



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет лісового господарства, деревооброблювальних
технологій та землевпорядкування
Кафедра управління земельними ресурсами, геодезії та
кадастру

Д. Д. Хайнус

ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

Курс лекцій

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»**

Харків
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет лісового господарства, деревооброблювальних технологій
та землевпорядкування
Кафедра управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру

Д. Д. Хайнус

ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

Курс лекцій

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»**

Харків
2024

УДК 528.5:332.3](042.4)

X 15

Схвалено

на засіданні кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру
Протокол № 1 від 28.08.2024 р.

Рецензенти:

С.Г.Могильний – професор кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру Державного біотехнологічного університету, доктор технічних наук, професор

Д.С. Сопов - завідувач кафедри хімії, географії та наук про Землю Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор філософії з наук про Землю, доцент

X 15

Хайнус Д. Д. Електронні геодезичні прилади: курс лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» / Д. Д. Хайнус / – Електрон. дані. – Х. : ДБТУ, 2024. – 68 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Електронні геодезичні прилади» складений відповідно до програми навчальної дисципліни. У конспекті лекцій висвітлені теоретичні аспекти роботи та принцип дії електронних геодезичних приладів.

Призначено для здобувачів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій, а також інженерів-землевпорядників, оцінювачів землі та нерухомості.

УДК 528.5:332.3](042.4)

Відповідальний за випуск: Д. Д. Хайнус, кандидат економічних наук, доцент

© Хайнус Д. Д., 2024

© ДБТУ, 2024

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1. Введення в дисципліну. Історичний екскурс в розвиток електронних геодезичних пристроїв.....	8
1.1. Предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами..	8
1.2. Призначення і класифікація геодезичних приладів	9
1.3. Історія розвитку електронних геодезичних пристроїв.....	13
2. Лазери. Лазерні візирі. Лазерні рулетки.....	17
2.1. Лазери та їх принципові схеми.....	17
2.2. Види лазерів. Ефект Доплера.....	19
2.3. Лазерні візирі та лазерні рулетки.....	21
3. Електронні теодоліти.....	26
3.1. Кодовий метод отримання інформації про кут	26
3.2. Інкрементальний метод отримання інформації про кут	28
4. Геодезичні додаткові пристрої	32
4.1 Гіроскопічне обладнання	32
4.2 Системи автоматичного нівелювання для грейдерів та бульдозерів	33
4.3. Програмно-апаратний комплекс для екскаваторів	35
4.4. Шукачі підземних комунікацій.....	37
4.5. Безпілотні літаючі апарати.....	38
5. Цифрові та лазерні нівеліри.....	41
5.1. Використання лазерних вимірювальних приладів у будівництві.....	41
5.2. Багатопроменевий лазерний інструмент.....	42

5.3. Лазерні, ротаційні, позиційні нівеліри.....	43
6. Тахеометри.....	49
6.1. Електронний тахеометр.....	49
6.2. Класифікація електронних тахеометрів.....	50
6.3. Конструкція і принцип дії електронного тахеометра.....	51
7. Лазерні сканери.....	56
7.1. Мультистанції.....	56
7.2. Наземне лазерне сканування.....	57
8. Супутникове геодезичне обладнання.....	62
8.1. Структура супутникових систем і режими роботи.....	62
8.2. GPS-приймачі та їх класифікація.....	64
8.3. Мережа базових станцій.....	68
Список джерел.....	72

ВСТУП

Метою вивчення дисципліни «Електронні геодезичні прилади» є надання студентам поглиблених знань щодо застосування сучасних технологій у виконанні геодезичних робіт за допомогою наземних методів. Особлива увага приділяється використанню електронних теодолітів, тахеометрів, цифрових нівелірів, а також глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) та програмного забезпечення для обробки результатів спостережень при вирішенні завдань геодезії, картографії та землеустрою.

Основним завданням дисципліни є ознайомлення студентів з будовою та принципами роботи сучасних електронних геодезичних приладів. Теоретичний матеріал дисципліни поєднується з практичними лабораторними заняттями, під час яких студенти набувають навичок роботи з електронними тахеометрами, цифровими нівелірами, супутниковим обладнанням, а також оволодівають методами математичної обробки спостережень, оцінки їх точності та застосування результатів у галузях геодезії, картографії та землеустрою.

Підготовка висококваліфікованих фахівців вимагає глибокого опанування теоретичних знань і практичних навичок роботи з наземними та супутниковими методами геодезичних вимірювань. Навчальний посібник орієнтований на студентів, магістрів та аспірантів, які вивчають геоінформаційні системи та технології, що пов'язані зі збором, обробкою і збереженням геодезичної, екологічної та іншої інформації.

Сучасна польова геодезична апаратура є поєднанням електронного або оптико-електронного обладнання та процесора. Обробка даних виконується у режимі реального часу або майже одночасно з вимірюваннями. Практика показує, що на великих об'єктах до 60-70% робіт виконуються супутниковими методами, решта — переважно електронними тахеометрами.

Результатом виконання геодезичних і кадастрових робіт є створення

геоінформаційних систем, які включають каталоги пунктів опорної геодезичної мережі, результати кадастрових і землепорядних робіт, а також інтегрують різноманітні дані для подальшого аналізу. Усі етапи створення таких систем — від побудови та вдосконалення опорної геодезичної мережі до обробки та архівування результатів кадастрової зйомки — вимагають високої професійної кваліфікації.

Цей конспект лекцій підготовлено для студентів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». Для кращого засвоєння матеріалу дисципліни важливим є виконання практичних завдань із використанням сучасних навігаційно-геодезичних супутникових систем і електронних тахеометрів у межах лабораторних робіт.

Тема 1. Введення в дисципліну. Історичний екскурс в розвиток електронних геодезичних пристроїв

План

- 1.1. Предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами.
- 1.2. Призначення і класифікація геодезичних приладів.
- 1.3. Історія розвитку електронних геодезичних пристроїв.

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

Предмет курсу – це інженерно-технічна прикладна дисципліна, яка вивчає теорію і устрій електронних геодезичних приладів, а також елементи їх конструювання, виготовлення, юстировки і дослідження. Геодезичні прилади в більшості застосовуються в геодезії, але мають значне використання і в інших інженерно-технічних дисциплінах:

- землеустрої;
- лісоустрої;
- дорожніх вишукуваннях;
- меліорації та інших.

В своїй більшості це оптико-механічні прилади, вони мають працювати в різних кліматичних умовах (від -40° до $+50^{\circ}$ C), при вібраціях та інших метеорологічних факторах. Особливим фактором в геодезії є рефракція.

Останніми роками в ряду геодезичних приладів з'явилися спеціальні геодезичні прилади, які мають застосування в машинобудуванні, приладобудуванні, спеціальних будівельних роботах та іншому.

Це такі геодезичні прилади: лазерні геодезичні прилади, автоколімаційні прилади, GPS-приймачі.

Найважливішою характеристикою кожного геодезичного приладу є точність. Тому, виникають наступні задачі курсу:

- Навчитися елементам конструювання приладів, технології їх виготовлення;

- Ознайомитися з різними методиками вимірювання;
- Навчитися методам визначення поправок, введення їх в результати досліджень;
- Знати особливості дослідження приладів, юстировок окремих параметрів.

1.2. Призначення і класифікація геодезичних приладів

Для вирішення наукових і практичних завдань, таких як:

1. Побудова опорної геодезичної мережі, інженерні вишукування, роботи в будівництві і експлуатації інженерних споруд.
2. Інженерні роботи при:
 - а) землеустрої;
 - б) лісоустрої;
 - в) геологічних роботах;
 - г) гідромеліоративних роботах та інше.
3. Контроль геометричних параметрів на машинобудівних заводах, де геодезичний прилад використовується як зразковий засіб атестації.

Всі геодезичні прилади розбиваються на 6 груп (класів):

1. Теодоліти – прилади для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів (зенітних відстаней);
2. Нівеліри – прилади, що застосовуються для вимірювання перевищень (висот);
3. Віддалеміри (далекоміри) - прилади для вимірювання довжин ліній;
4. Комбіновані:
 - а) тахеометри – прилади для вимірювання горизонтального і вертикального кутів, довжин ліній і перевищень;
 - б) кіпрегелі - прилади для вимірювання вертикальних кутів, відстаней, перевищень і графічної побудови напрямків при топографічній зйомці.

5. Комплектуючі приладдя: штативи, рейки, масштабні лінійки, центрири, рівні, орієнтир – бусолі, рулетки, транспортири та інші.

6. Спеціальні геодезичні прилади: візуальні і фотоелектричні автоколіматори, гіртеодоліти (прокомпаси), лазерні прилади, прилади для вимірювання створів, для горизонтування.

Теодоліти виготовляються трьох типів:

1. Високоточні(Т1);
2. Точні(Т2, Т5);
3. Технічні(Т15, Т30).

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

Це означає: А – автоколімаційний теодоліт; К – теодоліт з компенсатором при вертикальному крузі; П – пряме зображення зорової труби; М – маркшейдерські теодоліти.

Типовим позначенням теодоліта може бути: 3Т2КП. Це означає: 3 – третя модифікація приладу; Т – теодоліт; 2 – СКП вимірювання горизонтального кута одним прийомом (2"); К – з компенсатором; П - пряме зображення зорової труби. ДЕСТом на теодоліт є ДЕСТ 10529. ДЕСТом допускається виготовлення більш точних теодолітів. Тому, можна застосовувати в проектах, при вимірюваннях найбільш точний теодоліт Т05, СКП якого 0,5".

Нівеліри, відповідно до ДЕСТ 10528 за точністю підрозділяються:

1. Високоточні – похибка вимірювання перевищення менші 1 мм;
2. Точні - похибка вимірювання перевищення не більша 3 мм;
3. Технічні - похибка вимірювання перевищення більші 3 мм.

Відповідно до точності випускаються:

- високоточний нівелір Н05 для нівелювання I та II класу;
- точний нівелір Н3 для нівелювання III та IV класу, а також його різновидності НЗК (з компенсатором), НЗКЛ (з компенсатором і лімбом для вимірювання горизонтального кута);

- технічний нівелір Н10 та інші.

Відповідно до класифікації нівелірів виготовляються рейки трьох типів: РН05, РН3, РН10.

Прилади для вимірювання довжин ліній можуть бути механічними та оптико-електронними. Механічні: сталеві рулетки, мірні стрічки. Оптико-електронні: оптичні далекоміри, світловіддалеміри.

Оптичні далекоміри виготовляються, як правило, у вигляді насадок на зорові труби або у вигляді самостійних приладів. Насадки вимірюють паралактичний кут і постійну базу. База може бути як при приладі, так і при рейці. Самостійні оптичні далекоміри характеризуються СКП в сантиметрах на кожні 100 м відстані. Наприклад, Д2 – далекомір, який дає СКП 2 см на 100 м.

Світловіддалеміри підрозділяються на 4 групи в залежності від застосування:

СГ – світловіддалеміри геодезичні, що застосовуються в основних геодезичних мережах і мають діапазон вимірювання від 0,1 до 20 км.

СП – світловіддалеміри, що застосовуються в прикладній геодезії. Діапазон - від 0,001 до 5 км.

СТ – світловіддалеміри, що застосовується в топографічних зйомках. Діапазон- від 0,001 до 15 км.

СТД – світловіддалеміри топографічні по дифузному відбиттю. Діапазон – до 10 км.

Тахеометри характеризуються не за точністю вимірювання, а за конструктивними ознаками, що даються в шифрі. І все таки, тахеометри Т-2, ТЕ є точні, а ТаН і ТВ – технічні.

