

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

В. В. Касьянов

ДОСЛІДНИЦЬКІ МЕТОДИ ТА СУЧАСНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Касьянов В. В. Дослідницькі методи та сучасні технології геодезії : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / В. В. Касьянов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 115 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. В. В. Касьянов

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 № 1 від 26.08.2022

Конспект лекцій складено з метою висвітлити основні питання щодо дослідницьких методів та сучасних технологій в геодезії.

© В. В. Касьянов, 2022

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ТЕМА 1 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ	6
1.1 Інноваційні розробки та технології в геодезії і картографії.....	6
1.2 Сучасне геодезичне обладнання та програмне забезпечення для проєктно-вишукувальних робіт	8
ТЕМА 2 НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	18
2.2 Нормативно-правове забезпечення геодезичних вишукувань.....	18
2.2 Класифікація інженерно-геодезичних вишукувань	21
ТЕМА 3 ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ	25
ТЕМА 4 СУЧАСНІ СУПУТНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	37
4.1 Застосування GNSS-технологій.....	37
4.2 Державна геодезична мережа	47
4.3 Мережа референсних базових станцій.....	48
ТЕМА 5 ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ТА ЛІДАРІВ	51
5.1 Використання сучасних безпilotних літальних апаратів для інженерно-геодезичних вишукувань	51
5.2 Повітряне лазерне сканування	61
ТЕМА 6 ВІМ-МОДЕЛЮВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ.....	66
6.1 ВІМ-моделювання та лазерне сканування	66
6.2 Геодезичний супровід будівництва, реконструкції і моніторинг будівель та споруд.....	83
ТЕМА 7 ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЇ В ГЕОДЕЗІЇ ТА КАРТОГРАФІЇ.....	92
7.1 Передумови, основні положення та нормативно-правові засади цифрової трансформації.....	92

7.2 Основні принципи побудови геопорталів.....	105
ТЕМА 8 ЗАСТОСУВАННЯ, ОФОРМЛЕННЯ ТА РЕЄСТРАЦІЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	107
8.1 Технологія зберігання даних та принципи їх застосування.....	107
8.2 Методика застосування просторової основи для оформлення та реєстрації топографо-геодезичних матеріалів.....	111
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Дослідницькі методи та сучасні технології геодезії» є формування майбутніх науковців вищої кваліфікації, які володіють системою знань, включаючи теоретико-методичні підходи та практичні навички, дослідницькі методи та особливості використання сучасних технологій геодезичних вишукувань і робіт з моніторингу та цифрової трансформації даних.

Завданнями вивчення дисципліни є оволодіння теоретико-методичними основами інноваційних технологій в геодезії, виявлення особливостей, освоєння процесів створення просторової основи та практичної реалізації і трансформації новітніх технологій в геодезії та картографії.

Дисципліна складається із трьох змістових модулів:

Змістовий модуль 1 Інноваційні технології в геодезії де розглядаються сучасні та новітні технології в геодезії і картографії, програмні забезпечення та системи автоматизованого проєктування.

Змістовий модуль 2 Сучасні технології інженерно-геодезичних вишукувань та моніторингових робіт де розглядається сучасне обладнання та технології щодо застосування їх при різних видах польових вишукувань і моніторингу будівель та споруд.

Змістовий модуль 3 Наукові положення цифрової трансформації геодезії і картографії де розглядається основні положення та нормативно правові засади цифрової трансформації. Технології зберігання даних, методики та принципи їх застосування.

Конспект лекцій запропоновано для аспірантів та докторантів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій.

ТЕМА 1 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ

План

1.1 Інноваційні розробки та технології в геодезії і картографії.

1.2 Сучасне геодезичне обладнання та програмне забезпечення для проєктно-вишукувальних робіт.

1.1 Інноваційні розробки та технології в геодезії і картографії

На сьогодні існує велика кількість різних геодезичних приладів, а геодезичні технології давно змінилися і дуже відрізняються від традиційних технологій та традиційного геодезичного обладнання. Раніше для певного виду вимірювань використовували конкретний тип приладів. Наприклад, теодоліти використовували для кутових вимірювань, далекомір і рулетку використовували для лінійних вимірювань, а нівелір для висотних вимірювань. І певні прилади мали свої характеристики точності.

Потім з'явилися електронні тахеометри, які зробили можливим отримувати координати в будь-якій точці об'єкта за дуже короткий проміжок часу. Завдяки електронному тахеометру відпала необхідність в додаткових і попередніх побудовах на місцевості. Електронні тахеометри можуть похвалитися точністю вимірювання кутів, яка досягає половини кутової секунди. Також є ручні лазерні далекоміри, завдяки яким можна виконувати високоточні обміри всередині приміщень. Сучасний тахеометр може накопичувати і зберігати в собі інформацію про вимірювання, тобто служить міні-комп'ютером для обробки вимірювань.

Лазерні сканери, в свою чергу, дозволяють отримати об'ємне зображення території, яке потім можна використовувати в створенні цифрових карт. Високошвидкісне сканування дає можливість переносити сукупність

характеристик реальної поверхні в цифровий вигляд, а результат буде представлений в просторовій системі координат. Наземні лазерні 3d-сканери є результатом нових геодезичних технологій.

