

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**В. В. Касьянов,
Р. С. В'яткін**

ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024**

Касьянов В. В. Геодезичне забезпечення територій : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / В. В. Касьянов, Р. С. В'яткін ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 71 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. В. В. Касьянов,
канд. техн. наук, асист. Р. С. В'яткін

Рецензент

С. Г. Нестеренко, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 12 від 15.06.2023

© В. В. Касьянов, Р. С. В'яткін, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ СТВОРЕННЯ	6
ТЕМА 1 ЗАВДАННЯ НА ПРОЄКТУВАННЯ І ПОБУДОВУ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТЕРИТОРІЇ.....	6
1.1 Призначення, види та методи побудови геодезичних мереж на території України	6
1.2 Щільність та точність побудови державної геодезичної мережі.....	8
ТЕМА 2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....	12
2.1 Супутникові методи побудови державних геодезичних мереж.....	12
2.2 Основні принципи побудови супутникових геодезичних мереж	13
2.3 Закріплення пунктів міських геодезичних мереж	15
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ	17
ТЕМА 3 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЇ.....	17
3.1 Сучасні глобальні навігаційні супутникові технології вишукування	17
3.2 Використання сучасних безплотних літальних апаратів для інженерно-геодезичних вишукувань територій	21
ТЕМА 4 ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНИХ СКАНЕРІВ ТА ЛІДАРІВ.....	30
4.1 Наземне лазерне сканування територій	30
4.2 Повітряне лазерне сканування територій	32
ТЕМА 5 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИШУКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЙ	36
5.1 BIM-модельювання та лазерне сканування об'єктів території	36

5.2 Інженерно-геодезичний супровід будівництва та реконструкції об'єктів території.....	50
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЙОГО ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИДИ.....	58
ТЕМА 6 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ.....	58
6.1 Поняття геодезичного моніторингу.....	58
6.2 Нормативно-правове забезпечення геодезичного моніторингу	60
ТЕМА 7 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЇ.....	62
7.1 Реконструкція і моніторинг будівель та споруд на територіях інженерних об'єктів.....	62
7.2 Визначення технології та методів моніторингу	63
ТЕМА 8 ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИДИ МОНІТОРИНГУ	65
8.1 Види та порядок проведення робіт із геодезичного моніторингу територій.....	65
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Геодезичне забезпечення територій» є ознайомлення майбутніх фахівців з методами та засобами виконання геодезичних вимірів і їх застосуванням для вирішення завдань щодо проблем геодезії.

Вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на базові знання з Геодезії, Електронних геодезичних приладів, Геоінформаційних технологій.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен:

– застосовувати спеціалізовані знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері геодезії та землеустрою, достатні для проведення досліджень і здійснення інноваційних рішень для вишукування територій.

– використовувати різні геодезичні технології, обладнання, та процеси для комплексного вишукування територій.

– виконувати обстеження територій за допомогою фотограмметричних технологій та обладнання, виконувати діагностику та моніторинг об'єктів геодезії та землеустрою, оцінювати наслідки руйнувань різних об'єктів.

– виконувати критичний аналіз обчислення результатів геодезичних вимірювань, даних топографічних знімачів та моніторингу об'єктів території.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ СТВОРЕННЯ

ТЕМА 1 ЗАВДАННЯ НА ПРОЄКТУВАННЯ І ПОБУДОВУ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТЕРИТОРІЇ

План

1.1 Призначення, види та методи побудови геодезичних мереж на території України.

1.2 Щільність та точність побудови державної геодезичної мережі.

1.1 Призначення, види та методи побудови геодезичних мереж на території України

Геодезичні мережі є основою для вимірювання та картографування території. В Україні існує розвинена система геодезичних мереж, яка використовується для різних цілей, включаючи будівництво, картографування, землевпорядкування та наукові дослідження.

Геодезичною мережею називають систему закріплених на земній поверхні геометрично зв'язаних між собою точок, положення яких визначене в прийнятій системі координат і висот.

Геодезичний пункт – це закріплена на місцевості точка геодезичної мережі.

Розрізняють такі види геодезичних мереж:

- глобальні;
- національні (державні);
- геодезичні мережі згущення;
- знімальні геодезичні мережі;
- спеціальні (місцеві) геодезичні мережі.

Глобальна геодезична мережа охоплює всю поверхню Землі, формується за допомогою космічної геодезії на основі спостережень штучних супутників Землі. Пункти в цій мережі мають геоцентричні координати в прямокутній системі з початком у центрі мас Землі. Глобальну геодезичну мережу використовують для вирішення різних наукових і науково-технічних завдань, зокрема вивчення геодезичних сталих, фігури та гравітаційного поля Землі, аналіз переміщень і деформацій земної кори тощо. Постійне поліпшення глобальної геодезичної мережі є необхідним для ефективного вирішення наукових проблем у геодезії та інших науках.

Державна геодезична мережа (ДГМ) є основною геодезичною мережею для різних геодезичних і топографічних робіт в Україні. Вона складається з державної планової, висотної і планово-висотної мереж. Державна планова мережа має найвищу точність і складається з пунктів, чиє планове положення визначається точно. Планові геодезичні мережі створюються за допомогою астрономічного, геодезичного і супутникового методів. Астрономічний метод використовує спостереження небесних світил для визначення координат пунктів. Геодезичний метод використовує результати астрономічних спостережень для визначення координат початкових пунктів, а решту пунктів визначають за допомогою вимірювань сторін та кутів геометричних фігур. Супутниковий метод полягає у використанні спостережень супутникових навігаційних систем для визначення координат пунктів.

Висотні геодезичні мережі створюються за допомогою геометричного нівелювання, тригонометричного нівелювання або супутникового методу. Висотна геодезична мережа використовується для вимірювання висот і об'єднує нівелірні мережі різних класів. Розвиток мережі відбувається від загального до часткового принципу.

Планово-висотні геодезичні мережі визначають положення пунктів як у плані, так і по висоті з необхідною точністю.

Геодезичні мережі згущення створюються в районах, де не вистачає пунктів державної геодезичної мережі. Згущення мережі поділяють на перший і другий розряд залежно від точності та послідовності розвитку.

Знімальні геодезичні мережі використовуються для проведення зйомки контурів рельєфу та інженерно-геодезичних робіт при будівництві споруд.

Спеціальні (місцеві) геодезичні мережі створюються в особливих випадках, коли потрібні точки з високою точністю для вирішення певних завдань. Зазвичай вони мають власну систему координат для зменшення редуційних поправок.

Державна геодезична мережа призначена для поширення єдиної системи координат на всю територію країни, вирішення фундаментальних наукових, економічних і технічних завдань геодезії та картографії.

1.2 Щільність та точність побудови державної геодезичної мережі

Щільність та точність побудови державної геодезичної мережі визначаються докладністю розташування та взаємними зв'язками геодезичних точок. Ці параметри мають велике значення для забезпечення точності вимірювань, картографування, планування та вирішення різних геодезичних задач.

Щільність геодезичної мережі вказує на кількість геодезичних точок на одиницю площі. Зазвичай загальнодержавна геодезична мережа має меншу щільність, оскільки ця мережа призначена для покриття значних територій та забезпечення широкого спектру додаткових завдань. Місцева геодезична мережа, натомість, має вищу щільність, оскільки вона призначена для забезпечення більш деталізованої та точної інформації на обмежених територіях, наприклад у містах чи на окремих будівельних ділянках.

Точність побудови геодезичної мережі вказує на відповідність координат геодезичних точок реальному географічному простору. Вона визначається, як похибка між виміряними координатами точки та її дійсними координатами. Для

державної геодезичної мережі встановлюються високі стандарти точності, зазвичай в міліметрах або сантиметрах, залежно від типу мережі та призначення.

Одержання високої точності потребує застосування високоточних геодезичних інструментів, методів вимірювання та обробки даних, а також дотримання чітких стандартів інструментального контролю. Крім того, важливу роль у досягненні точності геодезичної мережі відіграють контрольні пункти, які забезпечують постійний зв'язок із мережею, усувають систематичні похибки та поліпшують глобальну точність.

Загалом, щільність та точність побудови державної геодезичної мережі в Україні залежать від її призначення, географічного розташування, доступності ресурсів та потреб користувачів. Державні організації, відповідальні за геодезичне забезпечення, постійно працюють над поліпшенням щільності та точності мережі для забезпечення надійних геодезичних даних для різних галузей діяльності.

Кількість пунктів ДГМ на території України така: 806 геодезичних пунктів I класу; 6 467 геодезичних пунктів II класу; 11 069 геодезичних пунктів III класу; 13 662 геодезичних пунктів IV класу; 9 023 реперів I класу; 8489 реперів II класу.

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

Для геодезичного забезпечення топографічної зйомки встановлюються такі норми щільності геодезичних пунктів та реперів Державної геодезичної мережі:

– у масштабі 1 : 25 000 та 1 : 10 000 – один пункт на 30 км² та один репер на трапецію масштабу 1 : 10 000;

– у масштабі 1 : 5 000 – один пункт на 20–30 км² та один репер на 10–15 км²;

– у масштабі 1 : 2 000 і більше – один пункт на 5–15 км² та один репер на 5–7 км².

Для топографічної та кадастрової зйомки в масштабі 1:2 000 і більше, як доповнення до геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі, визначаються пункти геодезичних мереж згущення та знімальних геодезичних мереж.

У разі використання супутникових геодезичних методів для визначення геодезичних пунктів знімальних геодезичних мереж можливе обґрунтоване зменшення щільності геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі.

Для вирішення наукових завдань геодезії астрономо-геодезичну мережу необхідно побудувати з найвищою точністю, досягнутою при масових вимірюваннях. Для поетапного картографування території країни в масштабах 1 : 100 000 – 1 : 50 000, 1 : 25 000 – 1 : 10 000, 1 : 5 000 – 1 : 2 000 державна геодезична мережа за точністю повинна забезпечувати топографічне знімання найбільш крупного масштабу, тобто 1 : 2 000.

Точність астрономічних визначень характеризується такими середньоквадратичними помилками: астрономічної широти – 0,19", астрономічної довготи – 0,025", астрономічного азимута – 0,33".

Точність вимірювань горизонтальних кутів в мережах I, II, III та IV класів, обчислена за нев'язками трикутників, характеризується середньоквадратичними помилками 0,64", 0,83", 1,19" і 1,54" відповідно, а точність кутових вимірювань, обчислена за нев'язками замкнутих фігур у полігонометрії, дорівнює 1,4" і 1,7" відповідно для пунктів III і IV класу.

Точність лінійних вимірювань в геодезичній мережі згущення III і IV класів характеризується такими відносними середньоквадратичними помилками: для пунктів III класу – 1 : 46 000 – 1 : 158 000, для пунктів IV класу – 1 : 46 000 – 1 : 130 000.

Точність визначення взаємного положення пунктів ДГМ характеризується середньоквадратичною помилкою 0,196 метрів.

Контрольні запитання

1. Які існують види геодезичних мереж?
2. У якій системі координат зазвичай створюються спеціальні геодезичні мережі?
3. Щільність якої геодезичної мережі більша – місцевої чи загальнодержавної?
4. Як характеризується точність визначення взаємного положення пунктів ДГМ?

ТЕМА 2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

План

- 2.1 Супутникові методи побудови державних геодезичних мереж.
- 2.2 Основні принципи побудови супутникових геодезичних мереж.
- 2.3 Закріплення пунктів міських геодезичних мереж.

2.1 Супутникові методи побудови державних геодезичних мереж

Використання відносного методу для визначення координат дозволяє вимірювати вектори між пунктами з точністю у міліметровому діапазоні, тому встановлюються вимоги до точності вихідної планово-висотної основи. Для розвитку геодезичної служби та спеціальних мереж використовуються пункти з середньою квадратичною похибкою взаємного положення не більше $5 + 2 \times 10^{-7} D$ мм для кожної планової координати і $7 + 3 \times 10^{-7} D$ мм для геодезичних висот.

СГС-1, яка буде створена в майбутньому, відповідає цим вимогам. До її побудови також можна використовувати пункти існуючої *АГС* як вихідної основи. На об'єктах площею до 100 км² кількість пунктів вихідної планової мережі повинна становити не менше трьох, розташованих рівномірно по межі об'єкта і з відстанню між ними не більше 60 км. Додаткові вихідні пункти можуть бути розташовані всередині об'єкта робіт.

У мережах витягнутої форми вихідні пункти повинні розташовуватися на початку, посередині й наприкінці мережі, із відстанню між ними не більше 60 км. Вимірювання супутниковими методами використовуються для визначення геодезичних висот пунктів. Для переходу від геодезичних до нормальних висот необхідно знати висоту квазігеоїда (геоїда) над еліпсоїдом, яка змінюється через хвилеподібні поверхні геоїда. Висоту геоїда над еліпсоїдом можна виміряти безпосередньо на об'єкті робіт за допомогою

супутникових вимірювань на реперах існуючої висотної мережі або спеціальної прив'язки пунктів створюваної до неї мережі.

На об'єктах площею до 100 км² кількість реперів вихідної висотної мережі повинна становити не менше чотирьох, розташованих рівномірно по межі і всередині об'єкта. У гірських районах, де варіації геоїда є значними, кількість реперів вихідної висотної мережі повинна збільшуватися в 1,5–2 рази. На об'єктах з витягнутою формою ширина об'єкта не повинна перевищувати 5 км, і відстань між реперами вихідної висотної мережі повинна бути не більше 5 км. При більшій ширині об'єкта необхідно знати додаткові реperi нівелювання, розташовані по обидва боки об'єкта.

2.2 Основні принципи побудови супутникових геодезичних мереж

При створенні і реконструкції геодезичних мереж із застосуванням супутникової технології геометрична форма мережі не впливає на точність визначення координат. У разі використання результатів супутникових вимірювань для визначення геометричних елементів (довжин ліній і кутів) у традиційних побудовах (триангуляція, трилатерація, полігонометрія) необхідно дотримуватися встановлених відповідними інструкціями вимог щодо форми мережі. Зрівняльні обчислення в таких мережах виконуються за звичайними програмами, що застосовуються в традиційних геодезичних методах.