ТЕ – тахеометр електрооптичний для вимірювання відстаней до 2 км з середньоквадратичною похибкою (СКП) – 2 см, для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів відповідно 3-5".

ТД – тахеометр подвійного зображення, який вимірює кути:

горизонтальні - 8"; вертикальні - 12".

ТаН – тахеометр номограмний, в полі зору якого ми бачимо криві, по яких визначають відстань і перевищення.

ТВ – тахеометр внутрішньобазовий.

Кіпрегелі виготовляють згідно ГОСТу одного типу: КН - кіпрегель номограмний. Виготовляють один тип мензули.

Спеціальні прилади. В залежності від геодезичних робіт застосовують спеціальні геодезичні прилади:

Автоколіматори АК-02У; АК-05; АК-1. Число означає СКП зняття відліку, У- уніфікований (дає виміри як по горизонталі так і по вертикалі). Є велика група фотоелектронних автоколіматорів, які в діапазоні декількох градусів мають точність 0,01". Фотоелектронні автоколіматори повністю автоматизовані.

До спеціальних приладів також відносяться квадранти: КО-2 (квадрант оптичний; 2- означає, що похибка дорівнює 2" визначення нахилу), КО-10, КО- 60М (М – магнітний).

Великим класом спеціальних приладів є лазерні геодезичні прилади: лазерні теодоліти, лазерні візирі, лазерні нівеліри і лазерні прилади вертикального проектування

До спеціальних приладів відносяться гоніометри (в тому числі і лазерні) – прилади для атестації оптичних деталей приладів.

Останньою розробкою приладу для визначення місцеположення є GPS-приймачі.

1.3. Історія розвитку електронних геодезичних пристроїв

В історії розвитку методів і засобів геодезичних вимірювань за останні півстоліття відбулися дві революції. Перша з них здійснилась в сорокових – п'ятдесятих роках ХХ сторіччя, і полягала вона в тому, що в геодезію прийшла електроніка. До цього всі геодезичні прилади були виключно

оптико- механічними пристроями. Електроніка почала свій тріумфальний хід в геодезії з лінійних вимірювань, потім проникла в кутові вимірювання, а згодом і в найконсервативнішу область – нівелювання. Інтенсивна розробка світловіддалемірів, радіовіддалемірів, електронних тахеометрів, радіогеодезичних систем для визначення координат рухомих об'єктів означала настання нової ери в геодезії. Величезну роль зіграла поява в 1960 році лазерів, бурхливий розвиток мікроелектроніки і обчислювальної техніки, що забезпечила створення сучасних комп'ютерних технологій. До вище перелічених електронних засобів геодезичних вимірювань додалися лазерні інтерферометри і балістичні (лазерні) гравіметри.

Друга революція, початок якої відноситься до сімдесятих років, - це створення глобальних супутникових навігаційно-геодезичних систем. Хоча розробка і використання супутникових систем типу «Транзит» (США) і «Цикада» (СРСР) для мети навігації почалася ще в 60-х роках, переворот в геодезії вчинили саме глобальні системи: **GPS** (США) і ГЛОНАСС (росія). Ці системи називаються глобальними тому, що вони забезпечують отримання координат в будь-якій точці Землі в будь-який довільний момент часу. В них реалізовані принципово нові методи вимірювань, і ці системи дозволяють здійснити абсолютно нові підходи до виконання геодезичних робіт.

Роль глобальних супутникових систем важко переоцінити. Визначення координат точок на земній поверхні за допомогою цих систем отримало широке застосування в самих різних областях людської діяльності. Координати потрібні не тільки геодезістам – вони потрібні і морякам, і авіаторам, і військовим, і учасникам різних експедицій, і багатьом іншим споживачам. Раніше, щоб отримати координати, доводилося виконувати трудомісткі геодезичні роботи на місцевості, вимірюючи геометричні величини – відстані, кути і перевищення між точками на земній поверхні. Для передачі координат треба було будувати мережі різних конфігурацій,

закріплені на місцевості спеціальними центрами, що закладаються у верхньому шарі земної поверхні. Над центрами зводились геодезичні знаки (піраміди, сигнали) – дерев'яні або металеві «наглядові вежі», часто значної висоти (до 30м), для забезпечення взаємної видимості між пунктами. Поява супутникових систем зробила, у принципі, непотрібними всі ці роботи. Маючи супутниковий приймач, ми маємо можливість зразу ж визначити координати місця його установки з точністю порядку десятків метрів, що достатньо для багатьох навігаційних задач, а за наявності двох приймачів отримати «геодезичну точність» визначення їх взаємного положення – до сантиметрів і навіть міліметрів. Це дозволяє створювати опорні мережі, виконувати знімальні і прив'язочні роботи набагато більш ефективно в порівнянні з традиційними методами.

Історично появі глобальних супутникових систем передувала розробка методу радіоінтерферометрії з наддовгою базою (РНДБ) і створення лазерних супутникових віддалемірів для вимірювання відстаней до штучних супутників Землі (ШСЗ). Саме цими засобами побудована глобальна геодезична мережа, яка постійно вдосконалюється, і є опорною для мереж, створюваних всіма іншими методами [1].

В результаті вказаних революцій і еволюції вимірювальної техніки, що відбувалася між ними, сучасна геодезія є областю, в якій вимірювання виконуються переважно електронними засобами. Геодезія в нас час є головним джерелом вихідних даних для геоінформаційних систем.

Геоінформаційна система містить дані про результати виконаних на тій або іншій ділянці топографо-геодезичних і кадастрових робіт. Вона дозволяє оперативно вносити зміни в банк даних: результати нових вимірювань, відомості про виявлені грубі помилки у виконаних раніше роботах, результати зрівняння, дані про знову створені і втрачені опорні пункти і т.д. В деяких регіонах з використанням супутникових систем удосконалюється геодезична мережа, створена колись наземними методами. Отримання

більш точних координат вимагає внесення виправлень в топографічні і кадастрові матеріали. Ця процедура легко виконується за наявності геоінформаційної системи на конкретний регіон або об'єкт.

Найефективнішим засобом створення геоінформаційної системи, яка об'єднує результати геодезичних, топографічних і кадастрових робіт, є поєднання супутникових методів і електронної тахеометрії, причому на частку супутникових вимірювань припадає від 50 до 90 % об'єму робіт.

І супутникова апаратура, і електронні тахеометри за останні 10-15 років удосконалювалися надзвичайно швидкими темпами. За ці роки електронний тахеометр пройшов шлях від приладу, що є оптичним теодолітом з світловіддалемірною насадкою і окремим обчислювальним пристроєм, до «роботизованої станції», що має можливість дистанційного керування. Вона оснащена сервоприводами, мікрокомп'ютером з багатофункціональним пакетом програм. Є можливість автоматичного наведення на ціль і її відстежування, передбачена передача інформації по телеметричному каналу зв'язку. Розроблена модульна геодезична система, яка об'єднує супутниковий приймач, електронний тахеометр і потужний польовий комп'ютер [3].

Існує ще один напрям в області геотроніки, що має велике значення для прикладної геодезії. Це створення *просторово-координатних систем* (ПКС) для прецизійного (з помилкою 10-50 мкм) визначення координат контрольних точок складних поверхонь (таких, як крило літака або елементи антени радіотелескопу). Такі системи називають 3D-системами – від англійського 3-Dimension (тривимірні, трьохкоординатні). Існуючі системи використовують або електронні стежачі теодоліти, що виконують пряму кутову засічку, або стежачі лазерні інтерферометри, що здійснюють лінійну засічку. Робота управляється комп'ютером і виконується в просторі об'ємом до декількох кубічних метрів.

Що стосується вимірювань за допомогою глобальних супутникових систем, то ця технологія безперервно і стрімко удосконалюється. До числа

останніх досягнень входять такі, як розробка двохсистемних приймачів GPS/ГЛОНАСС, можливість отримання диференціальних поправок з геостаціонарного супутника зв'язку і радіомаяків, можливість роботи в режимі кінематики в реальному часі, яка не вимагає постобробки, поєднання супутникового приймача з електронним тахеометром. Поява супутникових систем зробила непотрібним застосування радіовіддалемірів, які широко використовувалися раніше, поставивши крапку в їх виробництві, і сильно вплинула на роль світловіддалемірів.

Контрольні запитання

1. Назвіть предмет курсу «Електронні геодезичні прилади».
2. На скільки груп (класів) розбиваються всі геодезичні прилади?
Перерахуйте їх.
3. Як нівеліри класифікують за точністю?
4. Охарактеризуйте дві революції в історії розвитку методів і засобів геодезичних вимірювань, які відбулися за останні півстоліття.
5. Що таке ПКС?

Тема 2. Лазери. Лазерні візири. Лазерні рулетки

План

- 2.1. Лазери та їх принципові схеми.
- 2.2. Види лазерів. Ефект Допплера.
- 2.3. Лазерні візири та лазерні рулетки.

2.1. Лазери та їх принципові схеми

Лазер – це джерело оптичного випромінювання з високим ступенем *когерентності*. В самому загальному значенні термін «когерентність» означає «узгодженість». Світло називається **когерентним**, якщо всі атоми речовини випускають світлові хвилі, що мають строго 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*, утвореного двома паралельними дзеркалами, між якими поміщається активне середовище. Одне з дзеркал робиться частково прозорим для виходу випромінювання з лазера.

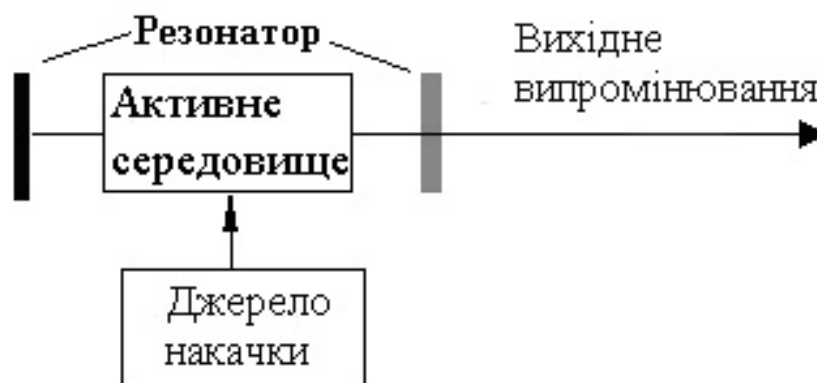


Рисунок 1 - Принципова схема лазера

Принцип роботи лазера зводиться до наступного. Активне середовище, одержуючи енергію від джерела накачування, переходить в так званий стан з інверсною населеністю енергетичних рівнів – збуджений стан, при якому

число атомів речовини, «перекинутих» на більш високий енергетичний рівень, стає більше числа 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.

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, що нагромадилися на верхньому енергетичному рівні, ініціюють їх перехід на нижній рівень з випуском фотонів. Оскільки ці переходи виникають не випадково, а вимушено, під дією циркулюючих уздовж осі резонатора фотонів, то фотони, що народжуються при цих переходах будуть точною копією того фотона, що «вимушує», – вони матимуть ту ж енергію, той же напрям руху і інші абсолютно ідентичні характеристики. Виникає могутня лавина згаданих фотонів. Таке випромінювання називається (на відміну від спонтанного) *вимушеним* (а також *стимулюючим* або *індукованим*) і є, як легко зрозуміти, когерентним. Та обставина, що в лазері має місце 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». В 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 служить збуджене активне середовище). Після кожного подвійного проходу довжини резонатора частина випромінювання виходить з лазера через напівпрозоре дзеркало.

