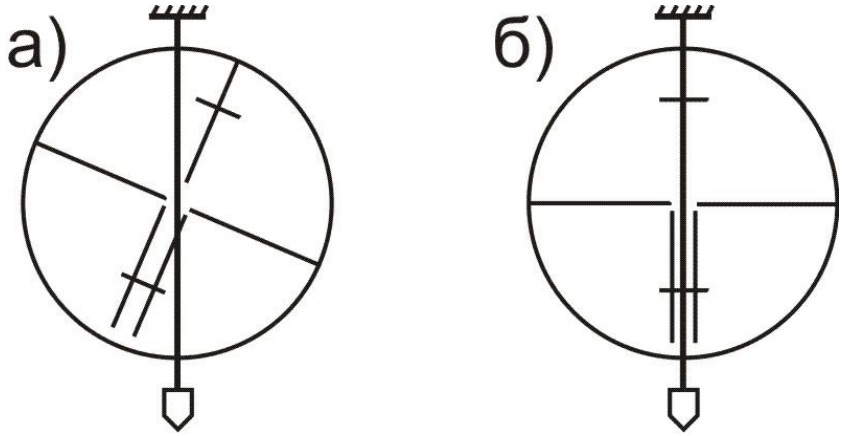



Рис. 5.5. Перевірка сітки ниток:
а) перевірка не виконується; б) перевірка виконується

*Виправлення (юстирування) приладу.* Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і послаблюють чотири гвинти діафрагми сітки. Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Далі закріплюють гвинти і прикручують ковпачок. Після виправлення перевірку повторюють знову.

### *5.5. Третя перевірка*

*Назва перевірки.* **Визначення колімаційної похибки.**

*Умова, що перевіряється. Візирна вісь зорової труби* $VV_1$ *повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби* $HH_1$.

*Виконання перевірки.* Приводять теодоліт в робоче положення. На місцевості вибирають віддалену, добре видиму та фіксовану точку і наводять на неї зорову трубу при *КП*. Знімають відлік з горизонтального круга $КП_1$. Після цього відкріплюють закріпні гвинти алідади горизонтального круга та зорової труби, переводять трубу через зеніт і при *КЛ* наводять її на ту ж саму точку, що і при *КП*. З горизонтального круга знімають відлік $КЛ_1$.

У теодоліта 2Т30, для виключення ексцентриситету алідади, необхідно повернути лімб приблизно на $180^o$. Після зміщення лімба повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки $КП_2$ і $КЛ_2$.

За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють *колімаційну похибку* за формулою:

$$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180°) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180°)}{4}. \quad (5.2)$$

Якщо $c \leq 1'$, то умова виконана. В іншому випадку виконують виправлення.

*Виправлення (юстирування) приладу.* Обчислюють відлік за горизонтальним кругом, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до осі її обертання, за однією з формул:

$$КЛ_0 = КЛ_2 - c;$$
$$КП_0 = КП_2 + c. \quad (5.3)$$

Обертаючи навідний гвинт алідади горизонтального круга встановлюють в мікроскопі вирахуваний відлік $КЛ_0$ (або $КП_0$). При цьому центр сітки ниток зміститься зі спостережуваної точки ліворуч чи праворуч на кут *c* (рис. 5.6). Після цього знімають ковпачок в окулярній частині зорової труби, який закриває доступ до виправних гвинтів сітки ниток. Попередньо послабивши верхній виправний гвинт, обертають по черзі правий і лівий виправні гвинти (один відкручують, а другий закручують за допомогою шпильки) пересуваючи пластинку з сіткою ниток горизонтально так, щоб центр сітки співпав із зображенням предмету. Після виправлення перевірку повторюють знову.

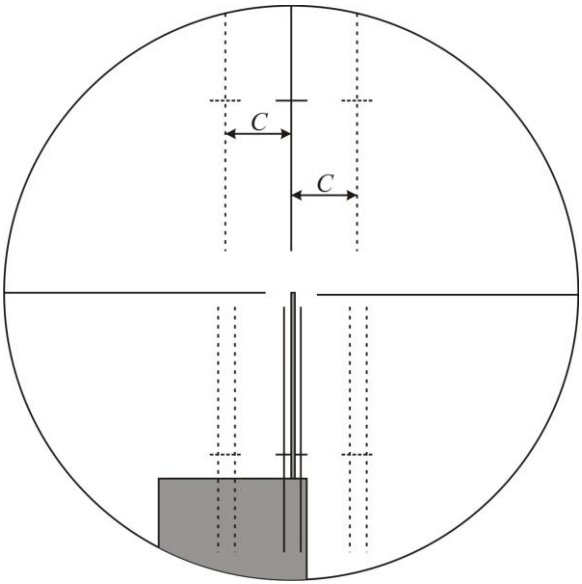


Рис. 5.6. Виправлення колімаційної похибки

### *5.6. Четверта перевірка*

*Назва перевірки.* **Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі обертання теодоліта.**

*Умова, що перевіряється. Горизонтальна вісь обертання зорової труби $HH_1$ повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта $ZZ_1$.*

*Виконання перевірки.* Встановлюють теодоліт на відстані *20-30 м* від стіни будинку. Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку, яка розташована в верхній частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта проектують точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її проекцію $m_1$ (рис. 5.7). Після цього переводять трубу через зеніт і при другому положенні круга так само одержують другу проекцію – $m_2$. Якщо обидві точки співпадають або знаходяться в межах бісектору сітки ниток, то умова виконана.

*Виправлення (юстирування) приладу.* Дана перевірка виправляється лише в спеціалізованих майстернях.

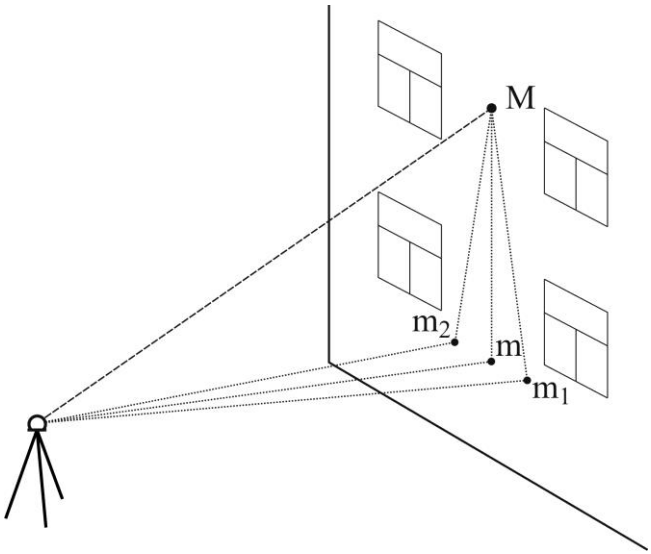



Рис. 5.7. Перевірка перпендикулярності осі обертання труби до вертикальної осі теодоліта

### *5.7. Вимірювання вертикальних кутів*

***Кутом нахилу v*** називають кут між горизонтальною площиною і напрямком на необхідну точку (рис. 5.8). Прийнято називати кути нахилу ***вертикальними***. Якщо точка, на яку необхідно визначити кут нахилу, розміщена вище від горизонтальної площини, то кут нахилу буде із знаком плюс, а якщо нижче – мінус.

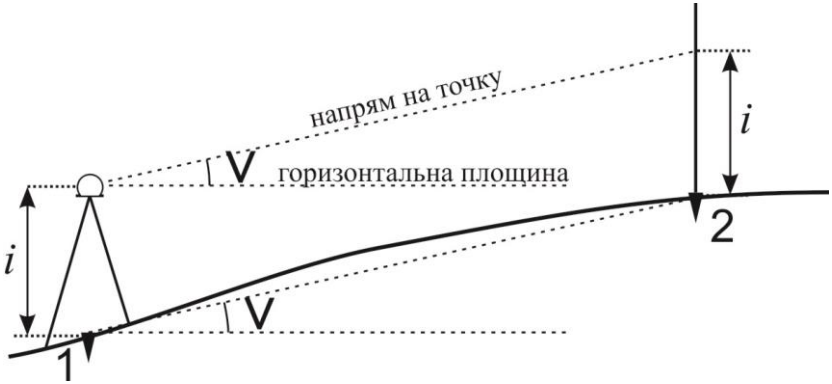



Рис. 5.8. Схема вимірювання вертикального кута

У процесі вимірювання кутів нахилу спочатку визначають *місце нуля вертикального круга МО ВК*. Постійне значення місця нуля є *контролем* вимірювань, тому необхідно визначити його декілька разів на різні точки місцевості. За остаточне значення місця нуля приймають середнє.

Визначивши *МО* переходять до *вимірювання вертикальних кутів* в наступній послідовності (рис. 5.8):

1) теодоліт встановлюють над точкою і приводять у робоче положення;

2) вимірюють *висоту приладу – і* (від верху кілочка до візирної осі) рейкою чи рулеткою;

3) зорову трубу у положенні круг ліворуч (*КЛ*) наводять на віху встановлену в кінцевій точці лінії, причому перехрестя сітки ниток наводять на висоту *і* відмічену на вісі;

4) після точного наведення зорової труби, знімають відлік за вертикальним кругом $U_{КЛ}$. Відліки записують у „*Журнал вимірювання вертикальних кутів теодолітом*" у відповідну графу (табл. 5.1);

*Таблиця 5.1*

**Журнал вимірювання вертикальних кутів теодолітом**

Дата: Спостерігав: Погода:

Теодоліт 2Т30 № Обчислював:

| Станції | Точки наведення | Відліки за ВК | | МО | Кути нахилу | | Кут нахилу середній |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | КП | КЛ | | КЛ-МО | МО-КП | |
| *1* | *2* | $U_{2КЛ}$ | $U_{2КП}$ | *МО* | $\nu_{2КЛ}$ | $\nu_{2КП}$ | $\nu_{2сер}$ |
| *2* | *3* | $U_{3КЛ}$ | $U_{3КП}$ | | $\nu_{3КЛ}$ | $\nu_{3КП}$ | $\nu_{3сер}$ |
| *3* | *4* | $U_{4КЛ}$ | $U_{4КП}$ | | $\nu_{4КЛ}$ | $\nu_{4КП}$ | $\nu_{4сер}$ |

5) переводять трубу через зеніт і повторюють дії зазначені у *пунктах 3-4* при крузі праворуч (*КП*), знімаючи відлік $U_{КП}$;

6) обчислюють *кут нахилу ν* за формулами:

$$\nu = КЛ - МО = МО - КП = \frac{КЛ - КП}{2}. \qquad (5.1)$$

Необхідно порахувати вертикальний кут двічі за формулами $\nu = КЛ - МО = МО - КП$. Якщо значення кута нахилу, визначені при положеннях *КП* і *КЛ*, відрізняються не більш як на подвійну точність приладу, то з них виводять середнє і записують у відповідні графи журналу, вважаючи цей запис величиною вертикального кута нахилу лінії

$$\nu_{сер}=(\nu_{КЛ}+\nu_{КП})/2 . \qquad (5.2)$$

Якщо різниця між величинами кута, отриманими при положеннях *КП* і *КЛ*, більша від подвійної точності відлікового пристрою, то вимірювання вертикального кута необхідно провести ще раз.

Приклад заповнення журналу вимірювання вертикальних кутів теодолітом наведено в табл. 5.2.