При використанні супутникової технології рекомендується використовувати дві схеми побудови мереж:

- 1) замкнутих геометричних фігур (полігонів);
- 2) радіальна.

Побудова у вигляді замкнутих геометричних фігур становить систему пунктів з визначенням векторів між ними так, щоб вони утворили замкнуті геометричні фігури (полігони). Форма мережі наведена на рисунку 2.1.

Побудова у вигляді радіальних мереж становить систему пунктів з визначенням векторів між приймачем і мобільним приймачем. Ці вектори вважаються «висними». Зразок радіальної мережі наведений на рисунку 2.2.

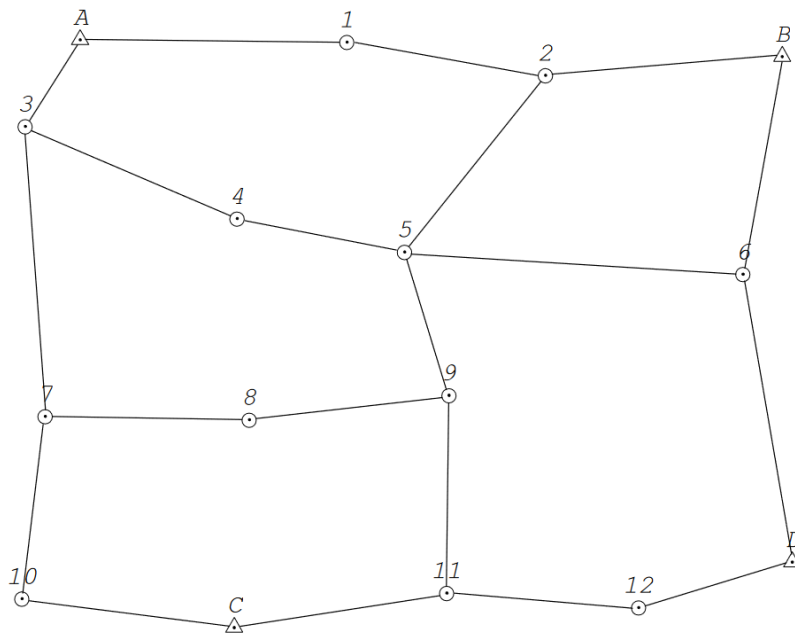


Рисунок 2.1 – Замкнена мережа

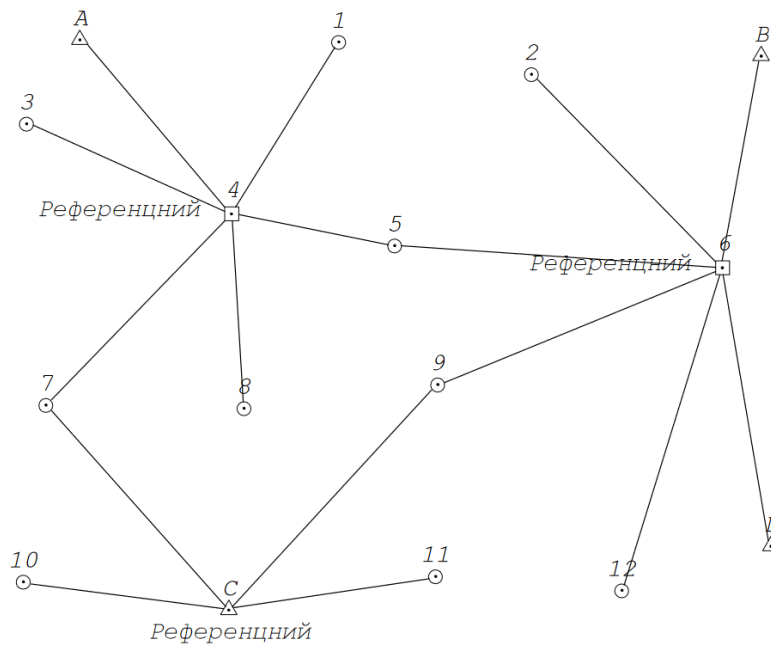


Рисунок 2.2 – Радіальна мережа

2.3 Закріплення пунктів міських геодезичних мереж

Для закріплення пунктів міських геодезичних мереж встановлюються певні вимоги, які забезпечують їхню точність і надійність. Основні вимоги до закріплення пунктів міських геодезичних мереж можуть включати таке:

1. Щільність мережі. Пункти мережі повинні розташовуватися з достатньою щільністю для забезпечення точності геодезичних вимірювань у межах міста. Розташування пунктів повинне враховувати особливості міської забудови і інфраструктури.

2. Горизонтальна точність. Пункти мережі повинні закріплюватися з достатньою горизонтальною точністю для вимірювання планових координат із необхідною точністю в межах міста. Вимоги до горизонтальної точності можуть залежати від конкретних потреб і стандартів, але зазвичай вони становлять декілька міліметрів або менше.

3. Вертикальна точність. Пункти мережі також повинні закріплюватися з достатньою вертикальною точністю для вимірювання висот із потрібною точністю в межах міста. Вимоги до вертикальної точності також можуть залежати від конкретних потреб і стандартів, але зазвичай вони становлять декілька міліметрів або менше.

4. Матеріали та методи закріплення. Для закріплення пунктів мережі використовуються різноманітні матеріали та методи, зокрема сталеві або бетонні кілки, гвинтові основи, бетонні фундаменти тощо. Вибір матеріалів та методів залежить від умов місцевості, сталості закріплення та інших факторів.

5. Постійність і доступність. Закріплені пункти мережі повинні бути стійкими і доступними для подальших вимірювань і контролю. Вони повинні залишатися незмінними протягом тривалого часу і не пошкоджуватися, не має змінюватися їхнє розташування.

Загальною метою вимог до закріплення пунктів міських геодезичних мереж є забезпечення точності і надійності вимірювань у межах міста, щоб

вони могли бути використані для проєктування, будівництва, картографії, просторового аналізу та інших цілей, пов'язаних із міським середовищем.

Геодезичні пункти необхідні для виконання топографічних зйомок, оновлення карт і планів, при вишукуванні споруд, корисних копалин тощо, розробленні генеральних планів, зведенні і розмічуванні споруд, тому пункти державних геодезичних мереж і мереж згущення (планових і висотних) повинні надійно закріплюватися для тривалого зберігання. Геодезичні пункти закріплюють ґрунтовими та стіновими знаками постійного, а для знімальних мереж – тимчасового типу.

Пункти триангуляції, трилатерації і полігонометрії закріплюють на місцевості за допомогою закладання у землю спеціальних знаків. Залежно від кліматичних умов і фізичних властивостей ґрунту конструкція знаків буває різною.

Контрольні запитання

1. Що потрібно знати для переходу від геодезичних висот до нормальних висот?
2. Як змінюється кількість реперів вихідної висотної мережі у гірських районах?
3. Які дві основні схеми побудови мереж рекомендується при використанні супутникової технології?
4. Чи впливає геометрична форма мережі при створенні і реконструкції геодезичних мереж із застосуванням супутникової технології?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ

ТЕМА 3 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЇ

План

3.1 Сучасні глобальні навігаційні супутникові технології вишукування.

3.2 Використання сучасних безпілотних літальних апаратів для інженерно-геодезичних вишукувань територій.

3.1 Сучасні глобальні навігаційні супутникові технології вишукування

Супутникова навігаційна система – це складна електронна технічна система, що складається з набору космічного та космічного обладнання і призначена для визначення місця в просторі (розташування в географічній системі координат) і часу, а також параметрів руху, швидкості, напрямку для наземних, водних та повітряних об'єктів [1].

GNSS призначений для визначення просторових координат місця розташування та вектора швидкості користувачів, а також точного часу.

Більшість структур *GNSS* складаються з трьох основних частин (рис. 3.1):

- сегмент космічних кораблів;
- управління та сегмент управління;
- сегмент споживчого обладнання.

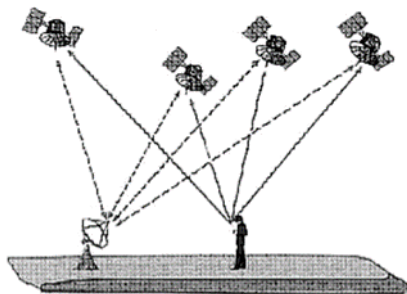


Рисунок 3.1 – Склад та робота системи *GPS*.

Основи методики ведення GPS-зйомки

Геодезичні роботи з використанням *GPS*-обладнання можна розділити на три основні етапи:

- планування;
- польова частина робіт (супутникові спостереження);
- розроблення результатів вимірювань.

У плані роботи були визначені закриті точки (перешкоди для супутникових сигналів), враховуючи не тільки мережу нерухомих точок, але й вибір оптимальних сезонів доби, найкращих геометричних параметрів, розташування та умов супутникових зірок. Зазвичай планування на поточний та наступні дні є достатнім для координаційного центру пропонованої штатної області.

Планування здійснюється за допомогою спеціальної програми на персональному комп'ютері, а далі результати відображаються на екрані дисплея або принтері в буквено-цифровому або графічному вигляді. Це програмне забезпечення є частиною загального програмного забезпечення.

Польовою частиною методології є зйомки, які проводяться за планом. Вимірювання проводяться в диференціальному режимі, потрібні принаймні два приймачі з антенами.

Існує кілька методів супутникового спостереження. За кількома розрізнявальними критеріями (час спостереження в точці, вимоги до кількості спостережуваних супутників, надмірність даних, структура запису даних, склад використовуваних інструментів, технологія процедур) їх можна розділити на дві основні групи – статичні та кінематичні.

Статичний метод вважається «класичним» методом супутникових вимірювань. Метод передбачає, що тривалі вимірювання виконуються одночасно між двома або більше стаціонарними приймачами. Під час вимірювання змінюється геометричне положення супутників, що відіграє

важливу роль у визначенні двозначності. Великий розмір вимірювання дозволяє записувати журнали циклів та правильно їх моделювати [1].

Статичний метод використовується для високоточної роботи, вимірювання векторів на відстані 15–20 км, а також для обмежених вікон спостереження з мінімальною кількістю супутників.

Кінематичний метод включає:

- метод «зупинка / рух»;
- метод *RTK*.

Метод «зупинка / рух» базується на статичному методі. Це найшвидший спосіб отримати детальне топографічне зображення. Метод застосовується для обстеження відкритих територій, доріг, трубопроводів та інших лінійних споруд. Метод добре працює на невеликих відстанях між вогневими точками та базовою станцією. Це найшвидший та найекономніший метод, для спостереження потрібні лише 4 супутники, і його можна виконати на будь-якому транспортному засобі або пішки. Основним недоліком є те, що сигнали принаймні з чотирьох супутників не повинні перериватися.

Принаймні два приймачі *GPS* задіяні для вимірювань *stop / go*. Один приймач встановлений у точці з відомими координатами (зазвичай точки ДГМ), а другий працює на ньому під час зображення. Перший супутник називається приймальною базою (базовою станцією), другий – ровером (мобільним). Мобільний приймач можна транспортувати, тоді як мобільний забезпечує його «відкритим небом» для супутникової антени. Для визначення координат приймач розміщується в точці у стаціонарному режимі, включається режим стрільби і приймає сигнали від супутника протягом від 5" до 2 хвилин. Потім режим стрільби відмикає сигнали від супутників і переходить на новий пікет.

Робот в режимі «залишатися / йти» зберігається у двох частинах:

- ініціалізація;
- мобільні деталі.

Ініціалізація необхідна для того, щоб зв'язати початкову неоднозначну значущість під час постобробки в режимі «Стоп / йди» і складається з двох етапів:

- ініціалізація;
- мобільна частина.

Ініціалізація необхідна для вирішення початкової неоднозначності в подальшій обробці за допомогою програмного забезпечення, мобільною частиною якого є вилучення роботизованого об'єкта.

Ініціалізація та подальша мобільна частина називається посиленням «зупинка / рух». Якщо отримано повідомлення про втрату супутникових сигналів або сигналів менш ніж з чотирьох супутників, то потрібно знову запустити лінію спостереження, тобто здійснити повторну ініціалізацію.

Ініціалізація здійснюється одним із трьох способів:

1. Основний приймач встановлюється в точці з відомими координатами. Мобільний приймач встановлюється в будь-який час. Приймачі вмикаються і працюють протягом 20–30 хвилин за один раз, після чого ровер виконує мобільну частину. Основний приймач не вимикається до кінця роботи. Цей метод ініціалізації також називається «швидким статичним режимом».

2. Основний і мобільний приймачі встановлюються в точках із відомими координатами. Вимірювання вектора між точками проводиться через 5–10 хвилин.

3. Статичне вимірювання з модифікацією антени. Два приймачі виконують статичні вимірювання протягом 5 хвилин, після чого антени на приймачах змінюються і спостереження триває протягом 5 хвилин. Точність визначення координат точок в режимі «Зупинка / поїздка» становить $1\text{--}2 \text{ см} \pm 1 \text{ р}$. При роботі в режимі «стоп / іди» приймач встановлює «статичний» режим, а мобільний «кінематику». Обидва одержувачі повинні мати режим збору даних. Дискретність запису даних повинна бути однаковою для обох одержувачів. Зазвичай дискретність запису даних дорівнює 3, 4 або 5 секунд.

3.2 Використання сучасних безпілотних літальних апаратів для інженерно-геодезичних вишукувань територій

Безпілотні літальні апарати (БПЛА, зрідка БЛА), або дрони, зарекомендували себе, як надійна технологія для створення карт, планів та інших продуктів геоданих.

В автономному режимі, але під пильним контролем оператора, БЛА (БПЛА) здатні виконувати різні варіанти аерофотозйомки для створення фото та відеопродукції, виготовлення картографічної продукції та 3D-моделей, моніторингу змін і виконання різноманітних розрахунків. Щоб виконати аерофотозйомку, нам не потрібен аеродром та поєднана з ним складна інфраструктура.

