

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

С. Г. Нестеренко,
О. В. Афанасьєв

ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Нестеренко С. Г. Електронні геодезичні прилади : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій / С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 130 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. С. Г. Нестеренко,
канд. техн. наук, доц. О. В. Афанасьєв

Рецензент

Ю. Б. Радзінська, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 25.08.2025

© С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв, 2026
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ.....	8
Тема 1 Загальні принципи виконання вимірювань характеристик фізичних величин.....	8
1.1 Предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами.....	8
1.2 Призначення і класифікація геодезичних приладів.....	11
1.3 Історичний екскурс в розвиток електронних геодезичних пристроїв.....	14
1.4 Загальні принципи виконання вимірювань характеристик фізичних величин.....	20
Тема 2 Лазерні візирі. Лазерні рулетки.....	27
2.1 Призначення, будова та принцип дії лазерних візирів. Ефект Доплера.....	27
2.2 Призначення, будова та принцип дії лазерних рулеток.....	32
Тема 3 Електронно-оптичні та електронні теодоліти.....	38
3.1 Призначення, будова та принцип дії електронно-оптичних теодолітів. Типи приладів та маркування.....	38
3.2 Призначення, будова та принцип дії електронних теодолітів. Маркування.....	41
3.3 Методи застосування. Опрацювання результатів вимірювань.....	45
Тема 4 Геодезичні додаткові пристрої.....	50
4.1 Гіроскопічне обладнання. Гіроскопічна насадка GyroMax AK-2M.	50
4.2 Системи автоматичного нівелювання Leica PowerGrade.....	51
4.3 Програмно-апаратний комплекс Power Digger для екскаваторів.....	54
4.4 Сенсори базової системи. Кутовий сенсор MSS300. Система сенсорів. Вибір додатків залежно від типу рішення.....	54
4.5 Шукач підземних комунікацій.....	57

4.6 Безпілотні літаючі апарати.....	59
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ	
ПРИЛАДИ.....	61
Тема 5 Цифрові та лазерні нівеліри.....	61
5.1 Використання лазерних вимірювальних приладів у будівництві.	
Лазерні прилади для будівництва та оздоблення.....	61
5.2 Функції лазерних приладів. Багатопроменевий лазерний інструмент.....	64
5.3 Нівеліри. Лазерний нівелір. Ротаційні нівеліри. Позиційні нівеліри.....	66
Тема 6 Тахеометри.....	73
6.1 Електронний тахеометр. Прикладні функції приладу.....	73
6.2 Типи приладів та маркування. Конструкція і принцип дії.....	76
6.3 Принципова і структурна схема. Формати даних знімання.....	79
6.4 Первинна обробка результатів тахеометричних вимірювань, експорт та використання даних у програмному забезпеченні.....	82
6.5 Планування тахеометричного знімання: вибір станцій, схема знімання, оцінка точності та підготовка до польових робіт.....	84
Тема 7 Лазерні сканери.....	86
7.1 Призначення, принцип дії та будова лазерних сканерів.....	86
7.2 Типи приладів. Маркування. Особливості застосування.....	91
7.3 Мобільне лазерне сканування.....	93
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО	
ПОЗИЦІОНУВАННЯ.....	103
Тема 8 Супутникове геодезичне обладнання.....	103
8.1 Структура систем і режими роботи.....	103
8.2 Космічний сектор.....	106
8.3 Сектор управління і контролю.....	108
8.4 Сектор користувача.....	110

Тема 9 GNSS-приймачі.....	113
9.1 Принцип роботи та класифікація.....	113
9.2 Планування супутникових спостережень: вибір режиму (RTK, статика), визначення тривалості спостережень, оцінка геометрії супутників (PDOP), організація польових робіт.....	115
Тема 10 Забезпечення точності вимірювань.....	118
10.1 Точність вимірювань.....	118
10.2 Мережа базових станцій.....	121
10.3 Мережа RTK базових станцій.....	124
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	126

ВСТУП

Метою вивчення дисципліни є набуття студентами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти поглиблених знань про використання сучасних технологій під час проведення геодезичних робіт наземними методами із застосуванням сучасних електронних теодолітів, тахеометрів, цифрових нівелірів, глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), освоєння програмних продуктів обробки результатів спостереження в процесі вирішення завдань геодезії, картографії та землеустрою.

Вивчення цієї дисципліни безпосередньо базується на знаннях із вищої математики, фізики, геодезії, метрології, стандартизації та сертифікації.

Зміст курсу «Електронні геодезичні прилади» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій подано в таких темах:

1. Загальні принципи виконання вимірювань характеристик фізичних величин.
2. Лазерні візирі. Лазерні рулетки.
3. Електронно-оптичні та електронні теодоліти.
4. Геодезичні додаткові пристрої.
5. Цифрові та лазерні нівеліри.
6. Тахеометри.
7. Лазерні сканери.
8. Супутникове геодезичне обладнання.
9. GNSS-приймачі.
10. Забезпечення точності вимірювань.

У межах цього курсу виокремлюють три змістові модулі:

1. Фізичні основи електронних геодезичних приладів.
2. Сучасні електронні геодезичні прилади.
3. Системи глобального позиціонування.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен:

- визначати види робіт, які виконуються електронними приладами та загальні вимоги до електронних та високоточних приладів;
- пояснювати призначення, будову та принцип дії електронних геодезичних приладів;
- застосовувати електронні геодезичні прилади та опрацьовувати результати вимірювань;
- виконувати збір геопросторових даних, обробку, оцінку їхньої точності, інтерпретацію та застосування;
- застосовувати базові методи обробки та аналізу результатів геодезичних вимірювань для вирішення спеціалізованих задач у сфері геодезії та землеустрою;
- проводити польові, дистанційні і камеральні дослідження та вибирати методи й обладнання, планувати комплекс робіт із виконання геодезичних зйомок;
- виконувати дистанційні, наземні, польові і камеральні роботи в сфері геодезії та землеустрою;
- виконувати підготовку та оформлення звітів за результатами знімань;
- виконувати планування геодезичних, топографічних та кадастрових знімань;
- застосовувати програмне забезпечення для опрацювання результатів геодезичних знімань;
- ухвалювати ефективні рішення щодо професійної діяльності у сфері геодезії та землеустрою.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Тема 1 Загальні принципи виконання вимірювань характеристик фізичних величин

План

- 1.1 Предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами.
- 1.2 Призначення і класифікація геодезичних приладів.
- 1.3 Історичний експурс у розвиток електронних геодезичних пристроїв.
- 1.4 Загальні принципи виконання вимірювань характеристик фізичних величин.

1.1 Предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами

Дисципліна «Електронні геодезичні прилади» належить до інженерно-технічних прикладних дисциплін і спрямована на формування системного уявлення про сучасні засоби вимірювання просторових характеристик об'єктів та процесів. Предметом дисципліни є теоретичні основи, принципи побудови, конструктивні особливості, функціонування та експлуатації електронних геодезичних приладів, а також методи їх застосування під час виконання топографо-геодезичних, інженерно-геодезичних і кадастрових робіт.

У сучасних умовах розвитку геодезії ця дисципліна виходить далеко за межі класичних уявлень про оптико-механічні прилади. Вона охоплює комплекс технічних засобів, що базуються на досягненнях електроніки, лазерної техніки, супутникових технологій, цифрової обробки сигналів та геоінформаційних систем. Таким чином, електронні геодезичні прилади є складовою цифрової інфраструктури просторових даних, яка забезпечує формування, оновлення та аналіз геопросторової інформації.

Сучасні геодезичні прилади характеризуються високим рівнем автоматизації, інтеграцією з програмним забезпеченням, можливістю роботи в режимі реального часу та використанням глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS). До таких приладів належать електронні тахеометри, цифрові нівеліри, GNSS-приймачі, лазерні сканери, мобільні картографічні системи, безпілотні літальні апарати (БПЛА), а також допоміжні сенсорні системи. Їх застосування дозволяє значно підвищити продуктивність, точність та надійність геодезичних робіт.

Геодезичні прилади широко використовуються не лише у класичній геодезії, але й у суміжних галузях, що визначає міждисциплінарний характер цього курсу. Зокрема, вони активно застосовуються у землеустрої та кадастрових роботах, містобудуванні та територіальному плануванні, будівництві та інженерних вишукуваннях, транспортній інфраструктурі, екологічному моніторингу, лісовому господарстві, аграрному секторі, гірничій справі та енергетиці. У сучасних умовах розвитку концепцій Smart City, цифрових двійників територій та геоінформаційного моделювання роль електронних геодезичних приладів суттєво зростає, оскільки вони виступають основним джерелом високоточної просторової інформації.

Особливістю сучасних геодезичних приладів є їхня здатність працювати в складних експлуатаційних умовах, включно з широким температурним діапазоном, впливом вібрацій, пилу, вологи та інших факторів навколишнього середовища. Водночас розвиток технологій сприяв появі спеціалізованих геодезичних систем, які інтегруються в автоматизовані виробничі процеси. До таких належать системи машинного керування будівельною технікою (Machine Control), системи лазерного позиціонування, інерціальні навігаційні системи, а також комплекси для моніторингу деформацій інженерних споруд.

Важливим елементом курсу є розгляд сучасних типів геодезичних приладів, серед яких можна виділити:

- лазерні вимірювальні прилади (лазерні далекоміри, сканери, нівеліри);
- електронні тахеометри та теодоліти;
- цифрові нівеліри;

- супутникове геодезичне обладнання (GNSS-приймачі різних класів точності);
- безпілотні літальні апарати з фотограмметричними та лідарними сенсорами;
- мобільні та стаціонарні системи геодезичного моніторингу.

Важливою характеристикою будь-якого геодезичного приладу є точність вимірювань, яка визначає достовірність отриманих результатів та можливість їх використання у практичних задачах. Точність залежить від конструктивних особливостей приладу, умов виконання вимірювань, методики спостережень та якості обробки даних. У зв'язку з цим значна увага в курсі приділяється питанням метрологічного забезпечення, калібрування, повірки та юстування приладів.

Основні задачі дисципліни полягають у формуванні у здобувачів вищої освіти системи знань і практичних навичок, необхідних для ефективного використання електронних геодезичних приладів у професійній діяльності. Задачі курсу:

1. Опанування теоретичних основ функціонування електронних геодезичних приладів, включно з принципами вимірювання відстаней, кутів та перевищень, а також фізичними основами роботи електронних і лазерних систем.
2. Вивчення конструкції, технічних характеристик і функціональних можливостей сучасних геодезичних приладів різних типів.
3. Формування практичних навичок виконання геодезичних вимірювань із використанням електронних приладів у польових умовах.
4. Опанування методів обробки результатів вимірювань, включно з використанням спеціалізованого програмного забезпечення та геоінформаційних систем.
5. Засвоєння методів контролю точності вимірювань, виконання повірок, юстування та технічного обслуговування приладів.
6. Формування вмінь планування геодезичних робіт з урахуванням технічних можливостей обладнання та вимог до точності.

7. Ознайомлення з сучасними тенденціями розвитку геодезичного обладнання, зокрема автоматизацією вимірювань, інтеграцією з GNSS, використанням БПЛА та технологій лазерного сканування.

Таким чином, дисципліна «Електронні геодезичні прилади» забезпечує фундаментальну підготовку фахівців у сфері геодезії та землеустрою, формуючи у них здатність ефективно використовувати сучасні технічні засоби для вирішення складних інженерних задач, пов'язаних із дослідженням, моделюванням та управлінням просторовими об'єктами.

1.2 Призначення і класифікація геодезичних приладів

Геодезичні прилади застосовуються для виконання комплексу вимірювальних і аналітичних задач, пов'язаних із визначенням просторового положення об'єктів, їхніх геометричних параметрів та змін у часі. Основною функцією геодезичних приладів є отримання достовірних кількісних характеристик – координат, відстаней, кутів, перевищень, що використовуються під час побудови геодезичних моделей місцевості та інженерних об'єктів.

До основних напрямів застосування геодезичних приладів належать:

1. Побудова та розвиток геодезичних мереж різного призначення, включно з державними геодезичними мережами, мережами згущення, локальними інженерними мережами, а також супутниковими геодезичними мережами. У цих роботах забезпечується визначення координат пунктів із високою точністю, що є основою для всіх подальших геодезичних вимірювань.

2. Виконання інженерно-геодезичних вишукувань, які передбачають створення топографічних планів і цифрових моделей місцевості, визначення рельєфу, ситуації, інженерної інфраструктури. Геодезичні прилади використовуються на всіх етапах життєвого циклу об'єктів будівництва – від проєктування до експлуатації та моніторингу.

3. Проведення спеціалізованих робіт у суміжних галузях, серед яких землеустрій, лісове господарство, геологічні дослідження, транспортне та

гідротехнічне будівництво, містобудування, екологічний моніторинг, аграрні технології. У кожній із цих сфер геодезичні прилади виконують функції вимірювання, контролю та аналізу просторових параметрів.

4. Контроль геометричних параметрів у промисловості, зокрема у машинобудуванні та приладобудуванні. У цьому випадку геодезичні прилади використовуються як високоточні вимірювальні системи для контролю форми, положення та взаємного розташування елементів конструкцій.

Геодезичні прилади класифікуються за функціональним призначенням, принципом дії, конструктивними особливостями та точністю. Традиційна класифікація містить декілька основних груп.

До першої групи належать теодоліти – прилади, призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів. Сучасні теодоліти поділяються на електронні та електронно-оптичні, оснащені цифровими відліковими системами, автоматичними компенсаторами та інтерфейсами передачі даних. За точністю теодоліти поділяються на високоточні, точні та технічні. Класифікація за точністю визначається середньоквадратичною похибкою вимірювання горизонтального кута одним прийомом. Наприклад, прилад із точністю 2" забезпечує відповідний рівень вимірювань під час інженерних робіт.

Маркування теодолітів відображає їхні технічні характеристики та конструктивні особливості. Позначення містить інформацію про модифікацію, точність, наявність компенсатора, тип зображення зорової труби. У сучасних моделях ці характеристики доповнюються цифровими функціями, такими як автоматичне визначення напрямків, збереження результатів та інтеграція з програмним забезпеченням.

До другої групи належать нівеліри – прилади для визначення перевищень між точками. За точністю вони поділяються на високоточні, точні та технічні. У сучасній практиці широко застосовуються цифрові нівеліри, які автоматично зчитують відліки за штрих-кодовими рейками та виконують первинну обробку результатів. Це дозволяє зменшити вплив людського фактора та підвищити точність вимірювань.

До третьої групи належать прилади для вимірювання довжин ліній. Історично вони поділялися на механічні (рулетки, стрічки) та оптичні. У сучасних умовах основне застосування мають електронні далекоміри, що використовують лазерне або інфрачервоне випромінювання. Вони забезпечують високу точність вимірювань на значних відстанях і можуть працювати як у відбивному, так і у безвідбивному режимах. Діапазон вимірювань і точність залежать від типу приладу, потужності випромінювання та умов спостережень.

До четвертої групи належать комбіновані прилади, які поєднують функції декількох вимірювальних систем. Основним представником цієї групи є електронний тахеометр. Він забезпечує вимірювання кутів, відстаней і перевищень, а також автоматичне обчислення координат точок. Сучасні тахеометри оснащені вбудованими обчислювальними модулями, пам'яттю, системами зв'язку та програмним забезпеченням для виконання складних геодезичних задач. Вони підтримують формати обміну даними та інтеграцію з геоінформаційними системами.

Кіпрегелі, які раніше широко застосовувалися для топографічної зйомки, у сучасній практиці майже повністю витіснені електронними тахеометрами та цифровими системами збору даних.

П'ята група містить комплектуючі та допоміжні пристрої, необхідні для забезпечення роботи геодезичних приладів. До них належать штативи, нівелірні рейки, відбивачі, центрири, рівні, орієнтирні пристрої, а також елементи кріплення та стабілізації. Якість і технічний стан цих елементів безпосередньо впливають на точність вимірювань.

До шостої групи належать спеціальні геодезичні прилади, які застосовуються для виконання вузькоспеціалізованих задач. До них належать автоколіматори, гіроскопічні прилади, лазерні системи позиціонування, прилади для контролю створів, вертикального проєктування тощо. Сучасний розвиток цієї групи пов'язаний із впровадженням автоматизованих вимірювальних систем, сенсорних технологій та інтеграцією з цифровими платформами.

Окреме місце посідають супутникові геодезичні прилади – GNSS-приймачі, які забезпечують визначення координат точок у глобальних і локальних системах координат. Вони працюють у різних режимах – статичних, кінематичних, у режимі реального часу (RTK). Сучасні GNSS-системи використовують сигнали декількох супутникових угруповань, що підвищує надійність і точність позиціонування.

Важливою тенденцією є поява інтегрованих геодезичних систем, які поєднують можливості різних приладів. До таких систем належать лазерні сканери, мобільні картографічні комплекси, безпілотні літальні апарати з фотограмметричними та лідарними сенсорами. Вони дозволяють отримувати великі обсяги просторових даних і створювати тривимірні моделі об'єктів і територій.

Таким чином, аналіз геодезичних приладів відображає еволюцію від простих механічних засобів вимірювання до складних електронних систем, що забезпечують автоматизоване отримання та обробку геопросторових даних. Вибір конкретного типу приладу визначається вимогами до точності, умовами виконання робіт, характером об'єкта дослідження та необхідністю інтеграції з іншими інформаційними системами.

1.3 Історичний експурс у розвиток електронних геодезичних пристроїв

Історія розвитку геодезичних приладів безпосередньо пов'язана з практичними потребами суспільства у вимірюванні земель, будівництві споруд, прокладанні шляхів сполучення, створенні іригаційних систем та визначенні параметрів Землі. Найдавніші відомості про використання засобів вимірювання на місцевості стосуються III тисячоліття до н. е., коли під час спорудження зрошувальних систем у Межиріччі, Єгипті та Китаї застосовували мірні мотузки, жердини, водяні рівні та найпростіші візирні пристрої. На цьому етапі основним завданням було не створення точних геометричних моделей простору, а забезпечення практичної розбивки території, визначення напрямків і контролю висот.

Подальший розвиток геодезичних вимірювань пов'язаний з античною наукою. Саме в цей період були сформовані перші уявлення про інструментальні кутові вимірювання, побудову градусних шкал і використання оптичних напрямних елементів. У працях Герона Олександрійського описано діоптру – прилад, який застосовувався для вимірювання напрямків і кутів та став одним із прообразів пізніших кутомірних інструментів. Астролябія, що отримала розвиток у грецькій та арабській науковій традиції, також стала важливим етапом у формуванні ідеї кругового лімба з поділками. Значний науковий вплив мали й перші інструментальні визначення розмірів Землі, виконані з допомогою гномона, що заклало підґрунтя для подальшого розвитку геодезії як науки про форму і розміри Землі.

У середньовічний період значну роль у розвитку інструментальної техніки відіграли арабські вчені. Вони вдосконалювали прилади для астрономічних і геодезичних спостережень, підвищували точність поділу кутових шкал, розробляли нові механічні елементи відлікових систем. Праці Аль-Біруні та інших дослідників сприяли накопиченню інструментального досвіду, який згодом був сприйнятий європейською наукою.

Новий етап розвитку геодезичних приладів розпочався в добу Відродження і Великих географічних відкриттів. Розвиток механіки, оптики і картографії спричинив перехід від найпростіших візирних інструментів до більш складних приладів з рухомими частинами, лімбами, системами фіксації та оптичними елементами. У XVI столітті з'являється термін «теодоліт», а разом із ним – прилади, орієнтовані саме на вимірювання горизонтальних кутів. Водночас поширюється використання штативів, мензул, лінійок з діоптрами, що забезпечило стабільніше встановлення приладів і підвищення точності спостережень.

Вирішальний вплив на подальший розвиток геодезичного приладобудування мала поява зорової труби. Після створення перших лінзових труб на початку XVII століття стало можливим значне підвищення точності візування. Розроблення труб із прямим і оберненим зображенням, а також застосування сітки ниток створили технічні умови для появи точних теодолітів, нівелірів та астрономо-геодезичних

інструментів. Одночасно удосконалювались відлікові пристрої: принцип ноніуса, а згодом верньєра і мікроскопічних відлікових систем дав змогу істотно зменшити похибки зчитування зі шкал.

У XVII–XVIII століттях активно розвивалися прилади для визначення перевищень. Поява циліндричного рівня, круглого рівня, нових осьових систем та більш жорстких конструкцій заклала основу для розвитку нівелірів. У цей самий період відбувалося вдосконалення конструкції кутомірних приладів: з'явилися повторювальні теодоліти, покращені системи обертання рухомих частин, більш точні способи поділу лімбів, а також перші далекомірні нитки у зорових трубах.

XIX століття стало періодом переходу від ремісничого виготовлення геодезичних приладів до промислового виробництва. Саме тоді формуються відомі європейські школи приладобудування, з'являються великі підприємства, які спеціалізуються на випуску геодезичних і астрономічних інструментів. У цей період широко впроваджуються скляні лімби, мікрометричні відлікові системи, точні оптичні вузли, осьові системи на підшипниках, інварні рейки, удосконалені механізми фокусування. Особливу роль у модернізації геодезичних приладів відіграли швейцарські та німецькі виробники, які вивели точність кутових і лінійних вимірювань на якісно новий рівень.

Наприкінці XIX – початку XX століття у конструкціях приладів утверджуються ті рішення, які стали класичними для оптичної геодезії: внутрішнє фокусування зорових труб, оптичні мікрометри, контактні рівні, високоточні нівелірні рейки, вдосконалені системи центрування та горизонтування. Саме в цей період було сформовано базову технічну платформу, на якій згодом стало можливим впровадження електронних компонентів.

Перший великий перелом у розвитку геодезичних пристроїв відбувся в середині XX століття, коли в геодезію почала активно входити електроніка. Якщо до цього переважали оптико-механічні прилади, то з 1940–1950-х років починається розроблення електронних систем лінійних вимірювань. Спочатку це були електронно-оптичні далекоміри та радіодалекоміри, що дали змогу вимірювати відстані значно швидше і точніше, ніж традиційними механічними або оптичними

способами. Поява світловіддалемірів означала відхід від трудомістких базисних вимірювань та перехід до нової технології створення геодезичних мереж.

Особливе значення для розвитку електронних геодезичних пристроїв мала поява лазера у 1960 році. Використання когерентного випромінювання відкрило нові можливості для побудови прецизійних віддалемірів, лазерних візирів, систем вертикального проектування, інтерферометричних пристроїв та згодом – лазерних сканерів. Одночасно з лазерною технікою швидко розвивались мікроелектроніка, цифрові схеми, сенсори і мікропроцесори. Усе це створило умови для переходу від окремих електронних вузлів до комплексних цифрових геодезичних систем.

Наступним етапом стало впровадження електронних відлікових систем у кутомірні прилади. Електронні теодоліти, а далі й електронні тахеометри, замінили оптичне зчитування по лімбу цифровим визначенням кутів. Це усунуло частину суб'єктивних помилок, пов'язаних із відліком, і забезпечило можливість автоматичного запису результатів у пам'ять приладу. Поєднання електронного вимірювання кутів з електронним вимірюванням відстаней привело до створення тахеометрів нового типу – універсальних приладів, здатних одночасно визначати кути, відстані, перевищення та координати точок.

Подальше вдосконалення електронних тахеометрів пов'язане з інтеграцією мікропроцесорних систем, вбудованих програм обчислення, внутрішньої пам'яті, модулів передачі даних і сервоприводів. Від простого поєднання теодоліта та далекоміра вони еволюціонували до роботизованих станцій, які можуть автоматично наводитися на ціль, відстежувати її положення, виконувати вимірювання в напіваавтоматичному або автоматичному режимі, а також передавати результати безпосередньо до польового контролера чи програмного середовища камеральної обробки.

У сфері нівелювання також відбувся перехід від оптичних нівелірів до автоматичних і цифрових систем. Упровадження компенсаторів дало змогу автоматично стабілізувати візирну вісь, а цифрові нівеліри забезпечили автоматизоване зчитування відліків зі штрих-кодових рейок. Такий підхід зменшив

вплив людського фактора, пришвидшив польові роботи і підвищив повторюваність результатів.

Друга фундаментальна зміна в розвитку геодезичних пристроїв пов'язана із супутниковими технологіями. Починаючи з другої половини XX століття, а особливо з 1970–1980-х років, формуються глобальні супутникові навігаційні системи, що відкрили принципово новий спосіб визначення координат. Для геодезії це означало відхід від обов'язкової побудови суцільних наземних геодезичних мереж із взаємною видимістю між пунктами. Супутникові методи дали змогу визначати координати точок у будь-якому районі з високою точністю без необхідності прокладання довгих ланцюгів традиційних вимірювань.

Найбільше практичне значення для геодезії отримали системи GPS та Galileo, а також багатосистемні GNSS-рішення, які працюють із кількома супутниковими угрупованнями одночасно. Розвиток супутникового обладнання привів до появи приймачів різних класів: навігаційних, картографічних, геодезичних одностотних і двочастотних, мережевих RTK-комплексів. Сучасні GNSS-приймачі забезпечують статичні, кінематичні та RTK-вимірювання, отримання координат у режимі реального часу, інтеграцію з контролерами, хмарними сервісами та ГІС-платформами.