За час свого існування людство завжди намагалося створити технічні засоби, способи та технології побудови якомога точнішого зображення оточуючого середовища для його візуалізації та вирішення багатьох наукових та прикладних задач. Наявність зображень, схем, планів, карт та інших варіантів зображення місцевості допомагало людям у будівництві та мореплавстві, військовій та рятувальній справі, туризмі та мандрівках і в багатьох інших сферах їх життєдіяльності. Із зростанням рівня технічної та технологічної оснащеності підвищувалися вимоги до точності та достовірності цих зображень, а з початком космічної ери точність просторового позиціонування набула виняткового значення, оскільки іноді певні завдання необхідно було виконувати дистанційно, без безпосередньої присутності людини-оператора, хоча на сьогоднішній день у зв'язку зі швидким розвитком безпілотної техніки така точність потрібна не тільки в космосі. Для цього використовувалися та продовжують використовуватися різноманітні технології отримання даних, серед яких на сьогоднішній день існують наступні технічні засоби та методи: засоби нівелювання, тахеометричної зйомки та лінійних вимірів тощо. Однак ці засоби не в повній мірі відповідають сучасним вимогам та не завжди дозволяють створити тривимірні цифрові моделі з високою точністю. Одним із способів вирішення цього завдання є використання технічних засобів лазерного сканування (ЛС), які з одного боку вимагають значних матеріальних вкладень і людських ресурсів, але з іншого боку дають можливість більш швидко отримувати високоточні тривимірні зображення. Ці технології перетворюють плоскі цифрові зображення в тривимірні, що в свою чергу допомагає набагато легше і швидше вивчати потрібну територію або простір для вирішення різноманітних задач.

У зв'язку зі зростаючою потребою в отриманні подібних моделей, актуальною задачею є подальше вдосконалення технічних засобів, методів та технологій, а також програмного забезпечення обладнання для лазерного сканування з одночасним зниженням витрат на його експлуатацію.

1.2 Сучасне геодезичне обладнання та програмне забезпечення для проєктно-вишукувальних робіт

В історії розвитку методів і засобів геодезичних вимірювань за останні півстоліття відбулися дві революції. Перша з них здійснилась в сорокових – п'ятдесятих роках ХХ сторіччя, і полягала вона в тому, що в геодезію прийшла електроніка. До цього всі геодезичні прилади були виключно оптико-механічними пристроями. Електроніка почала свій тріумфальний хід в геодезії з лінійних вимірювань, потім проникла в кутові вимірювання, а згодом і в найконсервативнішу область – нівелювання. Інтенсивна розробка світловіддалемірів, радіовіддалемірів, електронних тахеометрів, радіогеодезичних систем для визначення координат рухомих об'єктів означала настання нової ери в геодезії. Величезну роль зіграла поява у 1960 році лазерів, бурхливий розвиток мікроелектроніки і обчислювальної техніки, що забезпечило створення сучасних комп'ютерних технологій. До вище перелічених електронних засобів геодезичних вимірювань додалися лазерні інтерферометри і балістичні (лазерні) гравіметри.

Друга революція, початок якої належить до сімдесятих років, – це створення глобальних супутникових навігаційно-геодезичних систем. Хоча розробка і використання супутникових систем типу «Транзит» (США) і «Цикада» (СРСР) для мети навігації почалося ще у 60-х роках, переворот в геодезії вчинили саме глобальні системи: *GPS* (США) і *ГЛОНАСС* (Росія). Ці системи називаються глобальними тому, що вони забезпечують отримання

координат в будь-якій точці Землі в будь-який довільний момент часу. В них реалізовані принципово нові методи вимірювань, і ці системи дозволяють здійснити абсолютно нові підходи до виконання геодезичних робіт.

Роль глобальних супутникових систем важко переоцінити. Визначення координат точок на земній поверхні за допомогою цих систем отримало широке застосування в самих різних областях людської діяльності. Координати потрібні не тільки геодезістам, вони потрібні і морякам, і авіаторам, і військовим, і учасникам різних експедицій, і багатьом іншим споживачам. Раніше, щоб отримати координати, доводилося виконувати трудомісткі геодезичні роботи на місцевості, вимірюючи геометричні величини – відстані, кути і перевищення між точками на земній поверхні. Для передачі координат треба було будувати мережі різних конфігурацій, закріплені на місцевості спеціальними центрами, що закладаються у верхньому шарі земної поверхні. Над центрами зводились геодезичні знаки (піраміди, сигнали) – дерев'яні або металеві «наглядні вежі», часто значної висоти (до 30 м), для забезпечення взаємної видимості між пунктами. Поява супутникових систем зробила, у принципі, непотрібними всі ці роботи. Маючи супутниковий приймач, ми маємо можливість відразу ж визначити координати місця його установки з точністю порядку десятків метрів, що достатньо для багатьох навігаційних задач, а за наявності двох приймачів – отримати «геодезичну точність» визначення їх взаємного положення до сантиметрів і навіть міліметрів. Це дозволяє створювати опорні мережі, виконувати знімальні і прив'язочні роботи набагато ефективніше порівняно з традиційними методами.