Аерофотозйомка і тепер залишається найбільш продуктивним методом документування стану місцевості. Раніше аерофотозйомка з повітря виконувалася тільки із використанням великих літаків. Такий підхід супроводжувався певними обмеженнями. Було економічно недоцільно виконувати аерофотозйомку невеликих об'єктів, а роздільна здатність знімків значною мірою залежала від регламентних і технічних обмежень щодо використання літака й повітряного простору. Поява БПЛА все змінила.

Погляд згори завжди давав можливість оцінити ситуацію більш комплексно, побачити приховане, зміни. Аерофотозйомка із використанням БЛА (БПЛА) дозволяє отримувати знімки із роздільною здатністю менше 1 см на піксель. Необхідна (доцільна) детальність зйомки визначається цілями проекту або площею дослідження. Можливість розрізнити на знімках найдрібніші деталі, їх автоматизована обробка та аналіз дозволяють створювати інтелектуальні продукти геоданих, які описують місцевість та процеси, що відбуваються на ній. Кожен піксель зображення може містити критичні дані про місцевість або об'єкт. Більшість таких проектів супроводжуються процесами польового дешифрування результатів аерофотозйомки, тобто, окрім зображень,

надаються ситуаційний план та опис характеристик точок цікавості (POI), які неможливо отримати з повітря.

Досягнення очікуваних параметрів якості кінцевої продукції базується на професіоналізмі операторів, технічних можливостях БЛА та камер, дотриманні технічних вимог та контролі якості кожного етапу виконання робіт. Проект починається з дуже ретельного планування маршрутів зйомки та їх перекриття, оскільки ці параметри мають критичний вплив на точність та якість кінцевого продукту. Найкращий варіант обирають залежно від цілей проекту, конфігурації об'єкту зйомки, вимог до кінцевого результату, строків та очікуваної вартості. Для досягнення необхідних параметрів точності аерофотозйомки розробляється проект планово-висотної прив'язки, що гарантує необхідну надійність даних та досягнення вимог чинних інструкції і нормативних актів щодо точності готової картографічної продукції.

Результати аерофотозйомки становлять основу для виробництва численних похідних продуктів геоданих, які можуть бути використані для різних напрямів професійної діяльності клієнта: проектування, будівництва, аудиту та документування, моніторингу змін, розроблення земельної та містобудівної документації, аналізу ризиків техногенного і природного походження, імітаційного моделювання, пошуку інвесторів тощо.

Глибоке розуміння технологій дозволяє об'єднувати в єдину модель різні дані, отримані в результаті аерофотозйомки, картографії, лазерного сканування, батиметричних досліджень, геодезичного моніторингу, геологічних досліджень та гідродинамічного моделювання. Гнучкість технологій на базі БЛА дозволяє доповнити та поліпшити будь-який проект за рахунок швидкого та недорогого виробництва актуальних, детальних і надійних локальних даних про об'єкт, без проблем із доступом до нього та пов'язаних із дослідженням ризиків. Однак рішення, які базуються на використанні БЛА, мають певні технологічні обмеження [1].



Рисунок 3.2 – Приклад БПЛА, який виконує аерофотозйомку

На рисунку 3.2 зображено, як БПЛА, перебуваючи в повітрі, виконує аерофотозйомку. Це квадрокоптер *DJI* серії *Phantom*, який наразі дуже поширений, також він має свій модуль камери, яка керується з пульта оператора БПЛА.



Рисунок 3.3 – Комплектування БПЛА

На рисунку 3.3 зображено комплект БПЛА та додаткового обладнання, що використовується для топографічних вишукувань і аерофотозйомки.

Класифікація БПЛА за технічними характеристиками

У світі вже існує понад 500 виробників БПЛА. «Безумовним лідером з виробництва бойових дронів є Ізраїль, адже країна не один десяток років живе в умовах військових конфліктів і зацікавлена в ефективних рішеннях, які дозволяють зберегти життя військових. Серед виробників цивільних дронів лідирує китайська компанія *DJI*.

DJI поки що утримує близько 75 % світового ринку. Другим за популярністю у світі брендом дронів є французький *Parrot* – це перші БПЛА, які потрапили на полиці *Apple Store* і стали першим масмаркет-дроном у світі. Третій лідер – *Yuneec*. Ці дрони завоювали популярність, позиціонуючи себе як якісний американський продукт з можливістю професійного застосування.

Французький бренд *Parrot* вийшов на другу позицію завдяки створенню напряму промислових рішень, популярних серед українських аграріїв. Також на українському ринку присутня продукція компаній *Aee*, *Sky-hero*, *Yuneek*, *Zerotech*, *Xiaomi* та інших. Загалом вони займають незначну частку ринку безпілотних платформ.

Перспективну нішу стали оперативно освоювати і вітчизняні компанії. За кілька років до розробки військових і цивільних дронів долучилося понад 10 підприємств: «Антонов», «Атлон Авіа», «Політеко-Аеро», «ДеВіРо», «Меридіан», *UA Technology*, *Ukrspesystems*, «Карболайн», *DroneUA*, *Spaitech*, *Kray Technologies*, «Айтек» тощо.

На сьогодні українські виробники цивільних дронів займають близько 7 % внутрішнього ринку. Деякі компанії намагаються працювати і на експорт. Наприклад, *Kray Technologies* випускає безпілотники для агросектора, освоює ринки США і Канади. За оцінками компанії, підприємства цих країн вкладають у купівлю агродронів близько 1,8 млрд дол. на рік.

Вітчизняні підприємства можуть бути конкурентними за рахунок низької вартості виробництва і високого рівня інженерів в авіабудуванні.

Українські платформи цілком конкурентні на глобальних ринках, однак наразі є проблеми з ціноутворенням і зайвими витратами на ведення бізнесу, пов'язаного з технологіями подвійного призначення. Коштовні і тривалі процедури сертифікації обладнання, питання до процесу відшкодування ПДВ і складності на різних етапах не дають можливості українським виробникам відчувати себе так само вільно, як зарубіжні колеги. Проте близько 10-ти українських розробників цілком можуть стати світовими гравцями.

До недавнього часу в Україні основним промисловим сегментом, який використовував дрони, залишалася сільськогосподарська галузь. Подекуди вона становила 95 %. У 2017 році кожен четвертий дрон в Україні працював в інтересах сільського господарства. Сукупний земельний банк підприємств, які працюють з дронами, перевищує 4,5 млн га.

Найбільш популярними сервісами є агромоніторинг за допомогою дронів і створення карт полів для пайового обліку підприємств. Також затребувані послуги зі створення карт засміченості рослин, підрахунку сходів і розрахування вегетаційних індексів. Також багато підприємств зараз цікавляться послугами зі створення карт диференційованого внесення азотних добрив і засобів захисту рослин за допомогою дронів.

Безпілотники стали активно застосовуватися в геодезії і топографії. Останнім часом низка великих видобувних компаній теж розпочали роботу з дронами для оцінки обсягів видобутої породи та вимірювальних робіт [2].

Нещодавно деякі підприємства запустили пілотні проекти з моніторингу енергомереж. Дрони обладнуються сканером, відеокамерою і тепловізором. Після обробки отриманої інформації фахівці компаній матимуть чіткі дані про проблемні ділянки мереж, отримають зображення дефектів, які неможливо побачити з землі, або важкодоступних місць. Нові технології допомагають скоротити час на пошук аварійних ділянок і поліпшити якість електропостачання споживачів, оскільки дані дозволяють здійснювати ремонт аварійних ділянок превентивно – на етапі, коли пошкодження ще незначні і не призвели до аварійної ситуації.

Надалі дрони почали використовуватися в багатьох галузях. Найбільш затребувана сфера – логістика. Це перша і остання миля будь-якого логістичного ланцюжка. І зараз технологія готова до впровадження, проте недосконалість і неготовність регуляторних політик не дають змоги застосувати ці технології в доставці. Наприклад, «Нова пошта» вже кілька разів заявляла про бажання використовувати дрони. ЖКГ – для енергоаудиту будинків, лісництво – для боротьби з незаконною вирубкою, охоронні підприємства – для виявлення порушників.

Деякі види дронів розвивають швидкість до 75 км/год, втекти від них зловмисникові доволі важко. До того ж на дрони монтуються тепловізори, вночі безпілотник може «побачити», як відбувається процес охорони і виявити порушника.

Важливим пунктом для розвитку цього ринку в Україні має стати наявність простих і прозорих правил використання БПЛА. Законодавче регулювання може стимулювати розвиток галузі, але може й припинити. Тимчасовий порядок використання повітряного простору, ініційований Державіаслужбою, спричиняє безліч питань і нарікань у «безпілотної» спільноти.

Для аерофотозйомки використовують професійні БЛА (БПЛА) та камери. Використання двочастотних *GPS*, технологій *PPK/RTK*, камер із великою матрицею та об'єктивів без дисторсії та хроматичних аберацій, оцифрування по стереозображеннях дозволяє із легкістю виконувати вимоги щодо створення топографічних планів масштабу 1 : 5 000 – 1 : 1 000 та частково 1 : 500. Результати аерофотозйомок проходять польовий контроль точності готової продукції. Порівняно з літаком чи гелікоптером за розміром дрони мініатюрні, не мають палива на борту, обладнані парашутною системою та дублюючими навігаційними системами і не можуть завдати шкоди об'єктам інфраструктури та спорудам [5].

Існує декілька характеристик БПЛА:

1. Базові, до них можна віднести такі параметри:

- автономність польоту;
- максимальна швидкість дрона;
- максимальна висота польоту;
- кількість двигунів та гвинтів (трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер тощо);
- тип органу керування (свій пульт з дисплеєм та ПЗ або під'єднаним до смартфона);
- наявність додаткових захисних елементів, дуг тощо.

Кожен виробник БПЛА має визначений обсяг параметрів, які можуть відрізнятися. Також наявність тих чи інших параметрів та їх максимальне значення залежать від вартості та моделі БПЛА.

До додаткових характеристик БПЛА можна віднести спеціалізовані модулі та обладнання, яке встановлюється на дрон для досягнення визначеної мети.

2. Професійні, у галузі геодезії, землеустрою, аерофотозйомки: використовуються модулі, які встановлюють на БПЛА – *RTK*-модулі.

Дрони із вбудованою системою позиціонування *RTK* – це не майбутнє, а реальність.

RTK (Real Time Kinematic) у перекладі означає «кінематика реального часу». Інакше кажучи, це сукупність різних способів отримання планових координат місцевості сантиметрової точності за допомогою супутникової системи навігації. Вперше цей метод був виявлений у середині 90-х рр., але тривалий час перебував на стадії розробки. Останнім часом ця технологія стає все більш популярною в галузі точного землеволодіння, сільського господарства, будівництва, видобутку корисних копалин тощо.

У *RTK* використовується двочастотне обладнання. Передані дані – це вимірювання фазової корекції в реальному часі для мобільного приймача *GNSS*. Коли одна пара приймачів перебуває на одній висоті, то існує висока ймовірність того, що атмосферні перешкоди будуть однакові для обох. Ґрунтуючись на вимірних координатах, опорний приймач здатний обчислити

поправки до координат і передати їх на мобільний пристрій. Останнім часом більшість країн цікавляться розробленням станцій та мережі для *RTK*. Будь-який оператор може скористатися перевагами *RTK* в діапазоні базових станцій.

Однак зрозуміло, що будь-які радіосигнали, які передають нам супутники, можуть зазнавати різних порушень через шум від рухомих об'єктів або атмосферної неоднорідності.

Сучасні супутники можуть визначити будь-яку точку на поверхні до міліметра, але якщо сигнал спотворюється, він свідчить про пляму в розмірі від 5 до 100 метрів. Такі деформації можна зменшити за допомогою наземної інфраструктури *RTK*.

Інакше кажучи, система *RTK* забезпечує позиціонування з точністю до міліметра.

Завдяки дронам із вбудованою системою *RTK* можна створити позиціонування в режимі реального часу з точністю до міліметра та мінімальною похибкою метаданих. Зараз більшість компаній-виробників квадрокоптерів випускають БПЛА із вбудованою системою *RTK* (рис. 3.4).

РРК – обробка і трансформація центрів збору даних. На кар'єрах поширена практика щодо використання місцевих систем координат і власних диференціальних базових станцій. У цьому випадку, з огляду на особливості підприємства, було прийнято рішення щодо використання технології РРК (*Post Processing Kinematic*) замість *RTK* (*Real Time Kinematic*) для отримання координат центрів фотографування з сантиметровою точністю. Ця технологія дозволяє виконати зрівняння траєкторії польоту щодо базової станції кар'єру вже після виконання польоту (в офісі для цього необхідна наявність даних *Rinex* з дрона і базової станції, щодо якої здійснюється порівняння).



Рисунок 3.4 – БПЛА з *RTK* модулем (*DJI Matrice 300 RTK*)

Контрольні запитання

1. Що таке супутникова навігаційна система?
2. Назвіть три основні етапи геодезичних робіт з використанням *GPS*-обладнання.
3. Назвіть розділи характеристик БПЛА.
4. Що таке система *RTK*?
5. Перелічіть основні переваги та недоліки дронів із вбудованою системою *RTK*.

ТЕМА 4 ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНИХ СКАНЕРІВ ТА ЛІДАРІВ

План

4.1 Наземне лазерне сканування територій.

4.2 Повітряне лазерне сканування територій.

4.1 Наземне лазерне сканування територій

Лідар (транслітерація *LIDAR*, англ. «*Light Identification, Detection and Ranging*») – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Лідар як прилад становить, як мінімум, активний далекомір оптичного діапазону. Сканувальні лідари в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору. Атмосферні лідари здатні не тільки визначати відстані до непрозорих цілей, що відбивають світло, а й аналізувати властивості прозорого середовища, що розсіює світло. Різновидом атмосферних лідарів є доплерівські лідари, що визначають напрям і швидкість переміщення повітряних потоків у різних шарах атмосфери.