2.2. Види лазерів. Ефект Допплера

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

Твердотільні лазери. До них відносяться 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 в даний час використовуються могутні пікосекундні імпульсні лазери на гранаті з довжиною хвилі випромінювання 1,06 мкм - в 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 випромінюючого червоне світло з довжиною хвилі 0,63 мкм, в *двохвильових світловіддалемірах* (див. розділ 8) можуть використовуватися гелій-кадмієвий (He-Cd) лазер з 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 їх вельми специфічні властивості, вони широко використовуються в сучасних наземних світловіддалемірах і електронних тахеометрах. Однією з найпривабливіших їх якостей є дуже малі розміри (менше 1см) і маса. Напівпровідниковий лазер на арсеніді галію, частіше всього вживається у віддалемірній техніці, є лазерним діодом, виконаним у вигляді кристала, складеного з двох «половинок» з різними типами провідності – електронної (*n- провідність*) і дірчастої (*p-провідність*). Між ними утворюється зона, що називається **p-n-переходом**. Якщо на ці «половинки» подати постійну напругу живлення (підключивши позитивний полюс до **p-області**), то в зоні **p-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 служитимуть дзеркалами резонатора, і збільшать густину струму через діод. Тоді випромінювання стає когерентним – ми одержуємо напівпровідниковий лазер.

Ефект Допплера. Цей ефект полягає в тому, що при зближенні або віддаленні випромінювача (передавача) і приймача частота коливань, що приймається, відрізнятиметься від частоти випромінюваних коливань. При цьому байдуже, що саме рухається – випромінювач або приймач; важливо їх відносний рух, тобто зміна відстані між ними. (Це справедливо у разі нехтування релятивістськими, тобто пов'язаними з теорією відносності, ефектами, якими у всіх що цікавлять нас випадках можна нехтувати через малу частку швидкості руху в порівнянні з швидкістю світла). Якщо, скажімо, випромінювач віддаляється від нерухомого приймача, то останній прийматиме в одиницю часу менше хвиль в порівнянні 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 зворотню – в одиницю часу сприймається більше хвиль, тобто хвилі стають коротшими і частота збільшується.

2.3. Лазерні візир та лазерні рулетки

Лазерний візір (рос. лазерный визир, англ. laser sight, нім. Laservisier) – світлопроекційний прилад для створення опорної лінії в просторі (рис. 2). 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.



Рисунок 1 – Лазерний візір ЛВ-5

Лазерні рулетки

Для того, щоб з великою точністю дізнатися величину відстані було придумане вимірювальне пристосування, яке без зусиль людини справить вимірювання з високою точністю і швидкістю. Таким приладом стали лазерні рулетки, вони ж далекоміри.

Саме вони стали тим інструментом, який зробить вимірювання відстані до 200 м з максимальною похибкою всього лише в декілька міліметрів.

Принцип дії такого приладу це використання лазерного променя. У народі він іменується лазерними рулетками. Такі прилади сьогодні використовуються в різних сферах людської діяльності (рис. 3).



Рисунок 3 – Лазерна рулетка (далекомір)

Добре себе зарекомендували лазерні рулетки:

- у будівництві,
- при збірних роботах,
- застосовується в ремонтних роботах,
- в лісовому господарстві,
- у ландшафтному дизайні,
- у геодезії,
- у військовій справі,
- в 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 воно досить велике.

Більшості фахівців сподобалися лазерні далекоміри виробництва компанії

Leica.

Взагалі компанія Leica наприкінці 2015 року представила до увазі 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. В 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. В 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:

- Вбудована в приладі камера,
- Датчик нахилу кута на 360^0 ,
- Бездротова передача даних,
- Захист від зовнішніх чинників,
- Пам'ять для 30 вимірювальних даних,
- Елеваційний штатив,
- Поворотний адаптер.

Лазерні рулетки складаються з наступних компонентів:

Корпус лазерної рулетки зазвичай виготовляють з міцного пластику, з гумовими або латексними вставками, адже його так легко впустити. Лінзи мають ефект протизапотівання. Є спеціальні чохли, 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.

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

Відбивач - оптичний фільтр, який приймає повернувся промінь світла, який відбився від об'єкта.

Мікропроцесор - мініатюрний комп'ютер в тілі рулетки, він перетворює світловий сигнал в 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 функцію «Піфагора» (якщо на шляху вимірювання є непереборне перешкоду, користуються правилом вимірювання прямокутних трикутників, записавши в пам'яті приладу висоту і відстань, забезпечивши при вимірах прямий кут).

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

Візор, або оптичний приціл, - це пристосування для направлення лазерного променя. У звичайних рулетках відсутня. Його наявність свідчить про те, що інструмент призначений для фахівця. Цей приціл може зменшувати відстань в 7-10 разів і забезпечити відмінну видимість для початку вимірювання.

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

Контрольні запитання

1. З чого складається лазер?
2. Які є види лазерів?
3. Охарактеризуйте ефект Доплера.
4. З яких компонентів складається лазерна рулетка?
5. Охарактеризуйте функціонал лазерної рулетки.

Тема 3. Електронні теодоліти

План

3.1. Кодовий метод отримання інформації про кут.

3.2. Інкрементальний метод отримання інформації про кут.

3.1. Кодовий метод отримання інформації про кут в електронних теодолітах

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

Електронний теодоліт є пристроєм, в якому проводиться автоматичне прочитування кутових величин з перетворенням їх в електричні сигнали. Ця операція здійснюється за допомогою *аналого-цифрових перетворювачів* (АЦП). В електронних теодолітах застосовуються два основні вигляди АЦП, які відрізняються методом отримання інформації про кут у вигляді електричних сигналів (рис. 4). Ці два методи отримали назву кодового і інкрементального; останній часто називають просто цифровими.



Рисунок 4 - Приклад кодованого круга в електронному теодоліті

Кодовий метод. При цьому методі лімба, 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), забезпечуючих можливість створення сигналів 1 і 0 в двійковій системі при прочитування. Розташування цих елементів таке, що вони в певному коді зашифровують підлягаючу вимірюванню кутову величину, причому кожна доріжка звичайно відповідає певному розряду в значенні кутової величини, що вимірюється. Кількість доріжок і послідовність розташування елементів в них залежать від вибраного коду і бажаної точності отримання кута. Як код можуть використовуватися різні числові коди – двійковий, двійково-десятковий, циклічний і ін. На рис. 5 показаний вид кодованого круга в електронному теодоліті, що є складовою частиною одного з електронних тахеометрів фірми «Х'юлетт-Паккард» (США).

Кодовий метод є *абсолютним* методом, тобто таким, при якому значенню кутового напрямку (певному кутовому положенню кодового диска) однозначно відповідає певний кодований вихідний сигнал. Для прочитування інформації з кодових дисків використовується, як правило, оптичний (фотоелектричний) спосіб: кодовий диск просвічується світловим пучком, який потім поступає на фотоприймальний пристрій, наприклад, на матрицю фотодіодів, що дозволяє отримати на виході різні комбінації електричних сигналів при зміні кутового положення кодового диска. Таким чином, кожна комбінація відповідає певному значенню кутового напрямку; далі електричні сигнали поступають в логічні схеми обробки, що здійснюють декодування і відтворення величини, що вимірюється, в цифровому вигляді на табло.

3.2. Інкрементальний метод отримання інформації про кут в електронних теодолітах

Інкрементальний метод. Він заснований на використуванні *штрихового растру* – системи радіальних штрихів, що наносяться звичайно на зовнішньому краю лімба або алідади через однакові інтервали. Густина растру може бути дуже високою (до сотень штрихів на 1мм) що забезпечує

високу точність вимірювань. Непрозорі штрихи і прозорі інтервали між ними (звичайно 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 через фіксовану точку. Прочитування проводиться також оптичним методом і кількість пройдених інкрементів виражається числом імпульсів світла, що поступили на фотоприймач. При цьому для забезпечення реверсивного рахунку імпульсів, тобто відліку з урахуванням напряму обертання круга, застосовуються два

фотоприймачі (фотодіода), що сприймають імпульсні сигнали, зсунуті по фазі на 90° . Цього може бути досягнуто або відповідним розміщенням фотодіодів щодо растру, або застосуванням двох однакових растрових послідовностей, зсунутих на $1/4$ інкремента. Принципи зчитування кутів по горизонтальному і вертикальному кругам ідентичні.

Одним з можливих варіантів є використання відображуючого растра, в якому інтервали між штрихами не пропускають, а відбивають світло. Принцип системи відрахування в цьому випадку, використаний, наприклад, у високоточних теодолітах Теомат і тахеометрах Тахимат швейцарської фірми

«Вільд», ілюструється на рисунку 5.

В реальних системах має місце не імпульсне, а приблизно синусоїдальна зміна інтенсивності світла на фотоприймачах при обертанні растрового круга, і імпульси формуються з одержуваних на виході фотоприймачів сигналів відомими електронними способами.

Інкрементальний метод є *відносним* методом, при якому визначаються тільки зміни кутового положення круга, тобто вимірюються кути, тоді як при кодовому методі вимірюються напрями, а кути обчислюються як різниці напрямів.

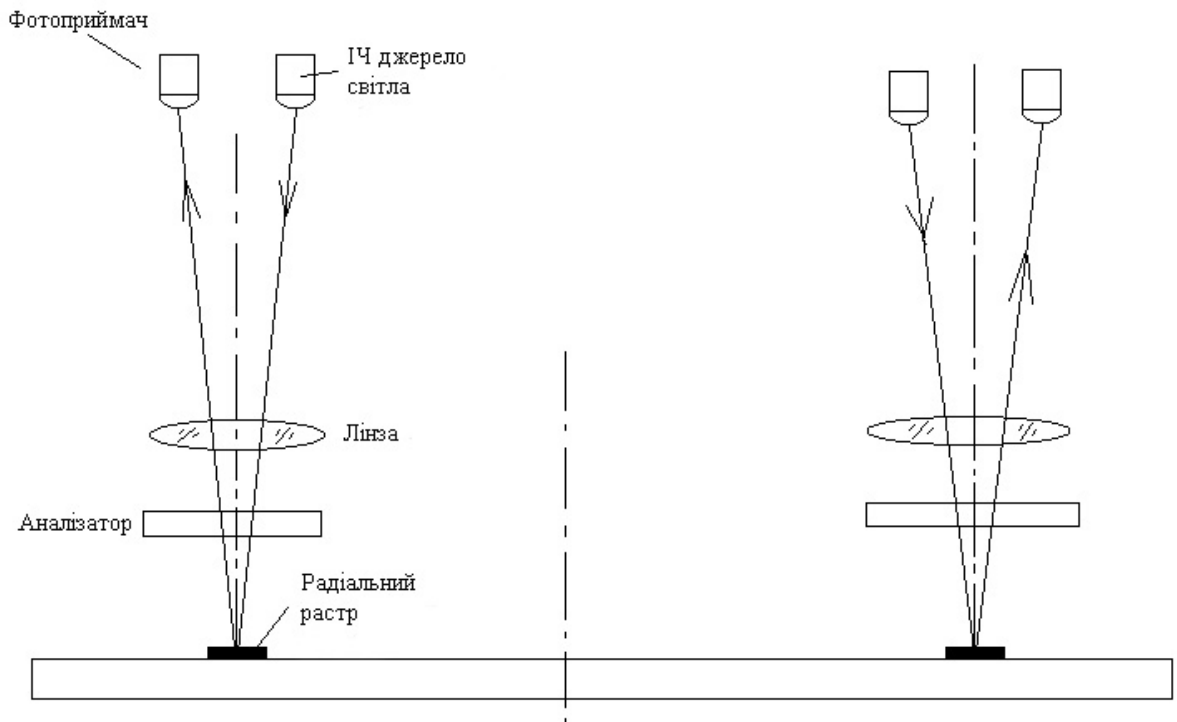


Рисунок 5 - Принцип прочитування при використанні відбивного растру

Як при кодовому, так і при інкрементальному методі для підвищення точності прочитування кутів застосовуються *інтерполятори* – системи, що містять декілька, розташованих певним чином по відношенню до кутового круга пар фотодіодів, сигнали від яких зсунуті по фазі на певну величину; ці сигнали обробляються спільно, що дозволяє отримати високий кутовий дозвіл.