*Таблиця 5.2*

**Приклад заповнення журналу вимірювання вертикальних кутів теодолітом**

Дата: 20.06.2011 р. Спостерігав: Іванюк Погода: тихо, ясно
Теодоліт 2Т30 № 541512 Обчислював: Петрук

| Станції | Точки наведення | Відліки за ВК | | МО | Кути нахилу | | Кут нахилу середній |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | КП | КЛ | | КЛ-МО | МО-КП | |
| 1 | 2 | -5º16′ | 5º15′ | -0º00.5′ | 5º15.5′ | 5º15.5′ | 5º15.5′ |
| 1 | 3 | -3º33′ | 3º32′ | | 3º32.5′ | 3º32.5′ | 3º32.5′ |

**Запитання для самоконтролю:**

1. Теодоліти та їх класифікація.
2. Будова теодоліта 2Т30.
3. Основні геометричні осі теодоліта.
4. Послідовність перевірки циліндричного рівня теодоліта.
5. Послідовність перевірки сітки ниток теодоліта.
6. Послідовність визначення колімаційної похибки.
7. Послідовність перевірки перпендикулярності осі обертання зорової труби до осі обертання теодоліта.

# ТЕМА 6. ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ КУТІВ. ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧОК ТЕОДОЛІТНОГО ХОДУ

## *6.1. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів*

Горизонтальні кути можна вимірювати різними способами. Проте виділяють кілька основних:

1) способом прийомів;
2) способом кругових прийомів;
3) спосіб повторень.

*Спосіб прийомів* використовується, коли необхідно виміряти один кут на точці (рис. 6.1, а), *спосіб кругових прийомів* – коли необхідно виміряти два або більше кутів з однієї вершини (рис. 6.1, б), а *спосіб повторень* коли необхідно досягнути більшої точності при вимірюванні кута. Розглянемо по порядку ці способи.

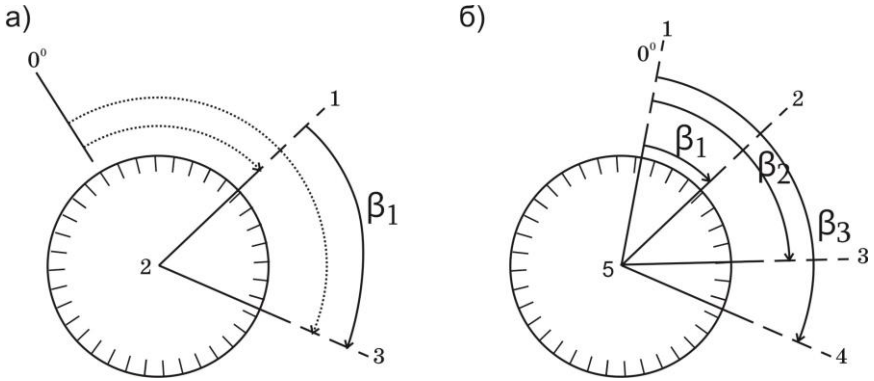



Рис. 6.1. Способи вимірювання горизонтальних кутів:
а) спосіб прийомів; б) спосіб кругових прийомів

Отже при *способі прийомів* з однієї станції вимірюється один кут. Вимірювання проводяться в строгій послідовності, а результати заносяться та обчислюються в „Журналі вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів” (далі *Журнал*)

Кути <u>*способом прийомів*</u> вимірюють дотримуючись такої послідовності:

1) Теодоліт встановлюють і центрують над вершиною кута (точка 2 на рис. 6.1 а), приводять у робоче положення.

2) Визначають, яка точка буде правою, а яка лівою. Для цього стають у вершині обличчям до кута – за правою рукою буде *права точка* (точка *3* на рис. 6.1 а), за лівою – *ліва* (точка *1* на рис. 6.1 а).

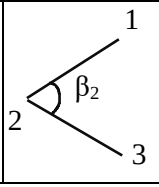
3) Заповнюють графи *1, 2, 3* та *7* наступним чином (див. табл. 6.1). Спочатку в графі *7* рисують схему вимірювання кута. Згідно рис. 6.1 вершина знаходиться в точці *2*, а промені направлені відповідно на праву *3* (на схемі знизу), та ліву *1* (на схемі зверху) точки. Далі в колонці *1* записують номер точки, на якій знаходиться станція, в колонці *3* – два положення теодоліта *КЛ* та *КП* (положення *КЛ* вважається основним, тому його записують першим), та в колонці *2* – номери точок (*3* та *1*) з яких знімають відліки для обох положень теодоліта. *Зауважимо, що номер правої точки обов'язково ставиться першим, а номер лівої – другим*.

*Таблиця 6.1*

**Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів**

Дата: Спостерігав: Погода:

Теодоліт 2Т30 № Обчислював:

| Станція | Точки наведення | Положення ВК | Відліки за ГК | Кути з пів-прийомів | Середнє значення кута | Схема кута |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *2* | *3* | *КЛ* | $U_{3КЛ}$ | $\beta_{КЛ2}$ | $\beta_2$ |  |
| | *1* | | $U_{1КЛ}$ | | | |
| | *3* | *КП* | $U_{3КП}$ | $\beta_{КП2}$ | | |
| | *1* | | $U_{1КП}$ | | | |

4) Закріплюють лімб у положенні круг ліворуч (*КЛ*) і повертаючи алідадну частину, наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *правій точці*. Наведення здійснюють спочатку приблизно – за допомогою візиру, а потім точно – за допомогою мікрометричних гвинтів. Після точного наведення труби на точку візування знімають відлік $U_{3КЛ}$ за

горизонтальним кругом. Відліки записують у *Журнал* у колонку *Відліки за ГК*.

5) Після цього відкріплюють закріпний гвинт алідади і при закріпленому лімбі наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *лівій точці 1* і знову знімають відлік за *ГК* $U_{1КЛ}$.

6) Переводять зорову трубу через зеніт: тобто повертають теодоліт на *180°,* та обертають зорову трубу на *180°*. Внаслідок цього вертикальний круг виявиться праворуч від зорової труби, тобто займе положення – круг праворуч *КП*. Після цього всі дії вказані у *пунктах 4-5* повторюють при положенні *КП і записують відповідні відліки* $U_{3КП}$, $U_{1КП}$ у *Журнал*. Таким чином ми зняли відліки з двох півприйомів (вимірювання кута при одному положенні круга називається ***півприйомом***).

7) Величину виміряного кута для кожного півприйому знаходять використовуючи правило: від відліків на праву точку завжди віднімають відліки на ліву точку. Якщо відліки на праву точку менші від відліків на ліву, то до правих додають *360°*.

8) Вимірювання одного й того ж кута при двох положеннях вертикального круга *КП* і *КЛ* складає один повний ***прийом***. При вимірюванні кута повним прийомом ліквідується колімаційна похибка і похибка від неперпендикулярності осі обертання труби до осі обертання теодоліта. Якщо значення кута, визначені при положеннях *КП* і *КЛ*, відрізняються не більше ніж на подвійну точність відлікового пристрою, то з них виводять середнє арифметичне і записують у відповідну колонку *Журналу*, вважаючи цей запис величиною *кута 2*.

$$\beta = \frac{\beta_{КЛ} + \beta_{КП}}{2}. \qquad (6.1)$$

Якщо різниця між величинами кута, отриманими при положеннях *КП* і *КЛ*, більша від подвійної точності теодоліта, вимірювання кута треба провести ще раз.

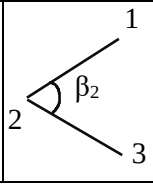
Приклад заповнення журналу вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів наведено в табл. 6.2.

Спосіб прийомів найчастіше використовують при прокладанні теодолітних ходів.

*Таблиця 6.2*

**Приклад заповнення журналу вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів**

Дата: 20.06.2011 р. Спостерігав: Іванюк Погода: тихо, ясно
Теодоліт 2Т30 № 541512 Обчислював: Петрук

| Станція | Точки наведення | Положення ВК | Відліки за ГК | Кути з пів-прийомів | Середнє значення кута | Схема кута |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | КЛ | 150°13.0′ | 39°43.0′ | 39°42.5′ |  |
| | 1 | | 110°30.0′ | | | |
| | 3 | КП | 330°12.0′ | 39°42.0′ | | |
| | 1 | | 290°30.0′ | | | |

## *6.2. Способи побудови знімальних планових геодезичних мереж*

Топографічне знімання виконують з точок місцевості, положення яких відоме в прийнятій системі координат. Такими точками є пункти опорних державних і інженерно-геодезичних мереж. Проте їх кількості, яка припадає на площу знімального майданчика, буває недостатньо, тому геодезична основа згущується обґрунтуванням, яке називається ***знімальним***. Знімальне обґрунтування розвивається від пунктів планових і висотних опорних мереж.

При побудові знімального обґрунтування одночасно визначають положення точок в плані і за висотою. Планове положення точок знімального обґрунтування визначають прокладанням теодолітних, мензульних і тахеометричних ходів, побудовою аналітичних мереж із трикутників і різного виду засічок. Висоти точок планового обґрунтування визначають геометричним і тригонометричним нівелюванням.

Якщо висоти в теодолітному ході визначають тригонометричним нівелюванням, а довжини сторін – віддалеміром теодоліта, такі ходи називаються ***тахеометричними***. Мережа, створена методом

тріангуляції, називається ***мікротріангуляцією.*** Точки знімального обґрунтування закріплюють на місцевості тимчасовими знаками: дерев'яними кілками, стовпами, металевими трубами.

### *6.3. Побудова знімальних мереж теодолітними ходами*

Найпоширенішим видом планового знімального обґрунтування є теодолітні ходи, що спираються на один або два вихідні пункти, чи система ходів, які спираються не менше ніж на два вихідні пункти. У системі ходів, в місцях їх перетину, утворюються вузлові точки, в яких можуть зходитись декілька ходів.

Проектування теодолітних ходів здійснюється за картами, при цьому повинні виконуватись такі вимоги:

1. Хід має прокладатись таким чином, щоб відповідати призначенню та забезпечувати повне охоплення вимірюваної території точками ходу.
2. Повинна існувати можливість контролю вимірювань. Для цього хід повинен починатися за закінчуватися репером, або точкою з раніше визначеними координатами.
3. Розміщення сторін ходу на місцевості повинно виконуватись так, щоб було зручно проводити вимірювання чи знімання.
4. Потрібно дотримуватись вимог до протяжності ходу між вихідними пунктами (згідно інструкції).
5. Повинна здійснюватись прив'язка ходу до пункту ДГМ.

При прокладанні теодолітних ходів виконують польові роботи (рекогностування, вимірювання кутів повороту і довжин ліній) та камеральну обробку результатів вимірювань.

Довжини теодолітних ходів залежать від масштабу знімання і від умов місцевості, яку знімають. Наприклад, для знімання забудованої території в масштабі 1:5000, довжина ходу не повинна перевищувати *4 км*, а в масштабі 1:500 – *0.8 км*; на незабудованій території – відповідно *6.0* і *1.2 км*. Довжини ліній в знімальних теодолітних ходах повинні бути від *20* до *350* метрів. Кути повороту на точках ходів вимірюють теодолітами з середньою квадратичною похибкою *0.5′* одним прийомом. Розходження значень кутів в напівприйомах допускається *0.8′*. Довжину ліній в ходах вимірюють мірними стрічками і рулетками. Кожну лінію вимірюють двічі, в прямому і в зворотному напрямках. Відносні лінійні нев'язки в

ходах не повинні перевищувати 1:2000, а при несприятливих умовах вимірювань (зарослі, болото) – 1:1000. При визначенні висот точок знімального обґрунтування геометричним нівелюванням, нев'язка в ході не повинна бути більшою $50\,мм\sqrt{L}$, при тригонометричному нівелюванні – $200\,мм\sqrt{L}$ ($L$ – довжина нівелірного ходу в км). Точки знімального обґрунтування закріплюють на місцевості тимчасовими чи постійними знаками.