Усталений переклад *LIDAR* – «лазерний радар» не цілком коректний, тому що в системах ближнього радіуса дії (наприклад, призначених для роботи в приміщеннях) головні властивості лазера – когерентність, висока щільність і миттєва потужність випромінювання – не затребувані, випромінювачами світла в таких системах можуть слугувати звичайні світлодіоди. Однак, в основних сферах застосування технології (дослідження атмосфери, геодезія та картографія) з радіусами дії від сотень метрів до сотень кілометрів застосування лазерів є обов'язковим.

Методи наземного лазерного сканування відомі з початку 90-х років минулого століття, швидко розвиваються протягом останніх десяти років і

полягають у вимірюванні з високою швидкістю відстаней від сканера до точок об'єкта та реєстрації відповідних напрямів (вертикальних і горизонтальних кутів), тому величини, що вимірюються, аналогічні до тих, що застосовуються при тахеометричній зйомці. Проте, на відміну від останнього, результатом роботи наземного лазерного сканування є хмара точок (тривимірне зображення – сканування) всього об'єкта, а не окремо виміряні точки. Отже, в результаті наземного лазерного сканування отримують надлишкові виміри, для опрацювання і зберігання яких необхідні потужні комп'ютерні ресурси.

За призначенням метод НЛС включає системи мобільного лазерного сканування, які застосовують для сканування лінійних об'єктів (залізниць, тунелів, автодоріг), та системи стаціонарного лазерного сканування, які використовують (залежно від значення відстані) для вирішення багатьох прикладних завдань – моніторинг, топографічна зйомка, у промисловості, цивільному будівництві, відтворенні об'єктів тощо. Система мобільного лазерного сканування є різновидом мобільної системи картографування (МСК – англ. *Mobile Mapping System*).

МСК складається з таких блоків: лазерних сканерів і/або цифрових камер для визначення координат об'єктів дорожньої інфраструктури, ГНСС та інерційної навігаційної системи (ІНС) для орієнтування мобільної картографічної системи. До того ж ІНС забезпечує високоточне орієнтування МСК в тих випадках, коли неможливо використовувати ГНСС (тунелі, щільна забудова тощо). Мобільною платформою основних блоків може бути автомобіль або безпілотний літальний апарат (БПЛА). Точність геопросторових даних, отриманих в результаті мобільного лазерного сканування при створенні автомобільних ГІС, коливається від метра до десятка сантиметрів, а при скануванні залізничних колій – від декількох сантиметрів до міліметрів [3; 4].

Поєднання методів цифрової фотограмметрії та наземного лазерного сканування стало можливим завдяки досягненням у приладобудуванні. Серед сучасних приладів, які об'єднують кілька методів збирання геопросторових даних, можна виокремити такі: наземні лазерні сканери з інтегрованою

цифровою камерою (на додаток інколи з відеокамерою), електронні роботизовані тахеометри з функцією сканування, електронні роботизовані фототахеометри з функцією сканування, наземні лазерні сканери з окремою цифровою камерою, мобільні картографічні системи. Дотого ж МКС поєднує методи наземної фотограмметрії, наземного лазерного сканування, ГНСС та інерційних навігаційних систем. Сучасні електронні роботизовані тахеометри, лазерні трекери можна вважати простим 3D лазерним сканером, який призначений для вимірювання одиничних точок. Отже, зазначені методи вимірювання можна об'єднати, використовуючи переваги кожного.

Лазерні сканери та тахеометри можуть оснащуватися цифровими камерами для отримання справжніх кольорових зображень вимірюваного об'єкта або для опрацювання зображень, наприклад, автоматичного вимірювання цілей або реконструкції поверхні за допомогою опрацювання стереозображень. Також 3D-хмари точок, отримані в результаті наземного лазерного сканування, можуть поєднуватися з інформацією зображення різними способами, наприклад: для візуалізації, ідентифікації і вимірювання точок об'єкта, створення ортофотопланів або з метою реєстрації [5; 6].

4.2 Повітряне лазерне сканування територій

Модулі *LIDAR* також встановлюються на БПЛА з *RTK*, що дозволяє отримати хмару точок певного об'єкта з прив'язкою у потрібній системі координат. Це дуже потужний інструмент, який дозволяє виконувати практично будь-які завдання у картографії, топографії, геодезії та інших напрямках.

На прикладі автономного літального сканера *Leica BLK2FLY* розглянемо комплекс можливостей, які можна застосовувати у цій галузі.

Інноваційне рішення від *Leica Geosystems. BLK2FLY* – перший у світі повністю інтегрований БПЛА з технологією *LiDAR*. Це самостійний літальний лазерний сканер із удосконаленою функцією обходу перешкоди для зручного охоплення реальності з висоти. Він призначений для зйомки екстер'єрів

будівель, конструкцій та навколишнього середовища і створює хмару точок під час роботи.

Літальний лазерний сканер – нове рішення, максимально просте у використанні, але ефективно при виконанні знімальних робіт різної складності.

Легка у керуванні, нова система сканування чорної лінійки *BLK* не складна для застосування і базується на елементах управління на основі додатків. Для початку роботи потрібно розгорнути та увімкнути пристрій, керування ведеться дистанційно у програмі *BLK2FLY Live*. У додатку є функція планування проєктів. Квадрокоптер літає самостійно, виконуючи свою місію. Також є можливість відслідковувати або змінювати траєкторію БПЛА в режимі реального часу. У разі потреби є опція керування пристроєм вручну, за допомогою віртуальних джойстиків. Безпілотник спроектований так, щоб бути максимально зручним у використанні. Зробивши декілька простих натискань на планшеті, користувачі можуть підняти дрон у повітря для автономного сканування зовнішньої частини будівель та важкодоступних областей даху й фасаду [5].

Програма *BLK2FLY Live* може відстежувати політ. Інші опції включають панорамний перегляд для зміни напряму видимості, масштабування зображення в реальному часі, до того ж безпілотник відповідним чином адаптує свою точку огляду, може легко змінювати траєкторію польоту квадрокоптера для захоплення нової області, обравши область через систему крапок безпосередньо у 3D-виді в додатку на планшеті. Дрон створює траєкторію польоту для швидкого та безпечного сканування цієї зони.

Це рішення може супроводжувати хід будівництва на кожному його етапі, при цьому заощаджуючи час, підвищуючи точність зйомки радара за допомогою самостійного робочого процесу сканування. За допомогою БПЛА легко візуалізувати вихідні умови для реконструкції фасадів. БПЛА самостійно скануватиме весь зовнішній вигляд будівлі з повітря, забезпечуючи високу точність відображення реальності навіть у важкодоступних місцях.

Можна використовувати дрон перед початком реконструкції для отримання високоякісної 3D-моделі будівлі. За заданою оператором лінійною траєкторією *BLK2FLY* самостійно здійснює захоплення реальності, адаптуючись до навколишнього середовища, у якому він літає. Уникаючи перешкод і зберігаючи оптимальну відстань для якісного сканування, він самостійно фіксує зовнішні особливості та розміри будівель. Уся отримана інформація виводиться на планшет за допомогою декількох операцій.

Використання у картографії

Leica Geosystems поєднує всі системи безпілотного літального апарату (рис. 4.1), а також *LiDAR*, радар та *GNSS*, за допомогою яких виконує самостійне сканування території з прив'язкою до географічних координат. Це портативний і простий у використанні пристрій, за допомогою якого процес збору картографічного матеріалу відбувається набагато швидше і якісніше. Застосовувані рішення дозволяють легко фіксувати потрібні точки, отримуючи їх точні координати, не припиняючи зйомку з повітря.

Якісна технологія захоплення реальності у польоті

Під час польоту сканування здійснюється відразу вгору та вниз і в обидві сторони одночасно. Наявність 5-ти камер по всьому периметру зовні пристрою дозволяє їх використовувати для відстеження та розфарбовування хмар точок, візуалізуючи їх відразу на планшет для спрощення управління. Під час роботи, використовуються радарні давачі та *LiDAR*, щоб вчасно виявляти перешкоди та уникали їх. Особливо важлива ця функція для виявлення скляних конструкцій, як перешкод при скануванні великих сучасних будівель.

Актуальні завдання:

- швидке виконання проєкту завдяки ефективному способу зйомки;
- висока точність та надійність вимірювань;
- швидка передача інформації для обробки;
- фіксування розташування;
- захоплення навіть найважчих елементів архітектури.



Рисунок 4.1 – Візуалізація роботи БПЛА з модулем *RTK* та *LIDAR*

Контрольні запитання

1. Що таке лідар?
2. Як поділяється метод наземного лазерного сканування за допомогою БПЛА?
3. Назвіть основні переваги повітряного лазерного сканування територій.
4. Якою має бути точність геопросторових даних, отриманих у результаті мобільного лазерного сканування?

ТЕМА 5 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИШУКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЙ

План

5.1 *BIM*-моделювання та лазерне сканування об'єктів території.

5.2 Інженерно-геодезичний супровід будівництва та реконструкції об'єктів території.

5.1 *BIM*-моделювання та лазерне сканування об'єктів території

На сьогодні для вирішення будівельних і архітектурних завдань широко використовується тахеометрична зйомка, яка дозволяє отримати координати об'єктів, а потім представити їх в графічному вигляді. Тахеометрична зйомка дозволяє проводити вимірювання з точністю до декількох міліметрів, при цьому швидкість вимірювання тахеометра не більше двох вимірів на секунду. Такий метод ефективний при розрідженій зйомці, не завантаженій об'єктами площі. Очевидними недоліками такої технології є мала швидкість проведення вимірювань і неефективність зйомки завантажених площ, зокрема фасадів будівель, заводів, площа яких перевищує 2 га, а також мала щільність точок на 1 м². Одним із можливих способів вирішення цих проблем є застосування нових сучасних технологій дослідження, а саме лазерного сканування.

Наземне лазерне сканування (НЛС) – на сьогодні найбільш оперативний і продуктивний спосіб отримання точної і якнайповнішої інформації про просторові об'єкти.

Більш повну цифрову картину неможливо отримати ніяким іншим відомим способом. Процес зйомки повністю автоматизований, а участь оператора зводиться лише до підготовки сканера до робочого стану [2].

Сьогодні лазерне сканування, яке виникло в машинобудуванні, стало обов'язковою частиною топографічних зйомок. Геодезисти оцінили можливість

лазерних сканерів за лічені хвилини отримувати десятки тисяч безвідбивних вимірювань, які дозволяють, замість схематичної цифрової карти, побудувати повноцінну тривимірну фотореалістичну модель місцевості, при цьому значно скорочується час польових робіт. Особливе значення має застосування 3D-сканерів в інженерній геодезії і маркшейдерській справі, де потрібно докладно змодельовати форму складних інженерних споруд чи підземних пустот.

Існує низка завдань, які можна віднести до класики інженерної геодезії. Такими завданнями є виконання контрольних-монтажних вимірів і виконавчих зйомок під час будівництва інженерних споруд, спостереження за вертикальними і горизонтальними деформаціями та переміщеннями, вирішення завдань вертикального планування, маркшейдерські роботи під час експлуатації об'єктів гірничодобувної промисловості тощо.

За характеристиками лазерні 3D-сканери можна розділити на дві основні категорії – фасадні та інтер'єрні. Фасадні сканери мають перевагу щодо дальності і швидкості вимірювань, але обмежені в зоні сканування. Сфера застосування фасадних 3D-сканерів – зйомка відкритих ділянок місцевості і зовнішньої поверхні великомасштабних об'єктів (фасадів будівель і споруд), яка виконується зазвичай з декількох точок.

Інтер'єрні сканери мають максимально широку зону сканування, але поступаються дальністю вимірювань, тому здебільшого застосовуються для зйомки інтер'єрів або невеликих замкнутих просторів (тунелів, печер та інших порожнин).

Особливе місце посідають сканувальні станції (сервопривідні тахеометри з функцією сканування). Значно поступаючись 3D-сканерам щодо швидкості (десятки вимірювань за хвилину замість тисяч вимірювань за секунду), сканувальні станції мають на порядок вищу точність позиціонування точок (1–2 мм замість 1–2 см), тому сканувальні станції призначені для робіт, коли точність має вирішальне значення (наприклад для завдань моніторингу), або одночасно з 3D-сканерами, для точної прив'язки відсканованих даних.

Лазерні сканери для наземних зйомок (рис. 5.1) – це більш складні прилади порівняно з електронними тахеометрами, хоча в них закладені ті самі принципи визначення координат точок при автоматичному вимірюванні кутів і відстаней.



Рисунок 5.1 – Сучасні наземні лазерні сканери

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

Сканер складається з лазерного далекоміра, адаптованого для роботи з високою частотою, і блока розгортки лазерного променя. Блоком розгортки в сканері є сервопривід і полігональне дзеркало або призма. Сервопривід відхиляє промінь на задану величину в горизонтальній площині, при цьому повертається вся верхня частина сканера, яка називається голівкою. Розгортка у вертикальній площині здійснюється за рахунок обертання або гойдання дзеркала. Сучасні 3D-сканери складаються з двох основних компонентів: сканувальної системи і цифрової відеокамери. Сканувальна система призначена для моделювання форми вимірюваних об'єктів, а цифрова відеокамера – для точної передачі кольору об'єктів.

Наприклад, сканувальний тахеометр *Leica Nova MS60* із сучасним польовим програмним забезпеченням *Leica Captivate* перетворює складний набір просторових даних на зручні для роботи 3D-моделі. Використовуючи зрозумілі прикладні програми та сенсорні технології, усі види вимірювань і проектні дані можна переглядати в трьох площинах. Польове ПО *Leica Captivate* може застосовуватися в різних сферах і галузях незалежно від того, з яким інструментом працюють: GNSS-приймачем, тахеометром або і тим і іншим одночасно.