Окремим напрямом стало поєднання супутникових технологій з традиційними електронними приладами. Інтегровані комплекси, які об'єднують GNSS-приймач, тахеометр, інерціальні сенсори та польовий комп'ютер, дозволяють виконувати знімання в умовах перемикання між супутниковим і наземним режимами. Це особливо важливо в міській забудові, під кронами дерев, біля інженерних споруд, у кар'єрах та інших умовах обмеженої видимості неба.

Паралельно з розвитком тахеометрів і GNSS-приймачів у геодезії сформувався напрям лазерного сканування. Наземні лазерні сканери, мобільні картографічні системи та лідарні комплекси на безпілотних літальних апаратах дозволили перейти від поодиноких вимірних точок до масового збору просторових даних у вигляді хмар точок. Це змінило саму технологію знімання: об'єкти почали фіксуватися не дискретно, а майже суцільно, з високою щільністю

просторових вимірювань. Унаслідок цього стали можливими побудова цифрових двійників об'єктів, тривимірне моделювання споруд, моніторинг деформацій, інвентаризація інженерної інфраструктури.

Суттєвий внесок у розвиток приладобудування на українських землях зробили підприємства та науково-виробничі школи Києва, Харкова, Ізюма, Вінниці. У другій половині XX століття на українських підприємствах розроблялись і виготовлялись нівеліри, теодоліти, спеціальні автоколімаційні прилади, системи горизонтування, гіроскопічне обладнання, лазерні гоніометри, прилади вертикального проєктування. Окреме значення мали розробки спеціальних приладів для інженерної геодезії, маркшейдерських робіт, точного машинобудування та вимірювань деформацій. Ці роботи сформували прикладну базу для переходу до сучасних цифрових технологій спостережень.

На межі XX–XXI століть розвиток електронних геодезичних пристроїв набув комплексного характеру. Прилади перестали бути лише засобами вимірювання в польових умовах і стали елементами єдиного цифрового технологічного циклу. Сучасний геодезичний пристрій не тільки вимірює, але й виконує первинну обробку, контроль якості, збереження, передавання і частково інтерпретацію результатів. Саме тому нині електронні геодезичні прилади розглядаються не ізольовано, а як складові геоінформаційних, проєктних, моніторингових і виробничих систем.

Сучасний етап характеризується кількома напрямками розвитку. По-перше, це роботизація вимірювань: автоматичне наведення, стеження за ціллю, безконтактний збір даних, віддалене керування приладами. По-друге, це мініатюризація та енергетична ефективність, завдяки чому обладнання стає мобільнішим і придатним для тривалих польових робіт. По-третє, це інтеграція з програмним забезпеченням, хмарними сервісами, BIM- та GIS-платформами. По-четверте, це використання безпілотних систем, інерціальних модулів, фотограмметричних алгоритмів і штучного інтелекту для автоматизованого виділення об'єктів і контролю даних.

Таким чином, розвиток геодезичних пристроїв пройшов шлях від найпростіших механічних засобів вимірювання до складних цифрових систем, які поєднують оптичні, електронні, лазерні, супутникові та обчислювальні компоненти. Для сучасної геодезії характерне переважання саме електронних засобів спостережень, а основними тенденціями залишаються автоматизація, інтеграція та підвищення точності. Історичний розвиток приладобудування показує, що кожен новий технологічний етап не скасовував попередні методи повністю, а переосмислював їх, поєднуючи традиційні принципи геодезичних вимірювань із новими технічними можливостями.

1.4 Загальні принципи виконання вимірювань характеристик фізичних величин

Фізичною основою роботи значної частини сучасних електронних геодезичних приладів є процеси генерації, поширення, приймання та аналізу електромагнітних коливань і хвиль. На цих явищах ґрунтується функціонування електронних далекомірів, тахеометрів, лазерних візирів, сканерів, оптичних і супутникових систем позиціонування. Тому розгляд загальних принципів вимірювання фізичних величин у геодезії доцільно починати з основ коливальних і хвильових процесів.

1. Періодичні коливання, період і частота. Серед різноманітних коливальних процесів найважливішими для вимірювальної техніки є періодичні коливання, для яких виконується умова повторюваності стану системи через однакові проміжки часу:

$$S(t) = S(t + NT), \quad (1)$$

де $S(t)$ – змінна фізична величина;

t – час;

N – будь-яке ціле число;

T – найменший проміжок часу, через який повторюються значення всіх фізичних величин, що характеризують коливальний процес.

Величина T називається періодом коливання. Вона показує, за який час система здійснює один повний цикл змін. Із періодом безпосередньо пов'язана частота коливань:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

Частота показує кількість коливань за одиницю часу. Одиницею частоти є Герц (Гц), до того ж:

- 1 Гц = 1 коливання за секунду;
- 1 кГц = 10^3 Гц;
- 1 МГц = 10^6 Гц;
- 1 ГГц = 10^9 Гц;
- 1 ТГц = 10^{12} Гц.

У геодезичних приладах вибір частоти електромагнітного сигналу визначає дальність дії, чутливість до перешкод, точність фазових вимірювань та стабільність роботи вимірювальної системи.

2. Гармонійні коливання та їхні параметри. Найпростішим і водночас найважливішим видом періодичних коливань є гармонійні коливання, які описуються функціями синуса або косинуса:

$$S(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (3)$$

або

$$S(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (4)$$

де A – амплітуда коливання, тобто найбільше відхилення величини від середнього значення;

ω – кутова частота, яка визначається співвідношенням

$$\omega = 2\pi f; \quad (5)$$

φ_0 – початкова фаза, тобто значення фази в момент часу $t = 0$.

Аргумент тригонометричної функції називається поточною фазою або просто фазою коливання:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0. \quad (6)$$

Саме фаза є однією з головних характеристик коливального процесу в геодезичному приладобудуванні, оскільки фазові методи широко застосовуються під час вимірювання відстаней у світловіддалемірах та електронних тахеометрах.

Геометрично гармонійне коливання зручно подати у вигляді вектора, що обертається з постійною кутовою швидкістю. Довжина цього вектора дорівнює амплітуді A , а його проєкція на одну з координатних осей змінюється за законом синуса або косинуса. Таке подання дозволяє наочно пояснити фазові зсуви, додавання коливань та інтерференційні явища, які мають безпосереднє значення для електронних вимірювань.

3. Суперпозиція гармонійних коливань. Якщо накладаються два гармонійні коливання однакової частоти, то результуюче коливання також буде гармонійним із тією ж частотою. Його амплітуда і фаза визначаються співвідношенням амплітуд і початкових фаз складових коливань. Це положення є фундаментальним для аналізу сигналів у вимірювальних схемах.

Якщо ж складаються два коливання з близькими, але не однаковими частотами, виникає явище биття. У цьому випадку результуючий сигнал уже не є простим гармонійним коливанням: його амплітуда періодично змінюється в часі, а частота цієї зміни дорівнює різниці частот складових коливань.

Явище биття має прикладне значення у вимірювальній техніці, оскільки використовується для аналізу частотних відхилень, налаштування генераторів і виявлення малих розбіжностей між опорним та вимірюваним сигналами. У геодезичних електронних системах стабільність частоти є однією з умов високої точності визначення відстаней.

4. Складні періодичні коливання і спектр. Будь-яке складне періодичне коливання з періодом T може бути подане як сума гармонійних складових із частотами, кратними основній частоті $f = \frac{1}{T}$. Це є змістом розкладу в ряд Фур'є.

Сукупність гармонійних складових називають спектром коливання, а окремі складові – гармоніками. Гармоніка з частотою f є основною, з частотою $2f$ – другою, з частотою $3f$ – третьою тощо. Кожна гармоніка характеризується власною амплітудою та фазою.

Для приладобудування це положення має суттєве значення, оскільки реальні електричні сигнали, що формуються генераторами та приймальними пристроями, рідко бувають ідеально синусоїдальними. Аналіз спектра дозволяє оцінити рівень спотворень, виділити корисну компоненту, пригнічувати завади та оптимізувати схеми обробки інформації.

Періодичні коливання мають дискретний спектр, тоді як неперіодичні – неперервний. У вимірювальних системах це безпосередньо пов'язано з фільтрацією сигналів, виділенням несучої частоти та оцінкою шумових складових.

5. Хвилі та довжина хвилі. Коливання, які поширюються у просторі або в певному середовищі, називаються хвилями. Однією з основних характеристик хвильового процесу є довжина хвилі λ , яка пов'язана з частотою і швидкістю поширення співвідношенням:

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (7)$$

де v – швидкість поширення хвилі.

Це співвідношення є принциповим для електронної геодезії. У світловіддалемірах, лазерних сканерах, GNSS-приймачах та інших приладах саме довжина хвилі визначає особливості взаємодії сигналу з атмосферою, відбивними поверхнями, перешкодами та антенними системами. Крім того, фазові методи вимірювання відстаней безпосередньо використовують зв'язок між довжиною хвилі, фазою і пройденим шляхом сигналу.

6. Електромагнітні хвилі. Окремим випадком хвильових процесів є електромагнітні хвилі, тобто поширення у просторі змінного електромагнітного поля. У такій хвилі відбуваються гармонійні зміни напруженості електричного E і магнітного H полів.

Електромагнітна хвиля є поперечною: вектори E та H взаємно перпендикулярні та одночасно перпендикулярні напрямку поширення хвилі. Саме ця властивість є основою розуміння поляризації, відбиття, заломлення і взаємодії сигналу з різними середовищами.

Електромагнітні хвилі охоплюють широкий спектральний діапазон. У геодезичних приладах використовуються переважно:

- радіохвилі – у супутникових приймачах, радіоканалах зв'язку, системах передавання поправок;
- інфрачервоне випромінювання – у світловіддалемірах, безвідбивних тахеометрах, деяких сенсорних системах;
- видиме та лазерне випромінювання – у лазерних нівелірах, сканерах, візирях, системах проектування та наведення.

Для геодезичних вимірювань важливі не лише частота й довжина хвилі, а й стабільність джерела випромінювання, когерентність, спрямованість пучка та здатність до точного фазового аналізу.

7. Поляризація електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі мають властивість поляризації, яка характеризує напрям коливань вектора електричного поля в площині, перпендикулярній напрямку поширення хвилі.

Якщо коливання вектора E відбуваються у випадкових напрямках, то хвиля є неполяризованою. Якщо ж вектор E коливається лише в одному сталому напрямі, то хвиля є лінійно поляризованою.

Поляризація має прикладне значення в супутниковій геодезії, у роботі антен GNSS-приймачів, у лазерних оптичних системах, у разі зменшення впливу відбитих сигналів та в задачах підвищення вибіркової прийнятності. У низці приладів застосовуються поляризатори, які пропускають лише хвилі з певною орієнтацією електричного поля.

8. Рівняння монохроматичної хвилі. Лінійно поляризована монохроматична хвиля, що поширюється вздовж осі x зі швидкістю v , описується таким рівнянням:

$$S(t, x) = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right], \quad (8)$$

або

$$S(t, x) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0), \quad (9)$$

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (10)$$

де k – хвильове число.

Це рівняння показує, що фаза хвилі залежить не лише від часу, а й від координати точки простору. Саме тому одна й та сама хвиля в різних точках середовища має різні фазові значення. У вимірювальній техніці ця обставина використовується для визначення відстаней за фазовим зсувом між випроміненим і прийнятим сигналами.

9. Когерентність та інтерференція. Дві хвилі однакової частоти, для яких різниця фаз залишається сталою в часі, називають когерентними. Якщо такі хвилі накладаються, виникає інтерференція – явище підсилення або послаблення результуючого сигналу залежно від різниці фаз.

У разі складання двох когерентних хвиль, поляризованих в одній площині, амплітуда сумарної хвилі визначається фазовим співвідношенням між ними. Саме на інтерференційних ефектах ґрунтується робота прецизійних оптичних вимірювальних систем, лазерних інтерферометрів, деяких типів сенсорів зміщення і високоточних приладів контролю.

Для геодезичних вимірювань інтерференція має не лише позитивне, а й негативне значення. З одного боку, вона використовується в інтерферометричних системах. З іншого боку, небажана інтерференція та багатопроменевість можуть спричиняти похибки під час роботи GNSS-приймачів і електронних віддалемірів.

10. Еліптична, кругова та лінійна поляризація. Якщо складаються дві когерентні хвилі однакової частоти, поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах, то в загальному випадку результуючий вектор електричного поля описує еліпс. Така хвиля називається еліптично поляризованою.

Залежно від різниці фаз між складовими можливі окремі випадки:

– із різницею фаз 0° або 180° еліпс вироджується у пряму – хвиля є лінійно поляризованою;

– із різницею фаз 90° або 270° і рівними амплітудами виникає кругова поляризація.

Кругова поляризація має важливе прикладне значення у супутникових системах позиціонування, оскільки сигнали супутників передаються саме з круговою поляризацією. Це дозволяє зменшити вплив орієнтації приймальної антени та підвищити стабільність прийому сигналу в реальних умовах спостережень.

Запитання для самоконтролю

1. Коли активно почали застосовувати електроніку в геодезії?
2. Коли з'явився перший лазер?
3. Яка супутникова система не є глобальною?
4. Що визначається з допомогою супутникових систем?
5. Які прилади і пристрої використовуються для створення геоінформаційної системи?
6. Які координати визначають просторово-координатні системи?
7. Чи є періодичні коливання гармонійними?
8. Яким відношенням поєднана частота f із періодом T ?
9. Які три параметри повністю характеризують гармонічні коливання?
10. Що має дискретний спектр?
11. Який найбільш загальний випадок поляризації електромагнітних хвиль?
12. Що таке когерентні хвилі?
13. Як пов'язана довжина хвилі λ з частотою і швидкістю розповсюдження коливань?
14. Як називається величина $2\pi/\lambda$?
15. Як називається коливання, у якого який-небудь параметр змінюється в часі?
16. Як називається результат складання двох когерентних хвиль, лінійно поляризованих в одній площині?

Тема 2 Лазерні візири. Лазерні рулетки

План

2.1 Призначення, будова та принцип дії лазерних візирів. Ефект Допплера.

2.2 Призначення, будова та принцип дії лазерних рулеток.

2.1 Призначення, будова та принцип дії лазерних візирів. Ефект Допплера

Лазер – це джерело оптичного випромінювання з високим ступенем когерентності. У самому загальному значенні термін «когерентність» означає «узгодженість». Світло називається когерентним, якщо всі атоми речовини випускають світлові хвилі, що мають суворо однакову амплітуду, частоту, фазу, поляризацію і напрям розповсюдження. Такого ідеально когерентного джерела не існує, але лазер є якнайкращим до нього наближенням.

Будь-який лазер складається з трьох основних елементів (рис. 1): активного середовища (твердого, рідкого або газоподібного), джерела накачування і відкритого резонатора, утворюваного двома паралельними дзеркалами, між якими поміщається активне середовище. Одне з дзеркал робиться частково прозорим для виходу випромінювання з лазера.

Принцип роботи лазера зводиться до наступного. Активне середовище, одержуючи енергію від джерела накачування, переходить у так званий стан з інверсною населеністю енергетичних рівнів – збуджений стан, при якому кількість атомів речовини, «перекинутих» на більш високий енергетичний рівень, стає більше кількості атомів, що залишилися на нижньому (основному) енергетичному рівні. Цей стан є нестійким: будь-який з атомів, що виявилися на верхньому рівні може мимовільно перейти назад на основний рівень, випускаючи при цьому квант світла (фотон) певної частоти, залежної від різниці енергій рівнів. Так і відбувається, причому моменти народження різних фотонів, ініційованих переходами тих або інших атомів, випадкові, не згаджені один з одним, фотони

при цьому розлітаються в різних напрямках, спрямовуючись «хто куди». Таке випромінювання називається спонтанним (мимовільним), і воно некогерентне.

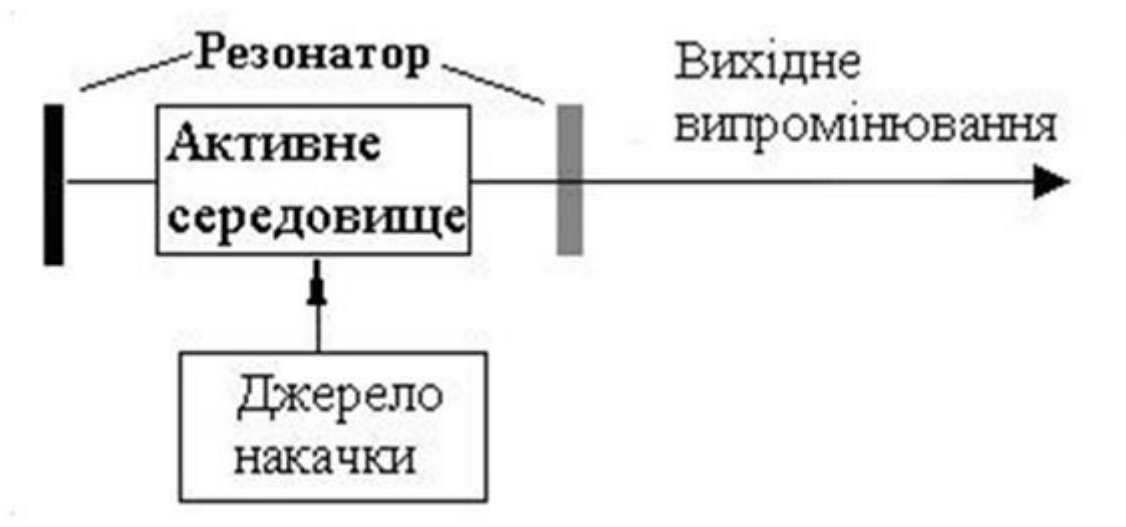


Рисунок 1 – Принципова схема лазера

І ось тут вступає в гру оптичний резонатор. Спонтанні фотони, що народились у напрямі осі резонатора, пройдуть уздовж нього порівняно великий шлях, багато разів циркулюючи між відбиваючими дзеркалами. При цьому виникає дуже важлива обставина. Вона полягає в тому, що циркулюючі фотони, взаємодіючи на своєму шляху з атомами, які накопичилися на верхньому енергетичному рівні, ініціюють їх перехід на нижній рівень із випуском фотонів. Оскільки ці переходи виникають не випадково, а вимушено, під дією циркулюючих уздовж осі резонатора фотонів, то фотони, що народжуються під час цих переходів будуть точною копією того фотона, що «вимушує», – вони матимуть ту ж енергію, той же напрям руху та інші абсолютно ідентичні характеристики. Виникає могутня лавина злагоджених фотонів. Таке випромінювання називається (на відміну від спонтанного) вимушеним (а також стимулюючим або індукованим) і є, як легко зрозуміти, когерентним.

Те, що в лазері наявно стимулююче випромінювання, відображено в самому слові «лазер» – це слово (LASER) є аббревіатурою, складеною з перших букв англійської фрази «Light Amplification Stimulated Emission Radiation» – «посилення

світла за допомогою стимулюючого випромінювання». У цій фразі, правда, мовиться про посилення світла, тоді як лазер – це генератор світла, проте це не має принципового значення, оскільки будь-який підсилювач можна, як відомо, перетворити на генератор введенням ланцюга зворотного зв'язку з виходу на вхід підсилювача. Таким ланцюгом і є дзеркала резонатора (підсилювачем слугує збуджене активне середовище). Після кожного подвійного проходу довжини резонатора частина випромінювання виходить із лазера через напівпрозоре дзеркало. Лазер може генерувати не будь-які довжини хвиль λ , а тільки такі, які укладаються цілу кількість раз q на подвійній довжині резонатора $2L$, тобто задовольняють умові резонансу:

$$2L = q \lambda. \quad (11)$$

Ці резонансні довжини хвиль називаються поздовжніми модами, і якщо до смуги посилення активного середовища потрапляє багато таких довжин хвиль, то вони генеруються одночасно, тобто в спектрі випромінювання лазера може міститися багато поздовжніх мод, віддалених один від одного по частоті на однаковий інтервал $\Delta\nu = c_p/2L$, де c_p – швидкість світла в резонаторі. Такі лазери називаються багатомодовими. Спеціальними методами селекції можна виділити тільки одну моду, і тоді лазер називають одномодовим або одночастотним.

Лазерне випромінювання володіє такими властивостями, що відрізняють його від випромінювання всіх інших джерел:

- високим ступенем просторової і часової когерентності;
- (як наслідок) високим ступенем монохроматичності, тобто зосереджено в дуже вузькому спектральному інтервалі (ідеально монохроматичного джерела не існує, але лазер є якнайкращим до нього наближенням);
- надзвичайною вузькою спрямованістю (малою шириною пучка);
- високою спектральною густиною потужності (густина потужності – це потужність, що доводиться на одиницю площі, наприклад, на 1 см^2 ; спектральна густина потужності – густина потужності, що належить до одиничного спектрального інтервалу, наприклад, до 1 мкм).

Залежно від виду активного середовища розрізняють твердотільні лазери, рідинні (лазери на розчинах органічних фарбників), газові і напівпровідникові.

Твердотільні лазери. До них належать лазери на рубіні, на неодимовім склі і на натрій-алюмінієвому гранаті. Вони працюють в імпульсному режимі, випромінюючи короткі оптичні імпульси великої потужності (лазер на гранаті може працювати і в безперервному режимі). З них в геодезії на сьогодні використовуються могутні пікосекундні імпульсні лазери на гранаті з довжиною хвилі випромінювання 1,06 мкм – у лазерних віддалемірах для вимірювання відстаней до ШСЗ часовим методом, про що вже згадувалося вище. Останнім часом освоюється застосування лазерів на титан-сапфірі, від яких можна одержувати імпульси фемтосекундного діапазону ($1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$) тривалістю в сотні і десятки фемтосекунд.

Газові лазери генерують безперервне випромінювання. Окрім вже згаданого гелій-неонового (He-Ne) лазера, що використовується в наземних світловіддалемірах і випромінює червоне світло з довжиною хвилі 0,63 мкм, в двоххвильових світловіддалемірах можуть використовуватися гелій-кадмієвий (He-Cd) лазер із довжиною хвилі 0,44 мкм (синє світло) і аргоновий (Ar) лазер, що може одночасно генерувати випромінювання на двох довжинах хвиль: 0,46 мкм (синє світло) і 0,51 мкм (зелене світло). Газові лазери мають найбільший ступінь монохроматичності випромінювання.

Лазери на фарбниках володіють чудовою властивістю – можливістю перебудови довжини хвилі в широкому діапазоні, але геодезичного застосування вони поки не отримали.

Напівпровідникові лазери складають особливий клас лазерів, зважаючи на їхні вельми специфічні властивості, вони широко використовуються в сучасних наземних світловіддалемірах і електронних тахеометрах. Однією з найпривабливіших їхніх якостей є дуже малі розміри (менше 1 см) і маса. Напівпровідниковий лазер на арсеніді галію, найчастіше вживається у віддалемірній техніці, є лазерним діодом, виконаним у вигляді кристала, складеного з двох «половинок» з різними типами провідності – електронної (n-

провідність) і дірчастої (р-провідність). Між ними утворюється зона, що називається р-n-переходом. Якщо на ці «половинки» подати постійну напругу живлення (підключивши позитивний полюс до р-області), то в зоні р-n-переходу утворюються фотони і звідти виходить випромінювання. Так виходить світлодіод, але його випромінювання некогерентне. Щоб перетворити світлодіод на лазерний діод, треба відполірувати торцеві грані кристала, які слугуватимуть дзеркалами резонатора, і збільшати густину струму через діод. Тоді випромінювання стає когерентним, і ми одержуємо напівпровідниковий лазер.

Окрім малих габаритів, такий лазер володіє ще однією цінною властивістю – можливістю внутрішньої модуляції випромінювання. Тобто якщо у віддалемірі джерелом випромінювання слугує напівпровідниковий лазер, то модулятор як окремий пристрій не потрібен. Достатньо подати напругу живлення на лазерний діод, як змінну модулюючу напругу від генератора і випромінювання, що виходить з діода. При цьому можлива модуляція з дуже високою частотою – до 1 ГГц [2].

Ефект Доплера. Цей ефект полягає в тому, що в разі зближення або віддалення випромінювача (передавача) і приймача частота коливань, що обирається, відрізнятиметься від частоти випромінюваних коливань. При цьому байдуже, що саме рухається – випромінювач або приймач; важливий їхній відносний рух, тобто зміна відстані між ними. (Це справедливо у разі нехтування релятивістськими, тобто пов'язаними з теорією відносності, ефектами, якими у всіх цікавих для нас випадках можна нехтувати через малу частку швидкості руху порівняно зі швидкістю світла).