Прикладом інтерполятора може служити система, зображена на рис.6; тут аналізатор, на якому також нанесені штрихи, грає роль дифракційних решіток, що дозволяють отримати в площині зображення 4 пучки і використати 4 фотоприймачі, розташовані таким чином, що вони при обертанні круга створюють чотири електричні сигнали, зсунуті по фазі щодо один одного на 90° . За допомогою їх складання і віднімання утворюються ще 4 сигнали, і всі ці сигнали обробляються спільно.

В 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, не зважаючи на поступову заміну електронних теодолітів електронними тахеометрами, перші все ще тримаються на ринку геодезичних приладів, тому, що є значно дешевшими.



Рисунок 6 - Електронний теодоліт

Контрольні запитання

1. Що таке цифровий метод?
2. Якими являються кодовий та інкрементальний методи?
3. Для чого використовується штриховий растр?
4. Де використовується зчитування кутів за допомогою оптичного проміння?
5. Що використовують в електронних теодолітах для підвищення точності?
6. Що може використовуватись в електронних тахеометрах?
7. Які величини являються вимірюваними?
8. Які з величин являються 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
- 4.2. Системи автоматичного нівелювання для грейдерів та бульдозерів.
- 4.3. Програмно-апаратний комплекс для екскаваторів.
- 4.4. Шукачі підземних комунікацій
- 4.5. Безпілотні літаючі апарати

4.1. Гіроскопічне обладнання

Призначено для контролю напрямку в гірській промисловості і при будівництві тунелів. Основа роботи з гіроскопом - орієнтування географічної півночі. За допомогою гіроскопічної насадки GYROMAX™ можна визначити азимут протягом 15 хвилин. Управління може здійснюватися за допомогою блоку дистанційного керування, при цьому передача даних на комп'ютер або реєструючий пристрій забезпечується за допомогою кабелю або Bluetooth. **Гіроскопічна насадка Gyromax АК-2М.** Гіроскопічна насадка в комплекті з електронним тахеометром є багатофункціональним інструментом і може використовуватися в підземному будівництві: у тунелях



Рисунок 7 - Гіроскопічна насадка Gyromax АК-2М.

метрополітену, гідротехнічних, транспортних тунелях. Gyromax АК-2М (рис.

7) дає можливість визначити дирекційний кути в підземних умовах, де супутникові методи GPS неможливо застосовувати.

4.2. Системи автоматичного нівелювання для грейдерів та бульдозерів.

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 датчиків, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Тобто це набір додаткових датчиків, гідравліки та елементів контролю та управління, що забезпечує установку робочих елементів машини в просторі так, як цього вимагає завдання або проект.



Рисунок 8 - Програмно-апаратний комплекс Leica Power Grade для грейдерів і бульдозерів

Залежно від розв'язуваних завдань існує три основні різновиди рішень:

1. Автоматична робота в одній площині (просто витримування певного рівня або ухилу робочого елемента);
2. Робота в похилій площині (установка перевищення та ухилу, робота в площині з подвійним ухилом);

3. Автоматична установка перевищення та ухилу з урахуванням положення і напрямку руху машини.

Leica Power Grade володіє максимальною для свого сегменту гнучкістю конфігурації, тобто може працювати в різних режимах (1D, 2D, 3D), використовуючи різні комбінації датчиків (лазерні приймачі, у/з датчики, датчики ухилу, датчики зсуву і повороту), тим самим забезпечуючи саме той режим робіт, який оптимальний виконавцю, крім цього сумісна 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 датчики 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 датчиків (GPS і відбивачів з роботизованим тахеометром) дозволяє з максимальною точністю і в реальному часі встановлювати бічний зсув відвала навіть при поворотах (рис. 9) (тобто при роботі з непрямолінійними ділянками).

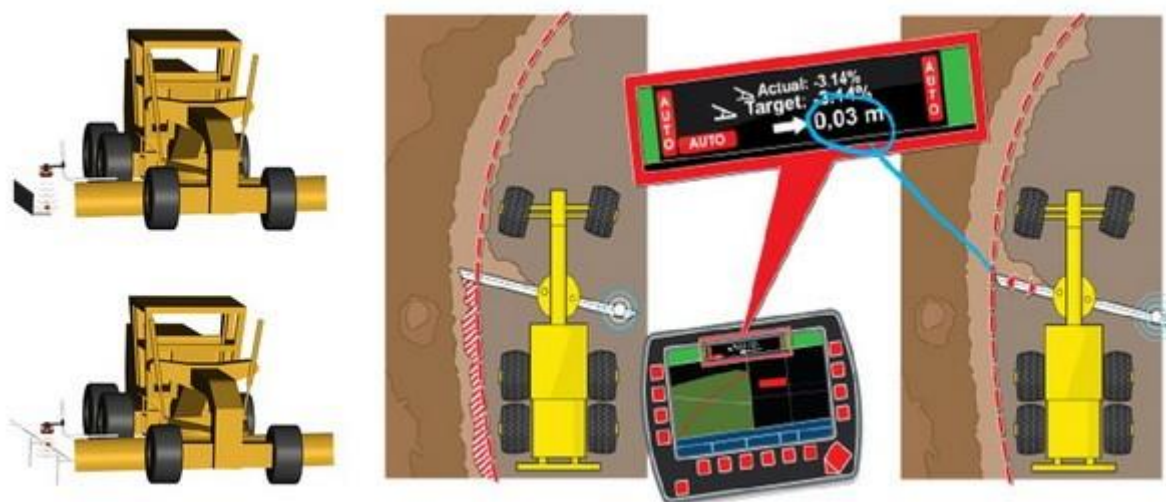


Рисунок 9 - Програмно-апаратний комплекс Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів на повороті

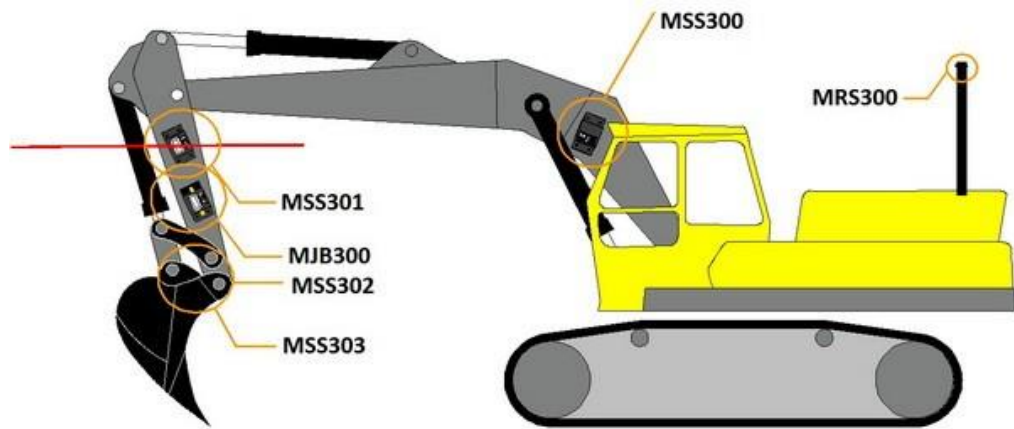
Переваги, одержувані завдяки використанню системи Leica

PowerGrade:

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

4.3. Програмно-апаратний комплекс для екскаваторів

Програмно-апаратний комплекс Power Digger для екскаваторів – система, яка загалом являє собою набір датчиків (рис. 10), розташованих на кожній рухомій частини екскаватора (датчики положення секцій стріли та положення ковша, а також датчик положення корпусу екскаватора) і контролера, який спільно обробляє свідчення від всіх датчиків і графічно зображує поточне положення роботи. Також система може оснащуватися додатковими датчиками (локаційним для виявлення комунікацій і додатковим датчиком ухилу, якщо ківш може працювати в режимі подвійного ухилу).



*Рисунок 10 - Програмно-апаратний комплекс Leica PowerDigger
для екскаваторів*

Датчики базової системи. Кутовий датчик MSS300. Може бути використаний як датчик стріли, рукояті або ковша. Зазвичай він використовується тільки як датчик стріли. Кутовий датчик MSS 301 з лазерним приймачем: Навіщо встановлювати два різних датчика, коли функції обох можна об'єднати в одному? MSS 301 є комбінованим: лазерним датчиком і датчиком кута стріли. Він компактний і просто встановлюється в будь-якому місці. MSS 302 360°.

Цей датчик встановлюється на ковші. Його робочий діапазон дорівнює 360°. Малі розміри дозволяють встановити його в захищеному місці, щоб запобігти пошкодженню датчика і кабелю.

Система датчиків. В основі роботи датчиків системи PowerDigger лежить принцип гравітації. Технологія та програмне забезпечення датчиків були розроблені і введені в дію в 1996. З тих пір датчики удосконалювалися, і зараз на ринку представлені найбільш точні і чутливі рішення. Надійність. Всі датчики і кабелі вологозахищені. Допустимо занурення під воду на глибину до 20 м - таким чином, немає необхідності в дорогому спеціальному обладнанні для донних екскаваторів. Завдяки використанню CAN шини установка відбувається значно швидше. Тому всі датчики поставляються зі спеціальними пластинами з простим кріпленням для швидкої установки.

Звичайний час установки і калібрування для базових систем - менше трьох годин.

Додатки в залежності від типу рішення:

- 1D системою можна здійснювати стандартні завдання (траншеї, базові земляні роботи, просте вирівнювання);
- 2D система надає рішення розширених завдань (режим вирівнювання як бульдозер / грейдер, робота з комплексними профілями, робота під водою и.т.д);
- 3D системи передбачає вирішення всіх просунутих завдань, включаючи комплексне вирівнювання, ландшафтний дизайн, робота на непідготовлених поверхнях і.т.д.

Основні переваги системи Power Digger:

- Встановлюється на будь екскаватор;
- Максимально оптимізує раскопчному роботи (мінімізуються надлишкові і недостатні роботи);
- Мінімізується кількість персоналу (потрібен тільки оператор);
- Знижуються витрати на винос проектів в натуру;
- Підвищується продуктивність (мін. дремя, точний результат, менший знос техніки);
- Максимальна точність - 1 см;
- Простота у використанні;
- Високий ступінь захищеності (IP68) - робота в бруді і під водою.

4.4. Шукачі підземних комунікацій

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

Під землею, як правило, зосереджена велика кількість різноманітних

підземних комунікацій. Отримання точної інформації про їх становище абсолютно необхідно до початку виїмки ґрунту. Виробник робіт цілком і повністю несе відповідальність за пошкодження комунікацій.