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

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

Геоінформаційна система містить дані про результати виконаних на тій або іншій ділянці топографо–геодезичних і кадастрових робіт. Вона дозволяє швидко вносити зміни в банк даних: результати нових вимірювань, відомості про виявлені грубі помилки у виконаних раніше роботах, результати зрівняння, дані про знову створені і втрачені опорні пункти та ін. В деяких регіонах з використанням супутникових систем удосконалюється геодезична мережа, створена колись наземними методами. Отримання більш точних координат вимагає внесення виправлень в топографічні і кадастрові матеріали. Ця процедура легко виконується за наявності геоінформаційної системи на конкретний регіон або об'єкт.

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

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

Існує ще один напрям в області геотроніки, що має велике значення для прикладної геодезії. Це створення просторово-координатних систем (ПКС) для прецизійного (з помилкою 10–50 мкм) визначення координат контрольних точок складних поверхонь, таких як крило літака або елементи антени радіотелескопу).

Такі системи називають *3D-системами* (від англ. «3-Dimension») – «трьохвимірні», «трьохкоординатні». Існуючі системи використовують або електронні стежачі теодоліти, що виконують пряму кутову засічку, або стежачі лазерні інтерферометри, що здійснюють лінійну засічку. Робота управляється комп'ютером і виконується в просторі об'ємом до декількох кубічних метрів.

Що стосується вимірювань за допомогою глобальних супутникових систем, то ця технологія безперервно і стрімко удосконалюється. До останніх досягнень входять такі, як розробка двохчастотних приймачів *GPS/ГЛОНАСС*, можливість отримання диференціальних поправок з геостационарного супутника зв'язку і радіомаяків, можливість роботи в режимі кінематики в реальному часі, яка не вимагає пост-обробки, поєднання супутникового приймача з електронним тахеометром. Поява супутникових систем зробила непотрібним застосування радіовіддалемірів, які широко використовувалися раніше, поставивши крапку в їх виробництві, і сильно вплинула на роль світловіддалемірів.

Не слід, проте, вважати, що супутникові системи є якоюсь «панацеєю», яка може бути використана у всіх випадках. В реальних умовах вимірювань часто зустрічаються ситуації, коли робота супутникових систем утруднена, а іноді і просто неможлива через несприятливі умови спостережень, коли місцеві перешкоди екранують пряме проходження радіосигналів від супутників або створюють численні віддзеркалення радіохвиль від будівель, металевих конструкцій тощо, порушуючи стійку роботу супутникових приймачів (особливо характерно це при роботі в міських умовах). Неможливо використовувати супутникові системи при маркшейдерських роботах. Все це

враховується при плануванні супутникових вимірювань, і у ряді випадків доводиться використовувати і традиційні методи світловіддалеметрії та електронної тахеометрії.

Електронний тахеометр – це вимірювальний інструмент, у якому конструктивно об'єднані електронний теодоліт, світлодалекомір і мікропроцесор із прикладним геодезичним програмним забезпеченням (рис. 1.1). Мікропроцесор дозволяє зберігати дані вимірів у внутрішній пам'яті і робити обробку й аналіз результатів вимірів безпосередньо в полі.



Рисунок 1.1 – Електронний тахеометр Leica TS-10

У електронних тахеометрах відстані вимірюються по різниці фаз випущеного і відбитого променя (фазовий метод), а іноді (у деяких сучасних моделях) – за часом проходження променя лазера до відбивача і назад (імпульсний метод). Точність вимірювання залежить від технічних можливостей моделі тахеометра, а також від багатьох зовнішніх параметрів: температури, тиску, вологості тощо.

Діапазон вимірювання відстаней залежить також від режиму роботи тахеометра: відбивний та безвідбивний. Дальність вимірювань при безвідбивному режимі безпосередньо залежить від відбиваючих властивостей поверхні, на яку проводиться вимірювання. Дальність вимірювань на світлу гладку поверхню (штукатурка, кахельна плитка тощо) в кілька разів перевищує максимально можливу відстань, виміряне на темній поверхні. Максимальна дальність лінійних вимірювань для режиму з відбивачем (призмой) – до п'яти кілометрів (при декількох призмах – ще далі); для безвідбивного режиму - до одного кілометра. Моделі тахеометрів, які мають безвідбивний режим, можуть вимірювати відстані практично до будь-якої поверхні, однак слід з обережністю ставитися до результатів вимірювань, проведених крізь гілки, листя і подібні перешкоди, оскільки невідомо, від чого саме відіб'ється промінь, і, відповідно, відстань до чого він виміряв.

Існують моделі тахеометрів, що володіють віддалеміром, поєднаним з системою фокусування зорової труби. Переваги таких приладів полягає в тому, що вимірювання відстаней виробляється саме на той об'єкт, по якому в даний момент виставлена зорова труба приладу.

Точність кутових вимірів сучасним тахеометром досягає половини кутової секунди ($0^{\circ} 00'00, 5''$), відстаней – до 0,5мм – 1 мм на кілометр (наприклад в тахеометрах серії *TS-10* від фірми *Leica*).

Точність лінійних вимірювань в безвідбивному режимі – до 1-го мм плюс 1 мм на кілометр.

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

Тахеометри, що збираються з окремих модулів, дозволяють вибрати компоненти саме під конкретні прикладні задачі, повністю виключивши зайву функціональність.

Цифрові прецизійні нівеліри. Забезпечують високу точність визначення висот. Можуть використовуватися в тих випадках, коли точність визначення висот супутниковими системами й електронними тахеометрами недостатня. Обсяг таких робіт відносно невисокий, тому і приладів потрібно небагато.