Якщо, скажімо, випромінювач віддаляється від нерухомого приймача, то останній прийматиме в одиницю часу менше хвиль порівняно з випадком незмінної відстані між випромінювачем і приймачем. Тобто довжини хвиль збільшуються, а частота відповідно зменшується. У разі наближення випромінювача до приймача картина міняється на зворотну – в одиницю часу сприймається більше хвиль, тобто хвилі стають коротшими і частота збільшується. Якщо передавач, встановлений,

наприклад, на супутнику, що рухається, випромінює радіохвилі з незмінною частотою f , то сприймана приймачем частота дорівнює:

$$f_{\text{пр}} = f [1 \pm (V/v)], \quad (12)$$

де V – радіальна швидкість супутника (проєкція вектора швидкості на напрям «супутник – приймач»);

v – швидкість електромагнітних хвиль (в середовищі).

Знак в дужках залежить від напрямку руху.

Таким чином, частота, що приймається, відрізняється від випромінюваної на величину, що називається доплерівським зсувом (або зсувом) частоти, або просто доплерівською частотою:

$$f_d = f_{\text{пр}} - f = f(V/v). \quad (13)$$

Окрім «супутникового випадку» з випромінюванням радіохвиль, доплерівський зсув наявний і в оптичному діапазоні, зокрема у разі віддзеркалення світла від дзеркала, що рухається, під час роботи лазерних інтерферометрів переміщень. У цьому випадку світло від лазера з частотою ν (цією буквою прийнято позначати частоту в оптичному діапазоні), перш ніж потрапити в приймач, проходить подвійну відстань – до дзеркала (відбивача), що рухається, і назад, і формула набуває такого вигляду:

$$\Delta\nu_d = \nu (2V/v), \quad (14)$$

де V – швидкість руху відбивача;

v – швидкість світла в повітрі.

Оскільки $v/\nu = 1/\lambda$, то формулу (9) можна переписати у вигляді:

$$\Delta\nu_d = 2V/\lambda. \quad (15)$$

2.2 Призначення, будова та принцип дії лазерних рулеток

Лазерний візир' (англ. «laser sight», нім. «Laservisier») – світлопроєкційний прилад для створення опорної лінії у просторі. Застосовується для задання напрямку похилим гірничим виробкам у підземних умовах. Забезпечує можливість оперативного контролю прямолінійності виробки, визначення відхилення від

заданого напрямку у горизонтальній та вертикальній площинах. Складається з газового (гелій-неонового) лазера з телескопічною колімуючою системою і підставки з піднімальними і відліковими механізмами. Моделі ЛВ мають пристрої стабілізації і зміни напрямку світлового пучка. Прилад встановлюється на стандартну підставку на штативі, має вертикальну і горизонтальну осі обертання випромінювача. Граничні значення кутів повороту в горизонтальній площині – 180° , у вертикальній – 20° . Опорна лінія (вісь світлового пучка, випромінюваного лазерним приладом), орієнтована в просторі по заданому напрямку.

Розглянемо прилад ЛВ-5 (рис. 2), що працює в багатомодовому режимі і є універсальним приладом. У деяких випадках його називають лазерним теодолітом або лазерним візиром. Прилад може бути встановлений на стандартному штативі, має оптичний візир для попереднього наведення лазерного пучка на ціль. Плавне наведення мікрометричними гвинтами дозволяє його фіксувати в заданому напрямку з високою точністю.

Робота у виробничих умовах показала, що дальність дії і потужність випромінювання під час маркшейдерських підземних робіт не відіграють значної ролі. Легше за необхідності переставити прилад у тунелі, ніж забезпечити видимість на значні відстані у стиснутих умовах під час проведенні прохідницьких робіт, які до того ж часто проводяться по криволінійних трасах. Крім того, лазерну пляму можна бачити стійко і чітко на відстанях 120–150 м.



Рисунок 2 – Лазерний візир ЛВ-5

Далі зображення лазерного пучка стає безформним і пульсуючим, тому точність визначення його положення в просторі без застосування спеціальних методів стає скрутним. Лазерний візир ЛВ-5 створений на основі лазера ОКГ-13. Прилад має підставку, аналогічну конструкції геодезичного трегера, та вертикальну і горизонтальну осі обертання. Кінематична схема котирувальних механізмів візира дозволяє повертати прилад у вертикальній площині в межах 20° і в горизонтальній у межах 180° .

Мікрометричні гвинти дозволяють наводити промінь лазера на об'єкт у горизонтальній і вертикальній площинах у межах 5° . Вертикальна вісь приладу приводиться в прямовисне положення трьома підйомними гвинтами трегера. Конструкція приладу забезпечує юстировку телескопічної колімуючої оптичної системи щодо резонатора лазера і точне сполучення горизонтальної осі приладу з напрямком поширення променя ОКГ.

Не зважаючи на вік, лазерний візир ЛВ-5 використовується і сьогодні для зйомки профілю поверхні злітно-посадкових смуг аеродромів, зйомки підкранових колій і в інших інженерно-геодезичних роботах. Прилад характеризується високою точністю та надійністю. До недоліків належать великі габарити приладу.

Лазерні рулетки. Для того, щоб з великою точністю дізнатися величину відстані було винайдене вимірювальне пристосування, яке без зусиль людини зробить вимірювання з високою точністю і швидкістю. Таким приладом стали лазерні рулетки, вони ж далекоміри (рис. 3).



Рисунок 3 – Лазерна рулетка (далекомір)

Саме вони стали тим інструментом, який зробить вимірювання відстані до 200 м із максимальною похибкою всього лише в декілька міліметрів. Принцип дії такого приладу – використання лазерного променя. У народі він називається лазерною рулеткою. Такі прилади сьогодні використовуються в різних сферах людської діяльності.

Добре себе зарекомендували лазерні рулетки:

- у будівництві;
- під час збірних робіт;
- застосовується в ремонтних роботах;
- у лісовому господарстві;
- у ландшафтному дизайні;
- у геодезії;
- у військовій справі;
- у полюванні і багато в чому іншому.

Такі прилади бувають імпульсні і фазові. Принцип роботи імпульсних далекомірів вимірювання часу, за який лазерний промінь дійде до необхідного предмета і відіб'ється назад. Такий розрахунок здійснюється за формулою швидкості світла. Фазовий далекомір порівнює фазу відправленого і відбитого сигналу. Ці прилади показують найбільш точну відстань, і вона досить велика. Більшості фахівців сподобалися лазерні далекоміри виробництва компанії «Leica». Взагалі компанія «Leica» наприкінці 2015 року представила модель рулетки «Leica DISTO D510», яка практично може працювати як тахеометр.

Сучасні лазерні рулетки володіють функціоналом для обчислення площі прямокутних і трикутних ділянок, об'ємів, розмірів приміщень. У них передбачений режим «відкладеного» виміру, а пам'ять приладу підтримує запис декількох десятків результатів.

Основні переваги рулетки полягають у тому, що вони дуже точні і мають високу надійність. Чим новіша модель цієї лінійки, тим краща точність. У нове покоління приладів впроваджуються сучасні науково-технічні досягнення. Серед звичайних людей великою популярністю користуються прості моделі. Вони зручні

і не вимагають спеціальних знань. Ними можна виміряти відстані, розрахувати площу і об'єм.

Фахівці ж, користуються більш складними моделями з безліччю різних допоміжних функцій, наприклад:

- вбудованою в приладі камерою;
- сенсором нахилу кута на 360 °;
- бездротовою передачею даних;
- захистом від зовнішніх чинників;
- пам'яттю для 30-ти вимірювальних даних;
- елеваційним штативом;
- поворотним адаптером.

Лазерні рулетки складаються з таких компонентів:

1. Корпус лазерної рулетки зазвичай виготовляють із міцного пластику, з гумовими або латексними вставками, адже його так легко впустити. Лінзи мають ефект проти запотівання. Є спеціальні чохла, що охороняють інструмент від пилу, бруду. Добрий далекомір не боїться ні підвищеної вологості, ні великого коливання температури, однак чим вище показники опірності природному середовищу, тим вище ціна.

2. Випромінювач – це отвір з оптикою, через яку випускається світловий промінь.

3. Відбивач – оптичний фільтр, який приймає зворотний промінь світла, який відбився від об'єкта.

4. Мікропроцесор – мініатюрний комп'ютер у тілі рулетки, він перетворює світловий сигнал на електронний і цифровий, щоб програма могла його обробити й вивести на дисплей.

Програмне забезпечення кожної лазерної рулетки залежить від її призначення. Звичайний побутовий прилад може вимірювати відстані відрізків, складати і віднімати ці відстані, вважати площі, об'єми приміщень, обчислювати висоту будівлі через теорему Піфагора (якщо на шляху вимірювання є непереборна перешкода, користуються правилом вимірювання прямокутних трикутників,

записавши в пам'яті приладу висоту і відстань, забезпечивши під час вимірювань прямий кут).

Штатив потрібен для надійної фіксації рулетки, оскільки рука часто мимоволі трясеться, чим порушується точність вимірювань.

Візир, або оптичний приціл – це пристосування для спрямування лазерного променя. У звичайних рулетках немає. Його наявність свідчить про те, що інструмент призначений для фахівця. Цей приціл може зменшувати відстань у 7–10 разів і забезпечити відмінну видимість для початку вимірювання.

Ватерпас – це вбудований у далекомір рівень, що дозволяє бачити, наскільки точно розташований прилад, без додаткових пристосувань.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке лазер?
2. Із чого складається лазер?
3. Джерело накачки перевело активне середовище в стан з інверсною населеністю енергетичних рівнів. Під час переходу атомів назад на нижній рівень випускаються фотони, які створюють спонтанне випромінювання. Які з фотонів ініціюють перетворення спонтанного випромінювання в стимульоване?
4. У чому полягає роль резонатора в лазері?
5. Що таке лазерна рулетка?
6. З яких компонентів складаються лазерні рулетки?
7. Що таке лазерний візир?

Тема 3 Електронно-оптичні та електронні теодоліти

План

- 3.1 Призначення, будова та принцип дії електронно-оптичних теодолітів. Типи приладів та маркування.
- 3.2 Призначення, будова та принцип дії електронних теодолітів. Маркування.
- 3.3 Методи застосування. Опрацювання результатів вимірювань.

3.1 Призначення, будова та принцип дії електронно-оптичних теодолітів.

Типи приладів та маркування

Електронні вимірювання кутових величин реалізуються в електронних теодолітах і електронних тахеометрах.

Електронний теодоліт є пристроєм, в якому проводиться автоматичне прочитання кутових величин із перетворенням їх на електричні сигнали. Ця операція здійснюється з допомогою аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

В електронних теодолітах застосовуються два основні види АЦП, які відрізняються методом отримання інформації про кут у вигляді електричних сигналів (рис. 4). Ці два методи отримали назву кодового та інкрементального.

Кодовий метод. У разі цього методу лімб, з якого прочитується кутова величина, є скляним диском, на якому нанесена система концентричних кодових доріжок, що складаються з окремих елементів типу «так – ні» (наприклад, прозорих і непрозорих ділянок), що забезпечують можливість створення сигналів 1 і 0 в двійковій системі під час прочитання. Розташування цих елементів таке, що вони в певному коді зашифровують вимірювану кутову величину, причому кожна доріжка відповідає певному розряду в значенні кутової величини, що вимірюється.

Кількість доріжок і послідовність розташування елементів у них залежать від вибраного коду і бажаної точності отримання кута. Як код можуть використовуватися різні числові коди – двійковий, двійково-десятковий, циклічний

тощо. На рисунку 5 показаний вид кодованого круга в електронному теодоліті, що є складовою одного з електронних тахеометрів фірми «Х'юлетт-Паккард» (США).

Кодовий метод є абсолютним методом, тобто таким, за якого значенню кутового напрямку (певному кутовому положенню кодового диска) однозначно відповідає певний кодований вихідний сигнал. Для прочитання інформації з кодових дисків використовується зазвичай оптичний (фотоелектричний) спосіб: кодовий диск просвічується світловим пучком, який потім надходить на фотоприймальний пристрій, наприклад, на матрицю фотодіодів, що дозволяє отримати на виході різні комбінації електричних сигналів у разі зміни кутового положення кодового диска. Таким чином, кожна комбінація відповідає певному значенню кутового напрямку. Далі електричні сигнали надходять у логічні схеми обробки, які здійснюють декодування і відтворення величини, що вимірюється, в цифровому вигляді на табло.



Рисунок 4 – Приклад кодованого круга в електронному теодоліті

Інкрементальний метод. Він заснований на використанні штрихового растра – системи радіальних штрихів, що наносяться зазвичай на зовнішній край лімба або алідади через однакові інтервали. Густина растра може бути дуже високою (до сотень штрихів на 1 мм), що забезпечує високу точність вимірювань. Непрозорі штрихи і прозорі інтервали між ними (зазвичай рівні товщині штрихів) утворюють

послідовність елементів «так – ні», які в цьому випадку називають інкрементами (від англ. «increment» – «нескінченно малий приріст»). Кут повороту такого растрового круга може бути оцінений по кількості інкрементів, що пройшли крізь фіксовану точку. Прочитання проводиться також оптичним методом, і кількість пройдених інкрементів виражається кількістю імпульсів світла, що надійшли на фотоприймач. При цьому для забезпечення реверсивного рахунку імпульсів, тобто відліку з урахуванням напрямку обертання круга, застосовуються два фотоприймачі (фотодіоди), що сприймають імпульсні сигнали, зсунуті по фазі на 90° . Цього можна досягнути або відповідним розміщенням фотодіодів щодо растра, або застосуванням двох однакових растрових послідовностей, зсунутих на $1/4$ інкремента. Принципи зчитування кутів по горизонтальному і вертикальному кругах ідентичні.

Одним із можливих варіантів є використання відображувального растра, в якому інтервали між штрихами не пропускають, а відбивають світло. Принцип системи відрахування в цьому випадку, використаний, наприклад, у високоточних теодолітах «Геомат» і тахеометрах «Тахимат» швейцарської фірми «Вільд», що ілюструється на рисунку 5.

У реальних системах наявна не імпульсна, а приблизно синусоїдальна зміна інтенсивності світла на фотоприймачах під час обертання растрового круга, і імпульси формуються з одержуваних на виході фотоприймачів сигналів відомими електронними способами.

Інкрементальний метод є відносним методом, під час якого визначаються тільки зміни кутового положення круга, тобто вимірюються кути, тоді як у разі кодового методу вимірюються напрями, а кути обчислюються як різниці напрямів.

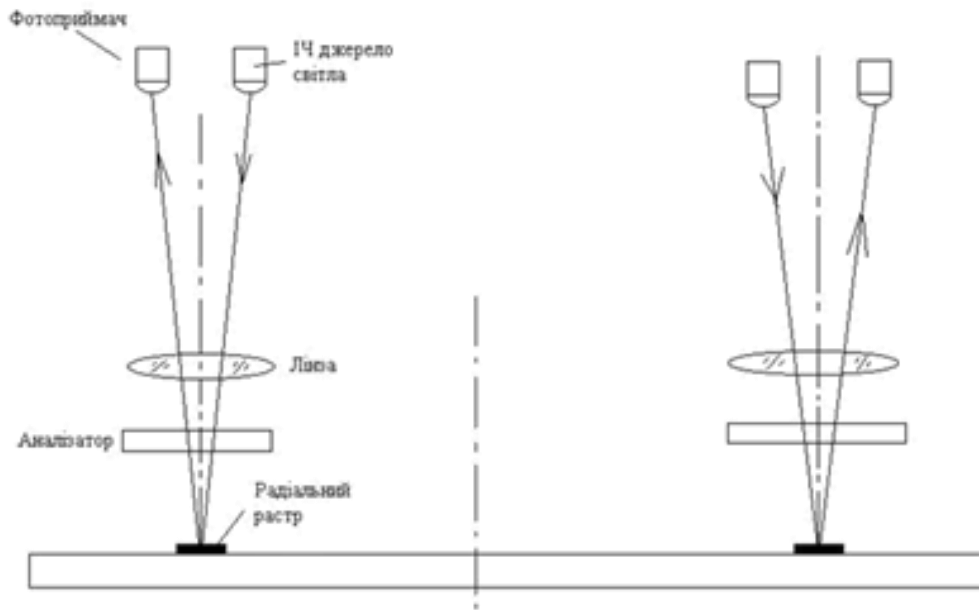


Рисунок 5 – Принцип прочитання під час використання відбивного растра

Як у разі кодового, так і в разі інкрементального методу для підвищення точності прочитання кутів застосовуються інтерполятори – системи, що містять декілька, розташованих певним чином щодо кутового круга пар фотодіодів, сигнали від яких зсунуті по фазі на певну величину; ці сигнали обробляються спільно, що дозволяє отримати високу кутову роздільність.

Прикладом інтерполятора може бути система, зображена на рисунку 5. Тут аналізатор, на якому також нанесені штрихи, відіграє роль дифракційних решіток, що дозволяють отримати в площині зображення 4 пучки і використати 4 фотоприймачі, розташовані таким чином, що вони під час обертання круга створюють чотири електричні сигнали, зсунуті по фазі один щодо одного на 90° . За допомогою їх складання і віднімання утворюються ще 4 сигнали, і всі ці сигнали обробляються спільно.

3.2 Призначення, будова та принцип дії електронних теодолітів. Маркування

У сучасних електронних теодолітах (рис. 6) точність вимірювання кутів може бути дуже високою, досягаючи $0,2''$.

Зовнішньо електронні теодоліти і електронні тахеометри майже не відрізняються. Але незважаючи на поступову заміну електронних теодолітів електронними тахеометрами, перші все ще тримаються на ринку геодезичних приладів, тому, що є значно дешевшими.



Рисунок 6 – Електронний теодоліт

Електронний теодоліт призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, кутів нахилу, виконання розбивальних робіт, контролю положення конструкцій, а також для вирішення низки допоміжних інженерно-геодезичних задач. Основною його відмінністю від оптичного теодоліта є наявність електронної системи зчитування відліків з кутових кіл, цифрового індикатора, блока керування, джерела живлення та у низці моделей – внутрішньої пам'яті, інтерфейсів передавання даних і вбудованих сервісних функцій. Саме перехід від візуального зчитування за шкалами до електронної реєстрації кутових значень став головним етапом модернізації цього класу приладів.

Будова електронного теодоліта загалом зберігає класичне компонування кутомірного геодезичного приладу. До його основних частин належать зорова труба, горизонтальний і вертикальний круги, алідадна частина, підставка з

підйомними гвинтами, циліндричний або електронний рівень, закріпні та навідні гвинти, центрир, відлікова електронна система, панель керування та дисплей. У більшості сучасних моделей для центрування застосовується оптичний або лазерний центрир, що дає змогу швидше встановлювати прилад над точкою. Корпус приладу виконується з урахуванням польових умов роботи, тому має достатню жорсткість, захист від пилу і вологи, а також стійкість до температурних коливань.

Зорова труба електронного теодоліта слугує для наведення на ціль. Вона має об'єктив, окуляр, сітку ниток, механізм фокусування та візирних пристроїв для попереднього наведення. Залежно від моделі труба може мати пряме або обернене зображення, різну кратність збільшення та мінімальну відстань фокусування. Від якості зорової труби безпосередньо залежать точність наведення, зручність спостережень і продуктивність роботи.

Горизонтальний і вертикальний круги в електронному теодоліті є не металевими шкалами для візуального зчитування, як у традиційних приладах, а кодовими дисками або лімбами, інформація з яких зчитується електронними сенсорами. На поверхні таких дисків нанесено спеціальний кодовий рисунок, який фіксується фотоприймальними елементами. Під час повороту алідади або труби змінюється взаємне положення кодового диска і сенсора, а система перетворює ці зміни на цифрове значення кута. Саме ця схема забезпечує швидке, об'єктивне та достатньо точне отримання результату без необхідності візуального відліку спостерігачем.

Принцип дії електронного теодоліта ґрунтується на перетворенні кутового переміщення в цифровий сигнал. Після наведення труби на початковий напрям і встановлення нульового або вихідного відліку прилад фіксує положення кодового диска горизонтального круга. Далі під час наведення на другий напрям система визначає нове положення круга, а різниця між двома відліками дає значення горизонтального кута. Аналогічно визначається вертикальний кут або кут нахилу за положенням вертикального кодового круга. У сучасних приладах ці операції виконуються практично миттєво, а результат відображається на дисплеї у градусній або гонній мірі.

У багатьох електронних теодолітах передбачена система автоматичної компенсації невеликих нахилів приладу. Для цього використовуються вбудовані компенсатори або електронні сенсори нахилу, які враховують відхилення вертикальної осі від істинного положення. Наявність компенсатора особливо важлива під час здійснення точних кутових вимірювань, оскільки навіть незначне порушення горизонтування може призвести до систематичних похибок. У технічних і точних моделях це значно спрощує роботу оператора і підвищує надійність результатів.

Електронний теодоліт, на відміну від оптичного, має функціональні переваги, які безпосередньо пов'язані з електронною обробкою інформації. До них належать цифрове відображення результатів, виключення суб'єктивної похибки відліку, можливість вибору одиниць вимірювання, зручне обнуління напрямку, підсвічування дисплея, інколи – реєстрація результатів у пам'яті. У частини моделей реалізовані додаткові можливості: повторне вимірювання, усереднення серії спостережень, індикація кута нахилу, контроль положення нуля вертикального круга. Однак, на відміну від тахеометра, електронний теодоліт не має вбудованого електронного далекоміра, тому не вимірює відстані безпосередньо і не визначає координати точки автоматично.

За точністю електронні теодоліти поділяються на високоточні, точні та технічні. У практиці інженерно-геодезичних робіт найчастіше використовують технічні та точні моделі з середньоквадратичною похибкою вимірювання горизонтального кута від 2" до 10". Високоточні прилади застосовують під час спеціальних робіт, спостережень за деформаціями, монтажу складного обладнання, у промислових вимірюваннях та під час створення точних геодезичних мереж. Для навчальних цілей і більшості будівельних задач цілком достатні електронні теодоліти технічного класу.

Маркування електронних теодолітів зазвичай містить буквено-цифрові позначення, що вказують на тип приладу, його точність, конструктивні або функціональні особливості. У загальному випадку в позначенні можуть використовуватися літери, які вказують на приналежність приладу до теодолітів,

електронний спосіб зчитування, наявність компенсатора, тип відображення або серію моделі. Цифрова частина маркування найчастіше відображає клас точності, наприклад 2", 5" або 10". У сучасних виробників маркування нерідко має фірмовий характер і поєднує внутрішню серію моделі з точнісною характеристикою.

Наприклад, у приладах окремих виробників число в марці прямо відповідає середньоквадратичній похибці вимірювання кута одним прийомом. Якщо модель має індекс 2, це означає точність близько 2", індекс 5 – близько 5", індекс 10 – близько 10". У деяких випадках додаткові літерні індекси вказують на наявність лазерного центрира, двостороннього дисплея, компенсатора, захищеного виконання корпусу або спеціального програмного режиму. Тому під час аналізу маркування конкретного електронного теодоліта необхідно враховувати і загальні принципи позначення, і технічну документацію виробника.

У практиці навчальних і виробничих робіт найчастіше зустрічаються електронні теодоліти фірм «Leica», «Topcon», «Sokkia», «South», «Nikon» та інших виробників геодезичного обладнання. Незважаючи на відмінності у маркуванні, загальна логіка їх побудови подібна: компактний кутомірний прилад із цифровим зчитуванням, автономним живленням, дисплеєм, клавіатурою та системою точного наведення. Вибір конкретної моделі визначається вимогами до точності, умовами експлуатації, вартістю і сумісністю з іншими елементами геодезичного забезпечення.

3.3 Методи застосування. Опрацювання результатів вимірювань

Електронні теодоліти застосовуються під час виконання широкого спектра інженерно-геодезичних робіт, де необхідне точне визначення горизонтальних і вертикальних кутів. Основними сферами їхнього використання є побудова геодезичних мереж, виконання топографічних і розбивальних робіт, контроль геометрії інженерних споруд, а також допоміжні вимірювання у комплексі з іншими геодезичними приладами.

Методи застосування електронних теодолітів базуються на класичних принципах кутових вимірювань, проте доповнюються сучасними електронними засобами фіксації та обробки результатів.

Методи вимірювання горизонтальних кутів. Найбільш поширеним є метод вимірювання горизонтального кута між двома напрямками, який реалізується у вигляді послідовного наведення труби на початкову та кінцеву точки. Вимірювання може виконуватись:

- методом одного прийому, коли кут визначається як різниця відліків між двома напрямками;
- методом повторень, за якого вимірювання одного і того ж кута виконується кілька разів із накопиченням результату, що дозволяє зменшити випадкову похибку;
- методом напрямків, коли вимірюється декілька напрямків від однієї вихідної точки з подальшим визначенням кутів між ними.

У сучасних електронних теодолітах результати вимірювань автоматично відображаються на дисплеї, що значно зменшує вплив людського фактора. При цьому точність визначення кута залежить від стабільності встановлення приладу, точності наведення та якості центрування.

Методи вимірювання вертикальних кутів. Вертикальні кути або кути нахилу визначаються з допомогою вертикального круга. У практиці використовуються:

- вимірювання зенітних відстаней;
- вимірювання кутів нахилу від горизонтальної площини;
- визначення перевищень із допомогою тригонометричного нівелювання.

У електронних теодолітах вертикальний кут визначається автоматично за положенням кодового диска. Наявність компенсатора дозволяє враховувати невеликі відхилення приладу від горизонтального положення.