Два способи пасивний і активний:

При пасивному (спосіб наведених струмів) способі за допомогою трубокабелешукачів виявляється змінне магнітне поле, що існує навколо токонесящих кабелів. Виявляються електрокабелі і металеві труби неглибокого закладення. Особливо на забудованих територіях де багато блукаючих струмів.

При активному способі навколо відшукуються 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 і ін. Похибка визначення планового та висотного положення і глибини для різних модифікацій приладу становить 0,1 – 0,3 м. Використовуючи цей метод, 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.



Рисунок 11 - Шукач підземних комунікацій

4.5. Безпілотні літаючі апарати:

Безпілотні аерофотознімальні вертольоти Aibotix X6 (рис. 12) представляють собою нове покоління літаючих роботизованих вимірників для широкого спектру 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 широкого ряду додаткових датчиків надає великі перспективи використання:

- **Індустріальна інспекція** - інспекція високовольтних силових ліній, програмований шлях польоту для безпечного моніторингу або детектування

місця перегріву сонячних акумуляторних панелей. Aibotix X6 надає неперевершений рівень безпеки в поєднанні з балансом продуктивності;

- **Картографування** - 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 камери 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

Контрольні запитання

1. Які лазерні вимірювальні прилади використовуються у будівництві?
2. Які переваги можна отримати завдяки використанню систем Leica PowerGrade та Leica PowerDigger?
3. Поясніть призначення гіроскопічного обладнання?
4. Як безпілотні літаючі апарати можуть використовуватися у будівництві?

Тема 5. Цифрові та лазерні нівеліри

План

- 5.1. Використання лазерних вимірювальних приладів у будівництві.
- 5.2. Багатопроменевий лазерний інструмент.
- 5.3. Лазерні, ротаційні, позиційні нівеліри.

5.1. Використання лазерних вимірювальних приладів у будівництві

Сучасні технології вже зробили більш ефективними ручний інструмент - долото замінив перфоратор, електрична дрель прийшла на зміну механіці, в теодолітах і нівелірах з'явилися електронно-обчислювальні модулі, так і звичайна будівельна мотузка, косинці й схили, поступово поступаються місцем лазерним приладам (далі ЛП).

Про лазерні прилади для будівництва та оздоблення

Лазерний схил і рівень, лазерний нівелір і ротаційний лазер, лазерний маркер і будівник, лазерна рулетка і далекомір - всі ці назви мають відношення до сучасного та ефективного інструменту, використовуваному при розбивці земельних ділянок, будівництві будівель, обробці приміщень, монтажі комунікацій. Ці прилади дозволяють побудувати базову горизонтальну, вертикальну або похилу площину, безпосередньо на стіні, підлозі, стелі і контролювати їх візуально або за допомогою спеціальних приймачів і нівелірних рейок.

Задачі ЛП

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 за допомогою проходить по ним червоної лінії лазерного променя, точно прив'язаного до вертикалі, і за

допомогою лазерної рулетки, що дозволяє заміряти відстані і до недоступних ділянок. ЛП дозволяють швидко і зі зручністю перевіряти горизонтальність і загальний рівень фундаменту, проектувати 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 статі, монтувати телескопічні ворота і покрівлю, допомагати всім без винятку робити свою роботу ефективною.

5.2. Багатопроменевий лазерний інструмент

З назви цієї групи лазерних розбудовників зрозуміло, що дані прилади проектують 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 горизонтальних 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 вертикальній і горизонтальній площині 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 4 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. Лазерні, ротаційні, 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 16 – Нівелір

Види таких приладів

Існує велика різноманітність приладів даного 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 у відповідності з певним рівнем. 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 ж 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 передові 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 Вашу роботу приємною і підвищують продуктивність.



Рисунок 16 - Лазерний нівелір Leica DNA03

Набір вбудованих програм:

- Відлік по рейці і визначення відстаней;
- Відв'язування-прив'язка ліній ходу;
- Прокладання нівелірного ходу з набором проміжних пікетів і виконанням розбивочних робіт;
- Автоматичне обчислення висот;
- Тестування та повірки;
- Кодування;
- Обмін даними.

Крім цього, ці інструменти ділять на дві великі групи:

- Ротаційні;
- Позиційні.

Ротаційні нівеліри прекрасно підходять для великих майданчиків, на яких відбувається будівництво. Промінь лазера може обертатися з дальністю близько 500 метрів. Застосування такого інструменту допомагає, наприклад, вирівняти дверний отвір, але це, напевно, лише один випадок, коли предмет даного типу використовується для ремонту квартири, тому купувати його не радиться тим, хто планує робити ремонт разово.

Позиційні нівеліри - це недорогий предмет. Такий інструмент досить довговічний, в ньому немає ніяких складних механізмів. Такий інструмент дуже зручно використовувати при ремонті квартири, він допоможе виконати всі основні завдання.

Як діє цей прилад

Сам принцип дії нівеліра дуже простий. Всередину приладу вбудований світлодіод. Він випромінює світловий потік, який фокусується за допомогою призми або лінзи. Завдяки цьому на навколишніх предметах з'являється точка або лазерна лінія.

На вулиці використовувати цей інструмент не дуже зручно, так як при сонячному світлі промені лазера видно погано. Але якщо все-таки є така необхідність, то можна використовувати приймач лазерного випромінювання, він повинен входити в комплект разом з будівником площин.

Перш ніж почати роботу, необхідно подбати про те, щоб прилад був забезпечений харчуванням. Це можна зробити або за допомогою акумуляторів або за допомогою батарейок. Завчасно варто перевірити заряд акумуляторів, і якщо він незадовільний, його варто зарядити.

У деяких приладах є можливість робити настроювання променя. Від обраного типу може залежати, наскільки швидко розрядиться акумулятор. Купуючи прилад, потрібно подивіться, чи немає в комплекті захисних окулярів, якщо вони не надані, значить, варто їх придбати окремо. Це дуже важливо, так як зір - важливий орган, а лазерний промінь може негативно на нього вплинути.

Щоб почати роботу з приладом, уважно прочитайте інструкцію, яка до нього додається.

Наступним етапом є установка приладу. Лазерні нівеліри встановлюються:

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

Щоб вибрати найбільш підходяще місце, потрібно трохи поекспериментувати. Якщо ви використовуєте лазерний будівник площин для вирівнювання стін, підлоги, якихось предметів або стелі, потрібно проконтролювати, щоб прилад був встановлений горизонтально. Це робиться за допомогою вбудованого рівня або використовуючи його окремо.

Далі важливо правильно налаштувати цей будівельний інструмент. Для кожної моделі можуть бути свої настройки, тому про цей пункт варто почитати в інструкції. Зазвичай в налаштування входить:

- вибір проєктованого променя;
- функції виключення або включення лазерних точок;
- частота обертання лазерного променя;
- настройка кута сканування.

На рисунку 17 показано склад самовирівнюючого лазерного нівеліру фірми CrossLiner.

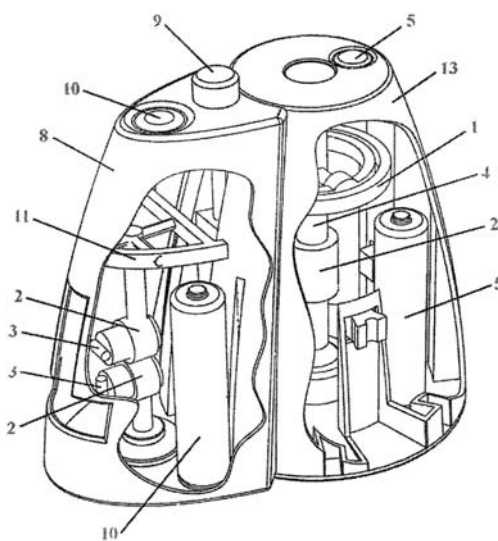


Рисунок 17 – Склад самовирівнюючого лазерного нівеліру CrossLiner

Лазерний нівелір містить платформу – 1 з встановленими на ній джерелами лазерного випромінювання – 2, призми розкладання променів лазера у площину – 3 і лазерним схилом – 4; систему живлення і керування – 5; вузол кріплення на штатив – 6, через центр якого проходить оптична вісь лазерного схилу – 4; джерела лазерного випромінювання – 2, призми розкладання променів лазера в площину – 3 виділені в, щонайменше, один випромінюючий модуль – 7, додаткова система живлення і управління – 10, додаткова самовирівнююча платформа – 11 для встановлення джерел лазерного випромінювання – 2 і призми розкладання променів лазера в площину – 3, а лазерний схил – 4 з самовирівнювальною платформою – 1, система живлення і управління – 5 та вузол кріплення на штатив – 6 виділені в кріпильний модуль – 12, з корпусом – 13, причому корпус – 8, щонайменше, одного випромінюючого модуля – 7 і корпус – 13 кріпильного модуля – 12 виконані з можливістю з'єднання випромінюючого модуля – 7 з кріпильним модулем – 12 і з можливістю з'єднання з принаймні одним додатковим випромінюючим модулем.

Контрольні запитання

1. Як лазерні вимірювальні прилади використовуються у будівництві?
2. Яка відмінність між лазерним рівнем і лазерним нівеліром?
3. Поясніть призначення позиційного нівеліру?
4. Поясніть склад самовирівнюючого лазерного нівеліру?

Тема 6. Тахеометри

План

- 6.1. Електронний тахеометр.
- 6.2. Класифікація електронних тахеометрів.
- 6.3. Конструкція і принцип дії електронного тахеометра

6.1. Електронний тахеометр

При виробництві більшості геодезичних робіт, як правило, потрібно виконувати як кутові, так і лінійні виміри, для чого зазвичай використовувалися оптичні тахеометри. Ще наприкінці ХХ століття угорський геодезист Тихі ввів поняття "тахеометр", яке в перекладі з грецької мови означає "швидковимірюючий".

У сучасні прилади почали вбудовувати потужні польові комп'ютери для обробки результатів вимірювань і рішення безпосередньо в полі типових геодезичних задач, розширилися потенційні можливості приладів за рахунок значного поліпшення технічних характеристик.

Таким чином на замикаючій стадії розвитку електронних геодезичних приладів стоїть універсальний інструмент - **електронний тахеометр** (рис. 18), який не випадково займає міцне місце в ряду приладів геодезичного обладнання. Тахеометр виробляє будь кутомірні вимірювання одночасно з вимірюванням відстаней і за отриманими даними проводить інженерні обчислення, зберігаючи всю отриману інформацію. За допомогою електронного тахеометра в польових умовах можна отримати інформацію про вимірювані горизонтальних і вертикальних кутах і відстанях, автоматично виконати необхідні обчислення по плановому і висотному положенню ситуації. При наявності комп'ютера процес може бути автоматизований, включаючи одержання готової карти місцевості за лічені хвилини. Можливість занесення в запам'ятовуючий пристрій допустимих похибок вимірювань (наприклад, циклічної похибки далекоміра, колімаційної

похибки, відхилення місця нуля, відхилення осі обертання від стрімкої лінії за рахунок введення двокоординатного електронних рівнів та ін.) Дозволяє підвищити точність і продуктивність вимірювань. Вбудоване програмне забезпечення дозволяє виконати наступні геодезичні завдання: зворотну зарубку, зрівнювання теодолітного ходу, обчислення площ, розбивку кривих і т.д.



Рисунок 18 – Тахеометр фірми South

На Українському ринку тахеометри представляють сьогодні такі відомі фірми, як **Leica-Geosystems** (Швейцарія), **Sokkia**, **Topcon**, **Nikon** і **Pentax** (Японія), **South** (Китай), **Trimble Navigation** (США), **GeoMax** (Швеція).