### *6.4. Камеральна обробка польових матеріалів, обчислення координат точок теодолітного ходу*

Теодолітні ходи прийнято ділити на ***розімкнені*** (починаються одним репером і закінчуються іншим) та ***замкнені*** (починаються і закінчуються одним і тим самим репером, зробивши коло) (рис. 6.2).

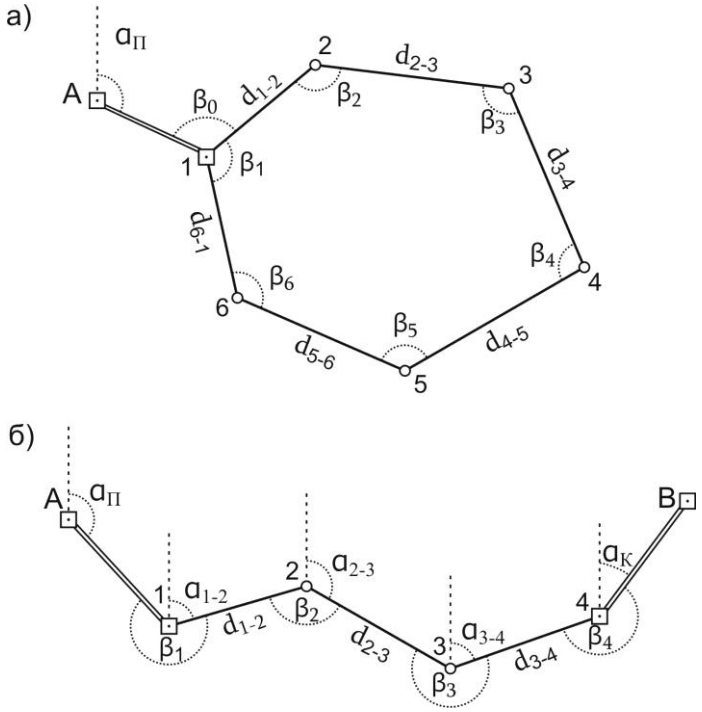



Рис. 6.2. Схема теодолітного ходу:
а) замкнений; б) розімкнений

Проте, при камеральному опрацюванні замкнений хід є частковим випадком розімкненого, тому розглянемо їх опрацювання разом наголошуючи на відмінностях.

### *6.4.1. Урівнювання виміряних кутів теодолітного ходу*

Суму виміряних кутів теодолітного ходу визначають за формулою:

$$\sum\beta_{вим} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + ...\beta_n \qquad (6.2)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3, ..., \beta_n$ – виміряні кути полігону;

Теоретичну суму кутів визначають:

- для розімкненого теодолітного ходу:

а) при виміряних правих кутах за ходом:

$$\sum\beta_{теор} = \alpha_n - \alpha_к + 180^0 \times n \qquad (6.3)$$

б) при виміряних лівих кутах за ходом:

$$\sum\beta_{теор} = \alpha_к - \alpha_n + 180^0 \times n \qquad (6.4)$$

- для замкненого теодолітного ходу:

$$\sum\beta_{теор} = 180^0 \times (n - 2) \qquad (6.5)$$

тут $\sum\beta_{теор}$ – теоретична сума кутів, $n$ – кількість кутів ходу, $\alpha_к$ і $\alpha_n$ – дирекційні кути відповідно кінцевої та початкової сторони.

Кутову нев'язку знаходять за формулою:

$$f_\beta = \sum\beta_{вим} - \sum\beta_{теор} \qquad (6.5)$$

Допустиму кутову нев'язку розраховують за виразом:

$$f_{\beta доп} = 1' \sqrt{n} \qquad (6.7)$$

де $n$ – кількість кутів ходу.

Повинна виконуватись умова:

$$f_\beta \leq f_{\beta доп} \qquad (6.8)$$

При виконанні останньої умови, у значення виміряних кутів вводять поправку:

$$v_{\beta i} = - f_\beta / n \qquad (6.9)$$

Значення виправлених кутів визначають за формулою:

$$\beta_{i\ випр} = \beta_{i\ вимір} + v_{\beta i} \qquad (6.10)$$

Сума виправлених кутів теодолітного ходу повинна дорівнювати теоретичній сумі, що і є контролем обчислень:

$$\sum\beta_{i\ випр} = \sum\beta_{теор} \qquad (6.11)$$

### *6.4.2. Визначення дирекційних кутів теодолітного ходу*

Дирекційні кути $\alpha_i$ сторін теодолітного ходу визначають за формулами:

а) для виміряних лівих кутів за ходом:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180^0 + \beta_{лів} \qquad (6.12)$$

б) для виміряних правих за ходом кутів:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^0 - \beta_{прав} \qquad (6.13)$$

При від'ємному дирекційному куті слід додати *360°*, якщо кут має значення більше *360°* – віднімають *360°*. Контролем розрахунків є відповідність вирахуваного кінцевого дирекційного кута його вихідному (теоретичному) значенню.

### *6.4.3. Визначення приростів координат і координат точок теодолітного ходу*

Для вирахування приростів координат, вирішують *пряму геодезичну задачу* (рис. 6.3). Суть цієї задачі полягає в тому, що за заданими координатами першої точки, горизонтальним закладанням та дирекційним кутом лінії, необхідно знайти координати кінцевої точки лінії.

Прирости координат обчислюють:

$$\begin{aligned} \Delta x_{12} &= d_{12} \times \cos\alpha_{12} \\ \Delta y_{12} &= d_{12} \times \sin\alpha_{12} \end{aligned} \qquad (6.14)$$

де $d$ – горизонтальне закладання відповідної сторони; $\alpha$ – дирекційний кут тієї ж сторони.

Прирости координат визначають з точністю до *0.01 м*. Вони можуть набувати як додатних так і від'ємних значень, тому біля приросту обов'язково записується його знак.

Тоді координати кінцевої точки лінії:

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + \Delta x_{12} \\ y_2 &= y_1 + \Delta y_{12} \end{aligned} \qquad (6.15)$$

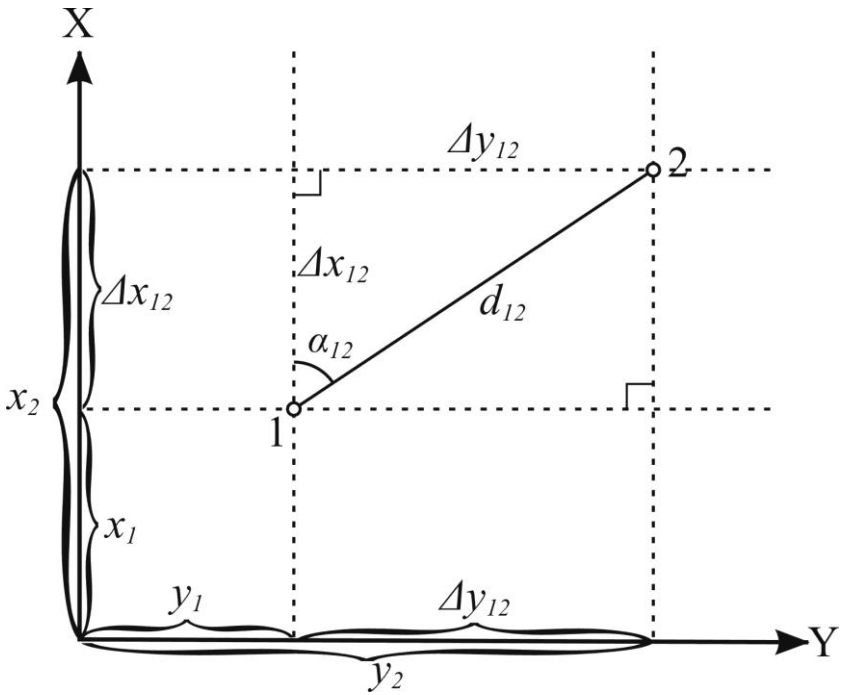


Рис. 6.3. Пряма геодезична задача

Після визначення приростів координат за всіма лініями ходу, знаходять їх суми:

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta x_{обч} = \Delta x_1 + \Delta x_2 + ... + \Delta x_n$$
$$\sum_{i=1}^{n} \Delta y_{обч} = \Delta y_1 + \Delta y_2 + ... + \Delta y_n \qquad (6.16)$$

Теоретичну суму приростів знаходять за формулами:

а) для замкненого теодолітного ходу:

$$\sum \Delta x_{теор} = 0, \quad \sum \Delta y_{теор} = 0 \qquad (6.17)$$

б) для розімкненого теодолітного ходу:

$$\sum \Delta x_{теор} = x_к - x_п, \quad \sum \Delta y_{теор} = y_к - y_п \qquad (6.18)$$

де $x_к$, $y_к$ і $x_п$, $y_п$ – координати відповідно кінцевого та початкового пунктів теодолітного ходу.

Лінійну нев'язку в приростах координат визначають як:

$$f_x = \sum \Delta x_{обч} - \sum \Delta x_{теор}$$
$$f_y = \sum \Delta y_{обч} - \sum \Delta y_{теор} \qquad (6.19)$$

Визначають абсолютну лінійну нев'язку за формулою:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \qquad (6.20)$$

Величину відносної нев'язки знаходять як:

$$f_{відн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{1}{P / f_{абс}} \le \frac{1}{2000} \qquad (6.21)$$

де $P$ – периметр (сума довжин всіх сторін) теодолітного ходу.

Відносна нев'язка записується у вигляді натурального дробу, з чисельником рівним одиниці.

При виконанні останньої умови, розраховують поправки в прирости координат пропорційно до величин горизонтальних закладань за формулами:

$$\vartheta_{\Delta x_i} = -\frac{f_x}{P} d_i$$
$$\vartheta_{\Delta y_i} = -\frac{f_y}{P} d_i \qquad (6.22)$$

де: $d_i$ – горизонтальні закладання (довжини) сторін теодолітного ходу.

Із врахуванням поправок, виправлені прирости координат визначають як:

$$\Delta x_{i\ випр} = \Delta x_i + \vartheta_{\Delta x_i}$$
$$\Delta y_{i\ випр} = \Delta y_i + \vartheta_{\Delta y_i} \qquad (6.23)$$

Значення виправлених приростів координат контролюють за формулами:

$$\sum \Delta x_{випр} = \sum \Delta x_{теор}$$
$$\sum \Delta y_{випр} = \sum \Delta y_{теор} \qquad (6.24)$$

Остаточно координати точок теодолітного ходу визначають за формулами:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_{i-1,i\ випр}$$
$$y_i = y_{i-1} + \Delta y_{i-1,i\ випр} \qquad (6.25)$$

Повне співпадання вирахуваних координат точок кінцевого пункту теодолітного ходу з їх відомими значеннями буде контролем обчислень.

Обчислення координат виконують у відомості обчислення координат точок теодолітного ходу (табл. 6.3). Приклад заповнення відомості обчислення координат точок теодолітного ходу наведено у таблиці 6.4.

**Запитання для самоконтролю:**

1. Способи вимірювання горизонтальних кутів.
2. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.
3. Обчислення в журналі вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.
4. Методи створення планових геодезичних мереж.
5. Способи побудови знімальних планових геодезичних мереж.
6. Замкнені та розімкнені теодолітні ходи.
7. Урівнювання виміряних кутів теодолітного ходу.
8. Обчислення дирекційних кутів теодолітного ходу.
9. Суть прямої геодезичної задачі.
10. Обчислення приростів координат теодолітного ходу.