Найбільш універсальними є, безумовно, електронні тахеометри. При всій привабливості супутникових систем вони не можуть гарантувати роботу у всіх випадках через необхідність «бачити чисте небо». Не випадково практично всі російські постачальники геодезичного устаткування, що навіть починали у свій час працювати винятково із супутниковою апаратурою, сьогодні вважають за необхідне пропонувати електронні тахеометри. Тому тенденції розвитку простежимо на прикладі приладів цього класу.

Останнім часом чітко прослідковується тенденція розвитку електронних тахеометрів – від «звичайних» приладів до роботизованих станцій. Прилад забезпечується сервоприводами, модулем наведення на візирну мету і радіо-комунікаційним пристроєм. З їхньою допомогою він автоматично наводиться на крапку, що спостерігається, а всі команди оператор подає з пульта дистанційного керування. Оператор забуває про необхідність змінювати фокусування зорової труби і ручному наведенні на крапку. Він цілком зосереджений на показаннях дисплея. Різко збільшується якість кодування об'єктів при зйомці, що приводить до зниження часу камеральної обробки. Переваги при розбивочних роботах просто величезні – обчислюються редукції відбивача в проєктне положення і обновляються в реальному часі.

Сьогодні виробляється і ціле сімейство тахеометрів-автоматів. Це не просто роботизовані прилади із сервоприводами і пристроями автоматичного наведення на візирну мету, а свого роду датчики положення об'єкта, які можна використовувати як складений елемент комп'ютеризованої технології.

Електронні тахеометри, які випускалися до 2003 року, оснащувалися інфрачервоним далекоміром з невидимим променем, що вимірює відстань до цілі з використанням призмених або плівкових відбивачів. Сучасні моделі тахеометрів оснащені безвідбивним лазерним далекоміром з видимим променем, у якому використовується технологія RED-tech. Цей далекомір має найвищу швидкість і точність вимірів. Вузький лазерний промінь забезпечує можливість безвідбивного виміру відстаней до дрібних об'єктів (кути будинків, електричні проводи, ізолятори і т.п), при великих кутах падіння луча на поверхню, що відбиває, (при зйомці каналізаційних люків), а також при наявності перешкод (сіткові огороження, дрібні галузі і листи дерев). Крім цього, лазерний далекомір, у порівнянні з інфрачервоним далекоміром, має значно велику (у 2,5–3 рази) дальність виміру відстаней з використанням традиційних призмених або плівкових відбивачів.

Усі сучасні тахеометри мають:

- зорову трубу прямого зображення і високого розрішення, що допускає поворот через зеніт і надир, що значно полегшує наведення на ціль;
- підсвічування сітки ниток і клавіатури;
- двухвісьовий рідинний компенсатор, що дозволяє коректувати вплив відхилення інструмента по осях X і Y у діапазоні до 3', що разом із програмою обліку колімаційної помилки забезпечує точні кутові виміри.
- комунікаційний порт RS232 для підключення комунікаційного кабелю
- порт для підключення зовнішнього джерела харчування.

Всі електронні тахеометри (крім спеціальних) внесені в Держреєстр України і не вимагають проходження метрологічної атестації при ввезі.

Характеристики: точність кутових вимірів – від 2 до 5", дальність вимірів на одну призму – 5 000 м, дальність вимірів без відбивача – 350 м.

Зазвичай до звичайної комплектації входить: тахеометр на тригері, 2 акумулятори, захисна бленда, чохол і інструмент для юстирування, кабель ПК,

ПО для імпорту даних, керівництво вітчизняною мовою, захисний кейс для транспортування.

Сучасні моделі у північному варіанті дозволяють працювати в температурних умовах до -30°C .

Сучасне GNSS-обладнання.

GNSS (з англ. Global Navigation Satellite System) – комплексна електронно-технічна система, що складається з сукупності наземного та космічного обладнання та призначена для позиціонування в просторі (місцезнаходження в географічній системі координат) і в часі, а також визначення параметрів руху (швидкості, напрямку та ін.)

Leica GS18 I (рис.1.2) – сучасний універсальний геодезичний *GNSS RTK-ровер* з візуальним позиціонуванням. Створено для професіоналів у геодезії для проведення швидких і точних вимірювань точок, які раніше були недоступні для *GNSS-ровера*. Тепер є можливість закріпити об'єкт на фотографіях і виміряти точки на фотографіях відразу на місці або пізніше в офісі.