6.2. Класифікація тахеометрів

За типом далекоміра та способом реєстрації результатів вимірювань, тахеометри поділяються на:

- Оптико-механічні (з власною базою, номограмні, подвійного зображення);
- Електронно-оптичні;
- Електронні;
- Реєструвальні.

В останніх вся інформація автоматично записується на носій. Вони широко застосовуються для виконання зйомок місцевості. В загальній системі автоматичного складання топографічних карт реєструвальні тахеометри є першою ланкою.

За типом далекоміра тахеометри поділяються на:

- Звичайні (ті, для вимірювання відстаней з якими використовуються спеціальні відбивачі: призмові або плівкові);
- Безвідбивні (ті, що здатні виконувати вимірювання на точки, розташовані на будь-якій твердій поверхні об'єктів зйомки).

Більшість сучасних тахеометрів є безвідбивачевими.

За типом механізму обертання електронні тахеометри поділяються на **механічні та сервопривідні**.

Механічні тахеометри, при роботі з якими геодезист наводить зорову трубу на ціль вручну, за допомогою навідних гвинтів, відрізняються більшою простотою в роботі та меншою вартістю. В сервопривідних моделях обертання аліади та зорової труби тахеометра виконують допоміжні механізми (сервоприводи), завдяки чому підвищується продуктивність праці, бо оператор може керувати приладом дистанційно, знаходячись з боку вішки на значній відстані [4].

6.3. Конструкція і принцип дії електронного тахеометра

Тахеометр включає в себе:

- Електронний теодоліт (кутомір);
- Електронний далекомір;
- GPS-приймач (додатково);
- Обчислювальний пристрій з пам'яттю, для вимірювання похилих відстаней до заданих точок, горизонтальних і вертикальних кутів, та перетворення результатів із сферичної до декартової системи координат.

У лазерних далекомірах відстані вимірюються:

- По різниці фаз випущеного і відбитого променя (фазовий лазерний далекомір);
- За часом проходження променя лазера до відбивача і назад (імпульсний лазерний далекомір).

Принципова і структурна схема приладу показано на рисунках 19, 20 та 21.

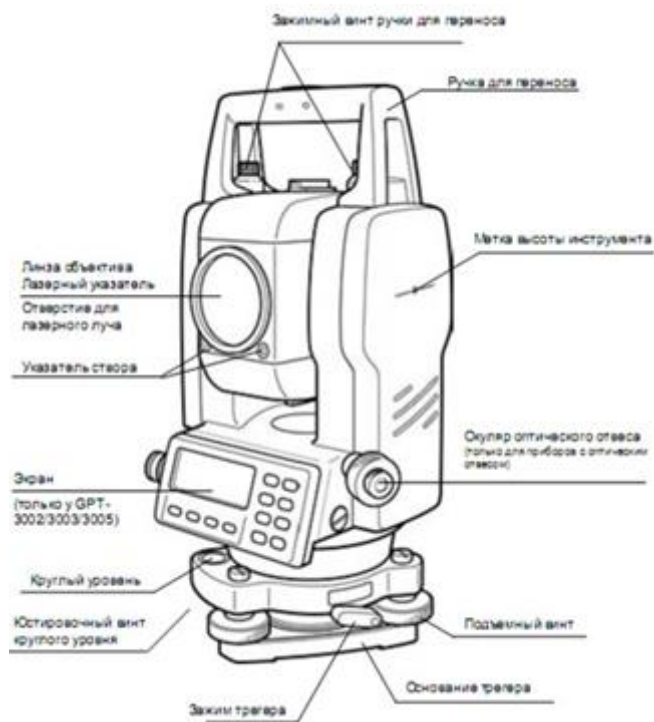


Рисунок 19 - Схема на прикладі електронного тахеометра TOPCON GPT- 3000 – вид попереду.

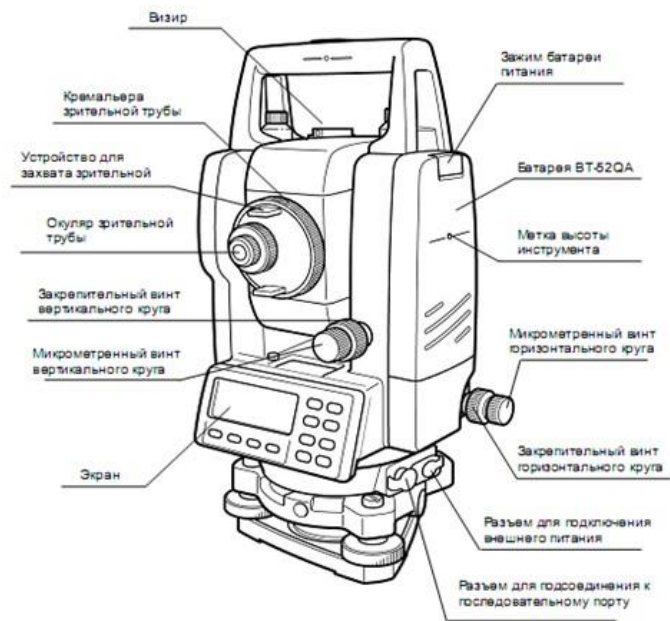


Рисунок 20 - Схема на прикладі електронного тахеометра TOPCON GPT-3000 – вид позаду.

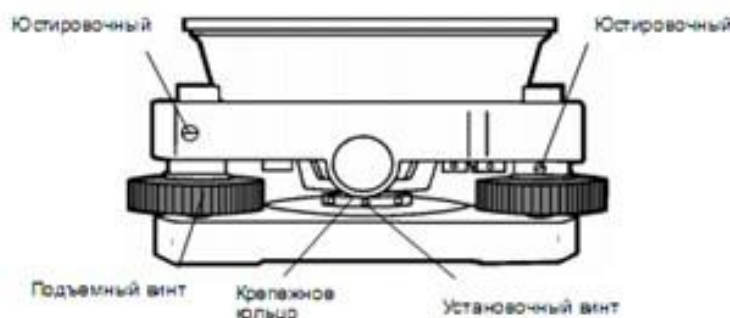


Рисунок 21 - Схема на прикладі електронного тахеометра TOPCON GPT-3000 – вид трегера тахеометра.

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 при безвідбивному режимі прямо 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, виміряну на темній поверхні. Максимальна дальність лінійних вимірювань для режиму з відбивачем (призмою) - до п'яти кілометрів (при

декількох призмах - ще далі); для безвідбивного режиму - до одного кілометра. Моделі тахеометрів, які мають безвідбивний режим, можуть вимірювати відстані практично до будь-якої поверхні, однак слід 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, з далекоміром поєднаним з системою фокусування зорової труби. Переваги таких приладів в тому, що вимірювання відстаней виробляється саме на той об'єкт, по якому в цей час виставлена зорова труба приладу.

Точність кутових вимірів 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 в безвідбивному режимі - до 1 мм + 1 мм на км.

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

Крім того, в нових серіях тахеометрів Viva TS представлені 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 виміряних точок. Таким чином, в ході тахеометричної зйомки ведеться додаткова документація у вигляді фотозображень з 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 з новою функцією формування зображень на дисплеї тахеометра за допомогою камери високої роздільної здатності та простого у використанні вбудованого ПЗ Leica SmartWorx Viva.

Контрольні запитання

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. Мультистанції

7.2. Наземне лазерне сканування.

7.1. Мультистанції

Мультистанція - передовий інженерний інструмент, об'єднуючий в собі функціонал роботизованого тахеометра, сканера, фотограмметричної станції і з можливістю доповнення GNSS приймачем. Орієнтовані на виконання найбільш складних, комплексних завдань.

Скануючий тахеометр Leica Nova MS60 (рис. 22) з революційним польовим програмним забезпеченням Leica Captivate перетворює складний набір просторових даних в прості та зручні для роботи 3D моделі. Використовуючи зрозумілі прикладні програми і сенсорні технології, всі типи вимірювань і проектні 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 і іншим.



Рисунок 22 - Скануючий тахеометр Leica Nova MS60

7.2. Наземне лазерне сканування

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

Що таке тривимірний сканер?

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 блоку розгортки лазерного променя. В якості блоку розгортки в сканері виступають сервопривід і полігональне дзеркало або призма. Сервопривод 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 являють собою елементи вектора з наступними компонентами: вимірюною відстанню, інтенсивністю відбитого сигналу і RGB- складової, що характеризує реальний колір точки. Для більшості моделей НЛС характеристики реального кольору для кожної точки сполучено за допомогою неметричної цифрової камери.

Іншою формою представлення 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.

В основу роботи лазерних далекомірів, використовуваних у сканерах, покладені імпульсний і фазовий безвідбивні методи вимірювання відстаней, а також метод прямої кутової розгортки (триангуляційний метод).

Зниження витрат

Системи HDS дозволяють значно знизити 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 завчасної зйомки і виключення пересічних основних магістралей і конструкцій, а, по-друге, можливість заводського будівництва великих конструкцій, а не добудовування «за місцем»;
- Зниження робіт за рахунок швидкої і неруйнуючої зйомки і мінімального часу польових робіт.

Додаткові переваги

Крім зниження прямих витрат системи HDS надають додаткові переваги:

- Швидке отримання результатів;
- Зменшення загального циклу робіт над проектом;
- Більш якісний результат;
- Менше неоднозначностей - велика повнота;
- Високий рівень деталізації;
- Безпеку робіт при зйомці;
- Неруйнівного методика зйомки;
- Хмари точок можуть бути використані іншими фахівцями з більш

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 проектів, 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'єкту 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 за допомогою лазерного безвідбивного далекоміра.

Вимірювання проводяться з дуже високою швидкістю - кілька тисяч вимірювань в секунду. У лічені хвилини прилад вимірює мільйони точок, точно повторюють поверхню об'єкту сканування. В результаті одного сеансу сканування утворюється хмара точок відображень лазерного променя. Для кожної точки реєструється 3 координати (XYZ) і інтенсивність прийнятого сигналу. На рисунках 24, 25 показано фрагменти сканування Києво – Печерської лаври.

У липні 2007 р. фахівцями НВП «Навігаційно-геодезичний центр» було виконано лазерне сканування комплексу Дальніх і Варязьких печер Києво-Печерської Лаври. Мета проекту - створення TIN - поверхні моделі об'єкта, отримання топографічного плану масштабу 1:500 в місцевій системі координат, побудова профілів і перетинів коридорів і приміщень печер.

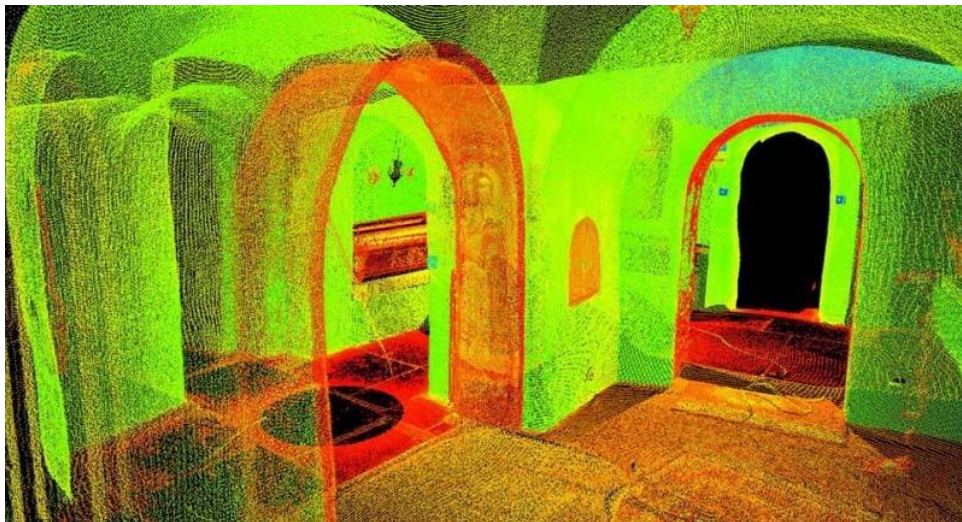


Рисунок 24 - Фрагмент сканування Києво – Печерської лаври. Внутрішні приміщення

Геодезичні роботи по створенню знімального обґрунтування проводило ДП «Укргеодезмарк» ВАТ «Київметробуд». Роботи по лазерному скануванню виконувалися лазерної скануючої системою Leica ScanStation (Leica Geosystems, Швейцарія), обробка результатів - в програмному комплексі Leica Cyclone.