*Таблиця 6.3*

**Відомість обчислення координат точок теодолітного ходу**

| №№ точок | Виміряні кути $\beta_{вим}$ | Поправки $\upsilon$ | Виправлені кути $\beta_{випр}$ | Дирекційні кути $\alpha$ | Гориз. закладання, м $d_0$ | Прирости координат: Обчислені $\Delta x_{обч}$ | Прирости координат: Обчислені $\Delta y_{обч}$ | Прирости координат: Виправлені $\Delta x_{випр}$ | Прирости координат: Виправлені $\Delta y_{випр}$ | Прямокутні координати X | Прямокутні координати Y | №№ точок |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | | | | | | | | | | $X_1$ | $Y_1$ | *1* |
| | | | | $\alpha_{1-2}$ | $d_{1-2}$ | $\upsilon_{\Delta x}$ $\Delta x_{обч\ 1-2}$ | $\upsilon_{\Delta y}$ $\Delta y_{обч\ 1-2}$ | $\Delta x_{випр\ 1-2}$ | $\Delta y_{випр\ 1-2}$ | | | |
| *2* | $\beta_{2\ вим}$ | $\upsilon_{\Delta\beta}$ | $\beta_{2\ випр}$ | | | | | | | $X_2$ | $Y_2$ | *2* |
| | | | | $\alpha_{2-3}$ | $d_{2-3}$ | $\upsilon_{\Delta x}$ $\Delta x_{обч\ 2-3}$ | $\upsilon_{\Delta y}$ $\Delta y_{обч\ 2-3}$ | $\Delta x_{випр\ 2-3}$ | $\Delta y_{випр\ 2-3}$ | | | |
| *3* | $\beta_{3\ вим}$ | $\upsilon_{\Delta\beta}$ | $\beta_{3\ випр}$ | | | | | | | $X_3$ | $Y_3$ | *3* |
| | | | | $\alpha_{3-1}$ | $d_{3-1}$ | $\upsilon_{\Delta x}$ $\Delta x_{обч\ 3-1}$ | $\upsilon_{\Delta y}$ $\Delta y_{обч\ 3-1}$ | $\Delta x_{випр\ 3-1}$ | $\Delta y_{випр\ 3-1}$ | | | |
| *1* | $\beta_{1\ вим}$ | $\upsilon_{\Delta\beta}$ | $\beta_{1\ випр}$ | | | | | | | $X_4$ | $Y_4$ | *1* |
| | | | | $\alpha_{1-2}$ | | | | | | | | |

$P =$ $\Sigma\Delta x_{обч} =$ $\Sigma\Delta y_{обч} =$

$\Sigma\beta_{вим} =$ $\Sigma\Delta x_{теор} =$ $\Sigma\Delta y_{теор} =$

$\Sigma\beta_{теор} =$ $f_x =$ $f_y =$

$f_\beta =$ $f_{абс} =$ $f_{відн} =$

$f_{\beta\ доп} =$

Обов’язково порівняти $f_\beta \leq f_{\beta\ доп}$ та $f_{відн} \leq 1/2000$

*Таблиця 6.4*

**Відомість обчислення координат точок замкненого теодолітного ходу**

| №№ точок | Виміряні кути $\beta_{вим}$ | Поправки $\upsilon$ | Виправлені кути $\beta_{випр}$ | Дирекційні кути $\alpha$ | Гориз. закладання, м $d_0$ | Прирости координат: Обчислені $\Delta x_{обч}$ | Прирости координат: Обчислені $\Delta y_{обч}$ | Прирости координат: Виправлені $\Delta x_{випр}$ | Прирости координат: Виправлені $\Delta y_{випр}$ | Прямокутні координати $x$ | Прямокутні координати $y$ | №№ точок |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | $91^0 00'.0$ | 31.67 | -0.01<br>-0.55 | -0.01<br>+31.67 | -0.56 | +31.66 | 5265.00 | 5416.06 | 1 |
| 2 | $97^0 06'.7$ | 0′.0 | $97^0 06'.7$ | $173^0 53'.3$ | 40.15 | -0.02<br>-39.92 | -0.01<br>+4.27 | -39.94 | +4.26 | 5264.44 | 5447.72 | 2 |
| 3 | $119^0 42'.9$ | -0′.1 | $119^0 42'.8$ | $234^0 10'.5$ | 26.46 | -0.01<br>-15.49 | -21.45 | -15.50 | -21.45 | 5224.50 | 5451.98 | 3 |
| 4 | $97^0 25'.0$ | 0′.0 | $97^0 25'.0$ | $316^0 45'.5$ | 29.77 | -0.01<br>+21.69 | -20.39 | +21.68 | -20.39 | 5209.00 | 5430.53 | 4 |
| 5 | $126^0 57'.5$ | -0′.1 | $126^0 57'.4$ | $9^0 48'.1$ | 34.85 | -0.02<br>+34.34 | -0.01<br>+5.93 | +34.32 | +5.92 | 5230.68 | 5410.14 | 5 |
| 1 | $98^0 48'.2$ | -0′.1 | $98^0 48'.1$ | $91^0 00'.0$ | | | | | | 5265.00 | 5416.06 | 1 |

$\Sigma\beta_{випр}=540^0 00'.0$ $P$ = 162.90 м; $\Sigma\Delta x_{обч}$ = +0.07 м; $\Sigma\Delta y_{обч}$ = +0.03 м;

$\Sigma\beta_{вим}=540^0 00'.3$ $\Sigma\Delta x_{теор}$= 0.00 м; $\Sigma\Delta y_{теор}$ = 0.00 м;

$\Sigma\beta_{теор}= 180^0(5-2)= 540^0 00'.0$ $f_x$ = +0.07 м; $f_y$ = +0.03 м;

$f_\beta = \Sigma\beta_{вим} - \Sigma\beta_{теор} = +0'.3$ $f_{абс}$= ±0.08 м

$$f_{\beta\,доп} = \pm 1''\sqrt{n} = \pm 1'\sqrt{5} = \pm 0^0 02'.2; \qquad f_{відн} = \frac{1}{2139} \langle \frac{1}{2000};$$

$$f_\beta < f_{\beta\,доп};$$

Сірим кольором виділено вихідні дані.

# ТЕМА 7. ТЕОДОЛІТНЕ ТА ТАХЕОМЕТРИЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

## *7.1. Суть теодолітного знімання*

Під ***теодолітним зніманням місцевості*** розуміють горизонтальне знімання виконане теодолітом. Теодолітне знімання – контурне знімання, в результаті якого отримують план місцевості з зображенням на ньому лише ситуації без рельєфу. Теодолітне знімання в основному застосовують в рівнинній місцевості, в умовах складної ситуації (населені пункти, забудовані ділянки, залізно дорожні вузли, станції, аеропорти і т. д.). Знімальною основою при теодолітному зніманні є теодолітні ходи.

В інженерній практиці доводиться знімати порівняно невеликі ділянки земної поверхні, для цього прокладають один замкнений полігон, спираючись на вершини і сторони якого, можна зняти всі подробиці даної території.

Серед основних методів виконання теодолітного знімання виділяють (рис. 7.1):

а) спосіб перпендикулярів (прямокутних координат);

б) спосіб створів;

в) спосіб прямих кутових засічок;

г) спосіб лінійних засічок;

д) полярним спосіб;

е) спосіб обходу.

Коротко розглянемо кожен із наведених методів.:

1. У *методі перпендикулярів* спочатку на місцевості відкладається лінія створу між двома визначеними пунктами, а потім відкладається прямий кут від ситуаційної точки до лінії створу. У результаті вимірюють дві відстані – від ситуаційної точки та початкової точки створу до точки їх перетину під прямим кутом (рис. 7.1 а).

2. У *методі створів* так само відкладається лінія створу між двома визначеними пунктами. У місцях перетину лінії створу з ситуаційними точками (дорога, межа, зміна рослинного покриву тощо) визначається відстань до них від початкової точки (рис. 7.1 б). Ситуаційні точки в стороні від створу визначається іншими методами – лінійними або кутовими засічками.

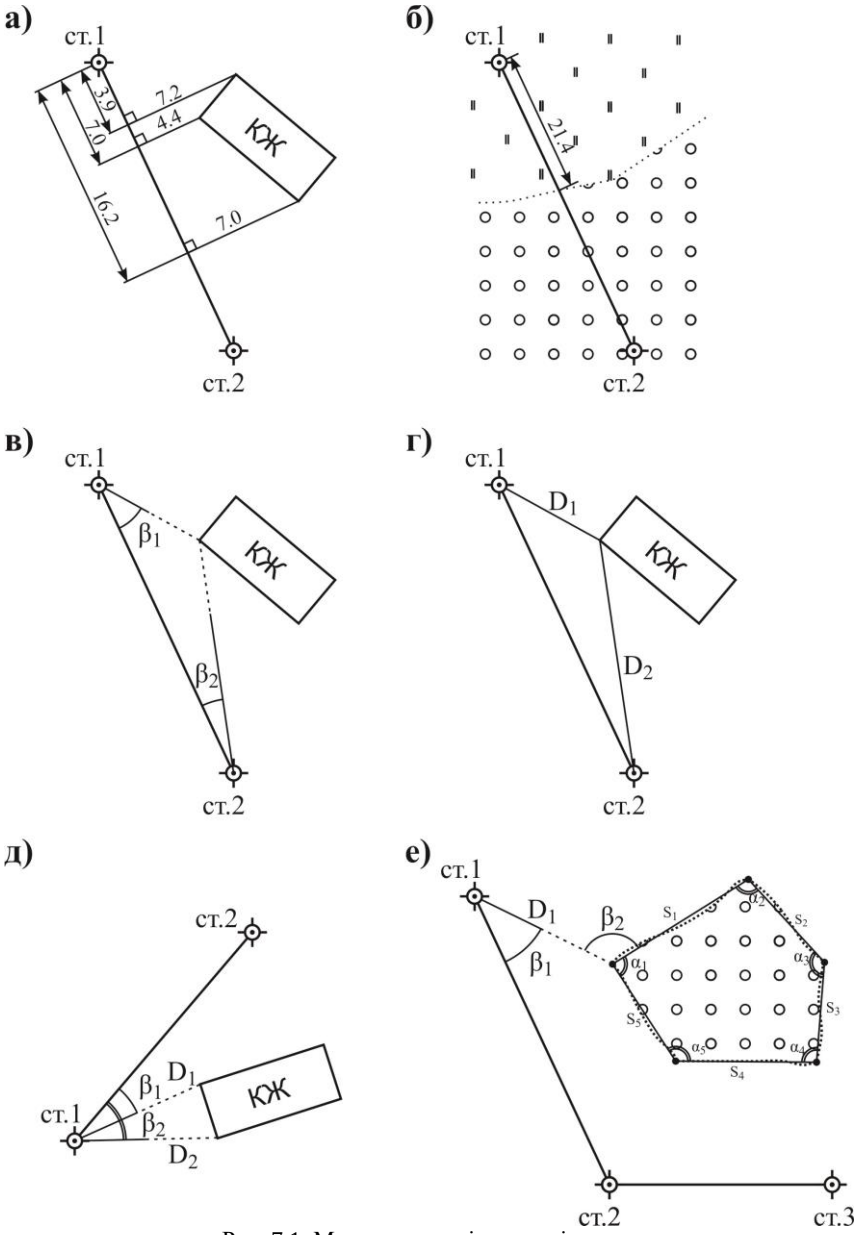



Рис. 7.1. Методи теодолітного знімання:
а) перпендикулярів; б) створів; в) прямих кутових засічок; г) лінійних засічок; д) полярний; е) обходу

3. *Пряма кутова засічка* полягає у визначенні положення точки, за результатами кутових вимірювань, виконаних з двох відомих пунктів (рис. 7.1 в). Вона застосовується там, де місцевість перешкоджає або є незручною для вимірювання довжин сторін або точка, положення якої потрібно визначити, віддалена від вихідних пунктів.