Тоді як *Leica Captivate* використовується для збору даних, відтворення ліній, площ і 3D-моделювання в полі, програмне забезпечення *Leica Infinity* виконує весь комплекс обробки цих даних в офісі. Завдяки легкій процедурі передачі даних значно економиться час. *Leica Captivate* і *Leica Infinity* працюють у зв'язці для об'єднання, управління і редагування польових вимірювань і проектних даних швидше і ефективніше.

Сканери, на відміну від електронних тахеометрів, здійснюють сканування простору лазерним пучком. За один період сканування, тривалістю в соті долі секунди, автоматично здійснюється вимірювання полярних координат точок профілю і проводиться запис результатів безпосередньо у спецвизначник приладу, тобто візування спостерігач не виконує. Сканер забезпечує високу швидкість вимірювань, оскільки сервопривід, який повертає вимірювальну головку в обох (горизонтальній і вертикальній) площинах, дозволяє виконувати до 5 000 вимірів за секунду, що відповідає щільності десятків точок на 1 см² поверхні. Одночасно реєструється рівень відбитого сигналу від кожної точки.

Результати вимірювань постійно записуються в реальному часі в пам'ять приладу на зовнішній або внутрішній носій. При роботі зі сканером не потрібно проводити такі операції, як пошук цілі і візування, а також натискати на клавіші для виконання і реєстрації результатів вимірювань. Після цього сканером виконується сканування наступного рядка у полі зору приладу. Результати також фіксуються у пам'ять і виводяться на дисплей пристрою, де відображаються зняті точки місцевості. Перед початком зйомки встановлюється область

сканування і щільність (вертикальна і горизонтальна відстань до сусідніх точок). Сканер самостійно може знайти і відсканувати з максимальною щільністю спеціальні візирні цілі, які слугують для визначення системи координат об'єкта, а також є геодезичною основою для порівняння окремих сканів. Таким чином, вся знімальна місцевість (і предмети місцевості) в межах поля зору сканера рівномірно вкривається точками, координати яких визначені за допомогою сканера, і одночасно реєструється рівень відбитого сигналу від кожної точки. У момент вимірювань на дисплеї приладу виникає зображення знятої на цій станції місцевості, тобто виходить ніби знімок місцевості і в цифровому вигляді.

У процесі сканування фіксується напрям поширення лазерного променя і відстань до точок об'єкта. Результатом роботи сканера є растрове зображення – скан, значення пікселів якого становлять елементи вектора з такими компонентами: вимірною відстанню, інтенсивністю відбитого сигналу і *RGB*-складової, що характеризує реальний колір точки. Для більшості моделей НЛС характеристики реального кольору для кожної точки сполучені за допомогою неметричної цифрової камери.

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

Робота лазерних далекомірів, використовуваних у сканерах, базується на імпульсному і фазовому безвідбивних методах вимірювання відстаней, а також методі прямої кутової розгортки (триангуляційний метод).

Наприклад, фахівцями НВП «Навігаційно-геодезичний центр» було виконано лазерне сканування комплексу Дальніх і Варязьких печер Києво-Печерської лаври. Мета проєкту – створення *TIN*-поверхні моделі об'єкта, отримання топографічного плану в масштабі 1 : 500 у місцевій системі координат, побудова профілів і перетинів коридорів і приміщень печер. Роботи по лазерному скануванню виконувалися лазерною сканувальною системою

Leica ScanStation (*Leica Geosystems*, Швейцарія), обробка результатів – у програмному комплексі *Leica Cyclone*.

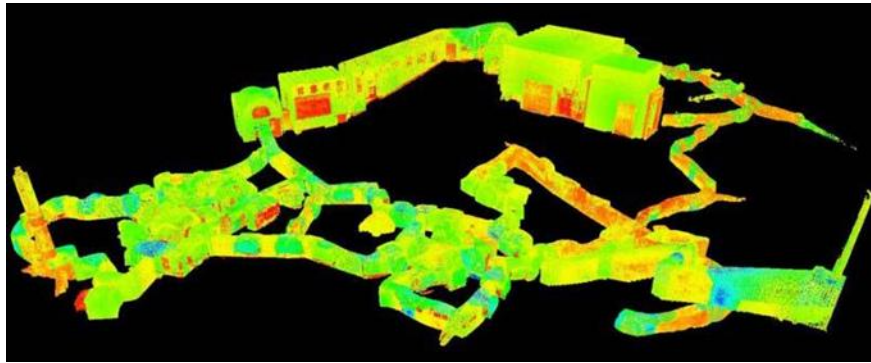


Рисунок 5.2 – Сканування Києво-Печерської лаври. Загальний вигляд

Мобільне лазерне сканування виникло 15 років тому і з того часу пройшло величезний шлях у технологічному розвитку від експериментальних установок до сучасних геодезичних приладів. В Україні мобільне лазерне сканування з'явилося в 2000-х роках (рис. 5.2) і здебільшого застосовується для виконання вимірювань лінійно-протяжних об'єктів, насамперед автомобільних доріг, зйомки маршрутів міст та населених пунктів, залізничних шляхів [2].

Результатом сканування є дуже докладний та щільний набір (хмара) тривимірних точок поверхні, кількість яких може досягати сотні і тисячі на 1 м² знімальної поверхні. Мобільне лазерне сканування зазвичай здійснюється з візкових пристроїв або транспортних засобів зі швидкостями від 3 до 90 км/год залежно від необхідної щільності хмари точок та детальності запланованого сканування. Головною причиною вибору саме мобільного лазерного сканування для вишукувань та складання проєктної документації є виконання польових вимірювань із дуже високою та достатньою швидкістю і детальністю.

Принцип роботи мобільних лазерних пристроїв сканування достатньо простий і зрозумілий. Високошвидкісний мобільний лазерний далекомір або його дзеркало встановлюється на поворотній основі. Така поворотна основа становить головку для лазера. За один оберт головки далекомір може робити від сотні до тисячі вимірювань, що дає змогу детально оцінити профіль навколишнього простору в одній двовимірній площині (рис. 5.3). При

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

У результаті буде отримано безліч поперечних сканованих площин вздовж напрямку руху (рис. 5.3). Для обчислення координат окремих отриманих точок лазерного сканування необхідно знати точне положення і орієнтацію лазерної головки в просторі в момент фіксування кожного виміру. Для цього використовуються інерційні навігаційні системи (ІНС), суміщені з *GPS*/ГЛОНАСС – приймачем геодезичного класу.

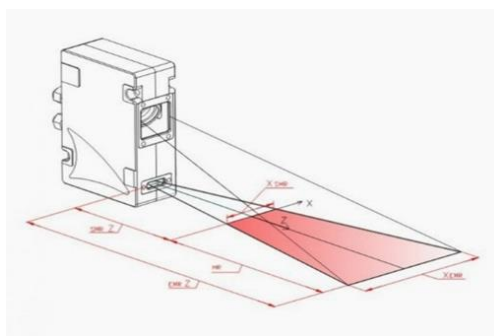


Рисунок 5.3 – Схема роботи мобільного лазерного сканувального пристрою

Сфери застосування лазерного сканування

Лазерне сканування має дуже широку сферу застосування:

- топографічна зйомка лінійних об'єктів (автодороги, залізниці, мости, тунелі);
- створення 3D-моделей об'єктів;
- створення повздовжніх і поперечних профілів автодороги;
- повздовжні і поперечні ухили проїжджої частини;
- цифрова модель рельєфу і цифрова модель дорожнього покриття;
- створення паспорта автодороги;
- оцінка колійності та визначення повздовжньої рівності покриття;
- оцінка зон видимості;
- створення відомостей дорожніх знаків, дорожніх обгороджень, інформаційних і рекламних щитів із додаванням фотоматеріалів.

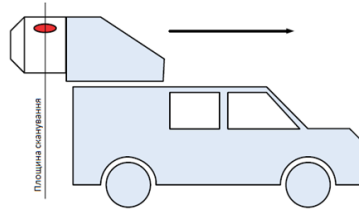


Рисунок – 5.4 Схема встановлення далекоміра на рухомій базі

У дорожній галузі лазерне сканування (рис. 5.4) ефективно застосовується у трьох важливих сферах: інженерно-геодезичні вишукування при проектуванні і виконавчій зйомці; для паспортизації, інвентаризації наявної інфраструктури; для створення ГІС та геопросторових баз дорожніх даних. При проектуванні та проведенні виконавчої зйомки необхідна максимальна точність, особливо за висотою. Це досягається, по-перше, шляхом планування проведення вимірювань і застосування декількох базових станцій у районі робіт; по-друге, за допомогою введення опорних точок для вирівнювання траєкторій. При виконанні паспортизації та інвентаризації необхідно максимально охопити придорожню смугу, об'єкти сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Лазерне сканування в таких випадках доцільно поєднувати з панорамною відеозйомкою. Такий вид поєднання необхідний для камерального дешифрування об'єктів проектування. Висока точність під час проведення цих робіт не потрібна, роботи можна виконувати без наявності базових станцій із високою швидкістю руху (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Виконання зйомки за допомогою мобільного лазерного сканувального пристрою

Створення ГІС і геопросторових баз дорожніх даних потребує проміжної точності, але при цьому високої деталізації і максимального охоплення, зокрема

придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Окрема увага приділяється зйомці укосів насипів та контрбанкетів, оголовків труб, елементів мостових споруд та переїздів. Необхідним є використання базових станцій, а також планування траєкторій руху на складних ділянках для повного покриття навколишнього оточення та маршруту зйомки.

При зйомці для проєктування ремонтних робіт та реконструкції найбільш складним і важливим є докладне моделювання деталізації поверхні автомобільної або залізничної дороги з високою точністю в профільному та плановому відношеннях. Традиційне нівелювання забезпечує високу точність, але не створює докладну модель проїжджої частини, враховуючи тільки колійність або полосність, невеликі просадки і однорідні малі дефекти через те, що точок зйомки достатньо мало та лазерне сканування вирішує такі обмеження. Для отримання детального і високоточного результату зйомка виконується ділянками по 10–15 км. У районі робіт виставляється не менше двох базових станцій (рис. 5.6). Обов'язковим є планування роботи при очікуваній достатньо високій точності сеансу вимірювань. У разі необхідності зйомки насипу попередньо проводиться покіс трави на укосах для досягнення високої точності вимірювань і визначення підшви укосу і його форми.

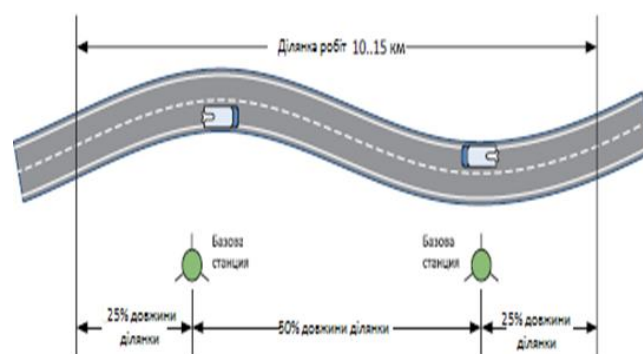


Рисунок 5.6. – Розміщення базових станцій у районі виконання сканувальних робіт

При зйомці для проведення ремонту покриття або рихтувальних робіт на залізницях швидкість руху лабораторії обмежується до 20 км/год, для інших

проектів – 30 км/год. Для підвищення абсолютної точності та посилення контролю за кожні 200 м на крайній смузі встановлюються «опорні точки» з обох боків дороги, вони маркуються світловідбивною фарбою, при цьому окремо виконується їх нівелювання. Після зйомки порівнюються траєкторії по базових станціях за допомогою програмного забезпечення *Novatel*. Далі хмара точок накладається на опорні точки в *IndorCAD* або *Autocad*, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримуємо остаточну хмару точок, яку використовуємо в потрібному програмному забезпеченні для розробки необхідної проектної документації. Перевагою мобільного лазерного сканування перед традиційними зйомками є більш детальна модель поверхні, яка відображає реальні ухили на всій поверхні шляху сканування з деталізацією дефектних місць та ін.

Під час зйомки для паспортизації розглядається особливий вид зйомки, який не потребує абсолютної точності, але вимагає охоплення всіх елементів дороги та придорожньої смуги. Матеріали такої зйомки можуть застосовуватися як власне для паспортизації, так і для інвентаризації майнового комплексу та для проектування організації дорожнього руху. При цьому виді робіт проводиться зйомка ділянками, протяжність яких може досягати 100 км. Плануються роботи з достатньою точністю вимірювань для такого виду робіт. Швидкість руху мобільних лазерних пристроїв міститься в межах 60–80 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Для повного охоплення автомобільної чи залізничної дороги виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики та об'єкти сервісу, обгінні та під'їзні колії. На автомобільних шляхах рух здійснюється по крайній правій смузі для того, щоб «тінь» від сусіднього транспорту не закривала огляд вправо і перекривалася зворотним проїздом. Після зйомки співставляються траєкторії за опорними точками та перехрестями за допомогою програмного забезпечення *Novatel*, *Autocad* та *Arcgis*. Далі хмари точок співставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Унаслідок цього отримують остаточну хмару точок. Отримана хмара точок фільтрується і

класифікується, після чого будується спрощена модель автомобільної або залізничної дороги для формування паспортної документації.

При зйомці для ГІС і геопросторових баз даних роботи виконуються ділянками по 100 км. В районі робіт виставляється не менше двох базових станцій. Швидкість руху – в межах 5–60 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики, об'єкти сервісу, великі з'їзди. Рух здійснюється по одиночних маршрутах, із частковим заїздом на узбіччя в межах твердого покриття. Після зйомки співставляються траєкторії по опорних точках та перехрестях за допомогою програмного забезпечення *Novatel*, *Autocad* та *Arcgis*. Далі хмари точок співставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії зйомки. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується для побудови моделі автомобільної дороги, маршрутних і залізничних шляхів.

Продуктивність мобільного лазерного сканування при вишукуваннях для паспортизації може досягати 300 км за день польових робіт однією лабораторією. Продуктивність при вишукуваннях для ГІС – до 200 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення. Продуктивність при вишукуваннях для проектування ремонтних робіт – до 50 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення.