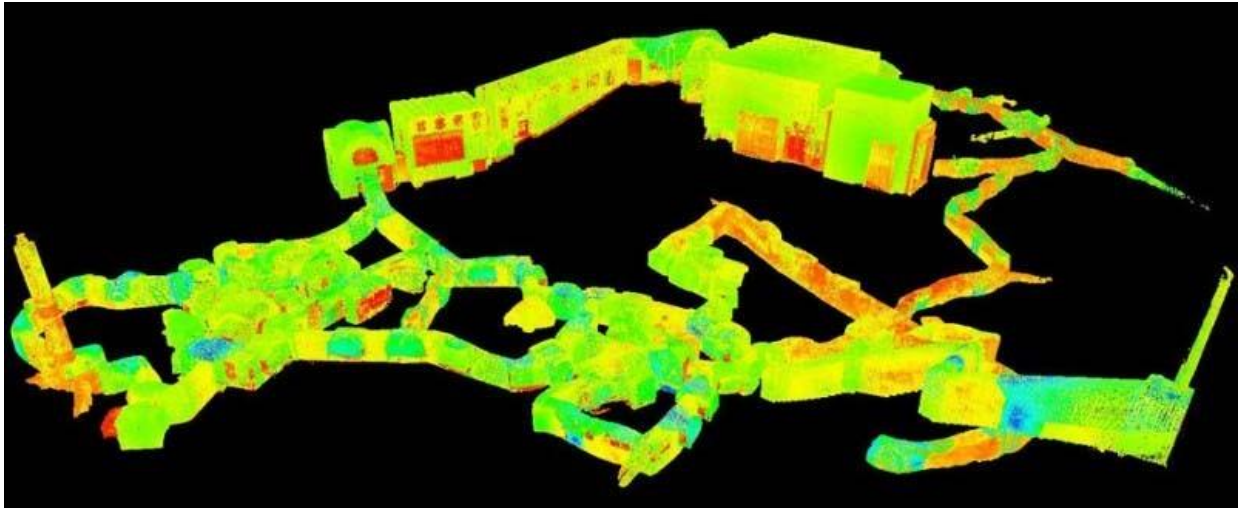


Рисунок 25 - Фрагмент сканування Києво – Печерської лаври. Загальний вигляд

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення мультистанції.
2. Поясніть призначення скануючої станції.
3. Що таке тривимірний сканер?

Тема 8. Супутникове геодезичне обладнання

План

8.1. Структура супутникових систем і режими роботи.

8.2. GPS-приймачі та їх класифікація.

8.3. Мережа базових станцій.

8.1. Структура супутникових систем і режими роботи

Як GPS (Global Positioning System), так і ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) складається з трьох секторів (в зарубіжній літературі їх іменують сегментами, а у вітчизняній часто називають підсистемами). Ці сектори показані на рисунку 26.

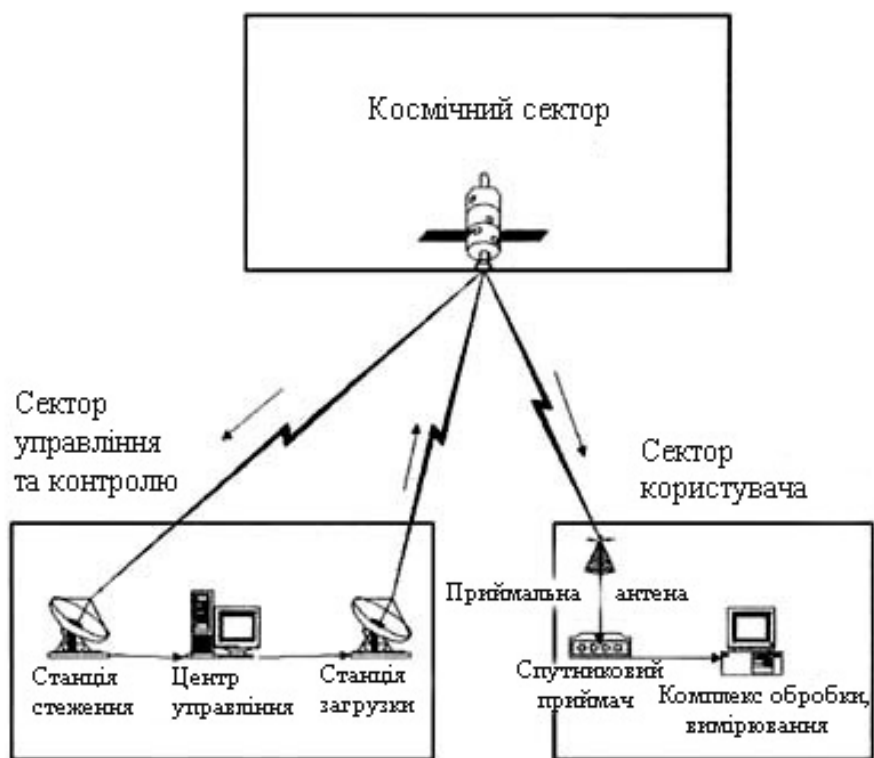


Рисунок 26 - Загальна структура глобальних супутникових систем

Космічний сектор - це сукупність супутників, що входять в систему, яку часто називають "сузір'ям" або "орбітальним угрупованням". На кожному супутнику встановлені атомні еталони частоти і апаратура, що передає необхідні для вимірювань радіосигнали, до складу яких входить так зване

навігаційне повідомлення, що містить відомості про положення супутників, мітки часу, різні поправки і іншу необхідну інформацію. Окрім передаючої апаратури, супутник містить і радіоприймальний пристрій для прийому команд і сигналів від наземного комплексу управління і контролю. Кожний супутник забезпечений панелями сонячних батарей живлення, руховою установкою для корекції траєкторії руху супутника за командами із Землі і системами орієнтації і стабілізації.

Як в GPS, так і в ГЛОНАСС повне сузір'я складається з 24 супутників. В GPS вони розташовані в шести орбітальних площинах, розгорнутих через 60° , а в ГЛОНАСС - в трьох площинах через 120° . Орбіти супутників вельми близькі до кругових [5].

Сектор управління і контролю. Включає станції стеження, службу точного часу, головну станцію з обчислювальним центром і станції завантаження інформації на супутники. В GPS п'ять станцій стеження розподілені рівномірно по земній кулі; одна з них суміщена з центральною управляючою станцією в Колорадо-Спрінгс (США). Отримана на цих станціях інформація про елементи орбіт і прогнозовані координати супутників передається за допомогою трьох завантажуючих станцій на супутники. Існує також та, що не входить в систему управління і контролю, але більш глобальна і точна мережа слідкуючих станцій - Об'єднана міжнародна мережа GPS під назвою SIGNET (Cooperative International GPS Network), що знаходиться у віданні Національної геодезичної служби (NGS) США. Створена також Міжнародна мережа служби GPS для геодинаміки (мережа IGS).

В ГЛОНАСС мережа станцій стеження розташована на території Росії. Станції обладнані радіолокаторами і лазерними віддалемірами, а супутники - відбивачами. Під Москвою розташований Центр управління системою (ЦУС), який включає центральний синхронізатор (ЦС) з водневим стандартом частоти.

Сектор користувача включає супутникові приймачі, число яких і модифікації не обмежені, а також камеральний комплекс обробки вимірювань (“постобробки”, виконуваної після польових спостережень).

Режими роботи систем. Глобальні супутникові системи можуть працювати в двох основних режимах, що отримали назву кодових вимірювань і фазових вимірювань. При кодових вимірюваннях виконується вимірювання часу розповсюдження кодово-модульованого сигналу від супутника до приймача, а при фазових - вимірювання зміщення фази коливання несучої частоти за час розповсюдження. Слід зазначити, що для цих режимів часто використовують інші назви, що характеризують їх, так би мовити, з другого боку. Режим кодових вимірювань називають *навігаційним*, а також *абсолютними визначеннями*, а режим фазових вимірювань - *геодезичним*, а також *відносними визначеннями*. Така термінологія використовується тому що кодові вимірювання дають меншу точність, прийнятну при рішенні задач навігації, і при цьому забезпечують безпосереднє отримання самих координат (абсолютних величин). Фазові ж вимірювання дають високу точність, придатну для геодезичної мети, але при цьому дозволяють отримати не самі координати, а *різниці* однойменних координат двох (або більш) точок, в яких встановлені одночасно працюючі приймачі.

Іноді в окремий (третій) режим виділяють так званий інтегральний доплерівський рахунок, який здійснюється, по суті справи, одночасно з режимом фазових вимірювань. Він дозволяє одержувати швидкість зміни відстані до супутника і фіксувати моменти послідовних положень супутника.

8.2. GPS-приймачі та їх класифікація.

GPS-приймач - радіоприймальної пристрій для визначення географічних координат розташування антени приймача, на основі даних про

тимчасові затримки приходу радіосигналів, випромінюваних супутниками групи NAVSTAR.

Точність вимірювання

Існує два принципових джерела помилок. Перший, це те, що в приймачі, на відміну від супутника, використовуються менш точні кварцові годинники, що вимагають регулярної синхронізації. Усунути помилку можна, якщо використовувати атомні годинники, аналогічні розміщеним на супутнику. Але, по-перше, це громіздко, по-друге, дорого - їх вартість близько 100000 доларів. Інше рішення - математично відняти похибка годин приймача, прийнявши сигнали точного часу від мінімум чотирьох супутників. Цей метод і застосовується в системах супутникової навігації [6].

Друге джерело помилки - час обробки сигналу в приймачі, так званий біт- тайм. Для звичайних GPS-пристроїв закладена точність в один відсоток від біт- тайму, це відповідає 10 наносекунд, для швидкості світла - це відстань 3 метри. Така точність достатня для орієнтування на місцевості, але не годиться для будівництва. Більш просунуті приймачі в професійних геодезичних пристроях або для військових цілей мають точність на кілька порядків вище і визначають положення з точністю до 300 мм [5].

Решта похибка набирається при проходженні сигналом атмосфери, тобто залежить від хмарності і погоди, від різних перешкод, - ліс, будівлі, тіло самого власника приладу та ін. На практиці максимальна точність вимірювання побутових приймачів завжди обмежена біт-таймом і становить 3-5 м навіть при використанні систем SBAS і місцевих систем передачі поправок від наземної станції на 1 км відстані між станціями (диференційний метод). До нашого часу точність штучно занижують шляхом внесення в сигнали, передані супутником, помилкових поправок [7].