4. *Лінійна засічка* полягає у визначенні положення точки, на основі вимірювання віддалей до двох відомих пунктів мережі (рис. 7.1 г).

5. При *полярному методі* положення точки визначається кутом $\beta_i$, виміряним від сторони теодолітного ходу та віддалю $d_i$, від точки теодолітного ходу (її називають полюсом – звідси і назва методу) (рис. 7.1 д).

6. Суть *методу обходу* полягає в тому, що на ділянці є контур, який важко зняти запропонованими вище методами. Положення цього контуру можна визначити прокладанням за ним знімального ходу, лінії якого приблизно співпадають з контуром місцевості, з прив'язкою цього ходу до опорної мережі (рис. 7.1 е).

При теодолітному зніманні виміряні віддалі у всіх способах приводяться до горизонту, якщо кут нахилу більший $2^o$.

На практиці дуже рідко використовують лише один метод. Найчастіше при теодолітному зніманні методи поєднують. Наприклад на рис. 7.2 показана територія, для знімання якої прокладений теодолітний хід *1-2-3-4-5*. Для прив'язки теодолітного ходу до пункту тріангуляції *А* прокладений хід *5-6-7-8-9*. При теодолітному зніманні разом із вимірюванням довжин сторін і кутів полігону виконують знімання контурів (ситуації). Характерні точки контуру луків *а, б, в, г, д* – зняті полярним способом, при цьому точка *3* прийнята за полюс, а сторона *3-2* – за полярну вісь. Полярні кути $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$, $\alpha_4$ *і* $\alpha_5$ та віддалі *3-а, 3-б, 3-в, 3-г* і *3-д* – виміряні теодолітом. Точки *е, ж, з* контуру будинку зняті відносно опорної лінії *3-4* способом прямокутних координат (перпендикулярів) із застосуванням екера та рулетки. Точка *и* – визначена лінійною засічкою, вимірюванням віддалей $D_1$ і $D_2$ з точок *4* і *5*. Точка *к* визначена прямою кутовою засічкою з базису *1-2*, вимірюванням горизонтальних кутів $\beta_1$ і $\beta_2$. Положення дороги знаходиться за допомогою створної засічки, відкладанням віддалей $l_1$, $l_2$, $l_3$, $l_4$ у

напрямках сторін полігону *1-5* і *3-4*. Контур ділянки саду *лмноп* знятий способом обходу з прив'язкою до точки *5* полігону.

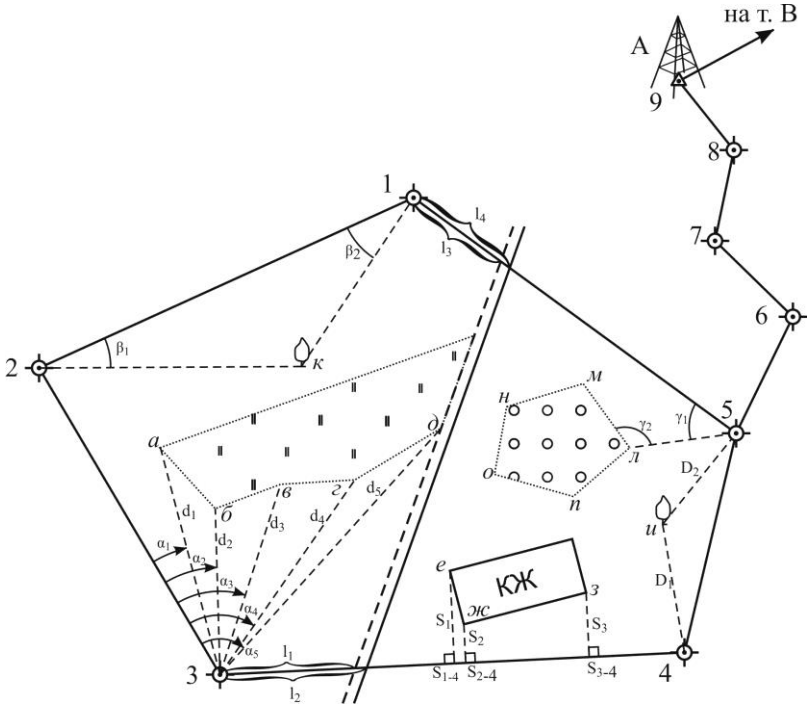



Рис. 7.2. Теодолітне знімання місцевості

Результати вимірювань при зніманні заносять в ***абрис*** – схематичне креслення, яке складають від руки в полі. Абрис є основним документом знімання і матеріалом для складання плану. На абрисі відмічають відносне розміщення точок і об'єктів, що знімають з усіма числовими результатами вимірювань і пояснюючими записами. Абрис ведуть акуратно, помилкові записи перекреслюють і зверху записують нові. **Перерисовувати абриси не дозволяється!**

### *7.2. Суть тахеометричного знімання*

***Тахеометрія*** – „швидковимірювання". При цьому зніманні одночасно виконують горизонтальне і вертикальне знімання. Перед

початком знімання виконують *камеральну підготовку*, яка складається з отримання і вивчення завдання, підбору топографічних і планових матеріалів, а також складання попереднього проекту і плану виконання робіт. Після ознайомлення з районом робіт, за зібраними матеріалами, намічають точки для обстеження в натурі і встановлюють послідовність огляду місцевості. У процесі *рекогностування місцевості* (огляду ділянки) виконавець знайомиться з об'єктами знімання, визначає наявність пунктів геодезичної мережі, встановлює межі ділянки, вибирає вершини полігонів. У результаті рекогностування складають схематичне креслення розміщення ходів і уточнюють план робіт.

Позначення і закріплення вершин (точок) теодолітного обґрунтування на місцевості виконують кілками, які забивають в рівень з землею так, щоб вони зберігались досить тривалий час.

Наступним етапом тахеометричного знімання є створення планової і висотної основи. *Планова основа* створюється прокладанням теодолітних ходів, *висотна* – технічним або тригонометричним нівелюванням. При створенні тахеометричних ходів довжини сторін вимірюють віддалеміром теодоліта, а висоти визначають тригонометричним нівелюванням (нахиленим променем).

Тахеометричне знімання доцільно застосовувати на місцевості з різко вираженим рельєфом. При цьому зніманні визначають просторове положення точки місцевості одним наведенням зорової труби на рейку, встановлену в цій точці (рис. 7.3). Процес знімання рельєфу і ситуації місцевості полягає в наступному:

- вимірюють висоту приладу *і* (віддаль від верха кілочка, забитого на місцевості, до осі обертання труби) – рулеткою або рейкою з точністю до *1 см*;
- орієнтують теодоліт за вихідним напрямком (суміщають нулі лімба та алідади із напрямком орієнтування);
- відкріплюють алідаду і послідовно візують трубу на кожну контурну і рельєфну точку, знімають відліки за горизонтальним і вертикальним кругами і віддалеміром теодоліта.

Результати вимірювань заносять в польовий журнал тахеометричного знімання, в який записують: висоту станції; висоту приладу; значення місця нуля МО; номер пікетної точки; висоту наведення теодоліта на рейку; відлік за віддалеміром

теодоліта; відліки зняті за горизонтальним і вертикальним кругами. Всі пікетні точки проставляють на абрисі, вказуючи стрілками схили місцевості, за якими слід інтерполювати горизонталі. Після закінчення знімання на кожній станції зорову трубу теодоліта візують на вихідний напрямок і записують відлік за горизонтальним кругом для контролю нерухомості лімба. На кожній станції вибирають дві контрольні пікетні точки для їх знімання з сусідніх станцій.

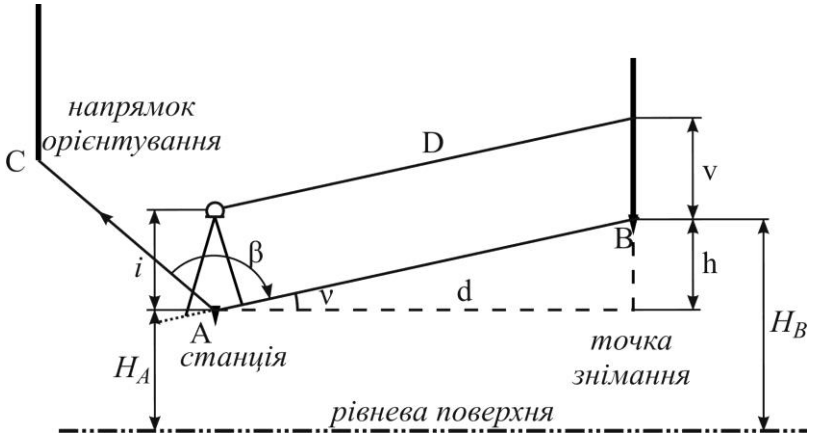


Рис. 7.3. Тахеометричне знімання місцевості

### *7.3. Камеральне опрацювання матеріалів тахеометричного знімання*

Камеральне опрацювання польових матеріалів тахеометричного знімання виконують в такій послідовності:

- обчислюють кути нахилу $\nu$ лінії візування на пікетні точки за формулою:

$$\nu=КЛ–МО; \quad \nu=МО–КП; \quad МО=(КЛ+КП)/2, \quad (7.1)$$

де *КЛ* і *КП* – відліки, зняті за вертикальним кругом при положенні „круг ліворуч” і „круг праворуч”, *МО* – місце нуля вертикального круга теодоліта;

- обчислюють віддалемірні відстані *D* та горизонтальні закладання *d* за формулами:

$$D=(k\,l+c) \quad (7.2)$$

$$d=D\cos^2\nu \quad (7.3)$$

де $\kappa$ – коефіцієнт віддалеміра (як правило $\kappa$=100), $c$ – додаток (стала) віддалеміра (часто цією величиною нехтують), $l$ - різниця відліків за рейкою;

- обчислюють перевищення $h$ між станцією і пікетною точкою за формулою:

$$h=\frac{1}{2}D\sin 2\nu+i_n-V \qquad (7.4)$$

де $i_n$, $V$ –висота приладу та висота наведення зорової труби відповідно.

На практиці висоту наведення зорової труби $V$ приймають рівною висоті приладу $i_n$, тобто $i_n = V$, або $i_n–V$=0. Тоді перевищення $h$ визначають за виразом:

$$h=\frac{1}{2}D\sin 2\nu, \qquad (7.5)$$

- розраховують висоту пікетної точки за формулою:

$$H_i = H_{ст} + h \qquad (7.6)$$

де $H$ та $H_{ст}$ – висоти пікетної точки та станції, $h$ – визначене перевищення.

Результати обчислень заносяться в журнал тахеометричного знімання (табл. 7.1). Приклад обчислення наведено у таблиці 7.2.