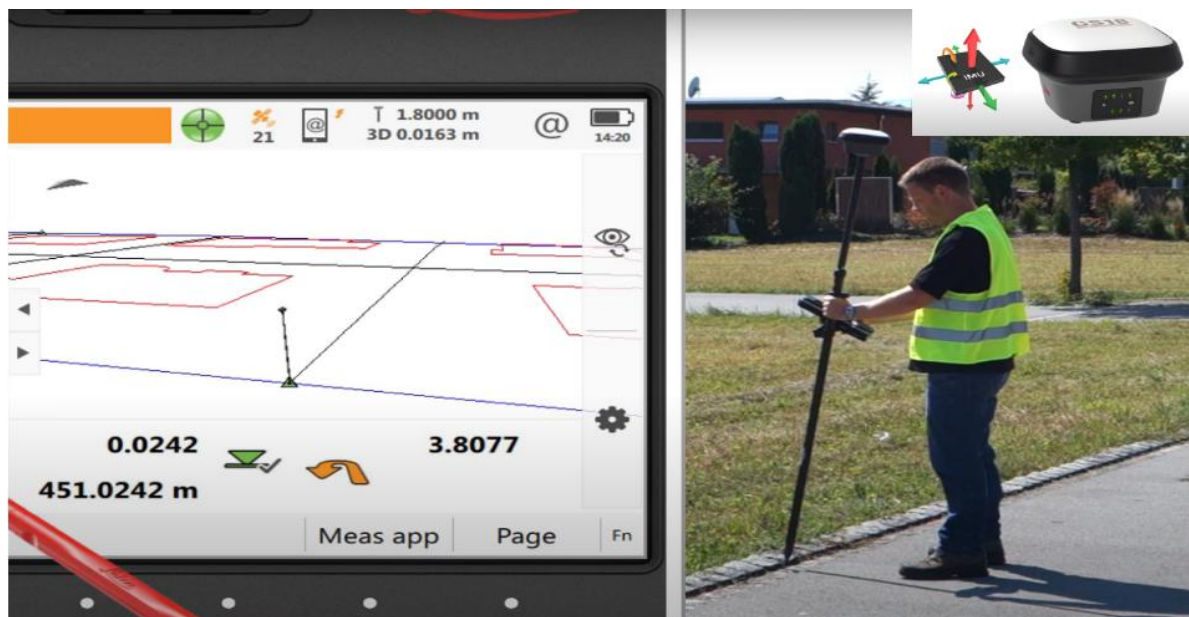


Рисунок 1.2 – Робота з сучасним GNSS-обладнанням

Сполука датчиків *GNSS*, *IMU* і камер формує технологію візуального позиціонування, завдяки якій *RTK-ровер GNSS* отримує можливість виміряти

все, що ви бачите. *GS18-I* володіє всіма функціональними можливостями *Leica GS18-T*: у доповненні до візуального позиціонування можливо, наприклад, виміряти точки з нахилоною або вертикальною віхою.

Виміряйте точки в умовах частково закритого неба більш ефективно і просто. Виміряйте точки, до яких ви раніше не могли дістатися за допомогою *GNSS-ровера*. Забезпечте більш високий рівень гнучкості та контроль без додаткового обладнання, що вимагає значущих витрат часу. Нанесіть на карту сотні точки з геодезичною точністю за раховані хвилини.

Тепер є можливість не марнувати час: просто зробіть знімок і вже потім вирішуйте, що саме потрібно виміряти. У вашому розпорядженні буде вся інформація, навіть якщо в наслідку об'єкт зміниться або зникне.

Натисніть на зображення, щоб виміряти точку в полі або в офісі.

В результаті застосування такої сучасної технології виникає можливість отримання швидкого і точного результату без втрати деталей об'єкта.

Контрольні питання

1. Що слугує законодавчою основою для застосування геодезичний приладів?
2. Що становить собою сучасне тахеометричне знімання?
3. Основне поняття *GNSS*-технології.
4. Основні завдання інженерно-геодезичних вишукувань.
5. Які сучасні програмні забезпечення використовуються для вишукування в будівництві?

ТЕМА 2 НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

План

2.1 Нормативно-правове забезпечення геодезичних вишукувань.

2.2 Класифікація інженерно-геодезичних вишукувань.

2.1 Нормативно-правове забезпечення геодезичних вишукувань

Топографічні плани крупних масштабів використовуються органами місцевого самоврядування, юридичними та фізичними особами для забезпечення планування і забудови території населених пунктів. Особлива потреба в актуальних топографічних матеріалах виникла на територіях, що зазнали пошкодження і руйнування житлового фонду, соціальних та громадських об'єктів, транспортної та дорожньої інфраструктури, промислових та сільськогосподарських підприємств внаслідок агресії Російської Федерації.

Відновлення тисяч повністю або частково зруйнованих населених пунктів та створення в них нормальних умов життєдіяльності потребує великих ресурсних затрат та великого обсягу підготовчих, проєктних, будівельно-монтажних, оздоблювальних робіт, а також благоустрою територій. Тому дуже важливо суттєво збільшити обсяг та поліпшити якість і ефективність топографо-геодезичних робіт щодо формування топографічних планів населених пунктів за рахунок покращення логістики, оновлення приладів і технологій, підвищення кваліфікації виконавців.

Огляд існуючих методів топографічного знімання показує, що чинна нормативна база застаріла і потребує перегляду. Тому питання дослідження технологій та техніко-економічних показників окремих методів топографічного знімання наразі є актуальним.

Топографічні матеріали виготовлюються за результатами топографічного знімання місцевості сертифікованими інженерами-геодезистами та інженерами-землевпорядниками, які отримали встановлені кваліфікаційні сертифікати. Особливості використання топографічних матеріалів для планування і забудови територій визначені містобудівним законодавством. Результати топографічного знімання місцевості використовуються для створення та актуалізації геопорталів бази топографічних даних та національної інфраструктури геопросторових даних [10].

Під час виконання топографо-геодезичних робіт підприємства, установи і організації незалежно від форми власності, а також фізичні особи, зобов'язані додержуватись вимог відповідних нормативно-технічних документів [6].