Обробка даних мобільного лазерного сканування

Як зазначалося вище, на сьогодні мобільне лазерне сканування стало дуже популярною темою при замовленні проектно-вишукувальних робіт у дорожній галузі. З'являється велика кількість компаній, які освоїли технологію виконання мобільного лазерного сканування. Водночас сканування та отримання хмари точок – це лише початок довгого шляху проектування автомобільних і залізничних доріг.

Розглянемо типовий порядок обробки даних мобільного лазерного сканування – від отримання вихідних даних до побудови моделі. Процес

отримання хмари точок вирізняється досконалою технологією і досить добре опрацьований, але для досягнення необхідної точності, особливо за висотою, необхідне якісне планово-висотне обґрунтування і розміщення хмар на контрольних точках. Процес обробки даних лазерного сканування здійснюється досить безсистемно і зазвичай зводиться до класифікації і розфарбування хмар точок. Цього виявляється замало для подальшої роботи інженерів у системах автоматичного програмування та ГІС. Для цього визначаються етапи, які потрібні для отримання практичних 3D-моделей, хоча деякі з них зазвичай не виконуються.

При виділенні модельних точок рельєфу розглядаються хмари точок лазерного сканування, які зазвичай містять десятки й сотні мільйонів точок, що належать до рельєфу. Багато точок не потрібно, коли мова йде про побудову триангуляційної моделі рельєфу, що застосовується як вихідний матеріал для проектування. Щоб отримати таку модель рельєфу, із великої кількості вихідних точок, що належать до рельєфу, виокремлюють невелику кількість характерних модельних точок рельєфу. Модельними точками рельєфу називають такі точки хмари, які роблять найбільший внесок у форму рельєфу (рис. 5.7) і необхідні для становлення моделі рельєфу заданої точності. Зазвичай під «точністю» сформованого набору модельних точок розуміють максимально допустиме відхилення по висоті точок, що належать до рельєфу (вихідних точок хмари), від триангуляційної моделі, побудованої за модельними точками.

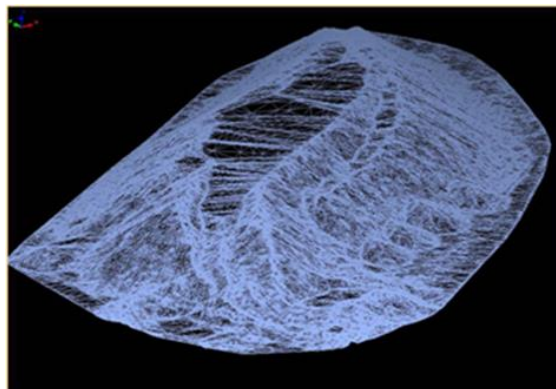


Рисунок 5.7 – Модельні точки рельєфу в загальній хмарі точок

Зазвичай кількість модельних точок для моделей рельєфу із заданою точністю 1 см на 2–3 порядки менше, ніж кількість вихідних точок, що належать до рельєфу. Модельні точки поверхні застосовують для моделювання рельєфу, окрім автомобільної чи залізничної дороги, і задають цифрову модель рельєфу, придатну для застосування в будь-яких системах автоматичного програмування і ГІС, а також для швидкої тривимірної візуалізації.

При оцифруванні структурних ліній дороги розглядають такі лінії, які задають базову просторову геометрію автомобільної або залізничної дороги. Такий процес є першим і найважливішим елементом, який необхідно визначати для створення 3D-моделі дороги. Структурні лінії дороги включають осьові лінії, кромки проїжджої частини, бровки, підосви, межі укосів виїмок, насипів, контрбанкетів, берм і т. п. Існує низка алгоритмів і програмних продуктів, що дозволяють розпізнавати такі структурні лінії і будувати статистично згладжені просторові лінії за хмарою точок. Отримувані структурні лінії є найважливішим елементом моделі сканування дороги і використовуються сучасними системами автоматичного програмування автомобільних і залізничних доріг. Варто зазначити, що автоматизоване розпізнавання структурних ліній дороги надійно працює тільки для нових доріг. У решті випадків точно розпізнати вісь дороги, напівзасипану кромку, зарослу травою бровку і ін. досить проблематично – у цьому випадку доцільне застосування ручного оцифрування структурних ліній. Допомогою оператора може бути механізм локальної статистичної оцінки розподілу точок по висотах.

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

Моделювання об'єктів інженерного облаштування також є важливим завданням при створенні моделей автомобільних і залізничних доріг. Поширені технології, реалізовані в багатьох програмних продуктах, досить трудомісткі, оскільки не орієнтуються на специфічні об'єкти (стійки дорожніх знаків, обгородження тощо). Водночас існують ефективні спеціалізовані програмні

продукти, що виконують це завдання (хоч і не автоматично, але з високою швидкістю отримання моделей елементів інженерного облаштування автомобільних та залізничних доріг). При оцифруванні об'єктів інженерного облаштування оператор працює в 3D-форматі. Хмара точок або розфарбовується в природні кольори і оператор довільно «переміщується» у просторі, або використовуються панорамні знімки, на які «накладається» хмара точок. Перевагою першого підходу є те, що можна наблизитися до об'єкта і подивитися на нього з потрібного ракурсу; перевагою другого підходу те, що зображення не закрите надлишковою кількістю точок і розпізнавання для складних, насичених ділянок відбувається швидше.

Переваги лазерного сканування щодо інших видів наземної зйомки

Основні сфери застосування тривимірного сканування такі:

- 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;
- гірнична справа;
- моніторинг будівель і споруд;
- визначення обсягів земляних робіт та / або технологічних споруд;
- документування надзвичайних ситуацій.

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

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 завчасність 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.

Крім зниження прямих витрат, системи *HDS* забезпечують такі додаткові переваги:

- швидке отримання результатів;
- зменшення загального циклу робіт над проектом;
- більш якісний результат;
- велика повнота;
- високий рівень деталізації;
- безпека робіт при зйомці;
- неруйнівна методика зйомки;
- хмари точок можуть бути використані іншими фахівцями з більшою ефективністю [2].

5.2 Поняття та актуальність топографо-геодезичних моніторингових робіт

В Україні набирає популярності і впроваджується, можливо, найбільш значуще технологічне нововведення в геодезії, архітектурі та низці інших суміжних галузей – лазерні сканувальні системи (далі – ЛСС).

Результатом роботи ЛСС є масив тривимірних координат точок лазерних відображень (далі – ТЛВ) від поверхні вимірюваних об'єктів з високою щільністю, який надалі можна відобразити в тривимірному просторі у вигляді точкової тривимірної моделі об'єкта. Такий вид відображення даних вирізняється високою візуалізацією порівняно з двовимірними кресленнями.

Проте на сьогодні використання ЛСС в нашій країні ускладнюється через відсутність затвердженої технічної літератури, яка описує різноманітні методики виконання роботи, а також єдиної термінології та класифікації цього виду обладнання. Наприклад, на один і той самий тип пристрою від різних виробників подано такі визначення:

- *Riegl* (Австрія) – системи лазерні дзеркальні;
- *Leica Geosystems* (Швейцарія) – системи лазерні координатно-вимірювальні скануючі;
- *Zoller+Frohlich GmbH* (Німеччина) – сканери лазерні;
- *Faro Technologies* (США) – сканери вимірювальні лазерні.

Для розподілення ЛСС на типи доцільно буде прийняти за основу загальні ознаки класифікації геодезичних приладів на основі. Проаналізувавши існуючі моделі сканувальних систем, залежно від класу, типу та різновиду пристрою можна запропонувати таку класифікацію (рис. 5.8).

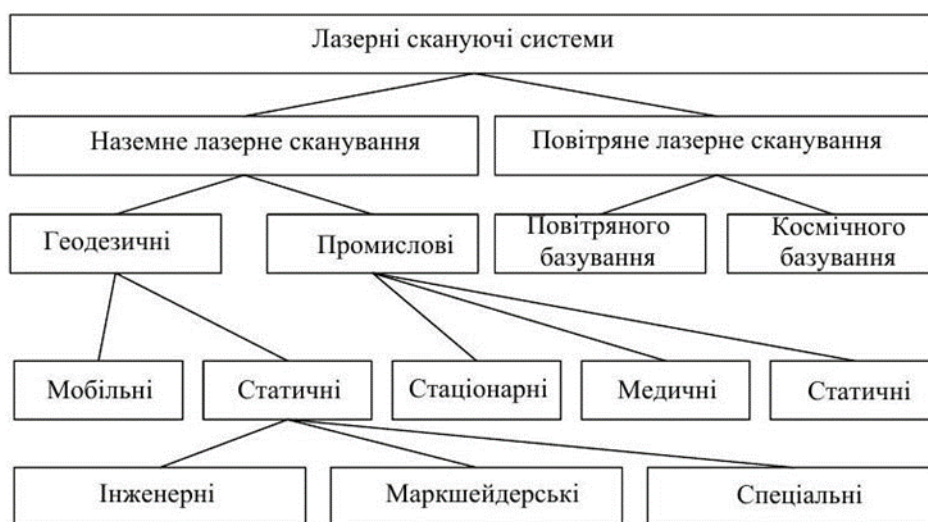


Рисунок 5.8 – Схематична класифікація лазерних сканувальних систем

На підставі запропонованої класифікації можна зробити висновок про те, що найбільш доцільним типом лазерної сканувальної системи для виконання геодезичного моніторингу є наземний лазерний сканер (далі – НЛС) геодезичного типу статичний інженерний.

Для визначення деформацій за межами нашої країни НЛС використовують частіше. Нижче наведені приклади використання деяких із них.

Для виявлення мінімальних зміщень об’єкта сканером *Leica Scan Station* польські вчені виконали дослідження. Метою дослідження було порівняння відхилень цілей за допомогою наземного лазерного сканера. Відхилення визначалися за трьома напрямками (осі координат X, Y, Z). Для цього

використовувалася базова марка з двома мішенями, розташованими під кутом 90° одна до одної (рис. 5.9). Експеримент проводився п'ятьма циклами (0,001 м, 0,003 м, 0,005 м, 0,010 м, 0,020 м) і на декількох відстанях досягав максимального діапазону вимірювань сканера. Дані оброблялися за допомогою ПЗ *Cyclone* та *Matlab*. Аналіз отриманих результатів надав нові можливості для використання лазерного сканера при точних вимірюваннях для визначення невеликих деформації об'єктів.

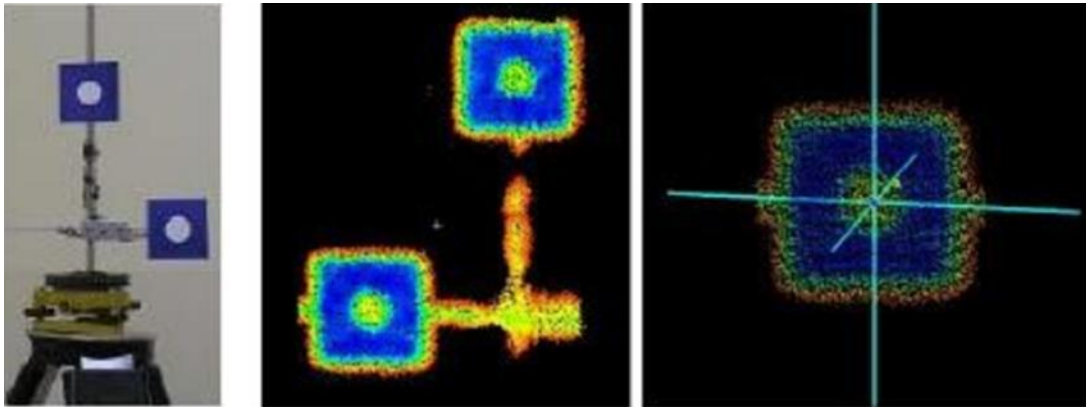


Рисунок 5.9 Базова марка при скануванні

Аналіз даних доводить, що на відстані 49,982 м максимальна різниця між вимірюваними та теоретичними значеннями склала 2 мм для всіх передбачуваних циклів по трьох осях. Згідно з [4] було помічено, що помилки при вимірюванні можуть бути результатом програмного забезпечення *Cyclone*, яке автоматично призначає центр знака *HDS*. Це може підтвердити той факт, що, відповідно до результатів, на максимальній відстані під час експерименту (290,643 м) можна отримати ще кращі результати (максимальне відхилення 7 мм). Інший висновок полягає в тому, що максимальна відмінність між теоретичними та фактичними значеннями виникає спорадично.

Визначення деформацій частини покрівлі проводили в Талліннському технологічному університеті. Визначались переміщення підвісного даху (ширина 73 м, довжина 37 м, висота 32 м). Проведено три серії спостережень: спочатку без навантаження, потім під навантаженням мокрого снігу (приблизно 70 т), а через три місяці – з очікуванням повернення даху у первісне положення.

У дослідженні підкреслюється перевага методу НЛС при веденні моніторингу недоступних об'єктів. Конструкція даху представлена на рисунку 5.10. Висота даху над поверхнею становить 32 м [5].

Сканування виконувалось сканером *Leica ScanStation C10* із закріплених точок ПВО. Обробка даних виконувалась в ПЗ *3D Cloud Processing Leica Cyclone 8.0*, аналіз результатів – у ПЗ *Autodesk AutoCAD Civil 3D*.