*Таблиця 7.1*

**Журнал тахеометричного знімання**

Дата_____ Теодоліт 2Т30 №_____

Станція № _____ Орієнтована на станцію _____

Нст. _____ $i_n$ =_____ МО = _____

| № точки | Далекомірна віддаль $D_i$ | Горизонтальне прокладання $d_i$ | Відліки | | Кут нахилу | Висота наведення | Попереднє перевищення $h'_i$ | Остаточне перевищення $h_i$ | Висоти точок $H_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | за ГК | за ВК | | | | | |
| *1* | $D_1$ | $d_1$ | $\beta_1$ | $КЛ_1$ | $\nu_1$ | $V$ | $h'_1$ | $h_1$ | $H_1$ |
| *2* | $D_2$ | $d_2$ | $\beta_2$ | $КЛ_2$ | $\nu_2$ | | $h'_2$ | $h_2$ | $H_2$ |

*Таблиця 7.2*

**Журнал тахеометричного знімання**

Дата 12.06.2011 р. Теодоліт 2Т30 №1762

Станція 1 Орієнтована на станцію 2

Нст.=51.99 м $i_n$ =1.35 м МО = +0$^0$01′

| № точки | Далекомірна віддаль $D_i$ | Горизонтальне прокладання $d_i$ | Відліки | | Кут нахилу | Висота наведення | Попереднє перевищення $h'_i$ | Остаточне перевищення $h_i$ | Висоти точок $H_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | за ГК | за ВК | | | | | |
| 1 | 45.0 | 44.98 | 0°05′ | -1°03′ | -1°04′ | 1.35 | -0.84 | -0.84 | 51.15 |
| 2 | 62.9 | 62.60 | 43°10′ | -3°58′ | -3°59′ | | -4. 36 | -4.36 | 47.63 |
| 3 | 93.8 | 93.29 | 56°35′ | -4°13′ | -4°14′ | 1.50 | -6.91 | -7.06 | 44.93 |

### *7.4. Побудова плану теодолітного та тахеометричного знімання*

За результатами знімання місцевості складають план. Для цього на аркуші креслярського паперу будують координатну сітку *10×10 см* за допомогою вимірника і масштабної лінійки. Розходження довжин сторін і діагоналей квадратів координатної сітки не повинні перевищувати *0.2 мм*. Відповідно до значень координат точок теодолітного ходу (відомість обчислення координат точок теодолітного ходу), підписують координати сітки. За прямокутними координатами, користуючись поперечним масштабом, наносять всі точки планового обґрунтування. Контроль нанесення точок виконують, вимірюючи відстані між ними, розбіжності яких від виміряних на місцевості не повинні перевищувати *0.2 мм*.

За абрисом наносять на план зняті об’єкти місцевості та контури ситуації. Викреслений олівцем план співставляють з місцевістю. Після перевірки план викреслюють в туші у відповідності з умовними знаками.

План тахеометричного знімання будують аналогічно плану теодолітного знімання, з тією відмінністю, що на ньому крім ситуації зображається ще й рельєф. Пікетні точки наносять користуючись транспортиром і лінійкою поперечного масштабу в

полярній системі координат. При цьому суміщають нуль транспортира з центром станції, а початковий нуль у градусах з орієнтирним напрямком (магнітним меридіаном або напрямком на точку). За отриманим напрямком відкладають у масштабі плану відстань до пікетної точки *d* та проколюють голкою цю точку. Праворуч від точки підписують її висоту з точністю до сотих долей метра. Після побудови пікетних точок наносять границі угідь, відповідні споруди та інші зображення згідно абрису.

Рельєф місцевості показують горизонталями, графічним інтерполюванням між висотами пікетних точок за допомогою прозорої палетки. Суцільні горизонталі проводять товщиною *0.12...0.15 мм*, а потовщені – *0.20...0.25 мм*. Потовщені горизонталі підписують, верх надписів горизонталей повинен бути повернутий у бік їх зростання (рис. 7.4).

При здачі матеріалів знімання складають технічну документацію з обов'язковими відомостями обчислення координат точок теодолітного ходу і всіма матеріали польового знімання.

### *7.5. Методи інтерполювання*

***Інтерполювання*** – це визначення проміжних значень висот між початковою та кінцевою точками з відомою висотою. Таким чином під час інтерполяції знаходять точки з цілими значеннями висот, за якими потім і проводять горизонталі. Інтерполяцію можна виконати *на око, аналітичним* та *графічним способами*.

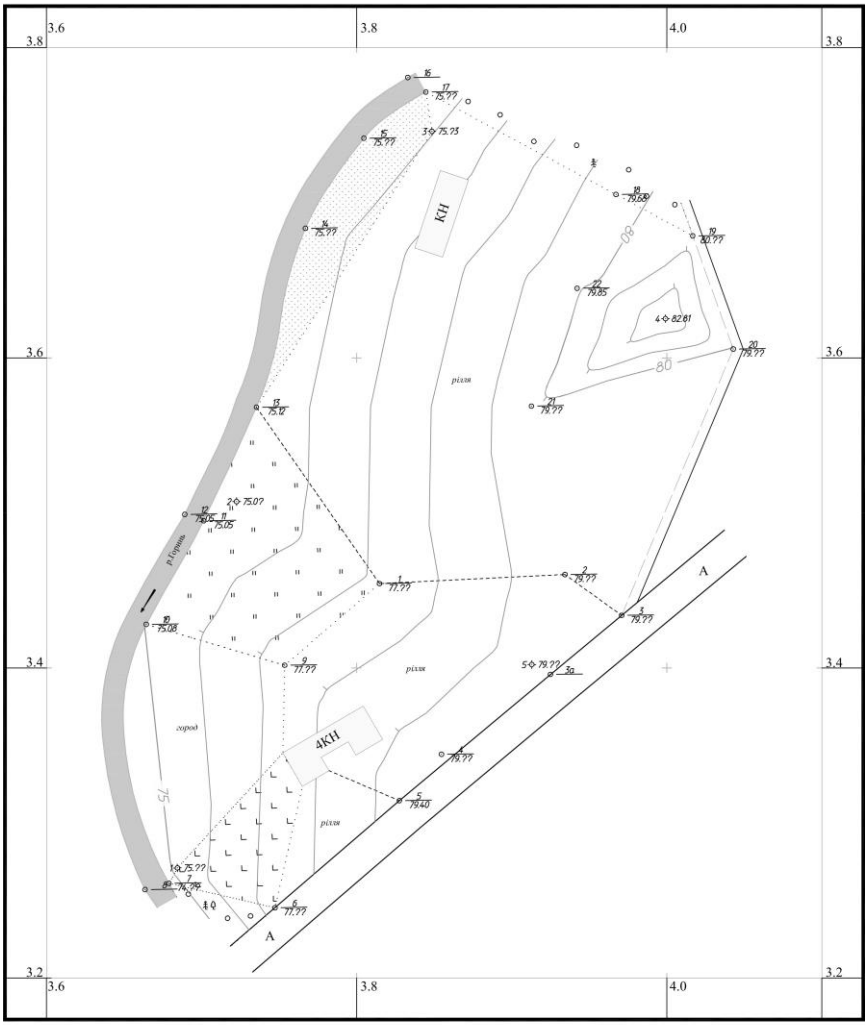
*Аналітичний спосіб* побудови горизонталей базується на обчисленнях (рис. 7.5). Нехай є дві точки *A* та *B*, з висотами $H_A$ і $H_B$. Крім того відоме горизонтальне закладання між ними *d*. Необхідно знайти горизонтальне закладання $d_1$ до точки 1 з цілим значенням висоти $H_1$. Припустимо, що ухил між точками *A* та *B* однаковий на всьому проміжку. Тоді з подібності трикутників *ABC* та *A11'* випливає:

$$\frac{H_B - H_A}{d} = \frac{H_1 - H_A}{d_1}. \qquad (7.7)$$

А звідси:

$$d_1 = \frac{H_1 - H_A}{H_B - H_A} d. \qquad (7.8)$$

Топографічний план будівельного майданчика




1:2000

Суцільні горизонталі проведені через 1 м

Система висот умовна

План склав ст. 1 курсу
гр. ПЦБ-__ ФБА ____
Перевірив: _____

Рис. 7.4. Приклад оформлення топографічногоплану

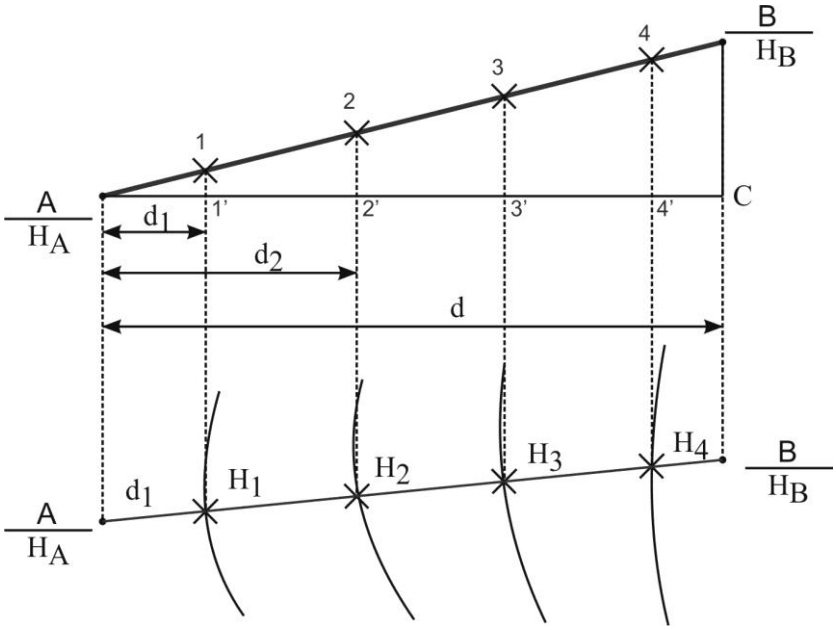



Рис. 7.5. Аналітичний спосіб побудови горизонталей

*Графічний спосіб* (рис. 7.6) реалізується з використанням палетки. ***Палетка*** – лист прозорого паперу на якому проведені паралельні лінії з інтервалом *5-10 мм* між ними. На кожній лінії палетки підписують значення висоти горизонталі, обов'язково кратне висоті перерізу рельєфу. Накладають палетку на лінію, за якою виконується інтерполювання, і задають їй такий поворот, щоб точки з відомими висотами розташовувались між паралельними лініями відповідно до значень своїх висот (на рис. 7.5 – *точки 1 і 2*). Переколюють на план точки перетину ліній палетки з лінією інтерполювання та підписують олівцем їх висоти. Аналогічні операції виконують за іншими лініями. Точки з однаковими висотами з'єднують плавними кривими і отримують горизонталі.

*Приблизний метод („на око")* нанесення горизонталей (рис. 7.7) – є найбільш швидким і найменш точним. Полягає у побудові горизонталей на око.