Комбіновані методи застосування

У деяких випадках електронні теодоліти використовуються разом з іншими приладами або засобами вимірювання. Найбільш поширені варіанти:

- поєднання зі сталевими рулетками або лазерними далекомірами для визначення відстаней;

- використання у складі тахеометричних знімань як допоміжного кутомірного інструмента;
- застосування під час геометричного і тригонометричного нівелювання;
- виконання розбивальних робіт (винесення осей, кутів, напрямків на місцевість);
- контроль вертикальності та положення конструкцій у будівництві.

У складних умовах (наприклад, у міській забудові або підземних роботах), де використання супутникових систем обмежене, електронні теодоліти залишаються одним із основних інструментів виконання вимірювань.

Опрацювання результатів вимірювань. Опрацювання результатів кутових вимірювань є обов’язковим етапом геодезичних робіт і містить перевірку, обробку та аналіз отриманих даних.

На початковому етапі виконується контроль правильності вимірювань, який передбачає:

- перевірку замикання кутів (наприклад, у полігонах або під час вимірювання повного кола);
- аналіз повторних вимірювань;
- виявлення грубих помилок.

Для горизонтальних кутів замкненого полігону важливим є виконання такої умови:

$$\sum \beta = (n - 2) \cdot 180^0, \quad (16)$$

де n – кількість вершин.

Відхилення від теоретичного значення свідчить про наявність похибок вимірювань.

Після контролю виконується усереднення результатів, якщо вимірювання проводились кілька разів. Це дозволяє зменшити вплив випадкових похибок і підвищити точність кінцевого значення.

Наступним етапом є додання поправок, які можуть враховувати:

- інструментальні похибки;
- похибки центрування і наведення;

- похибки відлікової системи;
- вплив умов спостережень.

У сучасних умовах частина цих поправок враховується автоматично самим приладом.

Для задач інженерної геодезії результати вимірювань часто використовуються для визначення координат точок. У такому випадку виконуються розрахунки за тригонометричними залежностями. Наприклад, горизонтальне прокладення може визначатися за такою формулою:

$$d = S \cdot \cos \alpha, \quad (17)$$

де S – похила відстань;

α – кут нахилу.

Перевищення між точками визначається так:

$$h = S \cdot \sin \alpha. \quad (18)$$

Отримані результати можуть оброблятися як вручну, так і з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. У сучасній практиці переважає цифрова обробка даних із подальшим використанням у геоінформаційних системах та системах автоматизованого проектування.

Особливості сучасного опрацювання. Сучасні електронні теодоліти можуть частково автоматизувати процес обробки результатів. У низці моделей передбачено:

- збереження вимірних кутів у внутрішній пам'яті;
- передавання даних на комп'ютер або контролер;
- базові функції контролю точності;
- можливість інтеграції з іншими вимірювальними системами.

Проте у теодолітів, на відміну від тахеометрів, повноцінних функцій визначення координат і комплексної обробки даних зазвичай немає, тому основні обчислення виконуються на камеральному етапі.

Отже, методи застосування електронних теодолітів базуються на класичних принципах кутових вимірювань із використанням сучасних електронних систем зчитування та відображення результатів. Основними операціями є вимірювання

горизонтальних і вертикальних кутів, виконання розбивальних робіт та контроль геометрії об'єктів. Опрацювання результатів містить перевірку, усереднення, додання поправок і подальше використання даних для розрахунку координат і геометричних параметрів. Сучасні електронні теодоліти забезпечують високу швидкість і надійність вимірювань, залишаючись ефективним інструментом у практиці інженерної геодезії.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке цифровий метод?
2. Що таке кодовий та інкрементальний методи?
3. Для чого використовується штриховий растр?
4. Де використовується зчитування кутів із допомогою оптичного проміння?
5. Що використовують в електронних теодолітах для підвищення точності?
6. Що може використовуватись в електронних тахеометрах?
7. Які величини є вимірюваними?
8. Які з величин є обчисленими?
9. Що таке електронний польовий журнал?
10. Чим відрізняються електронні теодоліти від електронних тахеометрів?

Тема 4 Геодезичні додаткові пристрої

План

4.1 Гіроскопічне обладнання. Гіроскопічна насадка «Gyromax AK-2M».

4.2 Системи автоматичного нівелювання «Leica PowerGrade».

4.3 Програмно-апаратний комплекс «Power Digger» для екскаваторів.

4.4 Сенсори базової системи. Кутовий сенсор MSS300. Система сенсорів.

Вибір додатків залежно від типу рішення.

4.5 Шукач підземних комунікацій.

4.6 Безпілотні літальні апарати.

4.1 Гіроскопічне обладнання. Гіроскопічна насадка «Gyromax AK-2M»

Гіроскопічне обладнання призначене для контролю напрямку в гірській промисловості і під час будівництва тунелів. Основа роботи з гіроскопом – орієнтування географічної північ. Із допомогою гіроскопічної насадки «Gyromax™» можна визначити азимут протягом 15 хвилин. Управління може здійснюватися з допомогою блока дистанційного керування, при цьому передача даних на комп'ютер або реєструючий пристрій забезпечується з допомогою кабелю або Bluetooth.

Гіроскопічна насадка «Gyromax AK-2M». Гіроскопічна насадка у комплекті з електронним тахеометром є багатофункціональним інструментом і може використовуватися в підземному будівництві: у тунелях метрополітену, гідротехнічних, транспортних тунелях. Насадка «Gyromax AK-2M» (рис. 7) дає можливість визначити дирекційні кути в підземних умовах, де супутникові методи GPS неможливо застосовувати.



Рисунок 7 – Гіроскопічна насадка «Gyromax AK-2M»

4.2 Системи автоматичного нівелювання «Leica PowerGrade»

Системи автоматичного нівелювання «Leica PowerGrade» для грейдерів і бульдозерів (рис. 8) – це програмно-апаратний комплекс, що використовує геодезичні автоматизовані технології тахеометрії і GPS-технології, а також різні типи сенсорів, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Тобто це набір додаткових сенсорів, гідравліки та елементів контролю та управління, що забезпечує установку робочих елементів машини в просторі так, як цього вимагає завдання або проєкт.

Залежно від завдань існують три основні різновиди рішень: 1D-система «Leica PowerBlade» – автоматична робота в одній площині (просто витримування певного рівня або ухилу робочого елемента); 2D-система «Leica PowerGrade 2D» – робота в похилій площині (установка перевищення та ухилу, робота в площині з подвійним ухилом); 3D-система «Leica PowerGrade 3D» – автоматична установка перевищення та ухил з урахуванням положення і напрямку руху машини.



Рисунок 8 – Програмно-апаратний комплекс «Leica PowerGrade»
для грейдерів і бульдозерів

Система «Leica PowerGrade» володіє максимальною для свого сегмента гнучкістю конфігурації, тобто може працювати в різних режимах (1D, 2D, 3D), використовуючи різні комбінації сенсорів (лазерні приймачі, у/з сенсори, сенсори ухилу, сенсори зсуву і повороту), тим самим забезпечуючи саме той режим робіт, який оптимальний для виконавця, крім цього вона поєднується з найширшим спектром техніки.

Однією з унікальних особливостей системи «PowerGrade» від «Leica Geosystems» є функція автоматичного бокового зміщення. У цьому випадку положення леза щодо базової лінії (струни, бордюру) встановлюється автоматично в час руху, використовуючи при цьому свої власні сенсори з технологією «TriSonic», що дозволяють максимально точно орієнтуватися на опорний об'єкт. Звідси знову ж – зменшення втоми оператора, спрощення виконання робіт для менш досвідченого персоналу і загальне підвищення точності. Використання 3D-сенсорів (GPS і відбивачів із роботизованим тахеометром) дозволяє з максимальною точністю і в реальному часі встановлювати бічний зсув відвала навіть під час поворотів (рис. 9), тобто під час роботи з непрямолінійними ділянками.

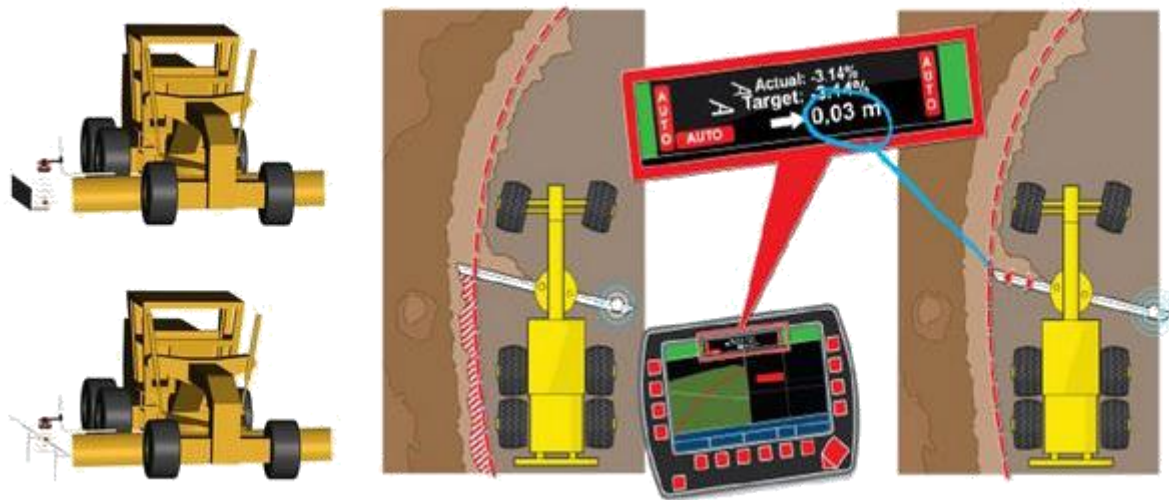


Рисунок 9 – Програмно-апаратний комплекс «Leica PowerGrade» для грейдерів і бульдозерів на повороті

Переваги, одержувані завдяки використанню системи «Leica PowerGrade»:

1. Виключення переробок. Вся робота виконується точно і з першого проходу. Звідси: мінімізація геодезичного забезпечення, виключення перевірок після кожного проходу.
2. Підвищення рентабельності за рахунок економії матеріалів. Точне виконання вирівнювання виключає необхідність перевитрати матеріалів покриття для досягнення потрібного результату.
3. Автоматичне управління робочим елементом значно скорочує помилки через людський фактор і зменшує втому оператора;
4. Економія часу на майданчику. Там, де раніше витрачався час на прохід, геодезичну перевірку, повторний підхід і повторну перевірку, все виконується з першого разу, тобто за мінімально можливий часовий проміжок.
5. Економія палива. Один з найважливіших факторів, знову ж впливає з мінімізації роботи техніки на ділянці.
6. Поліпшення якості і точності поверхні безпосередньо забезпечує загальну якість майбутнього елемента інфраструктури (дороги, ж/д смуги, ВЛЕП тощо).

4.3 Програмно-апаратний комплекс «Power Digger» для екскаваторів

Система загалом – це набір сенсорів (рис. 10), розташованих на кожній рухомій частині екскаватора (сенсори положення секцій стріли та положення ковша, а також сенсор положення корпусу екскаватора) і контролера, який спільно обробляє свідчення від всіх сенсорів і графічно зображує поточне положення роботи. Також система може оснащуватися додатковими сенсорами (локаційним для виявлення комунікацій і додатковим сенсором ухилу, якщо ківш може працювати в режимі подвійного ухилу).

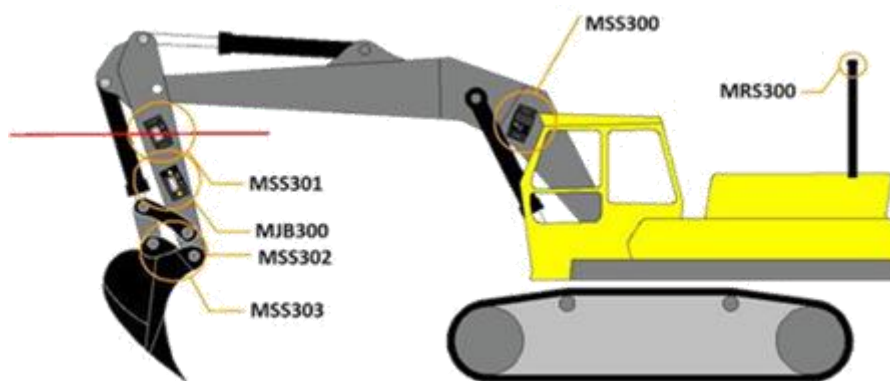


Рисунок 10 – Програмно-апаратний комплекс «Leica PowerDigger»
для екскаваторів

4.4 Сенсори базової системи. Кутовий сенсор MSS300. Система сенсорів.

Вибір додатків залежно від типу рішення

Кутові сенсори серії MSS застосовуються у складі систем машинного керування типу «PowerDigger» для визначення просторового положення робочих органів будівельної техніки. Вони забезпечують вимірювання кутів нахилу стріли, рукояті та ковша екскаватора, що дозволяє в реальному часі контролювати геометрію виконуваних земляних робіт.

Кутовий сенсор MSS300 може використовуватись як універсальний елемент для вимірювання положення стріли, рукояті або ковша, проте найчастіше він застосовується саме як сенсор стріли. Його функціонування базується на визначенні кута відносно вертикалі за рахунок використання гравітаційного принципу, що забезпечує достатню точність і стабільність показників у польових умовах.

Модифікація MSS301 поєднує в собі функції кутового сенсора та лазерного приймача. Така інтеграція дозволяє зменшити кількість встановлюваних пристроїв і спростити монтаж системи. Сенсор компактний, має універсальні кріплення та може бути встановлений у різних положеннях залежно від конструкції машини та вимог до виконання робіт.

Сенсор MSS302 призначений для встановлення безпосередньо на ковші. Його конструкція забезпечує вимірювання кутів у повному діапазоні 360° , що дає можливість контролювати положення ковша у будь-якій фазі робочого циклу. Завдяки малим габаритам датчик може монтуватися у захищених зонах конструкції, що знижує ризик механічних пошкоджень і підвищує довговічність експлуатації.

Система сенсорів «PowerDigger» функціонує на основі комплексного збору інформації про положення робочих елементів машини. Усі сенсори взаємодіють через цифрову шину (зокрема CAN-інтерфейс), що забезпечує швидкий обмін даними, синхронізацію вимірювань і спрощення монтажу. Використання стандартних монтажних пластин дозволяє виконати встановлення і калібрування системи у стислі строки, зазвичай протягом кількох годин.

Конструктивно сенсори виконані у герметичному корпусі з високим ступенем захисту (IP68), що дозволяє експлуатувати їх у складних умовах – у разі підвищеної вологості, запиленості, в умовах забруднення та навіть у разі короткочасного занурення у воду. Це особливо важливо під час виконання гідротехнічних, дорожніх і підводних робіт.

Вибір додатків залежно від типу рішення. Функціональні можливості системи «PowerDigger» визначаються рівнем її комплектації та типом використовуваного програмно-апаратного рішення. Вибір відповідного рівня

системи здійснюється залежно від складності виконуваних робіт, вимог до точності та ступеня автоматизації процесів.

1D-системи застосовуються для виконання базових задач, де необхідний контроль лише одного параметра, зазвичай глибини або висоти. До таких задач належать:

- розробка траншей із заданою глибиною;
- виконання простих земляних робіт;
- попереднє вирівнювання поверхонь.

Ці системи характеризуються простотою, невисокою вартістю та швидким впровадженням, проте мають обмежений функціонал.

2D-системи забезпечують контроль положення робочого органу у двовимірній площині та дозволяють працювати з заданими профілями. Вони використовуються для:

- формування складних поперечних профілів;
- планування укосів і насипів;
- виконання робіт у режимі, аналогічному роботі бульдозера або грейдера;
- роботи під водою або в умовах обмеженої видимості.

Такі системи значно розширюють можливості оператора та підвищують точність виконання робіт без необхідності постійного геодезичного контролю.

3D-системи є найбільш функціонально розвиненими і забезпечують повний просторовий контроль робіт. Вони інтегруються з цифровими моделями місцевості, GNSS-приймачами та геоінформаційними системами. Основні сфери застосування:

- комплексне планування територій;
- виконання робіт за цифровими проєктами;
- ландшафтне моделювання;
- робота на складних або невідготовлених поверхнях;
- автоматизоване виконання великих обсягів земляних робіт.

3D-системи дозволяють мінімізувати участь допоміжного персоналу, підвищити точність і продуктивність, а також забезпечити повну відповідність виконаних робіт проєктній документації.

Основні переваги системи «PowerDigger». Застосування системи «PowerDigger» із кутовими сенсорами MSS забезпечує:

- універсальність встановлення на різні типи екскаваторів;
- оптимізацію земляних робіт за рахунок зменшення надлишкових і недостатніх вибірок ґрунту;
- зниження потреби у допоміжному персоналі;
- скорочення витрат на геодезичне забезпечення робіт;
- підвищення продуктивності завдяки скороченню часу виконання операцій;
- досягнення точності до 1 см у разі належного калібрування системи;
- простоту експлуатації та швидке навчання оператора;
- високу надійність роботи у складних умовах експлуатації.

Таким чином, сенсори базової системи, зокрема MSS300 та його модифікації, є елементами сучасних автоматизованих геодезичних систем, що забезпечують контроль і управління будівельними процесами з високою точністю та ефективністю.

4.5 Шукач підземних комунікацій

Прилад для визначення планового і висотного положення підземних комунікацій (рис. 11), який ґрунтується на принципі індукції (низько- та високочастотної, вихрової), аномалометрії та акустики.

Під землею зазвичай зосереджена велика кількість різноманітних підземних комунікацій. Отримання точної інформації про їхнє становище абсолютно необхідно до початку виїмки ґрунту. Виробник робіт цілком і повністю несе відповідальність за пошкодження комунікацій.



Рисунок 11 – Шукач підземних комунікацій

Існують два способи – пасивний і активний.

У разі пасивного способу (спосіб наведених струмів) із допомогою трубокабелешукачів виявляється змінне магнітне поле, що існує навколо струмонесучих кабелів. Виявляються електрокабелі і металеві труби неглибокого закладення. Особливо на забудованих територіях, де багато блукаючих струмів.

У разі активного способу навколо шуканих підземних комунікацій створюється штучне магнітне поле. Для цього, крім трубокабелешукачів, необхідний генератор електромагнітного поля звукової частоти.

Вимірюючи аномалію електромагнітного поля, можна визначити місце розташування підземної пустоти, трубопроводу, каналу тощо. Похибка визначення планового та висотного положення і глибини для різних модифікацій приладу становить 0,1–0,3 м. За цим методом створені також прилади, якими можна аналізувати профіль місцевості з підземними комунікаціями, записувати їх у пам'яті комп'ютера та видавати профіль на дисплей або плотер.

4.6 Безпілотні літальні апарати

Безпілотні аерофотознімальні вертольоти «Aibotix X6» (рис. 12) – це нове покоління літальних роботизованих вимірників для широкого спектра завдань (від індустріальної інспекції до завдань повітряного картографування).



Рисунок 12 – Безпілотні аерофотознімальні вертольоти «Aibotix X6»

Поєднання надійного дизайну, сучасних мультироторних технологій, роботизованості, простоти використання і широкої низки додаткових сенсорів надає великі перспективи використання:

- індустріальна інспекція – інспекція високовольтних силових ліній, програмований шлях польоту для безпечного моніторингу або детектування;

- місця перегріву сонячних акумуляторних панелей: безпілотний вертоліт «Aibotix X6» надає неперевершений рівень безпеки в поєднанні з балансом продуктивності;

- картографування: безпілотний вертоліт «Aibotix X6» – це необхідний помічник у багатьох картографічних завданнях; завдяки найсучаснішим технологіям сфери безпілотної техніки можливо в найкоротші терміни здійснювати постобробку, отримувати ортофотоплани, моделі поверхонь або 3D-моделі навіть без попередніх навичок польотів;

- фотограмметрія – будь це завдання зйомки, розвідки або реагування на надзвичайні ситуації (завдяки унікальній вбудованій камері на безпілотних вертольотах «Aibotix X6» виходять знімки з необхідною перспективою і якістю).

Аерофотознімальний комплекс «GeoScan 101». Аерофотознімальний комплекс «GeoScan 101» (рис. 13) призначений для оперативного отримання ортофотопланів, матриць висот і 3D-моделей місцевості та окремих об'єктів. Комплексна технологія призначена для разового або періодичного моніторингу об'єктів великої площі або протяжності (трубопроводи, кар'єри, відвали, будівельні майданчики).



Рисунок 13 – Аерофотознімальний комплекс «GeoScan 101»

Запитання для самоконтролю

1. Які додаткові геодезичні пристрої використовуються у будівництві?
2. Які переваги можна отримати завдяки використанню систем «Leica PowerGrade» та «Leica PowerDigger»?
3. Поясніть призначення гіроскопічного обладнання?
4. Як безпілотні літальні апарати можуть використовуватися у будівництві?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

Тема 5 Цифрові та лазерні нівеліри

План

5.1 Використання лазерних вимірювальних приладів у будівництві. Лазерні прилади для будівництва та оздоблення.

5.2 Функції лазерних приладів. Багатопроменевий лазерний інструмент.

5.3 Нівеліри. Лазерний нівелір. Ротаційні нівеліри. Позиційні нівеліри.

5.1 Використання лазерних вимірювальних приладів у будівництві.

Лазерні прилади для будівництва та оздоблення

Сучасний розвиток інженерно-будівельних технологій характеризується широким впровадженням електронних та оптичних засобів вимірювання, що забезпечують підвищення точності, швидкості та автоматизації виконання робіт. Якщо раніше основними інструментами були механічні пристрої – мотузки, виски, косинці, рівні, то сьогодні їхні функції значною мірою перебрали на себе лазерні вимірювальні прилади. Це дозволило суттєво підвищити якість будівельно-монтажних робіт і мінімізувати вплив людського фактора.

Лазерні прилади (ЛП) у будівництві – це група високоточних електронно-оптичних пристроїв, які використовують властивості лазерного випромінювання для формування візуальних орієнтирів (ліній, площин, точок) або для вимірювання відстаней. Основними фізичними характеристиками лазерного випромінювання, що забезпечують ефективність цих приладів, є висока когерентність, вузька спрямованість пучка та мала розбіжність променя.

У будівництві та оздоблювальних роботах лазерні прилади застосовуються для вирішення таких основних задач:

- створення горизонтальних і вертикальних площин;
- побудова осей та напрямків;
- контроль геометричних параметрів конструкцій;
- вимірювання відстаней і висот;
- забезпечення точності монтажу інженерних систем;
- контроль якості виконаних робіт.

Однією з ключових переваг лазерних приладів є можливість безпосередньої візуалізації результату вимірювання. На відміну від традиційних методів, де результат потрібно інтерпретувати за шкалами або відліками, лазер формує видиму лінію або точку на поверхні, що значно спрощує процес роботи.

Основні типи лазерних приладів у будівництві. До найбільш поширених лазерних приладів, що використовуються у будівництві та оздобленні, належать:

1. Лазерні рівні та нівеліри. Призначені для створення горизонтальних, вертикальних або похилих площин. Вони широко застосовуються під час виконання внутрішніх оздоблювальних робіт, монтажі підвісних стель, укладання плитки, встановлення переділок. Залежно від конструкції можуть формувати одну або кілька взаємно перпендикулярних площин.

2. Ротаційні лазери. Формують обертовий лазерний промінь, який створює горизонтальну або вертикальну площину на значній відстані. Використовуються переважно на відкритих будівельних майданчиках, під час виконання земляних робіт, планування територій, влаштування фундаментів і дорожніх покриттів. Для роботи на великих відстанях застосовуються спеціальні приймачі лазерного випромінювання.

3. Лазерні далекоміри (рулетки). Призначені для вимірювання відстаней із допомогою лазерного променя. Дозволяють швидко і з високою точністю визначати довжини, площі, об'єми, а також виконувати непрямі вимірювання (наприклад, за теоремою Піфагора). Широко використовуються як у будівництві, так і в геодезичних роботах.

4. Лазерні візири та маркери. Застосовуються для точного наведення на об'єкти, перенесення точок, розбивки осей. Вони формують чітку точку або коротку лінію, що використовується як орієнтир під час виконання монтажних робіт.

5. Лазерні будівники площин. Це універсальні прилади, які можуть одночасно формувати декілька площин (горизонтальних, вертикальних, похилих), що значно розширює їхні функціональні можливості під час комплексних будівельних робіт.

Принцип дії лазерних приладів. Принцип роботи лазерних вимірювальних приладів базується на використанні лазерного джерела випромінювання, яке формує вузький пучок світла з високою спрямованістю. У приладах для побудови площин цей промінь розгортається з допомогою оптичних систем або механічного обертання, утворюючи лінію або площину.

У лазерних далекомірах використовується інший принцип – визначення відстані за часом проходження лазерного імпульсу або за фазовим зсувом між випроміненим і відбитим сигналами. Це дозволяє отримувати результати з точністю до міліметрів навіть на значних відстанях.