Основні технічні вимоги до проектування, проведення та використання результатів великомасштабного топографічного знімання для потреб картографування викладені в «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» [5]. Можуть також створюватися топографічні плани спеціального призначення, технічні вимоги до яких встановлюються нормативно-технічними актами відповідних відомств. Але точність таких топографічних планів повинна відповідати вимогам «Інструкції з топографічного знімання...» [5].

Топографічні плани будуються у цифровому або графічному вигляді із застосуванням «Умовних знаків для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» [8].

Вибір масштабу знімання і висоти перерізу рельєфу залежить від багатьох факторів, в тому числі від призначення топографічного плану та характеру рельєфу.

Середні квадратичні похибки планового положення контурних точок відносно пунктів знімальної основи не повинні перевищувати 0,5-0,6 мм в масштабі плану [16]. Тобто для топографічного плану масштабу 1:2000 цей показник має бути в межах 1,0-1,2 м. А в гірських і лісових районах, а також як

виняток при відповідному обґрунтуванню, ще більший [17]. При створенні топографічного плану у графічному вигляді на твердих основах з креслярським папером або маледеформованим пластиком така точність планового положення контурних точок порівнянна з графічною точністю масштабу плану і цілком прийнятна.

Для топографічного плану, який створюється у цифровому вигляді, графічна точність менше 0,001 мм незалежно від масштабу плану. Тому для забезпечення високої точності взаємного положення точок цифрової моделі місцевості потрібно значно підвищити точність польових робіт у порівнянні з традиційними способами топографічних знімань. Цього легко досягнути, наприклад, електронними тахеометрами. Тоді виміри геометричних параметрів на цифровій моделі місцевості дають результати, по суті, з точністю вимірів на місцевості.

Використання сучасних електронних тахеометрів дає можливість суттєво збільшити нормативну відстань від приладу до планової пікетної точки. Наприклад, для масштабу знімання 1:2000 гранична віддаль від пункту знімальної основи до контурної точки складає 750 м. Приймаючи середні квадратичні похибки вимірювання кутів $5''$, а відстані до 1 км – 2 см, обчислимо середню квадратичну похибку визначення положення пікетної точки за відомою формулою:

$$m_P = \sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2} d^2 + m_d^2} = \sqrt{\frac{5^2}{206265^2} 75000^2 + 2^2} = 2,7 \text{ см}, \quad (1.1)$$

де $m_\beta = 5''$ – середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута між вихідним напрямком та напрямком на пікетну точку;

$m_d = 2 \text{ см}$ - середня квадратична похибка вимірювання горизонтального прокладання до пікетної точки;

$\rho = 206265''$ - кількість секунд в одному радіані;

$d = 750 \text{ м}$ – відстань до пікетної точки.

Нормативна точність знімання рельєфу місцевості залежить від масштабу знімання та характеру рельєфу і складає від 1/4 до 1/3 прийнятої висоти перерізу рельєфу.

Топографічне знімання місцевості може виконуватися традиційними наземним (тахеометричний, фототеодолітний способи знімання) та аерофотографічним (стереотопографічний та комбінований способи знімання) методами. Розробка безвідбивних електронних тахеометрів, приладів для геодезичного використання глобальних навігаційних супутникових систем та сканування місцевості, безпілотних літальних апаратів, в тому числі квадрокоптерів, та професійних програмних продуктів для обробки результатів значно розширили можливості дистанційного топографічного знімання як значних, так і невеликих ділянок місцевості. При цьому скорочуються строки виконання польових та камеральних робіт, підвищується точність геодезичних даних та топографічних матеріалів, досягається висока оперативність та достовірність. Цей позитивний процес, нажаль, стримується відсутністю або несвоечасною розробкою нових нормативних документів.

В процесі проведення топографічних знімань місцевості має проводитись систематичний контроль топографо-геодезичних робіт. Він включає вхідний, самостійний та державний контроль. Для оцінки точності топографічних планів щодо положення точок в плані і по висоті проводяться контрольні виміри [16].

2.2 Класифікація інженерно-геодезичних вишукувань

Для визначення просторово-геометричних характеристик умов, на основі яких здійснюється проєктування, будівництво та експлуатація інженерних споруд, виконуються інженерно-геодезичні вишукування, що забезпечують вивчення топографічних умов району.

Технічне завдання на виконання інженерно-геодезичних вишукувальних робіт (додаток А) складається замовником за участі виконавця і генпідрядника [6]. Технічне завдання містить обов'язкову інформацію щодо:

- цільового призначення, видів та об'ємів робіт;
- найменування об'єкта та його загальної характеристики;
- стадійності проєктування;
- необхідної детальності та повноти відображення ситуації об'єкта;
- системи координат та висот, площ та масштабів зйомки, висот перерізу рельєфу по окремих ділянках;
- відомостей про наявність матеріалів вишукувань минулих років;
- черговості виконання робіт та строків видачі матеріалу.

До технічного завдання додається схема, на якій вказані межі ділянок зйомки з врахуванням комунікацій, що проєктуються.

До початку робіт на основі технічного завдання розробляється програма інженерно-геодезичних вишукувань, відповідно до положень нормативних документів та результатів вивчення фондових матеріалів, складності інженерно-геодезичних умов і детального польового рекогносцирування.