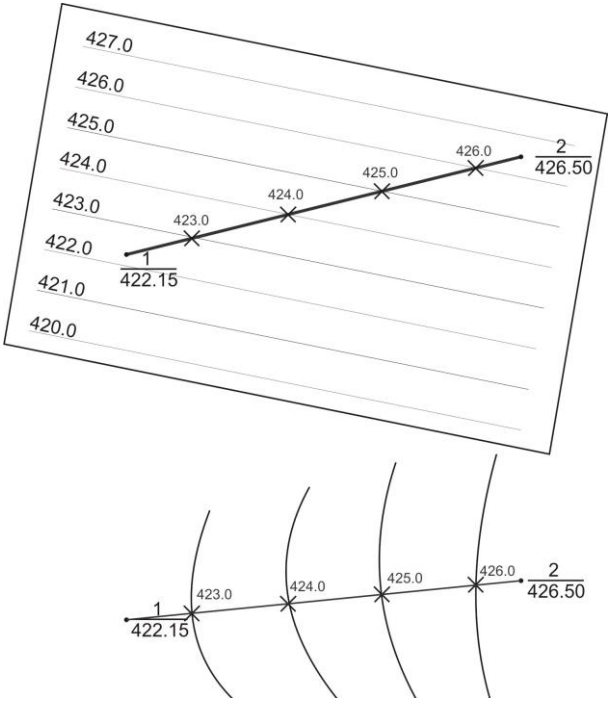



Рис. 7.6. Графічне інтерполювання за допомогою палетки

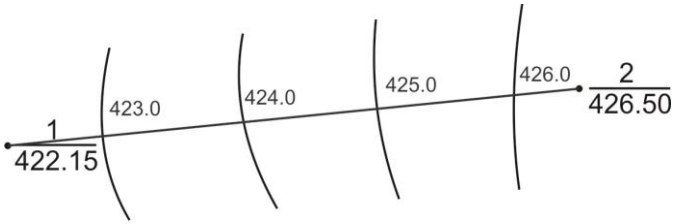



Рис. 7.7. Приблизний метод нанесення горизонталей

**Запитання для самоконтролю:**

1. Методи теодолітного знімання місцевості.
2. Тахеометричне знімання місцевості.
3. Польові роботи при тахеометричному зніманні.
4. Камеральне опрацювання тахеометричного знімання.
5. Побудова плану знімання.
6. Графічний спосіб інтерполювання.
7. Аналітичний спосіб інтерполювання.

# ТЕМА 8. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З НОВИМИ ГЕОДЕЗИЧНИМИ ПРИЛАДАМИ

## *8.1. Електронні тахеометри*

На сьогоднішній день замість оптичних тахеометрів все ширшого використання набувають – електронні.

***Електронні тахеометри*** – багатофункціональні геодезичні прилади, являють собою комбінацію кодового теодоліта, вбудованого світловіддалеміра та спеціалізованого міні-комп'ютера, які забезпечують запис результатів вимірювань у внутрішні чи зовнішні блоки пам'яті.

Сучасні електронні тахеометри, як правило, дозволяють вирішувати наступні інженерні задачі:

– визначати недоступні відстані;
– визначати висоти недоступних об’єктів;
– визначати дирекційні кути;
– зворотню (обернену) засічку;
– визначати тривимірні координати рейкових точок;
– виносити в натуру тривимірні координати точок;
– визначати площі ділянок та ін.

Електронний тахеометр забезпечує вимірювання та визначення наступних величин:

– $Z$ – зенітної віддалі;
– $\beta$ $(\alpha)$ – горизонтальних (дирекційних) кутів;
– $D$ – нахилених відстаней;
– $D_{сер}$ – арифметичного середнього $D$;
– $\sigma_D^2$ – дисперсію значень $D$;
– $h$ $(H)$ – перевищень (висот) точок візування;
– $d$ – горизонтальних відстаней;
– $\Delta X$ $(X)$, $\Delta Y$ $(Y)$ – приростів координат (координат) точок візування.

З панелі тахеометра можна вводити у пам'ять таку інформацію:

– $K_П$ – поправочний коефіцієнт на зміну температури і тиску;
– $(i\text{-}l)$ – різницю висот тахеометра і відбивача;

– $H_0$ – після введення цієї інформації тахеометр відразу визначає абсолютні висоти точок візування $H$, за замовчуванням – перевищення $h$;
– $\alpha_0$ – дирекційний кут вихідного напрямку. При введенні цієї інформації тахеометр визначає дирекційні кути напрямків на точки візування, за замовчуванням – праві за рухом горизонтальні кути $\beta$;
– $X_0$, $Y_0$ – координати точки стояння приладу. При введенні цієї інформації тахеометр відразу визначає координати $X$, $Y$, за замовчуванням – прирости координат від вихідного напрямку $\Delta X$, $\Delta Y$;
– $K_м$ – число цілих кілометрів у вимірюваній відстані.

Електронний тахеометр 3Та5 призначений для виконання крупномасштабних топографічних знімань, для створення мереж планово-висотного обґрунтування, для складання (проведення) виконавчих знімань забудованих територій і територій зайнятих під будівництво, для автоматизованого вирішення у польових умовах різних геодезичних та інженерних задач за допомогою прикладних програм. На рис. 8.1 представлений загальний вигляд тахеометра 3Та5Р Уральського оптико-механічного заводу (Росія).

За допомогою тахеометра можна виконувати вимірювання кутів (горизонтальних та вертикальних), виконувати вимірювання полярних координат, отримувати результати у вигляді горизонтальних закладань та перевищень, а також у вигляді виміряних прямокутних координат. Результати вимірювань можна записувати на карту пам'яті.

На панелі керування тахеометра 3Та5 розміщено *15* клавіш, деякі з них можуть виконувати декілька функцій:

**1** - **9** - введення окремих цифр;

**–** - введення знака „мінус”;

**▲**, **▼** - переміщення курсора на дисплеї;

**MENU** - виклик меню для вибору режиму роботи, вихід з режиму після виконаня вимірювань;

**▶** - зміна режиму, продовження роботи, перегляд результатів вимірювань записаних у карту пам'яті;

**◀** - перегляд результатів вимірювань записаних у карту пам'яті, зміна шаблону дисплея без виходу в головне меню;

▶0◀ - обнулення горизонтального круга;
CE - видалення неправильно набраних цифр;
REG - запис вимірювань у карту пам'яті;
MEAS - початок вимірювань;
ENT - вибір підпрограм, підтвердження введення величин;
● - увімкнення підсвічування дисплея.

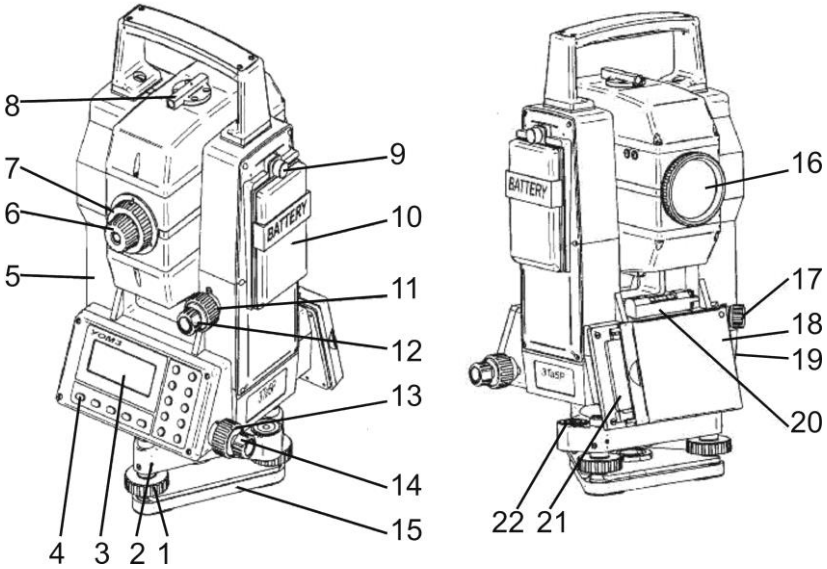


Рис. 8.1. Загальний вигляд і будова електронного тахеометра 3Та5Р

1 – *піднімальні гвинти*;
2 – *трегер*;
3 – *дисплей*;
4 – *панель керування з клавішами*;
5 – *колонка*;
6 – *діоптрійне кільце окуляра*;
7 – *фокусуючий гвинт (кремальєра)*;
8 – *візир*;
9 – *гвинт кріплення батареї*;
10 – *батарея*;
11 – *навідний (мікрометричний) гвинт ВК*;
12 – *затискний (закріпний) гвинт ВК*;
13 – *навідний (мікрометричний) гвинт ГК*;

14 – *затискний (закріпний) гвинт ГК*;
15 – *підставка*;
16 – *об'єктив*;
17 – *окуляр оптичного центрира*;
18 – *панель з картою пам'яті*;
19 – *гнізда для з'єднання з ПК*;
20 – *циліндричний рівень*;
21 – *карта пам'яті*;
22 – *круглий рівень*.

*Основні технічні характеристики електронного тахеометра 3Та5:*

Середня квадратична похибка вимірювання одним прийомом:

– горизонтального кута . . . . . 5"
– вертикального кута . . . . . 7"
– похилої відстані . . . . . $\pm(5+3\cdot10^{-6}\cdot D)$

Діапазон вимірювання відстаней . від 2 до 2000 м (1000 м)
Вага тахеометра . . . . . 5.6 кг
Діапазон робочих температур . . від -20 ºС до +50 ºС

### *8.2. Цифрові нівеліри*

***Цифрові (електронні) нівеліри*** – сучасні багатофункціональні геодезичні прилади що поєднують функції високоточного оптичного нівеліра, електронного запам'ятовуючого пристрою та вбудованого програмного забезпечення для опрацювання отриманих вимірів.

У цифрових нівелірах відлік знімається автоматично за спеціальною штрих-кодовою рейкою. При цьому виконується багаторазове зняття відліку, що значно підвищує надійність результату. Крім високої точності показань цифрового нівеліра, він також дає можливість виключити помилки людського фактора як такого. Також цифрові нівеліри здатні прискорити сам процес вимірювань, що сприяє чималій економії часу. Для того, щоб прилад виконав необхідний вимір, достатньо навести прилад на рейку, сфокусувати зображення та натиснути на пускову кнопку. Для цього рейка повинна бути достатньо освітлена. Штрихкод на ній не повторюється за всією довжиною і, таким чином, дозволяє

визначити висоту від п'ятки рейки до місця наведення. Інструмент може також вимірювати відстань до рейки, що дозволяє контролювати відстань до передньої та задньої рейок і витримувати рівність плеч у нівелірних ходах. Нівелір забезпечений процесором, що дозволяє виконувати обчислення перевищень і відміток, рідкокристалічним дисплеєм для виведення результатів на екран, а також внутрішньої пам'яттю для запису даних у цифровому вигляді.

Цифрові нівеліри мають ряд вмонтованих обчислювальних функцій:

– визначення перевищення: цифровий нівелір обчислює перевищення між задньою і передньою точками;
– визначення висоти: при введенні відмітки задньої точки цифровий нівелір може обчислювати абсолютні значення висот передніх точок;
– винесення в натуру: за допомогою цифрових нівелірів можна виконувати винесення в натуру перевищення, висоти та горизонтального закладання.

### *8.3. Супутникові приймачі*

На сьогоднішній день функціонує декілька супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) – система NAVSTAR (США), ГЛОНАСС (Росія), Galileo (Європейське співтовариство).

Супутникові радіонавігаційні системи мають дуже великі можливості і широке використання: морська та повітряна навігація, сухопутний транспорт, геодезичні вимірювання, картографія, екологічний, промисловий і сільськогосподарський моніторинг, всесвітня служба точного часу тощо.

Геодезичне застосування системи GPS полягає насамперед у розвитку високоточних геодезичних мереж та проведення знімань різних масштабів. Її можна також використовувати для виконання будь-яких видів знімань та розв’язання інженерно-геодезичних задач. Геодезичні GPS-приймачі забезпечують точність визначення координат точок від *1 м* до *1 мм* в залежності від застосованого методу вимірювань.

Серед переваг СРНС варто відмітити їх „всепогодність”, незалежність від часу доби і пори року, необов’язковість прямої

видимості між пунктами, можливість автоматизації, безперервності вимірювань, високу точність, оперативність, одночасне визначення трьох координат, невеликі габарити обладнання, можливість виконання вимірів під час руху. Серед недоліків насамперед значна залежність від зовнішніх умов – закритість небосхилу перешкодами, іоносферна та тропосферна затримки, багатошляховість поширення сигналу тощо.