Для забезпечення правильного положення площин у просторі більшість сучасних лазерних приладів оснащені системами автоматичного нівелювання. Вони використовують компенсатори або електронні сенсори нахилу, які автоматично встановлюють прилад у горизонтальне положення в межах допустимого діапазону.

Переваги використання лазерних приладів. Застосування лазерних вимірювальних приладів у будівництві забезпечує низку суттєвих переваг:

- високу точність виконання робіт;
- значне скорочення часу вимірювань і розмітки;
- можливість роботи однією особою без допоміжного персоналу;
- зниження ймовірності помилок;
- зручність візуального контролю результатів;
- універсальність застосування в різних видах робіт.

Крім того, використання лазерних приладів дозволяє підвищити якість оздоблювальних робіт, оскільки забезпечує ідеальну геометрію поверхонь, точність розташування елементів і відповідність проєктним параметрам.

Особливості застосування в оздоблювальних роботах. У внутрішніх роботах лазерні прилади стали практично незамінними. Вони використовуються під час:

- укладання керамічної плитки;
- монтажу гіпсокартонних конструкцій;
- встановлення меблів та обладнання;
- розмітки під електромонтажні роботи;
- контролювання рівності підлог і стін.

Особливо важливою є можливість одночасного проєктування кількох площин, що дозволяє виконувати складні роботи з високою точністю та мінімальними витратами часу.

5.2 Функції лазерних приладів. Багатопроменевий лазерний інструмент

Абсолютно рівний лазерний промінь з успіхом замінює звичайний схил, спиртовий рівень, металевий кутник, будівельну струну або шнур і навіть рулетку, особливо на відстанях до 200 метрів. Наскільки простіше і точніше зводити стіну, колону, встановлювати дверну коробку або вікно, коли наочно можна контролювати відхилення від вертикалі з допомогою червоної лінії лазерного променя, точно прив'язаного до вертикалі, і з допомогою лазерної рулетки, що дозволяє виміряти відстані навіть до недоступних ділянок. ЛП дозволяють швидко і зі зручністю перевіряти горизонтальність і загальний рівень фундаменту, проєктувати ухил водопровідної труби або зливу, планувати ухили земельної ділянки, монтувати паркан і сайдинг, контролювати кладку цегли і плитки, виробляти розмітку маяків для монтажу стель і заливки підлоги, монтувати телескопічні ворота і покрівлю, допомагати всім без винятку робити свою роботу ефективною.

Багатопроменевий лазерний інструмент

Із назви цієї групи лазерних розбудовників зрозуміло, що ці прилади проєктують на поверхню лазерні точки і призначені для розмітки отворів знаходяться перпендикулярно один одному відразу на декількох поверхнях. У самих просунутих моделях цього типу використовується система п'яти точок (рис. 14): два вертикальні – вгору і вниз від приладу, два горизонтальні – праворуч і ліворуч і один прямо перед приладом, що дозволяє розмітити будь-яку каркасну конструкцію, розташовану праворуч, ліворуч, зверху, знизу і перед приладом.



Рисунок 14 – Лазерний будівник точок «Multi-Pointe»

Пальму першості серед ЛП для обробки займають прилади, що дозволяють побудувати різні варіанти пересічних горизонтальних і вертикальних променів під кутом 90° . Найпростіше перетин вертикальної і горизонтальної площин утворює на робочій поверхні «лазерний хрест» двома червоними проєкціями ліній. Кожна модель може побудувати:

- від однієї до чотирьох вертикальних ліній (для проєкції площин відразу на чотири стіни кімнати);
- одну горизонтальну лінію з розгорткою до 360° (щоб на стіні замкнути проєкцію лінії по горизонту і перетнути його з вертикальними проєкціями);
- проєкцію точки вгору на стелю (верхній лазерний схил);
- проєкцію точки вниз на підлогу (нижній лазерний схил).

5.3 Нівеліри. Лазерний нівелір. Ротаційні нівеліри. Позиційні нівеліри

Нівеліри (від фр. «Niveau» – «рівень», «нівелір») – геодезичний інструмент для нівелювання, тобто визначення різниці висот (перевищення) між декількома великими і маленькими клітинами земної поверхні щодо умовного рівня (рис. 15).



Рисунок 15 – Нівелір

Існує велика різноманітність приладів цього виду, вони бувають:

- оптичними;
- лазерними;
- технічними;
- високоточними.

Крім оптичних, в останні роки набули поширення цифрові нівеліри. Вони використовуються зі спеціальною штрихковою рейкою, що дозволяє автоматизувати взяття відліку. Цифрові нівеліри зазвичай оснащені запам'ятовуючим пристроєм, що дозволяє зберігати результати спостережень.

Лазерний нівелір – це також ручний інструмент, але він визначає різниці висот між кількома предметами, розміщеними на поверхні відповідно до певного рівня. Для користування можна брати як горизонтальні, так і вертикальні площини.

Основною відмінністю лазерного рівня від лазерного нівеліра є те, що рівень працює в двох точках, він може встановлювати горизонт між двома площинами. Нівеліром можна обертати в площині, він має одну точку опори і багато точок по всьому колу в зоні дії променя. Але іноді ці два поняття – рівень і нівелір – визначають один предмет.

«Leica DNA» (рис. 16) – цифрові нівеліри другого покоління втілили в собі всі провідні ідеї та розробки фірми «Leica Geosystems» – лідера виробництва цифрових нівелірів.

Сучасний дизайн, найбільший і ергономічний РКІ дисплей на ринку, ці переваги варті уваги. Передові електронні технології, чудова оптика і точна механіка, дружній інтерфейс користувача, відпрацьований на тахеометрах 700 серії роблять роботу приємною і підвищують продуктивність.



Рисунок 16 – Лазерний нівелір «Leica DNA03»

Сучасні лазерні нівеліри оснащуються вбудованими програмними функціями, що значно розширюють їхні експлуатаційні можливості та підвищують ефективність виконання вимірювальних і розбивальних робіт. До основних функцій належать:

- відлік по нівелірній рейці та визначення відстаней;
- відв'язування і прив'язування ліній нівелірного ходу;
- прокладання нівелірних ходів із фіксацією проміжних пікетів;

- виконання розбивальних робіт;
- автоматичне обчислення перевищень і висот;
- реалізація функцій тестування та перевірки приладу;
- кодування результатів вимірювань;
- обмін даними з зовнішніми пристроями.

Наявність таких функцій дозволяє частково автоматизувати процес польових вимірювань та зменшити обсяг камеральної обробки.

Класифікація лазерних нівелірів. За принципом формування лазерного променя та характером виконуваних задач лазерні нівеліри поділяються на дві основні групи:

- ротаційні;
- позиційні.

Ротаційні нівеліри формують обертовий лазерний промінь, що створює горизонтальну або вертикальну площину на значній відстані. Дальність їхньої роботи може досягати 300–500 м і більше під час використання приймача лазерного випромінювання. Такі прилади застосовуються переважно на відкритих будівельних майданчиках під час виконання великомасштабних робіт: планування територій, влаштування фундаментів, дорожніх покриттів, земляних робіт. Використання ротаційних нівелірів у внутрішніх оздоблювальних роботах є обмеженим і економічно недоцільним.

Позиційні нівеліри призначені для виконання локальних вимірювань у межах приміщень або на невеликих ділянках. Вони є простішими за конструкцією, не мають складних механічних вузлів, відзначаються компактністю, надійністю та відносно невисокою вартістю. Основні сфери застосування – оздоблювальні роботи, монтаж конструкцій, розмітка інженерних комунікацій.

Принцип дії лазерного нівеліра

Принцип роботи лазерного нівеліра базується на використанні джерела когерентного випромінювання – лазерного діода. Світловий потік, що генерується

діодом, проходить через оптичну систему (лінзи або призми), внаслідок чого формується:

- лазерна точка;
- лазерна лінія;
- або площина (у випадку ротаційних приладів).

Це дозволяє проєктувати геометрично точні орієнтири безпосередньо на поверхні (стіни, підлогу, стелю), що значно спрощує процес розмітки та контролю.

Особливості експлуатації. В умовах відкритого простору використання лазерних нівелірів ускладняється через вплив сонячного освітлення, яке знижує видимість променя. У таких випадках застосовуються спеціальні приймачі лазерного випромінювання, що дозволяють фіксувати положення променя навіть за яскравого освітлення.

Перед початком роботи необхідно забезпечити прилад джерелом живлення. Живлення здійснюється від акумуляторів або змінних батарей. Важливо контролювати рівень заряду, оскільки його зниження може впливати на стабільність роботи приладу.

У деяких моделях передбачена можливість налаштування параметрів лазерного променя, що впливає на енергоспоживання. Інтенсивність роботи та вибір режимів можуть змінювати тривалість автономної роботи приладу.

Із метою безпеки під час роботи з лазерними приладами рекомендується використовувати захисні окуляри, оскільки безпосередній вплив лазерного променя може негативно впливати на органи зору.

Підготовка до роботи та встановлення приладу. Перед початком вимірювань необхідно ознайомитися з інструкцією виробника та виконати базові налаштування. Наступним етапом є правильне встановлення приладу. Лазерні нівеліри можуть встановлюватися:

- на штатив;
- на підлогу;
- на стіну;
- на стелю.

Вибір способу встановлення залежить від характеру виконуваних робіт. Важливо забезпечити горизонтальність положення приладу, що досягається з допомогою вбудованого компенсатора або рівня.

Налаштування приладу. Після встановлення виконується налаштування робочих параметрів. До основних налаштувань належать:

- вибір типу проєктованого променя (лінія, точка, площина);
- увімкнення або вимкнення окремих лазерних променів;
- встановлення частоти обертання (для ротаційних нівелірів);
- налаштування кута сканування.

Конкретний набір параметрів залежить від моделі приладу та визначається його технічними характеристиками.

На рисунку 17 наведено приклад конструкції самовирівнювального лазерного нівеліра, що ілюструє розміщення основних функціональних елементів приладу.

Лазерний нівелір містить:

- платформу (1) із встановленими на ній джерелами (2) лазерного випромінювання, призми (3) розкладання променів лазера у площину і лазерним схилом (4);
- систему (5) живлення і керування;
- вузол (6) кріплення на штатив, через центр якого проходить оптична вісь лазерного схилу (4);
- два джерела лазерного випромінювання,
- призми (3) розкладання променів лазера в площину, які виділені у щонайменше один випромінюючий модуль (7);
- додаткову систему (10) живлення і управління;
- додаткову самовирівнювальну платформу (11) для встановлення джерел (2) лазерного випромінювання і призми (3) розкладання променів лазера в площину;
- лазерний схил (4) із самовирівнювальною платформою (1);
- систему живлення і управління (5) та вузол (6) кріплення на штатив, які виділені в кріпильний модуль (12) із корпусом (13).

При цьому корпус (8) щонайменше одного випромінюючого модуля (7) і корпус (13) кріпильного модуля (12) виконані з можливістю з'єднання випромінюючого модуля (7) із кріпильним модулем (12) і з можливістю з'єднання з принаймні одним додатковим випромінюючим модулем.

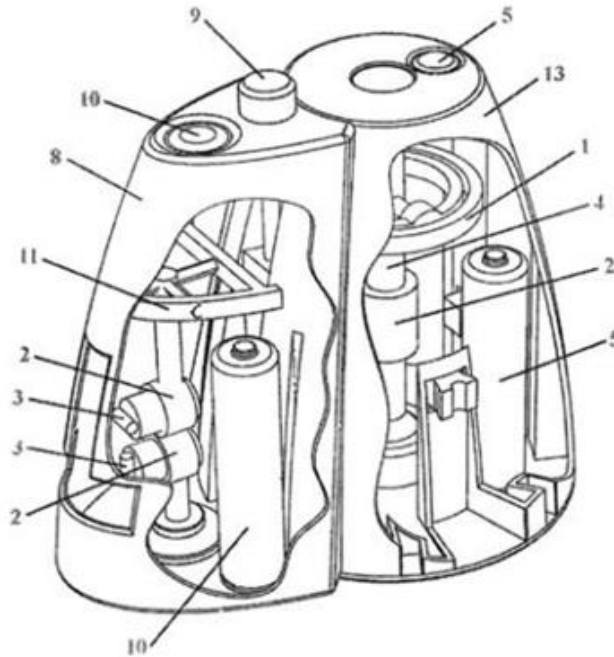


Рисунок 17 – Будова самовирівнювального лазерного нівеліру «CrossLiner»

Таким чином, сучасні лазерні нівеліри є високотехнологічними приладами, що поєднують оптичні та електронні компоненти і забезпечують автоматизацію процесів вимірювання та розмітки. Їх використання дозволяє значно підвищити точність, продуктивність і якість будівельних та оздоблювальних робіт.

Запитання для самоконтролю

1. Які є сфери застосування цифрових та лазерних нівелірів?
2. Опишіть основні елементи лазерних нівелірів.
3. Поясніть призначення ротаційного нівеліра.
4. Дайте короткий порівняльний аналіз багатопроменевих та позиційних нівелірів.

5. У чому полягає принцип дії лазерного нівеліра?
6. Які фізичні властивості лазерного випромінювання використовуються в нівелірах?
7. Які функції виконують вбудовані програмні модулі сучасних нівелірів?
8. Чим відрізняються цифрові нівеліри від традиційних оптичних?
9. Які основні типи лазерних нівелірів використовуються у будівництві?
10. У чому полягають переваги ротаційних нівелірів?
11. Які особливості застосування позиційних лазерних нівелірів?
12. Які вимоги висуваються до встановлення лазерного нівеліра перед початком роботи?

Тема 6 Тахеометри

План

6.1 Електронний тахеометр. Прикладні функції приладу.

6.2 Типи приладів та маркування. Конструкція і принцип дії.

6.3 Принципова і структурна схема. Формати даних знімання.

6.4 Первинна обробка результатів тахеометричних вимірювань, експорт та використання даних у програмному забезпеченні.

6.5 Планування тахеометричного знімання: вибір станцій, схема знімання, оцінка точності та підготовка до польових робіт.

6.1 Електронний тахеометр. Прикладні функції приладу

Під час виконання більшості інженерно-геодезичних робіт виникає необхідність одночасного визначення кутових і лінійних параметрів. Традиційно для цього застосовувалися оптичні тахеометри, які дозволяли визначати горизонтальні та вертикальні кути разом із відстанями з допомогою допоміжних методів. Сам термін «тахеометр» походить від грецьких слів «*tachys*» – швидкий і «*metreo*» – вимірюю, що відображає головну ідею приладу – оперативне отримання просторових характеристик місцевості.

Сучасний етап розвитку геодезичних приладів характеризується інтеграцією електронних, оптичних і обчислювальних компонентів. У результаті цього сформувався універсальний вимірювальний інструмент – електронний тахеометр, який поєднує функції теодоліта, далекоміра та польового комп'ютера. Такий прилад забезпечує комплексне виконання вимірювань і обробку результатів безпосередньо в польових умовах.

Електронний тахеометр (рис. 18) призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, похилих відстаней, а також для визначення

координат точок місцевості. Принцип його роботи базується на поєднанні електронної системи зчитування кутів і електронного далекоміра, який визначає відстань до об'єкта з допомогою електромагнітного випромінювання (лазерного або інфрачервоного).



Рисунок 18 – Тахеометр фірми «South»

Вимірювання виконуються таким чином: прилад визначає горизонтальний кут, вертикальний кут і похилу відстань до точки, після чого автоматично обчислює її просторове положення. Це дозволяє безпосередньо в полі отримувати координати точок в обраній системі координат, що значно підвищує ефективність геодезичних робіт.

Однією з особливостей електронного тахеометра є наявність вбудованого програмного забезпечення, яке забезпечує виконання широкого спектра прикладних задач. До основних функцій належать:

- визначення координат точок за результатами вимірювань;
- виконання зворотної та прямої зарубки;
- прокладання та зрівнювання теодолітних і тахеометричних ходів;
- обчислення площ земельних ділянок;
- виконання розбивальних робіт (винесення в натуру точок, осей, ліній);
- побудова та розрахунок кривих;

- визначення перевищень методом тригонометричного нівелювання;
- контроль точності вимірювань.

Вбудовані обчислювальні модулі дозволяють виконувати обробку даних безпосередньо на місці проведення робіт, що значно скорочує час між польовими та камеральними етапами. У сучасних моделях передбачено збереження результатів у внутрішній пам'яті, а також передавання даних на зовнішні пристрої для подальшої обробки в геоінформаційних системах або системах автоматизованого проєктування.

Важливим елементом сучасних тахеометрів є система додання поправок і компенсації похибок. У приладі можуть враховуватися:

- колімаційна похибка;
- відхилення місця нуля вертикального круга;
- похибки, пов'язані з нахилом приладу (за рахунок електронних компенсаторів);
- циклічні похибки далекоміра;
- інші інструментальні та експлуатаційні відхилення.

Можливість введення та автоматичного врахування цих параметрів дозволяє підвищити точність результатів і зменшити вплив систематичних похибок.

Сучасні електронні тахеометри можуть працювати у різних режимах вимірювань, зокрема:

- у режимі з відбивачем (із використанням призми);
- у безвідбивному режимі (за рахунок відбиття сигналу від поверхні об'єкта);
- у режимі автоматичного наведення та супроводу цілі (у роботизованих моделях).

Завдяки інтеграції з комп'ютерними технологіями електронний тахеометр стає центральним елементом геодезичного забезпечення. Використання таких приладів дозволяє не лише виконувати вимірювання, а й формувати цифрові моделі місцевості, створювати топографічні плани та карти в автоматизованому режимі.

Таким чином, електронний тахеометр є універсальним високотехнологічним приладом, який забезпечує комплексне виконання геодезичних вимірювань і

обробку результатів. Його застосування дозволяє значно підвищити точність, продуктивність і ефективність інженерно-геодезичних робіт, що зумовлює його широке використання у сучасній практиці.

6.2 Типи приладів та маркування. Конструкція і принцип дії

Сучасні тахеометри класифікуються за низкою ознак, що визначають їхні конструктивні особливості, принцип дії та сферу застосування. Основними критеріями класифікації є тип далекоміра, спосіб реєстрації результатів, рівень автоматизації та конструкція механізмів наведення.

Класифікація тахеометрів. За способом вимірювання відстаней і реєстрації результатів тахеометри поділяються на такі основні типи:

- оптико-механічні – прилади, що використовують оптичні методи визначення відстаней (із власною базою, номограмні, подвійного зображення);
- електронно-оптичні поєднують оптичні елементи з електронними системами вимірювання;
- електронні – сучасні універсальні прилади з цифровою обробкою даних;
- реєструвальні оснащені системами автоматичного запису результатів вимірювань у внутрішню пам'ять або на зовнішні носії.

Реєструвальні тахеометри відіграють важливу роль у сучасних технологіях створення топографічних планів і карт, оскільки забезпечують безперервне накопичення вимірювальної інформації та її подальшу автоматизовану обробку. Вони є початковою ланкою в системах цифрового картографування.

За типом далекоміра тахеометри поділяються на:

- прилади з відбивачем (для вимірювання відстаней використовуються спеціальні призми або відбивні мішені);
- безвідбивні тахеометри, що виконують вимірювання безпосередньо до поверхні об'єкта без використання відбивача.

Безвідбивні тахеометри є найбільш поширеними у сучасній практиці, оскільки дозволяють виконувати вимірювання у важкодоступних місцях, на фасадах будівель, інженерних конструкціях, а також у небезпечних зонах.

За типом механізму обертання і наведення розрізняють:

- механічні тахеометри, у яких наведення зорової труби здійснюється вручну з допомогою навідних гвинтів;
- сервопривідні тахеометри, оснащені електроприводами, що забезпечують автоматичне або дистанційне наведення.

Механічні моделі відзначаються простотою конструкції та нижчою вартістю, тоді як сервопривідні тахеометри забезпечують значно вищу продуктивність, можливість автоматичного супроводу цілі та дистанційного керування приладом.

Окрему групу складають роботизовані тахеометри, які можуть автоматично знаходити і відстежувати відбивач, виконуючи вимірювання без постійної участі оператора.

Маркування тахеометрів. Маркування тахеометрів формується виробниками і зазвичай містить інформацію про:

- серію або модель приладу;
- клас точності вимірювання кутів;
- тип далекоміра (з відбивачем або безвідбивний);
- наявність додаткових функцій (наприклад, автоматичного наведення, Bluetooth-зв'язку, внутрішньої пам'яті тощо).

У більшості сучасних моделей числовий індекс у маркуванні відповідає точності вимірювання горизонтального кута (наприклад, 1", 2", 5"). Літерні позначення можуть вказувати на функціональні особливості приладу або належність до певної серії.

На сучасному ринку геодезичного обладнання широко подані тахеометри провідних світових виробників: «Leica Geosystems», «Topcon», «Sokkia», «Nikon», «Trimble», «GeoMax», «South» тощо. Кожен виробник використовує власну систему маркування, проте загальні принципи її формування є подібними.

Конструкція тахеометра. Електронний тахеометр є складним вимірювальним комплексом, що об'єднує декілька функціональних модулів. До його складу входять:

- електронний теодоліт (кутомірний пристрій);
- електронний далекомір;
- зорова труба з системою наведення;
- компенсатор або електронний сенсор нахилу;
- обчислювальний блок (мікропроцесор);
- пристрій введення і відображення інформації (клавіатура, дисплей);
- внутрішня пам'ять для збереження результатів;
- інтерфейси зв'язку для передачі даних.

У деяких сучасних моделях можливе додаткове підключення GNSS-приймачів, що дозволяє інтегрувати тахеометр у комплексні геодезичні системи.

Принцип дії тахеометра. Принцип роботи електронного тахеометра базується на одночасному вимірюванні кутів і відстаней до точки спостереження з подальшим обчисленням її координат.

Кутові вимірювання виконуються з допомогою електронного теодоліта, який визначає положення горизонтального і вертикального кругів з допомогою кодових дисків і електронних сенсорів.

Вимірювання відстаней здійснюється електронним далекоміром, який працює на основі електромагнітного випромінювання. Залежно від принципу вимірювання розрізняють:

- фазові далекоміри, у яких відстань визначається за різницею фаз між випроміненим і відбитим сигналами;
- імпульсні далекоміри, що вимірюють час проходження сигналу від приладу до об'єкта і назад.

Після отримання значень горизонтального кута, вертикального кута і похилої відстані обчислювальний блок тахеометра виконує перетворення результатів із полярної (сферичної) системи координат у прямокутну (декартову). Це дозволяє визначити координати точки відносно станції приладу.

6.3 Принципова і структурна схема. Формати даних знімання

Принципова і структурна схеми приладу показані на рисунках 19, 20 та 21.

Схема електронного тахеометра



Рисунок 19 – Схема на прикладі електронного тахеометра
«TOPCON GPT-3000» – вигляд спереду

Схема електронного тахеометра (вигляд з іншого боку)



Рисунок 20 – Схема на прикладі електронного тахеометра
«TOPCON GPT-3000» – вигляд ззаду

Трегер електронного тахеометра

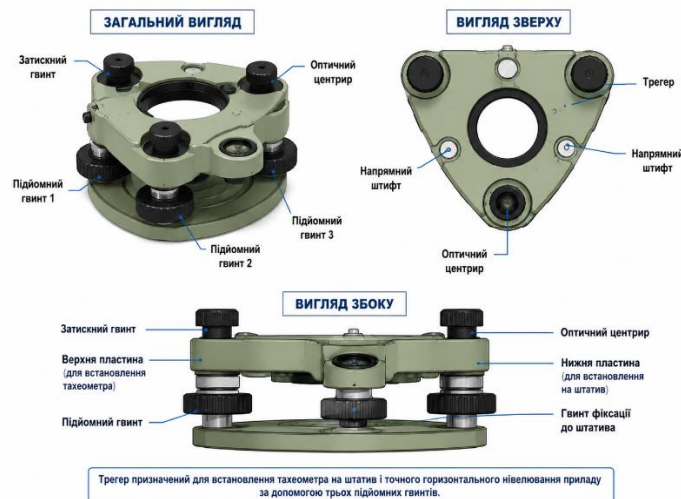


Рисунок 21 – Схема на прикладі електронного тахеометра
«TOPCON GPT-3000» – вигляд трегера тахеометра

Точність вимірювання залежить від технічних можливостей моделі тахеометра, та від зовнішніх параметрів: температури, тиску, вологості тощо.

Діапазон вимірювання відстаней залежить від режиму роботи тахеометра: відбивний та безвідбивний. Дальність вимірювань у разі безвідбивного режиму безпосередньо залежить від відбивних властивостей поверхні, на яку проводиться вимірювання. Для світлої гладкої поверхні (штукатурка, кахельна плитка тощо) вона в кілька разів перевищує максимально можливу відстань, вимірювану на темній поверхні. Максимальна дальність лінійних вимірювань для режиму з відбивачем (призмою) – до п'яти кілометрів (у разі декількох призм – ще далі); для безвідбивного режиму – до одного кілометра.

Моделі тахеометрів, які мають безвідбивний режим, можуть вимірювати відстані практично до будь-якої поверхні, однак потрібно з обережністю ставитися до результатів вимірювань, проведених крізь гілки, листя і подібні перешкоди, оскільки невідомо, від чого саме відіб'ється промінь, і, відповідно, відстань до чого він виміряв.