Програма інженерно-геодезичних вишукувань складається на весь комплекс робіт і визначає склад, методи та строки виконання робіт, а також їх об'єми та кошторисну вартість. Текстова частина програми вміщує відомості про фізико-географічний характер району та його топографо-геодезичну вивченість; опорні геодезичні мережі, що проєктуються, та систему координат і висот; види топографічної зйомки, прив'язки; інженерно-геологічні виробітки; технічний контроль та приймання робіт; строки, об'єми та вартість запланованих робіт та перелік матеріалів, які випускаються. До програми додається карта-схема, на якій вказані межі ділянок зйомки та розграфлені листи плану, схема опорних геодезичних мереж, що проєктуються, креслення

спеціальних зовнішніх знаків та центрів геодезичних пунктів, а також проект прив'язки інженерно-геологічних виробіток та інших точок.

На ділянках I категорії інженерно-геодезичних умов площею до 5 га замість програми виконання робіт допускається складання технічного припису [8].

Програма робіт, до початку їх виконання, погоджується із замовником, а при виконанні спеціальних робіт – із генпідрядником.

До складу інженерно-геодезичних вишукувань входять:

- збір та аналіз наявних матеріалів топографо-геодезичної направленості з метою оцінки їх репрезентативності та достатності;
- створення геодезичної основи топографічного зйомки шляхом побудови державної геодезичної мережі 3 та 4 класів; геодезичної мережі згущення 1-го та 2-го розрядів і нівелірної мережі II, III та IV класів, а також планово-висотної зйомочної геодезичної мережі у вигляді теодолітно-нівелірних та теодолітно-тахеометричних ходів;
- інженерно-геодезична та великомасштабна топографічна зйомка виконана з точністю масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, 1:200 та точніше;
- інженерно-гідрографічні та трасувальні роботи, геодезичні стаціонарні спостереження, кадастрові та інші спеціальні роботи, а також комплексні інженерно-геодезичні вишукування, що включають усі види робіт, що дозволяють отримати просторову модель розташування елементів існуючої ситуації;
- створення топографічних планів, профілів, інших топографо-геодезичних матеріалів у графічній та цифровій формах, призначених для розроблення проєктів, робочої документації та будівництва об'єктів, для оцінювання техногенного навантаження, розроблення заходів з інженерної підготовки та захисту території;
- зйомка підземних інженерних комунікацій;

- створення та ведення геоінформаційних систем населених пунктів і промайданчиків, державного містобудівного та земельного кадастрів; оновлення інженерно-топографічних планів вишукувань минулих років за виявленими у результаті польового обстеження змінами ситуації та рельєфу;
- інженерно-геодезичні роботи з контролю за деформаціями будівель, споруд та елементів їх конструкцій у період будівництва та експлуатації.

Зміст інженерно-геодезичних вишукувань, ступінь їх повноти, детальності та точності залежить від стадії проєктування споруд. При розробці ТЕО та ТЕР вишукування виконуються на великій площі в дрібному масштабі та досить часто без детальних польових робіт. Для робочого проєктування, пов'язаного з проєктуванням вертикального розпланування, перенесення в натуру проєктів споруд, виконується великомасштабна топографічна зйомка.

Камеральне опрацювання даних інженерно-геодезичних вишукувань проводять автоматизованими методами. Результатом виконання камеральних робіт є звіт із додатками відповідно до технічного завдання замовника та погодженої програми виконання робіт [17].

Контрольні питання

1. Які основні нормативно-правові документи використовуються при геодезичних вишукуваннях?
2. Що включає в себе технічне завдання?
3. Що необхідно для визначення просторово-геометричних характеристик умов?
4. Назвіть складові елементи геодезичних вишукувань.
5. Як здійснюється перевірка геодезичних приладів?

ТЕМА 3 ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ

Інформаційне моделювання в будівництві (BIM з англ. «Building Information Modeling») – це цифрове представлення фізичних і функціональних характеристик об'єкта, що створює спільно використовуваний інформаційний ресурс даного об'єкта та формує надійну основу для прийняття рішень на протязі його життєвого циклу: від ранніх концепцій до утилізації.

BIM – це один з найбільш багатообіцяючих підходів, який дозволяє розробку однієї або більше точних віртуальних, побудованих в цифровому форматі моделей об'єкта будівництва для підтримки заходів з проєктування, будівництва, виробництва і закупівлі, за допомогою яких і здійснюється будівництво безпосередньо

Абревіатура інформаційного моделювання «BIM» з'явилася в лексиконі спеціалістів порівняно недавно, хоча сама концепція комп'ютерного моделювання з максимальним урахуванням усієї інформації про об'єкт почала формуватися і набувати конкретних обрисів набагато раніше. Термін BIM протягом років відображав різні напрями і надалі не має єдиного, повсюдно акцентованого визначення. Ідея BIM походить із періоду початків CAD (80-ті роки XX ст.), коли була вперше концептуально описана науковцями і запроваджена в програмному забезпеченні перших версій програм CAD. У цьому періоді BIM фактично позначав тривимірне графічне моделювання, збагачене додатковими можливостями. Основою цієї технології була інформація про графічну модель, яка об'єднувала геометричну модель будівлі, її фізичні характеристики, назви і функціональні особливості окремих елементів. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання необхідності запровадження і розвитку інформаційного моделювання в будівництві досить активно вивчається іноземними вченими,

зокрема В. Талаповим, К. Сухачевим, А. Томана, Л. Устиновічюс та іншими. В Україні дослідження проблематики BIM займаються: А. Білик, М. Беляєв, А. Тесьолкін, М. Барабаш, К. Київська. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Водночас є ще значна частина питань, які потребують наукового обґрунтування та вирішення. Одне з них – дослідження сутності, виникнення, сучасного стану та перспектив розвитку інформаційного моделювання в будівництві (BIM).