Дуже частою помилкою є порівняння різних навігаторів проносом їх в «в одній кишені» зі спробою порівняти отримані треки. Крім того, що тіло людини закриває частину супутників, тут проявляється сильна інтерференція

гетеродинів приймачів - вони працюють на одній частоті (схожий ефект спостерігається у двох FM-приймачів, налаштованих на одну станцію). При правильному тестуванні навігатори розташовуються на відкритому майданчику не ближче 4 метрів один від одного.

Класифікація

Пристрої, що використовують у своїй роботі сигнал із супутників GPS, можна розділити на професійні, що володіють високою точністю визначення місцеположення і побутові. Перші в основному використовуються у військових цілях, для геодезії і картографії, а другі отримали широке застосування в різних сферах сучасного життя.

Професійне GPS обладнання (рис. 27) відрізняється якістю виготовлення компонентів (особливо антен), використанням програмним забезпеченням (ПЗ), підтримуваними режимами роботи (наприклад RTK, binary data output), робочими частотами ($L1 + L2$), алгоритмами придушення інтерференційних залежностей, сонячної активності (вплив іоносфери), підтримуваними системами навігації (наприклад NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou), збільшеним запасом електроживлення і зрозуміло, ціною.



Рисунок 27 - GPS обладнання Leica NetRover GS08

Професійні GPS-приймачі класифікуються як приймачі геодезичного класу та приймачі ГІС-класу:

- Геодезичні приймачі - пристрої, що використовуються для геодезичних робіт. Складаються з приймального блоку (геодезичної антени, поєднаної з приймально-передавальним пристроєм) і контролера (портативного комп'ютера в промисловому виконанні). Загальна назва для таких приймачів - польовий комплект або ровер;

- Приймачі ГІС-класу - являють собою промисловий варіант КПК, в який вбудовано приймально-передавальний пристрій і антена, з передвстановленим спеціалізованим ПЗ.

В цілому, геодезичні приймачі дають кращу точність визначення координат, однак розвиток технологій дозволяє деяким моделям ГІС-класу успішно їх замінювати.

Основа будь-якого GPS-приймача - це чіпсет, на якому він працює. Довгий час усі приймачі випускалися з 12-канальними чіпсетами. Крім того, що 12 каналів не достатньо для швидкого «Холодного старту» - первісного визначення свого місця розташування, такі приймачі потребували відкритому небі, так як працювали тільки з прямою видимістю супутників (мінімум 3; чим більше, тим точніше). На сьогоднішній день всі подібні приймачі вважаються застарілими і зняті з виробництва. На даний момент максимальне число каналів на професійному приймачі - 440 (два чіпсети по 220 каналів в приймачі). Оскільки навігаційні супутники віщають на різних частотах, для підвищення точності, професійне обладнання визначає координати за допомогою всіх доступних каналів всіх видимих в даний момент часу супутників. Незважаючи на те, що теоретично, кількість каналів професійного геодезичного обладнання

як вітчизняного, так і зарубіжного, можна підвищувати за рахунок установки додаткових чіпсетів, в найближче десятиліття це недоцільно, оскільки 440

каналів вистачить на одночасне стеження за всіма запущеними супутниками (що в принципі неможливо, тому приймач отримує сигнал від супутників, що знаходяться в обмеженому секторі небесної сфери).

GPS приймачі для широкого кола користувачів можна класифікувати наступним чином:

- Портативні пристрої - автомобільні (окреме портативний пристрій або вбудоване в транспортний засіб в якості бортового комп'ютера (онбордера)), туристичні, спортивні;
- Вбудовані як функціональний вузол в інші пристрої - в КПК, ноутбук або мобільний телефон;
- GPS-трекери, GPS-логгери, які ведуть запис і передачу координат на серверний центр і використовуються для супутникового моніторингу автомобілів, людей, інших об'єктів.

Перші мають власний процесор для виконання навігаційних функцій, а другі, навіть будучи оснащеними власними GPS чіпсетами, використовують для своєї роботи навігаційні програми, призначені для конкретної операційної системи основного пристрою. Як правило GPS-трекери і GPS-логгер не оснащуються власними дисплеями для відображення інформації, і служать виключно для збору, передачі та зберігання даних, які згодом можуть бути оброблені і використані в самих різних цілях, наприклад для супутникового моніторингу автомобілів.

8.3. Мережа базових станцій

Призначення мережі базових станцій (рис. 28).

Постійно діюча супутникова базова станція може служити як для забезпечення точними координатами при проведенні геодезичних вимірювань, топографічних зйомок, виносів в натуру і розбивки при будівництві об'єктів і споруд, інженерних зйомок, для контролю просторового положення зведених конструкцій, так і для безперервного моніторингу всієї споруди під час його експлуатації.

Супутникові базові станції можуть служити основою геодезичної інфраструктури об'єкта, закріплюючи систему координат споруджуваного споруди. При цьому вони можуть забезпечувати точними диференціальними поправками супутникові геодезичні приймачі, використовувані при виконанні розбивки осей споруди, винесення в натуру і монтажу конструкцій.

Постійно діюча супутникова базова станція включає в себе GNSS приймач, супутникову антену, джерело безперебійного живлення, засоби зв'язку, які встановлюються стаціонарно на спеціально підготовлене місце. Базова станція може управлятися автоматично з персонального комп'ютера (ПК) та спеціалізованого програмного забезпечення. Вона може працювати автономно, без участі оператора.

В даний час зі створенням мереж базових станцій RTK (Network RTK) з'явилася можливість працювати з ровером в мережі базових станцій замість того, щоб створювати свою власну базу.

Користувач платить за користування сервісом отримання поправок, які приймає його ровер (замість того, щоб вкладати гроші у власну базову станцію).

RTK-поправки можуть формуватися різними способами:

- Master-Auxiliary corrections (MAX);
- Індивідуальні MAX (i-MAX);
- Віртуальна базова станцій (VRS);
- Flächen-Korrektur-Parameter (FKP) - метод майданних поправок.

Мережа RTK базових станцій

Мережа базових станцій RTK являє собою деяку кількість постійно діючих GPS або GNSS приймачів (рекомендується мати мінімум п'ять базових станцій), які об'єднують накопичені супутникові дані і формують RTK поправки для роверів. Відстань між станціями не повинно перевищувати 70 км. Такі мережі і називаються мережами RTK.

Принципи роботи мережі базової станції RTK:

Основний принцип такий - всі базові станції в мережі постійно передають супутникові вимірювання на центральний пульти управління (сервер), на якому працює спеціальне програмне забезпечення, наприклад Leica GNSS Spider.

Основна мета функціонування мережі - зменшити до мінімальних значень вплив помилок, що залежать від відстані між базовими станціями і ровером, на координати, які обчислюються ровером, працюючим всередині мережі.

Раніше, в якості прикладів мережевого RTK, були згадані методи MAX і VRS, які зараз доступні на ринку. У кожному з цих методів виконується мінімізація (або моделювання) помилок з використанням різних концепцій. Залежно від обраного методу даний процес моделювання виконується або центральним сервером або безпосередньо ровером. Тому принцип обміну даними між RTK мережею і ровером для кожного методу різний, що може призводити до деяких відмінностей в ефективності, точності і надійності отримання результатів [8].

Переваги мережевого RTK

- Зникає необхідність в установці тимчасових базових станцій на вихідних пунктах;
- Равноточні визначення координат ровера;
- Забезпечення високоточних результатів при значних відстанях між базовими станціями і ровером;
- Необхідно меншу кількість станцій для покриття однієї і тієї ж території в порівнянні з кількістю станцій при використанні звичайного RTK;
- Більш висока надійність і доступність отримання RTK-поправок (навіть якщо одна з базових станцій по якійсь причині перестає функціонувати інша станція продовжує підтримувати роботу ровера).



Рисунок 28 – Схема роботи мережі базових станцій

Контрольні запитання

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 ДЖЕРЕЛ

1. Мацко П.В. Введення в геотроніку : навч. посібник / П. В. Мацко, А. М. Голубєв. – Херсон : ХДУ, 2006.–100 с.
2. Боровий В.О. Геодезичні прилади : конспект лекцій для студентів спеціальностей 6.070904 – Землевпорядкування та кадастр, 7.070908 – Геоінформаційні системи і технології. / В. О Боровий, Р. М. Літнарівч. – Чернігів : ЧДІЕіУ, 2003. - 94с.
3. Костецька Я. М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади : підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. – Львів : ІЗМН, 2000. - 324 с.
4. Мацко П.В. Космічна геодезія. Глобальні супутникові навігаційногеодезичні системи в землевпорядкуванні. – Херсон: Айлант, 2002. - 44с.
5. Лук'яненко М. Можливості використання супутникової апаратури вітчизняного виробника в геодезичних роботах. / М. Лук'яненко, А. Кривовяз, О. Орел. // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва : зб. наук пр. – Львів, 2001. С. 74-78.
6. Сайт ООО НПП «Навигационно-геодезический центр» - офіційного дистриб'ютера Leica Geosystems в Україні. [Електронний ресурс] : – Режим доступу : <http://ngc.com.ua/>
7. Літнарівч Р. М. Геодезичні прилади : конспект лекцій [Електронний ресурс] / Р. М. Літнарівч. – ЧДІЕіУ, Чернігів, 2005. – 103 с. – Режим доступу : <https://ena.lp.edu.ua>
8. Геодезичні прилади. Практикум : навч. посібник [Електронний ресурс] / За заг. ред. Т. Г. Шевченка. – 2–ге вид., доп. – Львів : Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 236 с. – Режим доступу : http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=JwU_B&S21ALL=%28%3C.%3EU%3D%D0%941%20%D1%810%20%D1%8F73-%3C.%3E%29&Z21ID=&S21SRW=dz&S21SRD=DOWN&S21STN=1&S2

1REF=10&S21CNR=20

9. Мацко П. В. Геотроніка та картографія : навч. посібник [Електронний ресурс] Проект Tempus «Географічні інформаційні в аграрних університетах» (GISAU) / П. В. Мацко, А. М. Голубєв. – Херсон: ХДУ, 2007. – 184 с. – Режим доступу : <https://mcgrp.ru/files/viewer/5009/1>
10. Костецька Я. М. Електронні геодезичні прилади : підручник [Електронний ресурс] / Я. М. Костецька – Львів : ІЗМН, 2000. – 324 с. . – Режим доступу : [https:// www.e-catalog.name](https://www.e-catalog.name)
11. Лазерний далекомір «Leica DISTO D2» 300001 : Інструкція по експлуатації онлайн [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://mcgrp.ru/files/viewer/5009/1>
12. Електронні теодоліти : керівництво користувача. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://echome.ru/elektronnyj-teodolit.html>
9. Цифровий електронний нівелір Sprinter 150/150M/250M User Manual : керівництво користувача [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://gdgeo.ru/pdf/NivelLeica/instrukziaSprinter150.pdf>
13. Електронні тахеометри SOUTH NTS-350 (R/L) : керівництво користувача [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://docplayer.ru/12237358219-Nts-350-r-l-elektronnye-taheometry-rukovodstvo-polzovatelya-ooonpk-evropromservis-g-harkov-2011-g.html>
14. Комплект приймача GNSS ZENO20 : коротке керівництво. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://www.gt-spb.ru/media/instructions/>
15. Leica Zeno 20 Android : керівництво користувача [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.gt-spb.ru/media/instructions/>.
16. GNSS RTK система SOUTH S82T : керівництво користувача [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://delgeo.ru/files/upload/rukovodstvo_S82T_SurvCE.pdf

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

Конспект лекцій

ХАЙНУС Дмитро Дмитрович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк.3,0.

Наклад 100 пр.

ДБТУ

61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44