Існують моделі тахеометрів, із далекоміром поєднаним із системою фокусування зорової труби. Переваги таких приладів в тому, що вимірювання відстаней виробляється саме на той об'єкт, за яким у цей час виставлена зорова труба приладу.

Точність кутових вимірювань сучасним тахеометром досягає половини кутової секунди ($0^{\circ}00'00,5''$), відстаней – до 0,5 (1) мм + 1 мм на км (наприклад, в тахеометрах серії NET05 від фірми «SOKKIA» або Trimble S8-0.5R). Точність лінійних вимірювань у безвідбивному режимі – до 1 мм + 1 мм на км.

Більшість сучасних тахеометрів обладнані обчислювальним і запам'ятовуючим пристроями, що дозволяють зберігати виміряні або проєктні дані, обчислювати координати точок, недоступних для прямих вимірювань, за непрямыми спостереженнями тощо. Деякі сучасні моделі оснащені GPS-приймачем (наприклад, «Leica Smart Station»).

Крім того, в нових серіях тахеометрів «Viva TS» подані моделі з вбудованою ширококутною 5-мегапіксельною камерою. З її допомогою можна отримати і вивести на VGA-екран тахеометра панорамні зображення об'єкта для швидкого наведення на точку. Камера здатна робити знімки з чотирикратним наближенням,

завдяки чому користувач отримує детальні зображення об'єкта. Кожен знімок може бути прив'язаний до однієї з вимірних точок. Таким чином, під час тахеометричної зйомки ведеться додаткова документація у вигляді фотозображень із робочими позначками.

Серія «Leica Viva TS11» об'єднала в собі кілька модифікацій тахеометрів з інтегрованою ширококутною камерою і кутовою точністю вимірювань від 5" до 1". «Leica Viva TS11» – найбільш просунутий немоторизований тахеометр із новою функцією формування зображень на дисплеї тахеометра з допомогою камери високої роздільної здатності та простого у використанні вбудованого ПЗ «Leica SmartWorx Viva».

6.4 Первинна обробка результатів тахеометричних вимірювань, експорт та використання даних у програмному забезпеченні

Первинна обробка результатів тахеометричних вимірювань є важливим етапом геодезичного процесу, який забезпечує перевірку, систематизацію та підготовку польових даних до подальшого використання. Завдяки використанню електронних тахеометрів значна частина цієї обробки виконується безпосередньо в польових умовах, що суттєво підвищує оперативність і точність робіт.

Первинна обробка результатів вимірювань. На етапі польових вимірювань електронний тахеометр автоматично реєструє такі основні параметри:

- горизонтальні кути;
- вертикальні кути;
- похилі відстані;
- координати точок (за наявності відповідних налаштувань);
- висоти (перевищення) точок;
- службову інформацію (час, номер точки, код об'єкта).

Первинна обробка містить:

- контроль правильності вимірювань, який передбачає перевірку повторних спостережень, аналіз відхилень та виявлення грубих помилок;

- усереднення результатів, якщо вимірювання виконувалися декілька разів;
- врахування поправок, зокрема інструментальних і геометричних;
- перетворення результатів із полярної системи координат у прямокутну.

У більшості сучасних тахеометрів ці операції виконуються автоматично за допомогою вбудованого програмного забезпечення. Оператор отримує готові координати точок, що дозволяє одразу оцінити якість виконаних вимірювань.

Важливим етапом первинної обробки є кодування об'єктів знімання. Кожній точці надається умовний код, який визначає її належність до певного типу об'єкта (дорога, будівля, межа, інженерна мережа тощо). Це дозволяє автоматизувати подальше формування топографічних планів і цифрових моделей місцевості.

Сучасні тахеометри підтримують роботу з бібліотеками кодів, що забезпечує уніфікацію даних та їхню сумісність із програмними продуктами.

Після завершення польових робіт результати вимірювань передаються на зовнішні пристрої для подальшої обробки. Експорт даних може здійснюватися такими способами:

- через USB-інтерфейс;
- за допомогою Bluetooth або Wi-Fi;
- через карти пам'яті;
- шляхом прямого підключення до комп'ютера або контролера.

Дані можуть експортуватися у різних форматах, зокрема:

- текстові формати (TXT, CSV);
- спеціалізовані формати виробників;
- універсальні формати обміну геоданими (наприклад, DXF, XML).

Вибір формату залежить від програмного забезпечення, яке використовується для подальшої обробки.

Отримані польові дані обробляються у спеціалізованих програмних комплексах, які забезпечують виконання камеральних робіт. До таких програм належать геоінформаційні системи та системи автоматизованого проектування, зокрема QGIS, AutoCAD, ArcGIS, Digitals тощо.

6.5 Планування тахеометричного знімання: вибір станцій, схема знімання, оцінка точності та підготовка до польових робіт

Планування тахеометричного знімання є підготовчим етапом, який визначає ефективність, точність і повноту отриманих геодезичних даних.

Вибір станцій передбачає розміщення точок встановлення тахеометра таким чином, щоб забезпечити максимальну видимість території, мінімізувати кількість переходів і уникнути «мертвих зон». Станції повинні мати стабільну основу, зручний доступ і забезпечувати можливість прив'язки до вихідних геодезичних пунктів.

Схема знімання визначає порядок виконання вимірювань і розташування знімальних точок. Застосовуються радіальні, полігонометричні або комбіновані схеми, залежно від характеру місцевості та вимог до точності. Важливим є забезпечення перекриття зон знімання для контролю результатів.

Оцінка точності виконується на етапі планування з урахуванням класу робіт, характеристик приладу, відстаней до точок та умов спостережень. Визначаються допустимі похибки вимірювання кутів і відстаней, а також їхній вплив на точність координат.

Підготовка до польових робіт містить перевірку технічного стану приладу, заряд акумуляторів, наявність комплектуючих (штатив, відбивачі, контролер), налаштування параметрів знімання та підготовку програмного забезпечення. Також здійснюється попереднє ознайомлення з об'єктом робіт і уточнення умов їхнього виконання.

Таким чином, якісне планування тахеометричного знімання забезпечує раціональну організацію робіт, підвищення точності вимірювань і ефективне використання технічних ресурсів.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення тахеометру.
2. Наведіть класифікацію тахеометрів за типом далекоміра та способом реєстрації результатів вимірювань.
3. Класифікація тахеометрів за принципом дії.
4. Наведіть класифікацію тахеометрів за типом механізму обертання.
5. Наведіть принципову і структурну схему тахеометра.

Тема 7 Лазерні сканери

План

- 7.1 Призначення, принцип дії та будова лазерних сканерів.
- 7.2 Типи приладів. Маркування. Особливості застосування.
- 7.3 Мобільне лазерне сканування.

7.1 Призначення, принцип дії та будова лазерних сканерів

Окремо необхідно виділити мультистанції та наземні лазерні сканери. Мультистанція – це провідний інженерний інструмент, що об'єднує в собі функціонал роботизованого тахеометра, сканера, фотограмметричної станції і з можливістю доповнення GNSS-приймачем. Орієнтована на виконання найбільш складних, комплексних завдань.

Сканувальний тахеометр «Leica Nova MS60» (рис. 22) із революційним польовим програмним забезпеченням «Leica Captivate» перетворює складний набір просторових даних на прості та зручні для роботи 3D-моделі. Використовуючи зрозумілі прикладні програми і сенсорні технології, всі типи вимірювань і проєктні дані можна переглядати у трьох площинах. Польове ПО «Leica Captivate» може застосовуватися в різних сферах і галузях незалежно від того, з яким інструментом ви працюєте: GNSS-приймачем, тахеометром або і тим, й іншим.

Наземне лазерне сканування (НЛС) – на сьогоднішній день найбільш оперативний і продуктивний спосіб отримання точної та найповнішої інформації про просторові об'єкти. Суть технології полягає у визначенні точних просторових координат точок поверхні об'єкта.



Рисунок 22 – Сканувальний тахеометр «Leica Nova MS60»

Принцип роботи лазерного сканера аналогічний принципу роботи безвідбивного електронного тахеометра і полягає у вимірюванні часу проходження лазерного променя від випромінювача до поверхні, що відбиває, і назад до приймача. Шляхом ділення цього часу на швидкість поширення лазерного променя визначається відстань до об'єкта.

Сканер складається з лазерного далекоміра, адаптованого для роботи з високою частотою, і блока розгортки лазерного променя. В якості блока розгортки в сканері виступають сервопривід і полігональне дзеркало або призма. Сервопривід відхиляє промінь на задану величину в горизонтальній площині, при цьому повертається вся верхня частина сканера, яка називається голівкою. Розгортка у вертикальній площині здійснюється за рахунок обертання або гойдання дзеркала.

У процесі сканування фіксується напрямок поширення лазерного променя і відстань до точок об'єкта. Результатом роботи сканера є растрове зображення – скан, значення пікселів якого є елементами вектора з наступними компонентами: вимірюною відстанню, інтенсивністю відбитого сигналу і RGB-складовою, що характеризує реальний колір точки. Для більшості моделей НЛС характеристики реального кольору для кожної точки сполучено з допомогою неметричної цифрової камери.

Іншою формою подання результатів наземного лазерного сканування є масив точок лазерних віддзеркалень від об'єктів, що знаходяться в полі зору сканера, з п'ятьма характеристиками, а саме просторовими координатами (x, y, z), інтенсивністю і реальним кольором.

Основою роботи лазерних далекомірів, використовуваних у сканерах, є імпульсний і фазовий безвідбивні методи вимірювання відстаней, а також метод прямої кутової розгортки (тріангуляційний метод).

Скорочення витрат. Системи HDS дозволяють значно скоротити витрати кількома шляхами:

- зменшення вартості виконавчої та топографічної зйомки;
- зниження або повне виключення повторних додаткових зйомок об'єкта;
- більш точні креслення і звіти виконавчої зйомки (це означає, по-перше, зменшення конструктивних робіт через завчасну зйомку і виключення пересічних основних магістралей і конструкцій, а, по-друге, можливість заводського будівництва великих конструкцій, а не добудовування «за місцем»);
- скорочення робіт за рахунок швидкої і неруйнуючої зйомки і мінімального часу польових робіт.

Додаткові переваги. Крім скорочення прямих витрат системи HDS надають додаткові переваги:

- швидке отримання результатів;
- зменшення загального циклу робіт над проєктом;
- більш якісний результат;
- менше неоднозначностей – велика повнота;
- високий рівень деталізації;
- безпеку робіт під час знімання;
- неруйнівну методику зйомки;
- хмари точок, що можуть бути використані іншими фахівцями з більшою ефективністю.

Де можна використовувати лазерне сканування? Основні сфери застосування тривимірного сканування:

- створення тривимірних моделей складних інженерних споруд та технологічного обладнання з високим ступенем деталізації і точності;
- зйомка фасадів історичних будівель, пам'ятників і унікальних об'єктів для їх реконструкції;
- дорожня зйомка;
- гірничча справа;
- моніторинг будівель і споруд;
- визначення обсягів земляних робіт та/або технологічних ємностей;
- документування надзвичайних ситуацій.

Цей список далеко не повний, оскільки з кожним роком користувачі сканерів виконують все більше унікальних проєктів, які розширюють сфери застосування технології.

Наземний лазерний сканер «Leica Scanstation P20» (рис. 23) – це знімальна система, яка вимірює з високою швидкістю відстані від сканера до поверхні об'єкта і реєструє відповідні напрями з подальшим формуванням тривимірного зображення у вигляді хмари точок. Це новітнє обладнання для проведення будь-яких геодезичних робіт.



Рисунок 23 – Наземний лазерний сканер «Leica Scanstation P20»

Тривимірний лазерний сканер вимірює відстані до всіх визначуваних точок із допомогою лазерного безвідбивного далекоміра. Вимірювання проводяться з дуже високою швидкістю – кілька тисяч вимірювань на секунду. У лічені хвилини прилад вимірює мільйони точок, які точно повторюють поверхню об'єкта сканування. У результаті одного сеансу сканування утворюється хмара точок відображень лазерного променя. Для кожної точки реєструються три координати (X, Y, Z) і інтенсивність прийнятого сигналу. На рисунках 25 та 26 показано фрагменти сканування Києво-Печерської лаври.

Наприклад, фахівцями НВП «Навігаційно-геодезичний центр» було виконано лазерне сканування комплексу Дальніх і Варязьких печер Києво-Печерської Лаври. Мета проєкту – створення TIN-поверхні моделі об'єкта, отримання топографічного плану масштабу 1 : 500 у місцевій системі координат, побудова профілів і перетинів коридорів і приміщень печер (рис. 24).

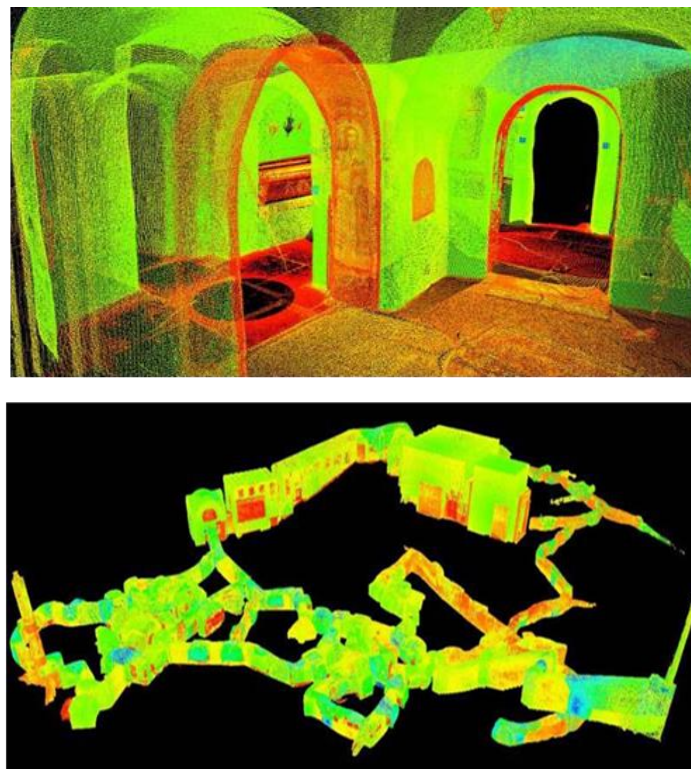


Рисунок 24 – Фрагмент сканування Києво-Печерської лаври. Внутрішні приміщення та загальний вигляд

7.2 Типи приладів. Маркування. Особливості застосування

Залежно від конструкції, принципу дії та умов застосування лазерні сканери поділяються на декілька основних типів.

Типи лазерних сканерів. За способом встановлення та використання розрізняють:

- наземні (стаціонарні) лазерні сканери, які застосовуються для детального сканування будівель, споруд, інженерних об'єктів, пам'яток архітектури та забезпечують високу точність (до міліметрів) і щільність хмари точок;
- мобільні лазерні сканери, які встановлюються на транспортних засобах або платформах, що рухаються (автомобілях, поїздах) та використовуються для знімання доріг, міської інфраструктури, лінійних об'єктів;
- аеролазерні сканери (LiDAR), які встановлюються на безпілотних літальних апаратах або літаках і застосовуються для великомасштабного знімання територій, створення цифрових моделей рельєфу;
- ручні (портативні) сканери, які використовуються для швидкого знімання невеликих об'єктів у складних умовах (приміщення, вузькі простори).

За принципом вимірювання відстаней лазерні сканери поділяються на:

- імпульсні, які визначають відстань за часом проходження лазерного імпульсу;
- фазові, які визначають відстань за різницею фаз між випроміненим і відбитим сигналами.

Імпульсні сканери характеризуються більшою дальністю дії, тоді як фазові забезпечують вищу точність на малих і середніх відстанях.

Маркування лазерних сканерів. Маркування лазерних сканерів формується виробником і зазвичай містить:

- назву серії або моделі;
- числові індекси, що можуть вказувати на дальність дії або точність;
- літерні позначення, що характеризують функціональні можливості (наприклад, мобільність, швидкість сканування, тип сенсора).

У більшості випадків маркування не є уніфікованим, але відображає основні технічні характеристики приладу. Наприклад, моделі різних виробників можуть відрізнятися за швидкістю сканування (кількість точок за секунду), дальністю (від десятків до сотень метрів), точністю (від міліметрів до сантиметрів).

На сучасному ринку подані лазерні сканери провідних виробників, зокрема «Leica Geosystems», «Trimble», «Topcon», «FARO Technologies» тощо.

Особливості застосування. Застосування лазерних сканерів охоплює широкий спектр задач у геодезії, будівництві та суміжних галузях. Основні напрями використання:

- створення цифрових моделей місцевості (ЦМР) та об'єктів;
- інженерні вишукування і обстеження споруд;
- моніторинг деформацій будівель та інженерних конструкцій;
- документування історичних пам'яток і об'єктів культурної спадщини;
- знімання складних інженерних об'єктів (мости, тунелі, промислові комплекси);
- моделювання міського середовища та створення 3D-моделей;
- інвентаризація інфраструктури.

Основною перевагою лазерного сканування є висока швидкість отримання великого обсягу просторових даних у разі мінімального контакту з об'єктом. Це особливо важливо під час роботи з важкодоступними або небезпечними об'єктами.

До особливостей застосування також належать:

- необхідність виконання сканування з декількох станцій для уникнення «тіньових зон»;
- використання опорних мішеней або GNSS-прив'язки для об'єднання сканів;
- значний обсяг даних, що потребує подальшої обробки у спеціалізованому програмному забезпеченні;
- залежність якості результатів від умов знімання (освітлення, погодні умови, відбивна здатність поверхонь).

7.3 Мобільне лазерне сканування

Мобільне лазерне сканування з'явилося більше 10 років тому і з тих пір зробило величезний технологічний прорив від експериментальних установок до сучасних геодезичних приладів. В Україні мобільне лазерне сканування з'явилося в 2000-х рр. і більше всього застосовується для виконання вимірювань лінійно-протяжних об'єктів, насамперед – автомобільних доріг, зйомки маршрутів міст та населених пунктів, залізничних шляхів.

Результатом сканування є дуже докладний та щільний набір (хмара) тривимірних точок поверхні, кількість яких може досягати сотні і тисячі на 1 м² знімальної поверхні. Приклад поданий на рисунку 25.

Мобільне лазерне сканування здійснюється зазвичай із візкових пристроїв або транспортних засобів зі швидкостями від 3 км/год до 90 км/год залежно від необхідної щільності хмари точок та детальності запланованого сканування. Головною причиною вибору саме мобільного лазерного сканування для вишукувань та складання проєктної документації є виконання польових вимірювань із дуже високою та достатньою швидкістю і детальністю.

Насамперед випробування мобільних лазерних сканерів проводилось на автомобільних дорогах міського та міжміського типів. Випробування несли за собою зіставний характер. У результаті перших випробувань були отримані неперевершені результати та продемонстровано готовність цієї технології для геодезичних вишукувань, зокрема таких відповідальних, як для проєктів із ремонтів та реконструкцій ділянок і окремих об'єктів.

Принцип роботи мобільних лазерних пристроїв сканування достатньо простий і зрозумілий. Високошвидкісний мобільний лазерний далекомір або його дзеркало встановлюється на поворотній основі. Така поворотна основа є головою для лазера. За один оберт головки далекомір може робити від сотні до тисячі вимірювань, що дає можливість детально оцінити профіль довколишнього простору в одній двовимірній площині (рис. 26). Під час використання лазерної

головки, встановленої на рухомій базі з поступальним рухом під кутом до площини сканування, далекомір із кожним обігом головки буде знімати нову площину.



Рисунок 25 – Результати сканування у вигляді хмари точок

У результаті буде отримано безліч поперечних сканованих площин вздовж напрямку руху (рис. 27). Для обчислення координат окремих отриманих точок лазерного сканування необхідно знати точне положення і орієнтацію лазерної головки в просторі в момент фіксування кожного вимірювання. Для цього використовуються інерційні навігаційні системи (ІНС), які поєднуються з GPS/ГЛОНАСС – приймачем геодезичного класу.

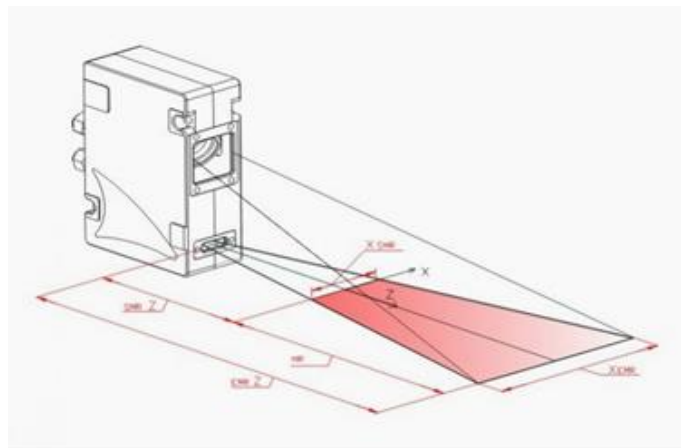


Рисунок 26 – Схема роботи мобільного лазерного сканувального пристрою

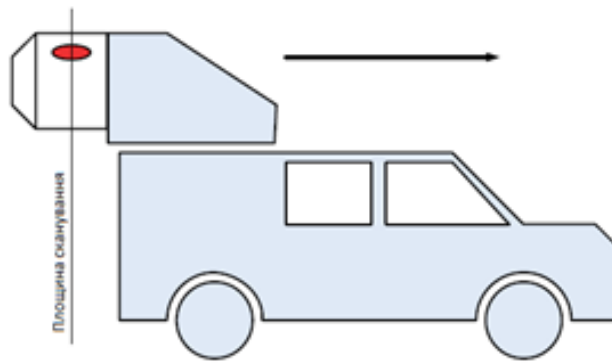


Рисунок 27 – Схема встановлення далекоміра на рухомій базі

У дорожній галузі лазерне сканування (рис. 28) ефективно застосовується у трьох сферах: в інженерно-геодезичних вишукуваннях під час проєктування і виконавчої зйомки; для паспортизації, інвентаризації існуючої інфраструктури; для створення ГІС та геопросторових баз дорожніх даних. Під час проєктування та проведення виконавчої зйомки необхідна максимальна точність, особливо за висотою. Це досягається здебільшого плануванням проведення вимірювань і застосуванням декількох базових станцій у районі робіт; по-друге, доданням опорних точок для вирівнювання траєкторій. Під час виконання паспортизації та інвентаризації необхідне максимальне охоплення, особливо придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Лазерне сканування в таких випадках ефективно поєднувати з панорамною відеозйомкою. Такого типу поєднання необхідне для камерального дешифрування об'єктів проєктування. Висока точність для проведення цих робіт не потрібна, можливе виконання роботи без базових станцій із високою швидкістю руху.



Рисунок 28 – Виконання зйомки мобільним лазерним сканувальним пристроєм

Створення ГІС і геопросторових баз дорожніх даних вимагає проміжної точності, але при цьому високої деталізації і максимального охоплення, зокрема придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Окрема увага приділяється зйомці укосів насипів та контрбанкетів, оголовків труб, елементів мостових споруд та переїздів. Необхідним є використання базових станцій, а також планування траєкторій руху на складних ділянках для повного покриття навколишнього оточення та маршруту зйомки.

Під час зйомки для проектування ремонтних робіт та реконструкції найбільш складним і важливим є докладне моделювання деталізації поверхні автомобільної або залізничної дороги з високою точністю в профільному та плановому відношеннях. Традиційне нівелювання дає високу точність, однак не дає докладної моделі проїжджої частини, враховуючи тільки колійність або смуговість, невеликі просадки і однорідні малі дефекти – через те, що точок зйомки досить мало. Лазерне сканування вирішує такі обмеження. Для отримання детального і високоточного результату зйомка виконується ділянками по 10–15 км. У районі робіт виставляється не менше двох базових станцій (рис. 29). Обов'язковим є планування роботи у разі очікуваної, достатньо високої точності сеансу вимірювань. У випадку необхідності зйомки насипу попередньо проводиться покіс

трави на укосах для досягнення високої точності вимірювань і визначення підшви укосу і його форми.