Системи GPS і ГЛОНАСС мають подібну архітектуру та принципи дії і складаються з *3* сегментів:

1. Космічного сегменту, який складається з штучних супутників Землі, що передають радіосигнали на Землю;
2. Контрольного сегменту, який включає комплекс наземних засобів, що забезпечують функціонування космічного сегменту та здійснюють безпосереднє керування всією системою;
3. Сегменту користувачів, який являє собою всю множину приймачів різних типів

У системі GPS проектний космічний сегмент являє собою систему з *24* ШСЗ, розподілених по шести майже колових орбітах з висотою біля *20200 км*. Проектний космічний сегмент системи ГЛОНАСС складається з *24* супутників, що рухаються на *3* орбітах з висотою біля *19100 км* (рис. 8.2).

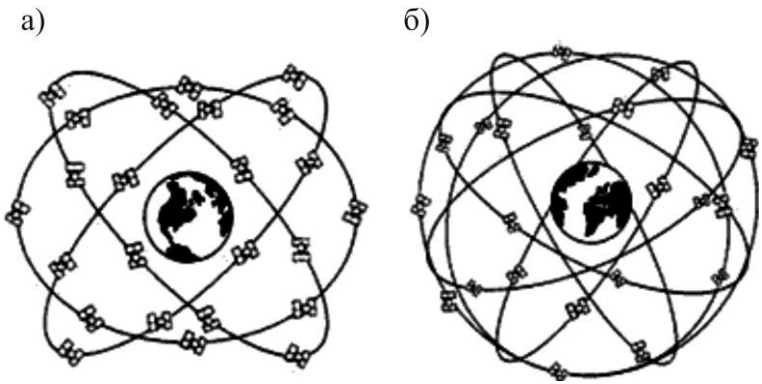



Рис. 8.2. Космічний сегмент супутникових радіонавігаційних систем:
а) ГЛОНАСС; б) GPS

Визначення координат приймачем засновано на динамічній просторовій засічці при отриманні ним сигналів від щонайменше

чотирьох супутників. При цьому GPS-приймач дозволяє визначити координати об'єкта, швидкість його руху і точний час.

Для використання динамічної просторової засічки необхідно постійно знати координати супутників. Радіопередавачі ШСЗ неперервно передають сигнали в напрямку Землі. Ці сигнали несуть інформацію про миттєві координати супутників і час виходу сигналу із системи супутника. Сигнали, надіслані від різних супутників одночасно, приймаються відповідними приймачами, що розташовані на земній поверхні у точках із шуканими координатами. Приймачі фіксують час приходу сигналу на антену приймача і, використовуючи швидкість поширення радіосигналу у просторі, визначають миттєву віддаль до супутника. Знайшовши одночасні миттєві віддалі до *4-х* супутників і використовуючи їх миттєві координати, розв'язується пряма просторова засічка, з якої находять геоцентричні координати пункту спостереження і точний час.

За призначенням супутникові спостереження діляться на:

- *навігаційні* (використовуються, як правило, на кораблях, літаках, автомобілях, інших видах транспорту та рухомих об'єктах). Вони не відрізняються великою точністю (субметрова точність), але безперервно визначають положення транспорту;
- *геодезичні* – використовуються для визначення координат фіксованої точки або лінії (пункти опорних мереж, меж земельної ділянки, інженерних споруд тощо) на місцевості з необхідною точністю.

### *8.4. Трасошукачі*

***Трасошукачі*** – це прилади, які призначені для визначення місцезнаходження і глибини залягання підземних комунікацій (труби, кабелі, різного роду металеві предмети). Комунікації можуть бути як під напругою, так і знеструмлені. В останньому випадку необхідним є використання спеціального генератора. Для використання генератора зазвичай необхідне безпосереднє підключення до комунікації. При цьому можна відстежити становище комунікації на відстані до кілометра і більше від місця підключення генератора. У випадках, коли неможливе пряме підключення використовується ефект індукції – генератор

встановлюється на землі над комунікацією, у результаті чого в комунікації проходить струм певної частоти. Завдяки цьому можна відстежувати і знеструмлені комунікації.

В умовах сучасного міста і промислового підприємства підземні комунікації настільки густо розташовані в землі, що застосування трасошукачів стає обов'язковою умовою проведення будь-якого будівництва або вишукувальних робіт. Навіть за наявності схеми комунікацій місця робіт не завжди можна повністю бути впевненим у тому, що не порушуються існуючі підземні комунікації.

Трасошукачі дозволяють визначати:

– траси проходження підземних комунікацій: кабелів, трубопроводів;
– глибини залягання підземних комунікацій;
– відносну зміну рівня напруженості поля контрольованої комунікації за довжиною траси;
– місця пониження опору ізоляції зовнішніх металевих покриттів кабелів, трубопроводів, цілісність грозозахисних тросів;
– місця пошкодження кабелів зв'язку і енергетичних кабелів.

### *8.5. Лазерні віддалеміри*

***Лазерні віддалеміри (рулетки)*** – це інструменти для визначення відстаней, за допомогою електромагнітних хвиль. Для вимірювання відстані використовується один з двох методів: часовий (метод вимірювання відстані до цілі за часом затримки відбитого сигналу) або фазовий (метод визначення відстані до цілі за зміщенням фази відбитого сигналу).

В якості джерела електромагнітного випромінювання в електронних віддалемірах використовується лазерний діод. Для підсилення відбитого сигналу можна використовувати відбивач, який встановлюється на ціль. Лазерні віддалеміри, які можуть вимірювати відстань до цілі без відбивача, називаються безвідбивачевими. Дальність вимірювання залежить від відбивної здатності цілі. Найкраща відбивна здатність у об'єктів з плоскими поверхнями (стіни будинків, скелі).

Крім безпосереднього вимірювання довжин ліній, вони дозволяють виконувати деякі обчислювальні функції: додавання та віднімання виміряних довжин, обчислення периметру, площі й об’єму,

знаходження максимальної та мінімальної з виміряних відстаней, виконання опосередкованих вимірювань тощо.

Всі лазерні рулетки умовно можна поділити на дві групи – геодезичні та інші. На рисунку 8.3 показано будову лазерного віддалеміра Leica Disto A5, який відноситься до геодезичних.

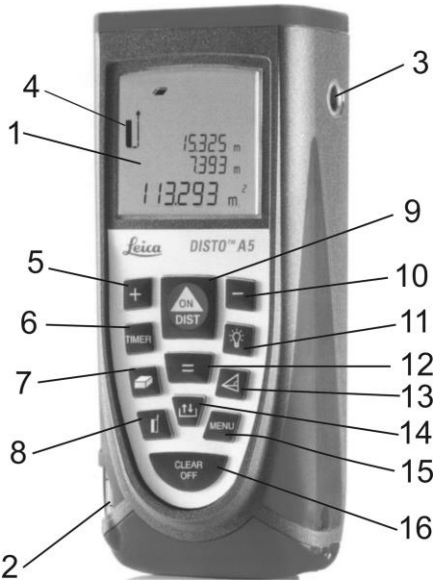



Рис. 8.3. Загальний вигляд і будова лазерного віддалеміра Leica Disto A5

1 – *дисплей*;
2 – *циліндричний рівень*;
3 – *оптичний візир*;
4 – *індикатор точки відлічування вимірів*;
5 – *клавіша PLUS (плюс)*;
6 – *клавіша TIMER (таймер)*;
7 – *клавіша AREA/VOLUME (площа/об'єм)*;
8 – *клавіша REFERENCE (точка відлічування)*;
9 – *клавіша ON/DIST (увімкнути/виміряти*);
10 – *клавіша MINUS (мінус)*;
11 – *клавіша ILLUMINATION (підсвічування)*;
12 – *клавіша EGUAL (дорівнює)*;
13 – *клавіша INDIRECT MEASUREMENT (опосередковане вимірювання)*;

14 – *клавіша STORAGE (пам'ять)*;
15 – *клавіша MENU (меню)*;
16 – *клавіша CLEAR/OFF (стерти/вимкнути)*.

*Основні технічні характеристики лазерного віддалеміра Leica Disto A5:*

– діапазон вимірювання відстаней . . від 0,05 м до 200 м
– точність вимірювання до 30 м . . . ± 1,5 мм
– найменша одиниця виміру . . . . 1 мм
– вбудований оптичний візир . $2^x$ кратне збільшення
– підсвічування дисплея . . . . . +
– відкидна позиційна скоба з автоматичним розпізнаванням +
– таймер . . . . . +
– просте одиничне вимірювання . . . . +
– максимальна і мінімальна відстань. . . . +
– неперервне вимірювання . . . . . +
– збереження виміряних величин . . . 20 значень
– можливість опосередкованих вимірів . . . +
– можливість обчислення площі та об’єму . . . +
– додавання/віднімання . . . . . +
– термін експлуатації батарей (тип АА, 2×1,5V) . . . . . до 10 000 вимірювань
– розміри . . . . . 148×64×36 мм
– вага ( з елементами живлення). . . . . 241 г
– температурний діапазон:
  – зберігання . . . від -25 ºС до +70 ºС
  – експлуатації . . . від -10 ºС до +50 ºС

**Запитання для самоконтролю:**

1. Основні функціональні можливості електронних тахеометрів.
2. Будова електронного тахеометра 3Та5.
3. Основні функціональні можливості цифрових нівелірів.
4. Структура супутникових радіонавігаційних систем.
5. Основні функціональні можливості трасошукачів.
6. Основні функціональні можливості лазерних віддалемірів.
7. Будова лазерного віддалеміра Leica Disto A5.

## ЛІТЕРАТУРА


1. Геодезія. Частина перша / Під ред. Могильного С. Г., Войтенка С. П. Чернігів, 2002. 408 с.
2. Ратушняк Г. С. Інженерна геодезія: Практикум : навчальний посібник. К. : Вища школа, 1992. 262 с.
3. Романчук С. В. Практикум з інженерної геодезії : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2005. 142 с.
4. Панчук Ю. М., Бялик І. М., Янчук О. Є. Інженерна геодезія. Рівне : НУВГП, 2012. 337 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/2185/
5. Панчук Ю. М., Янчук О. Є. Лабораторний практикум з інженерної геодезії. Рівне : НУВГП, 2010. 134 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/1850/
6. Панчук Ю. М., Янчук О. Є., Німкович Р. С. Лабораторний практикум з основ геодезії : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2016. 83 с.
7. Панчук Ю. М., Янчук О. Є., Шульган Р. Б. Навчальна геодезична практика : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2014. 133 с.
8. Черняга П. Г., Дмитрів О. П., Стахів Я. А. Геодезія: Частина 1: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2009. 296 с.
9. Інженерна геодезія. Лабораторні роботи. Частина 1 : навчальний посібник для студентів технічних вищих закладів освіти / Черняга П. Г. та ін. Рівне, 1999. 138 с.
10. 076-90 Конспект лекцій з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки: 0921 – «Будівництво», 0925 – «Гірництво», 0926 – «Водні ресурси» / Ю. М. Панчук, С. В. Романчук. Рівне : НУВГП, 2005. 44 с.
11. 076-104 Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Складання топографічного плану за результатами тахеометричного знімання ділянки місцевості» з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» денної та заочної форм навчання / Ю. М. Панчук. – Рівне : НУВГП, 2009. 28 с.