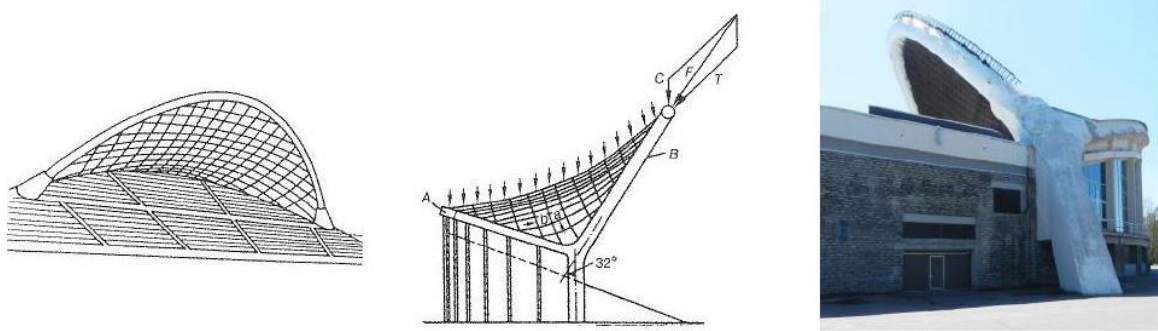


Рисунок 5.10 – Схема кабельної мережі даху та його фото

Порівняння результатів першого і другого циклу засвідчують, що деформації під впливом снігу сягають 11,3 см у нижній частині даху (зображені темними кольорами на рисунку 5.11, а, а на вищому боці біля передньої арки дах піднявся вгору на +3,1 см (рис. 5.11, а). Східна сторона розташованого в центрі рисунка залишається практично незмінною.

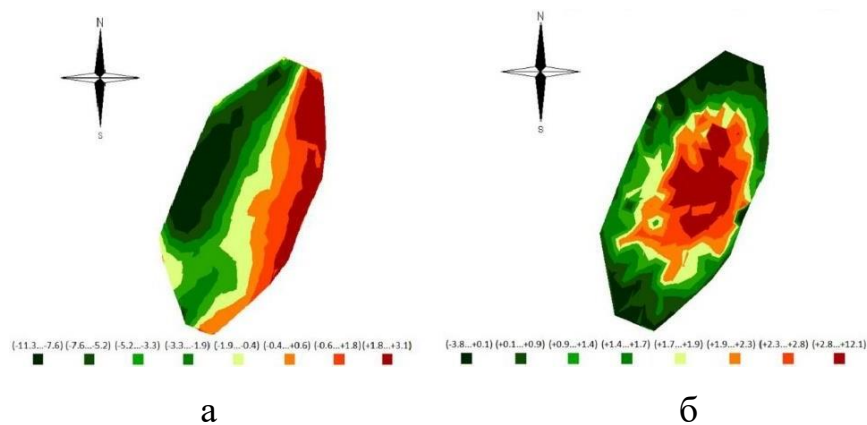


Рисунок 5.11 – Результати порівняння поверхонь, см:

а – нижня частина; б – верхня частина

Порівняння даних за другий і третій цикл показує, що форма даху не повністю набула своєї оригінальної геометрії, 72 % фактично піднялося в центральній частині. Результати показують зростання до +12,1 см (рис. 5.11, б),

позначено червоним кольором. Віддалені частини на краях не відновилися від снігового навантаження, що вказує на те, що 1 % поверхні був ще нижчий (до - 3,8 см), лише 27 % даху повністю відновило початкову форму.

Хоча НЛС зазвичай вважаються придатними для використання при температурах вище нуля (бажано в сухих умовах), але шляхом дослідження доведено інше. На сьогоднішні НЛС здатні отримувати дані в несприятливих умовах навколишнього середовища. Загалом технологія НЛС виявилася корисною для моніторингу складного та недоступного об'єкта [5].

Ще один дослід проведений у залізничній галузі. Окрім визначення деформаційних процесів арки НЛС під час реконструкції над залізничною колією, виконано більш детальний аналіз порівняння методів НЛС із традиційним методом та НЛС і фотограмметрії. Зокрема, на об'єкті велося постійне спостереження за допомогою роботизованого тахеометра *Leica TS15* по марках. Аналіз методів проводився по 6-ти марках, що були встановлені на арках у різних місцях, їхні координати визначалися по черзі різними методами. Для сканування використовувався сканер *FARO Focus3D*, ПЗ для сканування – *Faro Scene*, для обробки хмарних точок *Leica Cyclone*. Для фотограмметричних робіт використовувалась камера *Nikon D3200*, для обробки зображень ПЗ – *Visual SFM*.

Після проведених робіт отримано такі результати. Розходження координат марок між координуванням тахеометром і НЛС склали 1–20 мм, але побудова автоматичних розрізів за допомогою методів *CAD* на підставі зйомок тахеометром неінформативна та неповна через малу кількість даних. Якість розрізів можна поліпшити шляхом встановлення більшої кількості контрольних марок, що, в свою чергу, призведе до збільшення часу робіт та матеріальних затрат.

Для порівняння методу НЛС та фотограмметрії обрана одна і та сама область арки. Ця область була близькою до гладкої однорідної поверхні. Оскільки поверхня не ідеально гладка, хмара точок була виправлена та зрівняна методом найменших квадратів за допомогою ПЗ *Shapes*, точки накладалися одна

на одну. Відмінні ознаки між цими методами зображені на рисунку 5.12. До того ж розбіжність накладання поверхонь склала не більше 3 мм. Зростаюча різниця даних ближче до вершини арки може вважатися більш слабким зображенням у віддалених місцях.

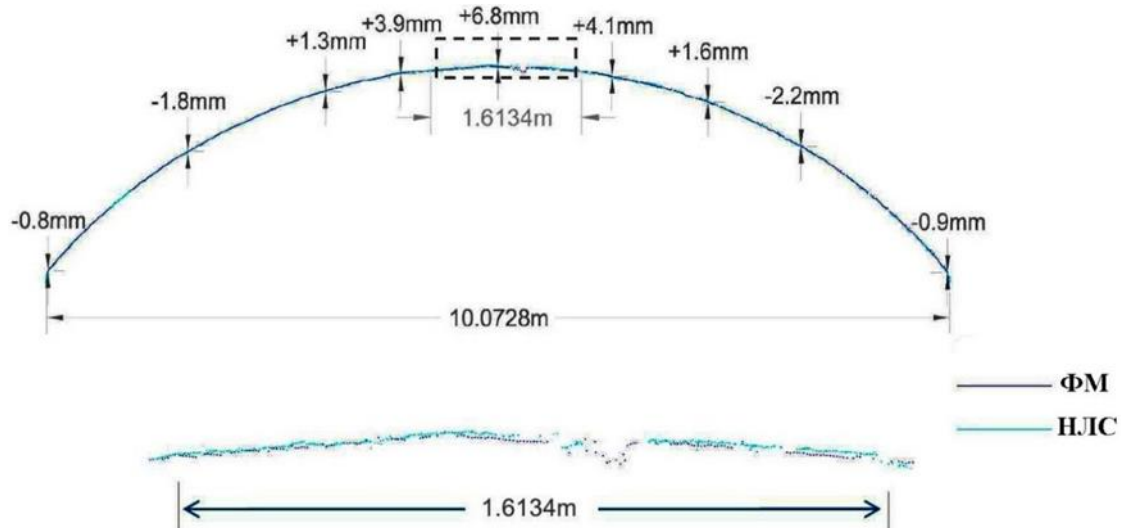


Рисунок 5.12 – Порівняння методу НЛС та фотограмметрії

Щодо точності наземних лазерних сканерів. Канадські та швейцарські вчені розробили новий алгоритм обробки даних, отриманих за допомогою НЛС.

Проведено контрольований експеримент у лабораторії, щоб перевірити здатність цього алгоритму для визначення дуже малих переміщень з реальними даними НЛС. Був використаний сканер *Optech ILRIS 3D LiDAR*. Сканер встановили на 4,6 м від мішені в приміщенні. Мішень складалася з твердої деревини і прикріплювалася дерев'яними тілами різної неправильної форми. Сканування твердої поверхні виконувалося 50 разів при середній відстані між точками 6 мм. Після калібрування сканувань на поверхні були розміщені випробувальні зразки з картону (поверхня 200 мм × 70 мм) у семи різних місцях (рис. 5.13, а). Кожна окрема частина становила від 0,2 мм до 3,7 мм по товщині. Щоб перевірити здатність алгоритму для виявлення переміщень у похилих напрямках до сканера, у двох місцях на півсфері були прикріплені два шматки так, щоб кут падіння лазерного променя становив приблизним 45°. Після

розміщення шматочків мішень сканували ще 50 разів у тому самому місці сканера для створення хмари точок з даними (рис. 5.13, б).

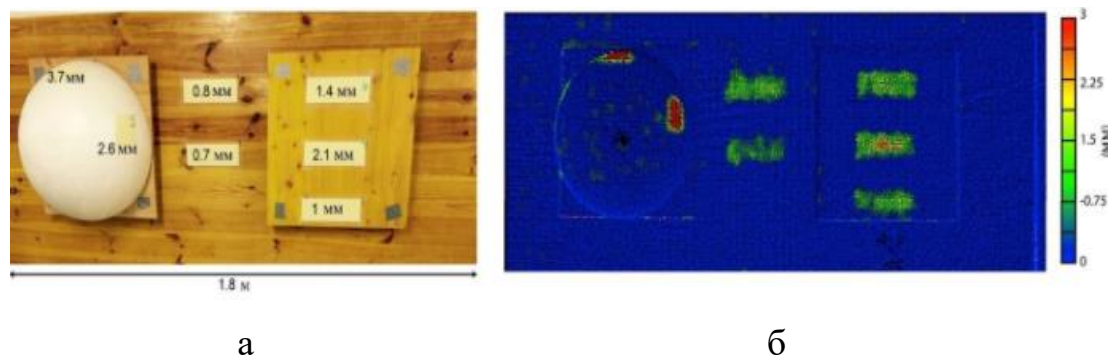


Рисунок – 5.13 – Марки для сканування:

а – об'єкти сканування; б – відсканована поверхня

Алгоритм був використаний таким чином, що стандартне відхилення ставало систематичною помилкою в опорному скануванні і віднімання з відфільтрованих точок даних хмар здійснювалося на наступному кроці. Точність калібрування стандартного відхилення дозволяє фільтрувати дані до 1/100 мм. Після фільтрації і калібрування даних обчислене стандартне відхилення склало 0,3 мм, що відповідає 0,6 мм LD при моделюванні 3D- поверхні.

Цей метод перевірено в польових умовах. Скельний схил був відсканований 54 рази, із п'ятихвилинними інтервалами і з середньою відстанню 200 м. Кожне сканування складалося приблизно з 360 000 точок і з середнім кроком сканування між точками 25 мм. Після обробки результатів було встановлено, що стандартні відхилення склали 0,55 мм, унаслідок чого кожна точка рівня виявлення на похилій площині при 95 % довірчого інтервалу (1,96 стандартних відхилень) розміщується в межах 1,1 мм.

Виокремлені важливі фактори вибору системи моніторингу об'єкта є комплексним підходом до вирішення проблеми. На сьогодні в Україні вирішення основних завдань геодезичного моніторингу пов'язане з використанням методик і методів, розроблених і впроваджених у державні стандарти приблизно в період з 1977 по 2000-ті роки, відповідно принципи і

засоби вимірювання цих методів ґрунтуються на застарілих технологіях, а отже, застосовувати отриману за їх допомогою інформацію для сучасних засобів вимірювання недоцільно. Крім того, застарілі методи не відповідають вимогам і завданням сучасної концепції будівельної та промислової індустрії.

Для застосування НЛС у тій чи іншій інженерній сфері необхідно провести багато досліджень, класифікувати завдання, оновити та створити нову документацію, розробити методичні рекомендації для виконання польових робіт і камеральної обробки результатів.

Контрольні запитання

1. Що таке лазерне сканування?
2. Охарактеризуйте сучасні технології моніторингу.
3. З якою метою виконується контроль якості геодезичних робіт?
4. Якою є точність сучасних сканувальних систем?
5. Назвіть та охарактеризуйте етапи геодезичного контролю якості.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЙОГО ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИДИ

ТЕМА 6 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ

План

6.1 Поняття геодезичного моніторингу.

6.2 Нормативно-правове забезпечення геодезичного моніторингу.

6.1 Поняття геодезичного моніторингу

Геодезичний моніторинг – це процес збирання, аналізу та вимірювання геодезичних даних для визначення змін у геометрії земної поверхні, будівлях, спорудах та інших об'єктах. Його основна мета полягає у виявленні небажаних змін, які можуть виникнути через природні процеси, технічні причини або інші фактори.

Основна мета спостереження – це деформаційні процеси об'єкта. Ступінь деформації та інші показники досліджуються шляхом їх вимірювання. Ці вимірювання фіксуються, а потім обробляються і аналізуються.

Геодезичний моніторинг використовується в різних галузях, зокрема будівництві, гірничій, нафтовій і газовій промисловості, під час екологічних досліджень, в аерокосмічних технологіях тощо. Він дозволяє виявляти зсуви, деформації, пошкодження та інші зміни, які можуть впливати на безпеку, стійкість та ефективність об'єктів.

Моніторинг виконується щодо ключових елементів конструкції. Це фундамент, інженерні споруди. Також моніторити можна не тільки елементи, але й усю споруду загалом.

Що саме досліджувати і якими способами визначають індивідуально для кожного об'єкта за допомогою проведення відповідних технічних завдань.

Кожен метод моніторингу передбачає застосування спеціального геодезичного обладнання, що вирізняється високою точністю.

Найважливіший складник геодезичного моніторингу – це геодезичні спостереження за деформуванням будівель. Вони здійснюються за допомогою використання спеціальних геодезичних приладів, які дозволяють із максимальною точністю проводити геометричне нівелювання.

Для проведення геодезичного моніторингу використовуються різні інструменти та методи, зокрема глобальна позиційна система (*GPS*), лазерне сканування, тотальні станції, дистанційне зондування, а також традиційні геодезичні вимірювання. Зібрані дані обробляються та аналізуються для виявлення змін у часі та просторі.

Основні переваги геодезичного моніторингу включають:

1. Виявлення небажаних змін: геодезичний моніторинг дозволяє виявляти небажані зміни, які можуть призвести до небезпеки або економічних втрат. Наприклад, він може попередити про зсуви ґрунту, що загрожують будівлям або інфраструктурі.