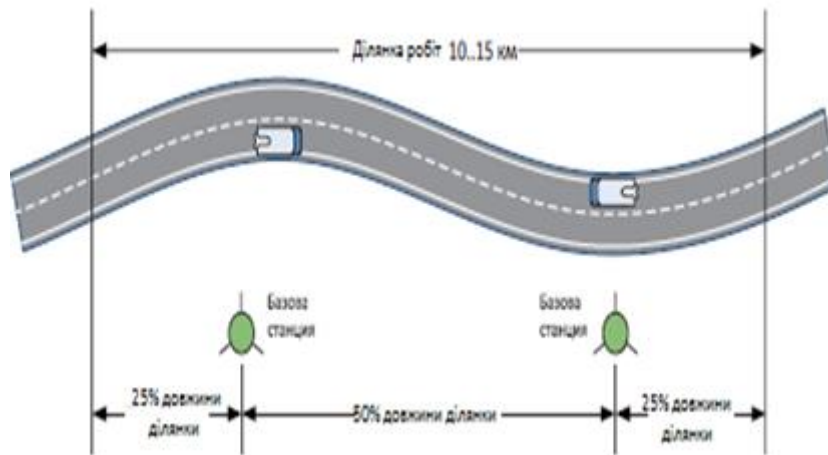


Рисунок 29 – Розміщення базових станцій у районі виконання сканувальних робіт

Під час зйомки для проведення ремонтів покриття або виправних робіт на залізницях швидкість руху лабораторії обмежується до 20 км/год, для інших проєктів – 30 км/год під час зйомки. Для підвищення абсолютної точності та посилення контролю за кожні 200 м на крайній смузі встановлюються «опорні точки» з обох боків дороги, вони маркуються світловідбивальною фарбою, при цьому окремо здійснюється їх нівелювання. Після зйомки порівнюються траєкторії по базовим станціям із допомогою програмного забезпечення «Novatel». Далі хмара точок накладається на опорні точки у «IndorCAD» або «AutoCAD», при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримуємо остаточну хмару точок, яку використовуємо у потрібному програмному забезпеченні для розробки необхідної проєктної документації. Перевага мобільного лазерного сканування перед традиційними зйомками – набагато більш детальна модель поверхні, яка відображає реальні ухили на всій поверхні шляху сканування з деталізацією дефектних місць тощо.

Під час зйомки для паспортизації розглядається особливий вид зйомки, який не вимагає дуже високої абсолютної точності, але вимагає охоплення всіх елементів дороги та придорожньої смуги. Матеріали такої зйомки можуть застосовуватися як

власне для паспортизації, так і для інвентаризації майнового комплексу та для проєктування організації дорожнього руху. У цьому виді робіт проводиться зйомка ділянками, протяжність яких може досягати 100 км. Плануються роботи з достатньою точністю вимірювань для цього виду робіт. Швидкість руху мобільних лазерних пристроїв знаходиться в межах 60–80 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка.

Для повного охоплення автомобільної або залізничної дороги виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики та об'єкти сервісу, обгінні колії, під'їзні шляхи. На автомобільних шляхах рух здійснюється по крайній правій смузі для того, щоб «тінь» від сусіднього транспорту не закривала огляд вправо і перекривалась зворотним проїздом. Після зйомки порівнюються траєкторії по опорним точкам та перехрестям із допомогою програмного забезпечення Novatel, AutoCAD та ARCGIS. Далі хмари точок порівнюються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримується остаточна хмара точок. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується, після чого будується спрощена модель автомобільної або залізничної дороги для формування паспортної документації.

Під час зйомки для ГІС і геопросторових баз даних роботи виконуються ділянками по 100 км. У районі робіт виставляється не менше двох базових станцій. Швидкість руху знаходиться в межах 5–60 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики, об'єкти сервісу, великі з'їзди. Рух здійснюється по одиночним маршрутам, із частковим заїздом на узбіччя у межах твердого покриття. Після зйомки порівнюються траєкторії по опорним точкам та перехрестям із допомогою програмного забезпечення Novatel, AutoCAD та ARCGIS. Далі хмари точок порівнюються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії зйомки. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується для побудови моделі автомобільної дороги, маршрутних шляхів, залізничних шляхів тощо.

Оцінка продуктивності. Продуктивність мобільного лазерного сканування під час вишукувань для паспортизації може досягати 300 км за день польових робіт однією лабораторією. Продуктивність під час вишукувань для ГІС – до 200 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення. Продуктивність під час вишукувань для проєктування ремонтних робіт – до 50 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення.

Як видно, швидкість виконання польових робіт перевершує класичні методи у декілька разів, а під час зйомки для проєктування ремонтних робіт – на порядок. Під час обліку найвищої точності і детальності одержуваних даних можна робити чіткий висновок про доцільність широкомасштабного застосування мобільного лазерного сканування в дорожньому господарстві.

Обробка даних мобільного лазерного сканування. Як уже було сказано, на сьогодні мобільне лазерне сканування стає дуже популярною темою під час замовлення проєктно-вишукувальних робіт у дорожній галузі. З'являється велика кількість компаній, які освоїли технологію виконання мобільного лазерного сканування. У той же час виконання сканування та отримання хмари точок – це лише початок довгого шляху в проєктуванні автомобільних та залізничних доріг.

Типовий порядок обробки даних. Розглянемо типовий порядок обробки даних мобільного лазерного сканування – від отримання вихідних даних до побудови моделі. Процес отримання хмари точок має досконалу технологію і досить добре опрацьований. Але для досягнення необхідної точності, особливо за висотою, необхідне якісне планово-висотне обґрунтування і розміщення хмар на контрольні точки. Процес обробки даних лазерного сканування практикується досить безсистемно і зазвичай зводиться до класифікації і розфарбування хмар точок. Цього явно виявляється замало для подальшої роботи інженерів у системах автоматичного програмування та ГІС. Для цього визначаються етапи, які потрібні для отримання практичних 3D-моделей, хоча деякі з них зазвичай не виконуються.

Під час виділення модельних точок рельєфу розглядаються хмари точок лазерного сканування, які зазвичай містять десятки і сотні мільйонів точок, що належать до рельєфу. Дуже велика отримана кількість точок зовсім зайва, коли мова

йде про побудову тріангуляційної моделі рельєфу, що застосовується як вихідний матеріал для проєктування. Для того, щоб отримати таку модель рельєфу, з великої кількості вихідних точок, що належать до рельєфу, виокремлюють невелику кількість характерних модельних точок рельєфу. Модельними точками рельєфу називають такі точки хмари, які вносять найбільший внесок у форму рельєфу (рис. 30) і необхідні для формування моделі рельєфу заданої точності.

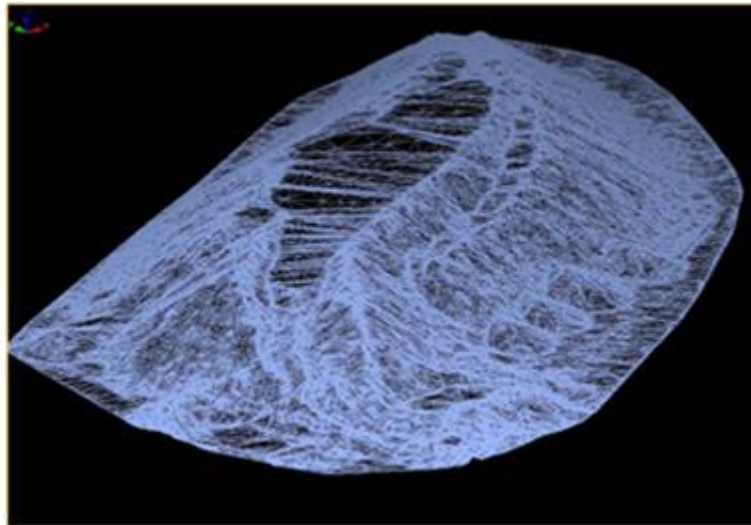


Рисунок 30 – Модельні точки рельєфу в загальній хмарі точок

Зазвичай під «точністю» сформованого набору модельних точок розуміють максимально допустиме відхилення по висоті точок, що належать до рельєфу (вихідних точок хмари), від тріангуляційної моделі, побудованої за модельними точками.

Зазвичай кількість модельних точок для моделей рельєфу з заданою точністю 1 см буває на 2–3 порядки менше, ніж кількість вихідних точок, що належать до рельєфу (рис. 31). Модельні точки поверхні застосовуються для моделювання рельєфу поряд з автомобільною чи залізничною дорогою і задають цифрову модель рельєфу, придатну для застосування в будь-яких системах автоматичного програмування і ГІС, а також для швидкої тривимірної візуалізації.

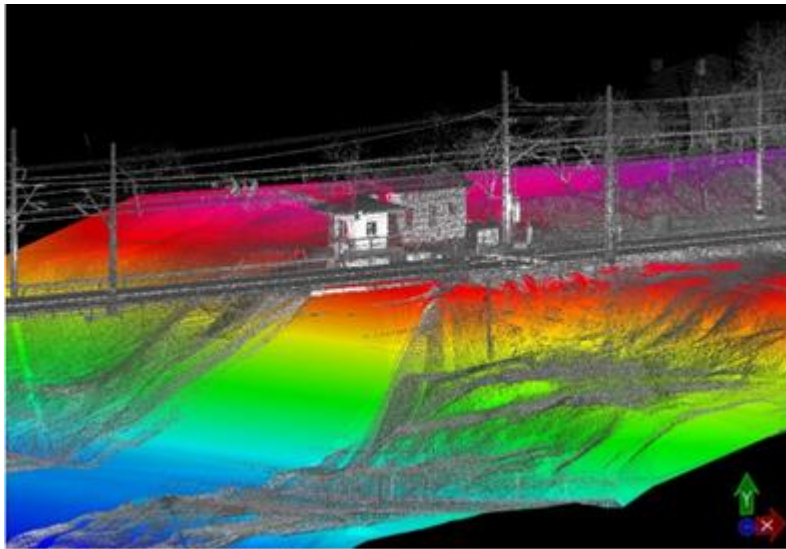


Рисунок 31 – Мобільні точки рельєфу в тримірному поданні

Під час оцифрування структурних ліній дороги розглядають такі лінії, які задають базову просторову геометрію автомобільної або залізничної дороги. Такий процес є першим і найважливішим елементом, який необхідно визначати під час створення 3D-моделі дороги. Структурні лінії дороги містять осьові лінії, кромки проїжджої частини, бровки, підшви, межі укосів виїмок, насипів, контр банкетів, берм тощо.

На сьогодні вже існує низка алгоритмів і програмних продуктів, що дозволяють розпізнавати структурні лінії і будувати статистично згладжені просторові лінії за хмарою точок. Отримувані структурні лінії є найважливішим елементом моделі сканування дороги і використовуються безпосередньо сучасними системами автоматичного програмування автомобільних і залізничних доріг. Необхідно зазначити, що автоматизоване розпізнавання структурних ліній дороги надійно працює тільки для нових доріг. У решти випадках точно розпізнати вісь дороги, напівзасипану кромку, зарослу травою бровку тощо досить проблематично – у цьому випадку єдиним виходом є ручне оцифрування структурних ліній. Підмогою оператору тут може бути механізм локальної статистичної оцінки розподілу точок по висотах.

Таким чином, у результаті побудови структурних ліній дороги і моделі рельєфу придорожньої смуги на виході отримуються готові моделі для систем автоматичного програмування і ГІС автомобільних та залізничних доріг.

Моделювання об'єктів інженерного облаштування також є важливим завданням під час створення моделей автомобільних та залізничних доріг. Поширені технології, реалізовані в багатьох програмних продуктах, є досить трудомісткими, оскільки не орієнтовані на специфічні об'єкти (стійки дорожніх знаків, огороження тощо). У той же час в наявності є досить ефективні спеціалізовані програмні продукти, що виконують цю задачу (хоч і не автоматично, але з високою швидкістю отримання моделей елементів інженерного облаштування автомобільних та залізничних доріг). Під час оцифрування об'єктів інженерного облаштування оператор працює у 3D-вигляді. Хмара точок або розфарбовується в природні кольори, і оператор довільно «переміщається» у просторі, або використовуються панорамні знімки, на які «накладається» хмара точок. Перевага першого підходу полягає в тому, що є можливість наблизитися до об'єкта і подивитися на нього з потрібного ракурсу; перевага другого підходу – зображення не закрите надлишковою кількістю точок і розпізнавання для складних, насичених ділянок виконується швидше.

Запитання для самоконтролю

1. Поясніть призначення мультистанції.
2. Поясніть призначення скануючої станції.
3. Що таке лазерний сканер і які його основні функції?
4. Які типи лазерних сканерів застосовуються у геодезії?
5. У чому відмінність між наземним та аеролазерним скануванням?
6. Які переваги має мобільне лазерне сканування?
7. Поясніть принцип роботи імпульсного лазерного сканера.
8. У чому полягає принцип дії фазового лазерного сканера?
9. Що таке «хмара точок» і як вона формується?
10. Які основні параметри характеризують лазерний сканер?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Тема 8 Супутникове геодезичне обладнання

План

- 8.1 Структура систем і режими роботи.
- 8.2 Космічний сектор.
- 8.3 Сектор управління і контролю.
- 8.4 Сектор користувача.

8.1 Структура систем і режими роботи

Однією з ключових складових сучасних геодезичних технологій є системи супутникового позиціонування, які забезпечують визначення координат об'єктів у глобальній системі координат. Основним елементом таких систем виступає приймач сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), що дозволяє визначати просторове положення точки за координатами X, Y, Z . У багатьох прикладних задачах достатньо визначення планових координат, однак для інженерно-геодезичних робіт необхідне також визначення висоти.

Розвиток супутникових технологій наприкінці XX століття забезпечив широке впровадження систем позиціонування у різні галузі діяльності. Система GPS стала базовою для більшості геодезичних і навігаційних задач, забезпечуючи можливість визначення координат незалежно від часу доби та погодних умов.

Сучасні приймачі здатні одночасно приймати сигнали від кількох супутників, які знаходяться над горизонтом, що дозволяє підвищити точність і надійність визначення координат. Мінімально необхідною умовою для визначення просторового положення є приймання сигналів не менше ніж від чотирьох супутників.

Водночас результати супутникових вимірювань містять похибки, які зумовлені впливом атмосфери, геометрією розташування супутників та іншими

факторами. Для підвищення точності застосовуються диференціальні методи, що базуються на використанні базових станцій із відомими координатами. Такі станції дозволяють визначати поправки та передавати їх рухомим приймачам у реальному часі.

Структура супутникових систем. Глобальні навігаційні супутникові системи складаються з трьох основних сегментів:

- супутникового;
- сегмента управління і контролю;
- сегмента користувача.

Супутниковий сегмент – це сукупність супутників, що обертаються по орбітах навколо Землі. Номінально система містить 24 робочі супутники, розміщені на шести орбітах, по чотири супутники на кожній. Орбіти мають нахил приблизно 53° до площини екватора, а їхня висота становить близько 20 200 км. Період обертання супутника дорівнює приблизно половині зоряної доби, що забезпечує повторюваність геометрії спостережень.

Це дозволяє виконувати попереднє планування супутникових спостережень, зокрема оцінювати параметр геометрії супутників (PDOP) на кілька діб вперед.

Сегмент управління і контролю (Operational Control System) містить:

- головну станцію управління;
- станції спостереження за супутниками;
- станції передачі інформації на супутники.

Основними функціями цього сегмента є:

- визначення параметрів орбіт супутників;
- синхронізація часу супутників;
- формування ефемерид;
- передача навігаційних повідомлень.

Крім оперативних (широкомовних) ефемерид, існують також високоточні ефемериди, які визначаються за результатами глобальних спостережень і використовуються під час високоточних геодезичних розрахунків.

Сегмент користувача поданий сукупністю приймачів GNSS та допоміжного обладнання. Користувач отримує навігаційні сигнали від супутників і на їх основі визначає координати, швидкість та напрям руху.

Користувач не має можливості впливати на роботу системи, однак повинен враховувати можливі несправності та оцінювати якість отриманих результатів.

Режими роботи супутникових систем. Залежно від вимог до точності та умов виконання робіт застосовуються різні режими супутникових спостережень:

- автономний режим забезпечує визначення координат із точністю до кількох метрів;
- диференціальний режим (DGPS) передбачає використання базової станції для внесення поправок;
- кінематичний режим у реальному часі (RTK) забезпечує сантиметрову точність координат;
- статичний режим застосовується для створення високоточних геодезичних мереж;
- швидкий статичний режим дозволяє скоротити тривалість спостережень зі збереженням точності.

Особливу роль відіграє геометрія розташування супутників, яка характеризується показником PDOP. Чим менше значення цього параметра, тим вища точність визначення координат.

Особливості застосування. Супутникові системи широко застосовуються у геодезії, навігації, будівництві, сільському господарстві та інших галузях (рис. 32). Вони дозволяють:

- визначати координати об'єктів у реальному часі;
- виконувати прив'язку геодезичних мереж;
- здійснювати моніторинг переміщень;
- автоматизувати польові роботи.

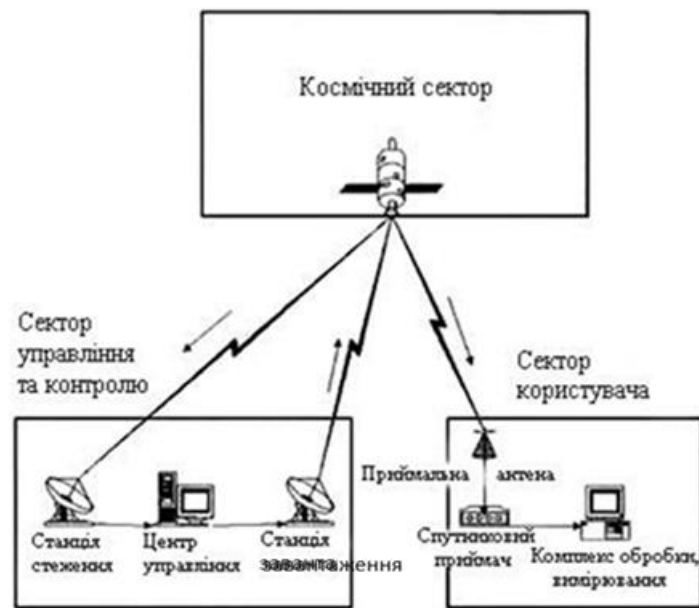


Рисунок 32 – Загальна структура глобальних супутникових систем

Водночас існують обмеження використання супутникових систем, зокрема:

- вплив перешкод (будівлі, дерева);
- багатопроменевість сигналу;
- погіршення точності у складних умовах спостережень.

Таким чином, супутникові системи позиціонування є складними багаторівневими системами, що забезпечують глобальне визначення координат. Їхня структура містить три основні сегменти, взаємодія яких забезпечує отримання точних і надійних результатів. Використання різних режимів роботи дозволяє адаптувати технологію до конкретних задач геодезії та інженерної практики.

8.2 Космічний сектор

Космічний сектор є базовою складовою глобальних навігаційних супутникових систем і є сукупністю штучних супутників Землі, об'єднаних у єдину функціональну систему. Таке угруповання супутників часто називають «сузір'ям», або орбітальним угрупованням, що забезпечує безперервне покриття всієї поверхні Землі та можливість одночасного приймання сигналів у будь-якій точці.

Основним призначенням космічного сектору є передача навігаційних сигналів, які використовуються приймачами для визначення координат, швидкості та часу. Для забезпечення високої точності вимірювань кожен супутник оснащений високостабільними атомними еталонами частоти (годинниками), що формують точні часові сигнали. Саме точність синхронізації часу є ключовим фактором у визначенні відстаней до супутників і, відповідно, координат користувача.

До складу переданого супутником сигналу входить навігаційне повідомлення, яке містить:

- ефемериди (точні параметри орбіти конкретного супутника);
- альманах (загальні дані про всі супутники системи);
- мітки часу;
- поправки до годинника супутника;
- службову інформацію щодо стану супутника.

Крім передавальної апаратури, супутники обладнані радіоприймальними пристроями, які забезпечують прийом команд від наземного сегмента управління і контролю. Це дозволяє виконувати корекцію орбіт, оновлення навігаційної інформації та підтримку працездатності системи. Конструктивно супутник містить такі основні елементи:

- енергетичну систему, подану панелями сонячних батарей та акумуляторами;
- рухову установку, яка використовується для корекції орбіти та підтримання заданих параметрів руху;
- системи орієнтації і стабілізації, що забезпечують правильне положення супутника у просторі;
- бортовий комп'ютер, який керує всіма системами супутника;
- антени для передачі та прийому сигналів.

Орбіти супутників є близькими до кругових і мають стабільні параметри, що забезпечує прогнозованість їхнього руху. У системі GPS супутники розміщені на шести орбітальних площинах, зміщених одна відносно одної на 60° , при цьому на

кожній орбіті знаходиться декілька супутників. Така конфігурація забезпечує рівномірний розподіл супутників у просторі та постійну доступність сигналів.

Висота орбіт становить близько 20 200 км, а період обертання супутника – приблизно 12 годин, що забезпечує повторюваність умов спостережень і можливість прогнозування геометрії супутникового угруповання.

Важливою характеристикою космічного сектору є поняття «здоров'я» супутника (healthy / unhealthy), яке відображає його працездатність. Інформація про стан супутників передається у навігаційному повідомленні і повинна враховуватися користувачем під час оброблення результатів вимірювань.

Необхідно зазначити, що для забезпечення глобального покриття та підвищення надійності позиціонування сучасні GNSS містять значно більше ніж 24 супутники, що дозволяє покращити геометрію спостережень та зменшити вплив похибок.

Таким чином, космічний сектор є ключовим елементом супутникових систем позиціонування, який забезпечує формування і передачу навігаційних сигналів. Його структура, орбітальні параметри та технічне оснащення визначають точність, надійність і доступність геодезичних вимірювань у глобальному масштабі.

8.3 Сектор управління і контролю

Сектор управління і контролю є ключовою наземною складовою глобальних навігаційних супутникових систем, що забезпечує функціонування космічного сегмента, підтримку точності навігаційних сигналів і стабільність всієї системи позиціонування. Його основне призначення полягає у безперервному контролі параметрів руху супутників, синхронізації часу та передачі актуальної навігаційної інформації.

До складу сектору управління і контролю входять:

- станції стеження за супутниками;
- служба точного часу;
- головна станція управління з обчислювальним центром;

- станції завантаження інформації на супутники.

Станції стеження здійснюють безперервне спостереження за супутниками, визначають їхні поточні координати, швидкість руху та параметри орбіт. Отримані дані передаються до центрального обчислювального комплексу для подальшої обробки.

Головна станція управління виконує обробку інформації, отриманої від станцій стеження, і забезпечує:

- розрахунок ефемерид супутників;
- визначення поправок до бортових годинників;
- прогнозування орбіт;
- формування навігаційних повідомлень.

Центральний обчислювальний комплекс забезпечує високу точність визначення параметрів руху супутників і синхронізацію часових шкал системи.

Станції завантаження інформації передають сформовані навігаційні повідомлення та коригуючі дані безпосередньо на супутники. Це дозволяє оперативно оновлювати інформацію, що транслюється користувачам.

У системі GPS мережа станцій стеження рівномірно розподілена по земній кулі. Частина з них інтегрована з головною станцією управління, що розташована у місті Колорадо-Спрінгс (США). Отримані на станціях дані про орбіти супутників та їхні координати передаються на завантажувальні станції, які забезпечують оновлення бортової інформації супутників.

Окрім основної системи управління, існують глобальні незалежні мережі високоточних спостережень, зокрема:

- міжнародна кооперативна мережа спостережень (CIGNET);
- міжнародна служба GNSS (IGS).

Ці мережі забезпечують отримання високоточних ефемерид і використовуються для наукових досліджень, геодинамічних задач і високоточного позиціонування.

Важливою складовою сектору управління є служба точного часу, яка базується на використанні високостабільних еталонів частоти (зокрема атомних

годинників). Узгодженість часу між супутниками та наземними станціями є критично важливою умовою точного визначення координат.

Особливості функціонування. Сектор управління і контролю виконує також такі додаткові функції:

- моніторинг технічного стану супутників;
- виявлення і корекція відхилень орбіт;
- забезпечення запуску та впровадження в експлуатацію нових супутників;
- контроль якості навігаційних сигналів.

Користувачі системи не мають можливості безпосередньо впливати на роботу цього сегменту, однак повинні враховувати можливі несправності або погіршення якості сигналу під час оброблення результатів вимірювань.

Таким чином, сектор управління і контролю забезпечує функціонування всієї супутникової системи, підтримуючи актуальність навігаційної інформації та високу точність позиціонування. Його ефективна робота є необхідною умовою отримання достовірних геодезичних даних і стабільної роботи GNSS-технологій.

8.4 Сектор користувача

Сектор користувача є завершальною ланкою глобальних навігаційних супутникових систем і містить сукупність технічних засобів та програмного забезпечення, з допомогою яких здійснюється прийом, обробка та використання навігаційної інформації. Основу цього сектору становлять супутникові приймачі, кількість і різноманітність яких не обмежені та визначаються потребами користувачів і характером виконуваних робіт.

Склад сектору користувача. До складу сектору користувача входять:

- супутникові GNSS-приймачі;
- антени для прийому сигналів;
- польові контролери або мобільні обчислювальні пристрої;
- програмне забезпечення для польових вимірювань;
- камеральний комплекс обробки даних (постобробки).

Супутникові приймачі призначені для прийому сигналів від супутників, їх декодування та визначення координат користувача. Вони можуть бути:

- навігаційними (метрової точності);
- геодезичними (сантиметрової та міліметрової точності);
- одночастотними або двочастотними;
- статичними або кінематичними.

Сучасні приймачі здатні одночасно обробляти сигнали від великої кількості супутників, що підвищує точність і надійність визначення координат.

Антени приймачів відіграють важливу роль у якості прийому сигналів, оскільки впливають на рівень шумів, багатопроменевість і стабільність вимірювань.

Польові контролери забезпечують керування процесом вимірювань, збереження результатів та їх попередню обробку безпосередньо під час польових робіт.

Камеральна обробка (постобробка). Камеральний комплекс обробки даних є важливою складовою сектору користувача і призначений для детальної обробки результатів супутникових спостережень після завершення польових робіт. Постобробка містить:

- обчислення координат з урахуванням поправок;
- використання точних ефемерид супутників;
- фільтрацію помилок і виключення аномальних вимірювань;
- зрівнювання геодезичних мереж;
- оцінку точності результатів.

Застосування постобробки дозволяє досягти високої точності визначення координат, що є особливо важливим для геодезичних та інженерних задач.

Особливості функціонування. Сектор користувача характеризується такими особливостями:

- повною автономністю роботи (без втручання в інші сегменти системи);
- залежністю точності від якості приймального обладнання та умов спостережень;

- можливістю роботи у різних режимах (статичному, кінематичному, RTK);
- інтеграцією з геоінформаційними системами та іншими цифровими технологіями.

Користувач повинен контролювати якість отриманих даних, враховувати вплив зовнішніх факторів (перешкод, багатопроменевості, геометрії супутників) та правильно обирати режим вимірювань.

Таким чином, сектор користувача забезпечує практичне застосування супутникових технологій, включно з прийманням сигналів, обробкою результатів і отриманням координат. Його ефективність визначається технічними характеристиками обладнання, рівнем програмного забезпечення та правильністю організації польових і камеральних робіт.

Запитання для самоконтролю

1. Які основні складові входять до структури супутникових навігаційних систем?
2. У чому полягає призначення космічного сектору GNSS?
3. Які функції виконує сектор управління і контролю?
4. Що містить сектор користувача супутникових систем?
5. Які типи супутникових приймачів застосовуються у геодезії?
6. Яка мінімальна кількість супутників необхідна для визначення просторових координат?
7. Які фактори впливають на точність супутникових вимірювань?
8. У чому полягає суть диференціального методу позиціонування?
9. Яке призначення камеральної обробки (постобробки) супутникових спостережень?
10. Які режими роботи GNSS застосовуються у геодезичних вимірюваннях?

Тема 9 GNSS-приймачі

План

9.1 Принцип роботи та класифікація.

9.2 Планування супутникових спостережень: вибір режиму (RTK, статика), визначення тривалості спостережень, оцінка геометрії супутників (PDOP), організація польових робіт.

9.1 Принцип роботи та класифікація

GNSS-приймачі є основними технічними засобами супутникових геодезичних вимірювань, призначеними для прийому сигналів від навігаційних супутників, їх обробки та визначення координат об'єкта у просторі. Принцип роботи приймачів базується на визначенні відстаней до супутників за часом проходження електромагнітного сигналу від супутника до антени приймача.

Супутники безперервно випромінюють сигнали, що містять інформацію про точний час передачі та параметри їхніх орбіт. Приймач, отримуючи ці сигнали, визначає так звані псевдовідстані до супутників. На основі відомих координат супутників і виміряних відстаней виконується обчислення координат приймача методом просторової зарубки.

Для визначення просторового положення необхідно прийняти сигнали щонайменше від чотирьох супутників:

- три супутники – для визначення координат X , Y , Z ;
- четвертий – для синхронізації часу приймача.

Принцип роботи містить такі основні етапи:

- прийом сигналів від супутників;
- декодування навігаційного повідомлення;
- визначення псевдовідстаней;
- обчислення координат і часу;
- фільтрація та уточнення результатів.

Важливим елементом приймача є антена, яка забезпечує прийом сигналів із мінімальними спотвореннями, зокрема зменшення впливу багатопроменевості.

Класифікація GNSS-приймачів. GNSS-приймачі класифікуються за різними ознаками, основними з яких є:

1. За точністю визначення координат:

- навігаційні (побутові) – точність 3–10 м;
- картографічні – точність до 1 м;
- геодезичні – точність до сантиметрів і міліметрів.

2. За кількістю частот:

- одночастотні;
- двочастотні;
- багаточастотні.

Багаточастотні приймачі забезпечують більш високу точність за рахунок компенсації іоносферних похибок.

3. За режимом роботи:

- статичні;
- кінематичні;
- RTK-приймачі (у реальному часі);
- мережеві (робота з референцними станціями).

4. За конструктивним виконанням:

- інтегровані (антена і приймач в одному корпусі);
- модульні (окремо антена і приймальний блок);
- мобільні (польові контролери, планшети);
- базові станції.

5. За сферою застосування:

- геодезичні;
- навігаційні;
- інженерні;
- спеціалізовані (моніторинг, машинне керування).

характеризуються такими функціональними можливостями:

- одночасний прийом сигналів від багатьох супутників;
- підтримка кількох супутникових систем (GNSS);
- інтеграція з геоінформаційними системами;
- можливість роботи в режимі реального часу;
- автоматична обробка і збереження даних;
- передача результатів через бездротові інтерфейси.

Завдяки цьому GNSS-приймачі є універсальним інструментом для виконання геодезичних, інженерних і навігаційних задач.

Таким чином, GNSS-приймачі реалізують принцип визначення координат на основі супутникових сигналів і є основним елементом супутникових вимірювань. Їхня класифікація визначається точністю, режимами роботи, конструктивними особливостями та сферою застосування, що дозволяє ефективно використовувати їх у широкому спектрі геодезичних робіт.

9.2 Планування супутникових спостережень: вибір режиму (RTK, статика), визначення тривалості спостережень, оцінка геометрії супутників (PDOP), організація польових робіт

Планування супутникових спостережень є критично важливим етапом геодезичних робіт, який визначає точність, надійність і ефективність отриманих результатів. Воно містить вибір оптимального режиму вимірювань, визначення тривалості спостережень, оцінку геометрії супутників та організацію польових робіт.

Вибір режиму спостережень. Залежно від поставлених задач і вимог до точності застосовуються різні режими GNSS-вимірювань:

- статичний режим використовується для високоточного визначення координат пунктів геодезичних мереж та передбачає тривалі спостереження на одній точці (від 30 хвилин до кількох годин);

- швидкий статичний режим дозволяє скоротити тривалість спостережень (10–30 хв) за рахунок використання сучасних приймачів і алгоритмів обробки;
- кінематичний режим застосовується для визначення координат рухомих об'єктів або під час знімання;
- RTK (Real-Time Kinematic) забезпечує визначення координат у реальному часі з сантиметровою точністю за рахунок використання базової станції або мережі референцних станцій.

Вибір режиму визначається вимогами до точності, характером об'єкта знімання та умовами виконання робіт.

Визначення тривалості спостережень. Тривалість супутникових спостережень залежить від:

- довжини базової лінії;
- кількості видимих супутників;
- геометрії їхнього розташування;
- класу точності робіт;
- типу приймача (одно- чи багаточастотний).

Для статичних вимірювань тривалість може становити від 30 хвилин до кількох годин, тоді як у режимі RTK координати визначаються практично миттєво після ініціалізації системи.

Оцінка геометрії супутників (PDOP). Якість супутникових вимірювань значною мірою залежить від геометрії розташування супутників, яка оцінюється показником PDOP (Position Dilution of Precision).

- $PDOP < 2$ – дуже добра геометрія;
- $PDOP 2-4$ – добра;
- $PDOP 4-6$ – задовільна;
- $PDOP > 6$ – незадовільна.

Чим рівномірніше розташовані супутники по небосхилу, тим менше значення PDOP і тим вища точність визначення координат. Планування спостережень передбачає вибір часових інтервалів з оптимальними значеннями цього показника.

Організація польових робіт. Організація супутникових спостережень містить комплекс підготовчих і виконавчих заходів:

- вибір і закріплення пунктів спостережень;
- перевірка технічного стану GNSS-приймачів;
- встановлення антен над точками з урахуванням висоти антени;
- забезпечення відкритого горизонту (брак перешкод);
- налаштування режимів роботи приймачів;
- ведення журналу спостережень;
- контроль якості вимірювань у процесі роботи.

Особливу увагу необхідно приділяти впливу зовнішніх факторів, таких як:

- екранування сигналів будівлями або рослинністю;
- багатопроменевість (відбиття сигналів);
- атмосферні впливи.

Таким чином, планування супутникових спостережень є необхідною умовою отримання точних і достовірних результатів. Раціональний вибір режиму вимірювань, оптимальна тривалість спостережень, врахування геометрії супутників і правильна організація польових робіт дозволяють максимально ефективно використовувати можливості GNSS-технологій у геодезичній практиці.

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає принцип роботи GNSS-приймачів?
2. Яка мінімальна кількість супутників необхідна для визначення просторових координат?
3. Які основні етапи обробки сигналів у GNSS-приймачі?
4. За якими ознаками класифікуються GNSS-приймачі?
5. У чому відмінність між одночастотними та багаточастотними приймачами?
6. Які режими супутникових спостережень застосовуються у геодезії?
7. У чому особливості статичного та RTK режимів вимірювань?
8. Які фактори впливають на тривалість супутникових спостережень?
9. Що таке показник PDOP і як він впливає на точність вимірювань?
10. Які основні вимоги до організації польових GNSS-спостережень?

Тема 10 Забезпечення точності вимірювань

План

10.1 Точність вимірювань.

10.2 Мережа базових станцій.

10.3 Мережа RTK базових станцій.

10.1 Точність вимірювань

Точність супутникових геодезичних вимірювань визначається сукупністю інструментальних, методичних та зовнішніх факторів. У загальному вигляді похибки вимірювань поділяються на систематичні та випадкові, а також на внутрішні (пов'язані з апаратурою) і зовнішні (обумовлені умовами спостережень).

Одним із основних джерел похибок є несинхронність годинника приймача з еталонним часом супутників. На супутниках використовуються високоточні атомні годинники, тоді як у приймачах застосовуються кварцові генератори, що мають значно меншу стабільність. Це призводить до виникнення похибки визначення часу проходження сигналу, а отже, – відстані до супутника.

Практичне усунення цієї похибки реалізується шляхом використання сигналів щонайменше від чотирьох супутників, що дозволяє одночасно визначити три просторові координати та поправку до годинника приймача.

Другим важливим джерелом похибок є затримки обробки сигналу в приймачі, пов'язані з дискретністю цифрової обробки (так званий біт-тайм). Для навігаційних приймачів це може відповідати похибці порядку кількох метрів, що є допустимим для орієнтування, але недостатнім для геодезичних задач. У геодезичних приймачах ця похибка суттєво зменшується за рахунок застосування фазових методів вимірювання та високоточних алгоритмів обробки сигналів.

Значний внесок у загальну похибку роблять зовнішні фактори, серед яких:

– затримки сигналу в іоносфері та тропосфері;

- багатопроменевість (відбиття сигналів від поверхонь);
- екранування сигналів будівлями, рослинністю, рельєфом;
- електромагнітні завади;
- геометрія розташування супутників.

У реальних умовах точність визначення координат становить:

- для навігаційних приймачів – 3–5 м;
- для диференціальних методів – 1–3 м;
- для RTK-вимірювань – 1–3 см;
- для статичних геодезичних методів – до міліметрів.

Необхідно враховувати, що точність залежить не лише від технічних характеристик приймача, але й від правильної організації спостережень та умов їх виконання.

Класифікація GNSS-приймачів за точністю та призначенням. GNSS-приймачі поділяються на дві основні групи (рис. 33):

- професійні (геодезичні);
- масові (навігаційні).

Професійні приймачі застосовуються у геодезії, картографії, інженерних вишукуваннях та моніторингу. Вони характеризуються:

- високою точністю визначення координат;
- підтримкою багаточастотних вимірювань;
- можливістю роботи у режимах RTK та постобробки;
- використанням спеціалізованого програмного забезпечення;
- підвищеною стійкістю до завад.



Рисунок 33 – Геодезичний GNSS-приймач (польовий комплект)

До професійних приймачів належать:

- геодезичні приймачі, які використовуються для побудови геодезичних мереж, виконання високоточних вимірювань і складаються з антени, приймального блока та польового контролера;
- приймачі ГІС-класу, які призначені для збору просторових даних у ГІС, мають інтегровану конструкцію та дещо меншу точність.

Сучасні геодезичні приймачі є багатоканальними та здатні одночасно відслідковувати десятки супутників, що підвищує точність і швидкість визначення координат.

Навігаційні приймачі застосовуються у транспорті, туризмі, мобільних пристроях і характеризуються меншою точністю, але високою доступністю та простотою використання.

Особливості сучасних приймальних систем. Сучасні GNSS-приймачі мають такі технічні особливості:

- багатоканальні приймальні модулі;
- підтримку кількох супутникових систем;
- використання фазових і кодових методів вимірювання;
- автоматичну фільтрацію похибок;
- інтеграцію з мобільними та геоінформаційними системами.

Збільшення кількості каналів дозволяє одночасно відслідковувати всі доступні супутники в межах видимого горизонту, що покращує геометрію вимірювань і зменшує похибки.

Таким чином, точність GNSS-вимірювань визначається комплексом факторів, серед яких провідну роль відіграють похибки годинника, затримки сигналу, умови прийому та технічні характеристики приймача. Використання сучасних геодезичних приймачів, диференціальних методів і правильно організованих спостережень дозволяє досягати високої точності координат, необхідної для інженерно-геодезичних задач.

10.2 Мережа базових станцій

Мережа базових станцій є важливим елементом сучасної геодезичної інфраструктури, що забезпечує підвищення точності супутникових вимірювань за рахунок формування та передачі диференціальних поправок. Основне призначення таких мереж полягає у створенні єдиної координатної основи та забезпеченні користувачів високоточними навігаційними даними в режимі реального часу або з подальшою постобробкою.

Постійно активна супутникова базова станція використовується для:

- забезпечення високоточного визначення координат під час геодезичних вимірювань;
- виконання топографічних зйомок;
- винесення проєктів у натуру та розбивальних робіт;
- інженерно-геодезичного забезпечення будівництва;
- контролю просторового положення конструкцій;
- моніторингу деформацій споруд у процесі експлуатації.

Базові станції формують основу геодезичної мережі об'єкта, закріплюючи локальну або державну систему координат. Вони передають диференціальні поправки рухомим приймачам (роверам), що дозволяє суттєво підвищити точність визначення координат у польових умовах (рис. 34).



Рисунок 34 – Схема роботи мережі базових станцій

Склад базової станції. Постійно активна базова станція містить:

- GNSS-приймач геодезичного класу;
- високоточну супутникову антену;
- джерело безперебійного живлення;
- засоби передачі даних (GSM, радіоканал, мережа «Інтернет»);
- комп'ютер або контролер зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

Обладнання встановлюється стаціонарно на стабільній основі (геодезичному пункті) з відомими координатами. Робота базової станції зазвичай автоматизована і не потребує постійного втручання оператора.

Мережі базових станцій (Network RTK). Із розвитком супутникових технологій набули широкого поширення мережі базових станцій типу Network RTK, які об'єднують декілька постійно активних станцій у єдину систему. Це дозволяє:

- покращити точність визначення координат;
- зменшити вплив атмосферних похибок;
- забезпечити стабільність роботи на великих територіях;
- усунути необхідність створення власної базової станції.

У такому випадку користувач працює з ровером, отримуючи поправки через мережу передачі даних (зазвичай через Інтернет), сплачуючи доступ до сервісу.

Методи формування диференціальних поправок. У мережах базових станцій застосовуються різні методи формування поправок:

- MAX (Master-Auxiliary Concept) – використання головної та допоміжних станцій;
- i-MAX – індивідуалізований варіант методу MAX;
- VRS (Virtual Reference Station) – створення віртуальної базової станції поблизу користувача;
- FKP (Flächen-Korrektur-Parameter) – передача параметрів просторових поправок.

Ці методи дозволяють враховувати просторову змінність похибок і забезпечують високу точність позиціонування в режимі реального часу.

Мережі базових станцій широко використовуються у:

- геодезії та картографії;
- будівництві та інженерних вишукуваннях;
- кадастрових роботах;
- моніторингу інженерних споруд;
- системах машинного керування технікою.

Їх застосування дозволяє значно підвищити продуктивність робіт, скоротити час вимірювань і мінімізувати вплив людського фактора.

Таким чином, мережа базових станцій є ефективним засобом підвищення точності супутникових вимірювань і формує основу сучасної геодезичної інфраструктури. Використання мережевих технологій RTK забезпечує отримання координат у режимі реального часу з високою точністю та значно розширює можливості застосування GNSS у практичній діяльності.

10.3 Мережа RTK базових станцій

Мережа RTK базових станцій (Real-Time Kinematic) є сучасною організаційно-технічною системою, що об'єднує декілька постійно активних GNSS-приймачів у єдину мережу з метою формування та передачі високоточних диференціальних поправок у режимі реального часу. Такі мережі формують основу сучасної геодезичної інфраструктури та забезпечують отримання координат із сантиметровою точністю без необхідності створення локальних базових станцій на кожному об'єкті.

Мережа складається з низки базових станцій (зазвичай не менше 4–5), які рівномірно розташовуються на території з інтервалами до 50–70 км. Кожна станція безперервно приймає сигнали супутників, виконує вимірювання псевдовідстаней і фаз несучих хвиль та передає отримані дані на центральний обчислювальний сервер. На цьому сервері функціонує спеціалізоване програмне забезпечення, яке забезпечує інтеграцію даних від усіх станцій, оцінку похибок та формування коригуючих поправок.

Принцип роботи мережі полягає у централізованому моделюванні просторово-часових похибок, зокрема іоносферних, тропосферних та орбітальних, які залежать від відстані між базовою станцією та користувачем. Саме ця залежність є основною причиною зниження точності у класичному RTK. У мережевих системах ця проблема вирішується шляхом використання даних від кількох станцій, що дозволяє мінімізувати вплив цих похибок і забезпечити рівномірну точність визначення координат на всій території покриття.

Передача поправок користувачеві (роверу) здійснюється через канали зв'язку, найчастіше за допомогою мобільного Інтернету. При цьому, залежно від реалізації системи, можуть використовуватися різні методи формування поправок, які інтегруються безпосередньо в робочий процес. Найбільш поширеними є концепції створення віртуальної базової станції (VRS), використання головної та допоміжних станцій (MAx), а також передача параметрів просторових поправок (FKP). У всіх

випадках кінцевою метою є забезпечення максимальної точності координат за мінімальних витрат часу на вимірювання.

Використання мережевого RTK має суттєві переваги порівняно з класичними методами. Насамперед відпадає необхідність у встановленні власної базової станції на вихідному пункті, що значно спрощує організацію робіт. Крім того, забезпечується рівномірна точність визначення координат незалежно від відстані до найближчої станції, підвищується надійність системи за рахунок резервування (у разі виходу з ладу однієї станції робота мережі не припиняється), а також зменшується загальна кількість станцій, необхідних для покриття території.

Мережі RTK широко застосовуються у геодезичних, кадастрових та будівельних роботах, під час виконання топографічного знімання, розбивки осей споруд, інженерного забезпечення будівництва та моніторингу деформацій. Їх інтеграція з сучасними інформаційними системами та цифровими технологіями дозволяє значно підвищити ефективність геодезичних робіт і забезпечити високий рівень точності отриманих результатів.

Таким чином, мережа RTK базових станцій є високотехнологічною системою, що забезпечує точне, оперативне та надійне визначення координат у реальному часі, і виступає ключовим елементом сучасних геоінформаційних та геодезичних технологій.

Запитання для самоконтролю

1. Які системи глобального позиціонування ви знаєте?
2. З яких секторів складаються системи глобального позиціонування?
3. Наведіть класифікацію GPS-приймачів.
4. Наведіть принципи роботи мережі базової станції RTK.
5. Наведіть переваги мережевого RTK.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність [Електрон. ресурс] : Закон України від 27.07.2013 № 353-XIV. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/353-14>, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.
2. Вимоги до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт [Електрон. ресурс] : затверджені наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 11 лютого 2014 року № 65. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0395-14#Text>, вільний (дата звернення: 21.04.2026). – Назва з екрана.
3. Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 1999 року № 1344. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1344-99-п#Text>, вільний (дата звернення: 21.04.2026). – Назва з екрана.
4. Положення про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 14 січня 2015 року № 15. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15-2015-п#Text>, вільний (дата звернення: 21.04.2026). – Назва з екрана.
5. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану [Електрон. ресурс] : Закон України від 12.05.2022 № 2247-IX. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2247-20#Text>, вільний (дата звернення: 21.04.2026). – Назва з екрана.

6. Intellectual processing of geospatial and geodetic data in municipal management systems [Electronic resource] : monograph / S. Nesterenko, O. Baistruk, K. Musiienko, O. Frolov. – Electronic text data. – Boston : Primedia eLaunch, 2026. – 230 p. – Regime of access: <https://isg-konf.com/979-8-90214-541-7/>, free (date of the application: 20.04.2026). – Header from the screen.

7. Тревого І. С. Геодезичні прилади : практикум / І. С. Тревого, Т. Г. Шевченко, О. І. Мороз. – Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2007. – 196 с.

8. Застосування даних лазерного сканування при вирішенні завдань територіального планування / О. Горб, В. Касьянов, С. Нестеренко, Є. Нелін // Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки». – 2024. – Вип. 3(184). – С. 147–151. – DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-147-151>.

9. Геодезичне забезпечення відновлення багатофункціонального комплексу ТРЦ «Нікольський» в місті Харків / О. Горб, І. Тревого, В. Тарнавський, С. Нестеренко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. пр. – Львів : НТУ «Львівська політехніка», 2024. – Вип. І(47). – С. 29–35. – DOI: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-1-47-29-35>.

10. Geospatial analysis of the territory for solving urban planning problems [Electronic resource] / K. Mamonov, S. Nesterenko, M. Pilicheva, A. Afanasiev, A. Tsyhenko // E3S Web of Conferences. – Electronic text data. – 2024. – Vol. 508. – P. 08021. – Regime of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450808021>, free (date of the application: 20.04.2026). – Header from the screen.

11. Напрями застосування штучного інтелекту при геодезичному моніторингу будівель та споруд [Електрон. ресурс] / О. Горб, С. Нестеренко, О. Афанасьєв, О. Байструк // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2023. – Вип. 3(177). – С. 109–114. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-3-177-109-114>, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

12. Інструментальні методи моніторингу земель міст [Електрон. ресурс] / С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська, І. В. Кондратюк, С. А. Халіков // Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки та архітектура». – Електрон. текст. дані. – 2023. – Т. 3, вип. 177. – С. 98–103. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-3-177-98-103>, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

13. Воронков О. Особливості оцінювання точності геодезичних GPS-вимірювань [Електрон. ресурс] / О. Воронков, С. Нестеренко, В. Касьянов // Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки та архітектура». – Електрон. текст. дані. – 2022. – Т. 3, вип. 170. – С. 200–208. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-200-208>, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

14. Сучасні аспекти методичного забезпечення геодезичного моніторингу об'єктів та територій [Електрон. ресурс] / С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська, А. А. Євдокімов, Е. С. Штерндок // Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки та архітектура». – Електрон. текст. дані. – 2024. – Т. 6, № 187. – С. 199–203. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-199-203>, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

15. Шевченко Т. Г. Геодезичні прилади [Електрон. ресурс] : підручник для студ. напряму Геодезія, картографія та землевпорядкування вищих навч. закл. / Т. Г. Шевченко, О. І. Мороз, І. С. Тревого ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2-ге вид., переробл. та доп. – Електрон. текст. дані. – Львів, 2009. – 484 с. – Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=fullwebr&S21ALL, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

16. Геодезичні прилади : практикум [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / за заг. ред. Т. Г. Шевченка. – 3-є вид., доп. – Електрон. текст. дані. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2012. – 240 с. – Режим доступу: <http://vlp.com.ua>, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

17. Мацко П. В. Геотроніка та картографія [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / П. В. Мацко, А. М. Голубєв. – Електрон. текст. дані. – Херсон : ХДУ, 2007. – 184 с. – Режим доступу: https://lib.kherson.ua/kniga_kh_07_4.htm, вільний (дата звернення: 20.04.2026). – Назва з екрана.

18. Куліковська О. Є. Проблеми впровадження сучасного геодезичного обладнання у кадастровій діяльності Кривого Рогу / О. Є. Куліковська, Ю. Ю. Атаманенко, О. К. Копайгора // Вісник Криворізького національного університету. – 2019. – Вип. 48. – С. 50–57.

19. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електрон. ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09.04.1998 № 56. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>, вільний (дата звернення: 21.10.2025). – Назва з екрана.

20. Про Державний земельний кадастр [Електрон. ресурс] : Закон України від 18.05.2023 № 2698-IX. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>, вільний (дата звернення: 21.10.2025). – Назва з екрана.

Електронне навчальне видання

НЕСТЕРЕНКО Сергій Григорович,
АФАНАСЬЄВ Олександр Валерійович

ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
зі спеціальності G18 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
Редактор *Б. О. Хільська*
Комп'ютерне верстання *О. В. Афанасьєв, І. В. Волосожарова*

План 2026, поз. 134Л

Підп. до друку 17.06.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 7,6.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.