2. Раннє виявлення проблем: геодезичний моніторинг дозволяє виявити проблеми на ранніх стадіях, коли їх можна виправити з найменшими затратами. Це дозволяє зберегти час, гроші та ресурси.

3. Підтвердження якості: геодезичний моніторинг може використовуватися для підтвердження якості будівельних робіт або виробництва. Він дозволяє перевірити, чи відповідають об'єкти заданим специфікаціям та нормам.

4. Планування та управління: зібрані геодезичні дані можуть використовуватися для планування майбутніх робіт, управління ризиками та прийняття рішень. Вони надають цінну інформацію для інженерів, дослідників та керівників проєктів.

Загалом, геодезичний моніторинг є важливим інструментом для гарантування безпеки, стійкості та ефективності різних об'єктів. Він допомагає

виявляти проблеми та вживати необхідних заходів для їх вирішення, що сприяє поліпшенню якості життя та зменшенню ризиків.

6.2 Нормативно-правове забезпечення геодезичного моніторингу

В Україні геодезичний моніторинг регулюється такими нормативно-правовими актами:

1. Закон України «Про геодезію і картографію» від 20 червня 2000 року № 1389-III. Цей Закон встановлює загальні принципи, цілі, завдання та організаційні засади геодезичної діяльності в Україні. Він визначає правові основи проведення геодезичного моніторингу, зокрема вимоги до документації, зберігання та передачі даних.

2. Наказ Державного комітету України з питань регуляторної політики та підприємництва «Про затвердження Правил геодезичного моніторингу» від 30 червня 2006 року № 100. Цей Наказ встановлює методи та процедури здійснення геодезичного моніторингу, а також вимоги щодо забезпечення якості проведення моніторингу та роботи з отриманими даними.

3. Державний стандарт України ДСТУ Б В.2.2–22:2013 Геодезична моніторингова мережа. Загальні технічні вимоги. Цей стандарт встановлює вимоги до організації та виконання геодезичного моніторингу, зокрема вимоги до розташування пунктів моніторингу, методи вимірювання, обробки та зберігання даних.

4. Нормативно-правові акти місцевих органів влади. Деякі аспекти геодезичного моніторингу можуть регулюватися місцевими нормативно-правовими актами, наприклад, вимогами щодо планування та здійснення будівельних проєктів, оцінки впливу на довкілля тощо.

Ці нормативно-правові акти встановлюють вимоги щодо проведення геодезичного моніторингу, а також визначають правовий статус та відповідальність виконавців і замовників моніторингових робіт в Україні.

Важливо дотримуватися цих нормативних вимог для забезпечення якості та вірогідності отриманих геодезичних даних.

Контрольні запитання

1. Назвіть основну мету геодезичного моніторингу.
2. Назвіть найважливіший складник геодезичного моніторингу.
3. Перелічіть основні переваги геодезичного моніторингу.
4. Які нормативно-правові акти встановлюють вимоги до проведення геодезичного моніторингу в Україні?

ТЕМА 7 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЇ

План

7.1 Реконструкція і моніторинг будівель та споруд на територіях інженерних об'єктів.

7.2 Визначення технології та методів моніторингу.

7.1 Реконструкція і моніторинг будівель та споруд на територіях інженерних об'єктів

Геодезична реконструкція і моніторинг будівель та споруд на територіях інженерних об'єктів включає використання геодезичних методів і технологій для вимірювання, контролю та аналізу руху, деформування та змін, що відбуваються у структурах протягом певного періоду часу.

Геодезична реконструкція передбачає оновлення або виправлення геометричних параметрів будівель та споруд шляхом здійснення точних вимірювань, що може включати вимірювання розмірів, форми, висоти, нахилів і відхилень від оригінальних проєктних параметрів. Результати геодезичної реконструкції дозволяють оцінити точність та відповідність будівельних об'єктів проєктним вимогам і стандартам.

Геодезичний моніторинг включає постійні або періодичні геодезичні вимірювання для контролю за станом і змінами у будівлях та спорудах протягом певного періоду часу. Це дозволяє виявити небезпеки, деформації, рухи або інші зміни, які можуть впливати на безпеку та стабільність об'єктів. Геодезичний моніторинг може включати вимірювання переміщень, деформацій, коливань, напружень, температури та інших параметрів.

Застосування геодезичної реконструкції і моніторингу у будівництві та експлуатації дозволяє гарантувати безпеку, ефективність і тривалість життя будівель та споруд. Ці процеси важливі для виявлення потенційних проблем,

вживання необхідних заходів та забезпечення надійності і стійкості інженерних об'єктів.

7.2 Визначення технології та методів моніторингу

Для геодезичного моніторингу будівель та споруд використовують різні технології та методи залежно від конкретних потреб, характеристик об'єктів та вимог до точності вимірювань. Основні технології та методи геодезичного моніторингу включають:

1. Супутникову геодезію: використання супутникової навігаційної системи (*GPS*, ГЛОНАСС) для вимірювання координат точок на об'єктах. Це дає змогу відслідковувати зміщення, деформації та рухи будівель із високою точністю та швидкістю.

2. Лазерне сканування (*LIDAR*): використання лазерних пристроїв для збору точкових хмар даних, які відображають поверхню об'єкта з високою точністю, що дозволяє виявити зміни в геометрії об'єктів, зокрема деформації та зсуви.

3. Інженерна геодезія: використання традиційних геодезичних інструментів (теодоліти, нівеліри) для вимірювання кутів, відстаней та висот на об'єктах, що можна застосовувати для контролю точності будівництва та виявлення змін у геометрії об'єктів.

4. Інтерферометрія: використання інтерферометричних методів, зокрема радіоінтерферометрію та оптичну інтерферометрію, для вимірювання зміщень та деформацій на об'єктах. Ці методи дозволяють виявляти навіть дрібні зміни у структурах.

5. Інженерні вібраційні датчики: використання спеціалізованих датчиків для вимірювання коливань та вібрацій на будівлях, що дозволяє контролювати вплив зовнішніх факторів, таких як вітрові та сейсмічні навантаження.

Ці технології та методи можуть застосовуватись окремо або комбінуватись для отримання більш повної інформації про стан та зміни в

будівлях та спорудах. Вибір конкретної технології та методу залежить від розмірів об'єкта, потреби щодо точності, доступності обладнання та інших факторів.

Контрольні запитання

1. Що передбачає геодезична реконструкція?
2. Перелічіть технології і методи геодезичного моніторингу будівель та споруд на територіях інженерних споруд.

ТЕМА 8 ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИДИ МОНІТОРИНГУ

План

8.1 Види та порядок проведення робіт із геодезичного моніторингу територій.

8.1 Види та порядок проведення робіт із геодезичного моніторингу територій

Основними видами робіт (етапів) геодезичного моніторингу однієї будівлі нескладної форми є:

- рекогностування об'єкта;
- аналіз результатів спостережень попередніх років;
- складання програми спостережень;
- встановлення деформаційних марок та плівкових відбивачів;
- технічний огляд знаків нівелювання (деформаційних марок) та плівкових відбивачів;
- спостереження за осіданнями основи – нівелюванням II класу;
- обробка результатів спостережень за осіданням основи будівлі;
- спостереження за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі шляхом побудови лінійно-кутової мережі та лінійно-кутових засічок;
- обробка результатів спостережень за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі;
- аналіз отриманих даних;
- складання проміжних та заключного звітів з науково-дослідної роботи.

Обсяги робіт з геодезичного моніторингу однієї будівлі нескладної форми включають:

1. Рекогностування об'єкта.

Рекогностування об'єкта робіт виконується перед складанням кошторисної документації для визначення даних, необхідних для складання

кошторису та договірної документації. За результатами складається попередня схема нівелірного та полігонометричного ходів, визначаються місця встановлення деформаційних марок та вихідних пунктів (реперів). Виконується один раз на весь період спостережень.

2. Аналіз результатів спостережень попередніх років.

Аналіз результатів спостережень попередніх років виконується з метою визначення величин і особливостей розвитку деформацій будинку в часі, що діяли на будівлю протягом попередніх років. Аналізу підлягають технічні звіти, плани, профілі, проекти на реконструкцію тощо. Виконується один раз на весь період спостережень.

3. Складання програми спостережень.

Складання програми спостережень виконується для визначення та обґрунтування видів та обсягів спостережень. Визначається методика виконання спостережень, вибираються та розробляються конструкції деформаційних марок та інших знаків. Розраховується необхідна кількість робітників та визначається їхня кваліфікація. Розраховується необхідна кількість транспорту, обладнання, приладів та іншого устаткування. Складається попередній графік виконання спостережень. Виконується підготовка необхідної документації для укладання договору із замовником. Програма погоджується із замовником. Виконується один раз на весь період спостережень.

4. Встановлення деформаційних марок та плівкових відбивачів.

Деформаційні марки встановлюють за допомогою висвердлювання перфратором отвору та цементування в ньому марки. Місце встановлення марок визначається на кутах будівлі, біля осадового шва по обидва його боки, у місцях прилягання поперечних і повздовжніх стін. Марки встановлюють так, щоб виступна частина дорівнювала 5 см – цього достатньо для встановлення нівелірної рейки на верхню точку на висоті 30–50 см від рівня земної поверхні та приблизно на однаковому рівні, відстань між марками – 2–4 м.

Плівкові відбивачі мають розмір 15 мм × 15 мм або 25 мм × 25 мм та клейову зворотну частину. Встановлюються плівкові відбивачі так, щоб сторона відбивача суміщалася з кутом будівлі. Виконується один раз на початку спостережень і в разі знищення або руйнації деформаційних марок та плівкових відбивачів.

5. Технічний огляд знаків нівелювання (деформаційних марок) та плівкових відбивачів.

Технічний огляд знаків нівелювання (деформаційних марок) та плівкових відбивачів виконується для виявлення пошкодження знаків із метою усунення пошкоджень.

При виявленні пошкоджень деформаційних марок виконується ремонт шляхом повторного бетонування марки розчином. У разі неможливості ремонту на місце пошкодженої марки встановлюється нова шляхом висвердлювання отвору в основі будівлі та бетонування в отворі нової марки подібної конструкції. Плівкові відбивачі оглядаються на наявність та можливість відбивної поверхні. У разі втрати плівкового відбивача або його зафарбовування на це місце встановлюється новий плівковий відбивач. Виконується перед кожним циклом спостережень два рази на місяць.

6. Спостереження за просіданням основи – нівелюванням II класу.

Проводяться такі заходи: складання схеми нівелірного ходу; перевірка приладу, компарування рейки; виконання нівелювання відповідно до вимог нормативних документів, закріплення місць, встановлення приладу за тимчасовими знаками (дюбелями). Нівелювання виконується від вихідних пунктів мережі. Схема нівелірного ходу однакова для всіх циклів спостережень, щоб зменшити кількість джерел похибок. Ведеться польовий журнал. Нівелювання виконується два рази на місяць.

7. Обробка результатів спостережень за просіданням основи будівлі: перевірка та обробка польових результатів спостережень, складання відомості позначок деформаційних марок із визначенням просідання, складання схем,

графіків. Розрахунки проводяться відповідно до нормативних документів два рази на місяць.

8. Спостереження за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі шляхом побудови лінійно-кутової мережі та лінійно-кутових засічок: вибір найвигіднішої схеми лінійно-кутової мережі (полігонометричного ходу), перевірка приладу (тахеометра), вимірювання кутів та ліній у полігонометричному ході відповідно до вимог нормативних документів та інструкції на тахеометр, закріплення місць встановлення приладу за допомогою тимчасових знаків (дубелів), запис результатів вимірювань у блок накопичення тахеометра. Виконується два рази на квартал.

9. Обробка результатів спостережень за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі.

Обробка результатів спостережень виконується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. За результатами обробки визначаються координати та позначки плівкових відбивачів. Результати вносяться у відомість координат разом із визначеними деформаціями. Складаються схеми та графіки, виконуються необхідні розрахунки. Виконується два рази на квартал.

10. Аналіз отриманих даних: аналіз отриманих значень просідання й відхилення від вертикалі та особливостей розвитку деформування будівлі в часі, порівняння отриманих даних з гранично допустимими значеннями відповідно до нормативних документів, виявлення ступеня небезпеки деформацій для сталої експлуатації будівлі. Виконується один раз на квартал під час формування звітів.

11. Складання проміжних та заключного звітів з науково-дослідної роботи: складання текстової частини звіту з науково-дослідної роботи відповідно до вимог нормативних документів, опис методів виконання інженерно-геодезичних спостережень, складання табличних і графічних додатків, редагування звіту, оформлення та випуск звіту. Виконується один раз на квартал.

Контрольні запитання

1. Яким чином відбувається проведення геодезичного моніторингу?
2. Які вимоги висуваються до організації та здійснення геодезичного моніторингу?
3. Хто здійснює організацію геодезичного моніторингу?
4. Назвіть види геодезичних моніторингових робіт.
5. Яким є порядок проведення робіт із геодезичного моніторингу?
6. Наведіть приклад організації моніторингових робіт.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Геодезичний моніторинг – з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА / О. П. Ісаєв, О. В. Адаменко, Р. В. Шульц та ін. // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – № 47. – С. 265–277.
2. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. – Чинний від 2008–07–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. – 76 с.
3. Літинський В. Геодезичний енциклопедичний словник / В. Літинський. – Львів : Євросвіт, 2001. – 668 с. : іл.
4. Електронний атлас України [Електрон. ресурс] / Інститут географії НАНУ. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/default.html>, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.
5. Смолій К. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / К. Смолій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Вип. 1. – С. 87–89.
6. ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. – Чинний від 2017–11–01. – Київ : Мінрегіон України, 2017. – С. 41–42.

Електронне навчальне видання

КАСЬЯНОВ Володимир Володимирович

В'ЯТКІН Роман Сергійович

ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *В. Є. Плюгін*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання: *В. В. Касьянов, Р. С. В'яткін*

План 2022, поз. 224Л

Підп. до друку 22.01.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.