Головною метою цієї сфери є дослідження сутності, становлення, сучасного стану та перспектив розвитку інформаційного моделювання в будівництві (BIM). В основі технології BIM лежить концепція об'єктно-орієнтованого параметричного проєктування (моделювання) будівель. І це параметричне моделювання є однією з тих принципових особливостей, які відрізняють BIM-програми від усіх інших CAD систем проєктування, якби вони при цьому не називалися. Спочатку такий підхід набув широкого поширення в машинобудуванні, а в останнє десятиліття особливо активно впроваджується в архітектурно-будівельному проєктуванні.

Еволюція інструментів автоматизації проєктування відображена на рисунку 3.1. Передумовами для еволюції автоматизованого проєктування стала потреба організації ефективної роботи зі швидко виникаючими величезними масивами цифрової інформації. Виникли нові класи систем, призначені для організації та координації робіт інженерного персоналу – системи управління даними про виріб (PDM – Product Data Management) і електронні архіви. Усе це в сукупності лягло в основу концепції управління життєвим циклом виробу – PLM (Product Lifecycle Management). На (рис. 3.1) зображено уявлення про життєвий цикл виробів та будівель із погляду концепцій PLM і BIM. Дуже важливо, що на всіх етапах життєвого циклу є єдина цифрова модель виробу в середовищі відповідних CAD і PDM – систем. У машинобудуванні власнику наявного примірника виробу важливі тільки його експлуатаційні характеристики, а не можливість виготовлення іншого примірника. Концепція

PLM передбачає масовий випуск виробів, і поняття «життєвий цикл» належить не до примірника виробу, а до його моделі. Тому мислити в категоріях життєвого циклу одного виробу сенсу немає. [1]

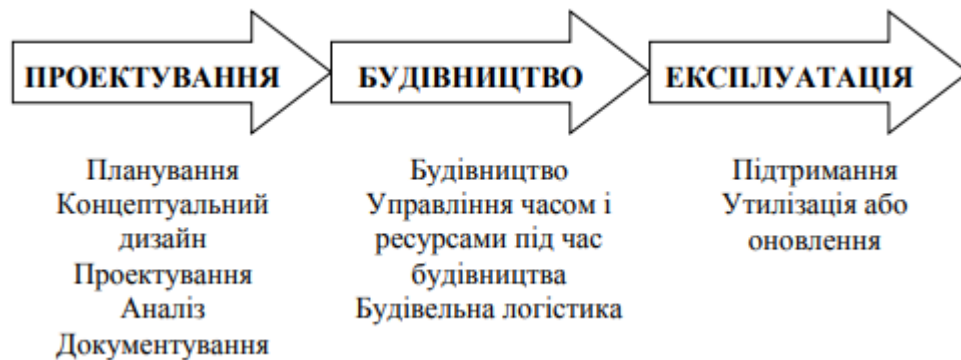


Рисунок 3.1 – Життєвий цикл будівлі в концепції BIM

Зовсім інша ситуація в галузі будівництва (рис 3.1). Тут уже йдеться про життєвий цикл одного конкретного будинку. Основні доходи і вигоди своєму власникові будівля приносить саме в період експлуатації, яка розтягується на багато десятиліть. Інформаційна модель у цьому випадку дозволяє проводити ефективне управління, облік витрачених ресурсів і здійснених платежів, якісно і своєчасно проводити поточні, капітальні та аварійні ремонтні роботи, вносити необхідні корективи в конфігурацію приміщень і здійснювати багато іншого, що необхідно для забезпечення оптимального використання будівлі. Зрозуміло, що для цього потрібні будуть спеціальні комп'ютерні програми, які будуть брати з моделі саме потрібну для задач ремонтного обслуговування інформацію і правильно нею оперувати.

На стадії експлуатації будівлі процес інформаційного моделювання триватиме і створюватиме інформаційну основу обґрунтованості експлуатаційних параметрів на майбутнє. Будівля з низькими експлуатаційними витратами є економічно ефективною. Одним із шляхів підвищення економічної ефективності будівлі – це застосування технології інформаційного моделювання будівель і автоматизованої системи управління

будівлею (BMS). Інформаційна модель будівлі й автоматизована система управління будівлею в комплексі – це контроль, моніторинг та оптимізація функціонування інженерних систем будівлі для забезпечення оптимальних умов мінімальними витратами.

У результаті отримуємо: зниження ймовірності аварійних ситуацій; підвищення рівня комфорту; економія енергії та ресурсів; підвищення терміну експлуатації.

У загальному підсумку економія до 40 % витрат на експлуатацію, зниження загальної вартості володіння будівлею до 30 % [1]. Таким чином, розроблені для машинобудування та засновані на параметричному моделюванні технологія проєктування і виготовлення компонентів остаточного виробу вже самим безпосереднім чином знаходять своє застосування під час зведення будівель, піднімаючи якість і продуктивність праці в будівництві на більш високий рівень. Спостерігаючи щораз швидший темп упровадження в практичну діяльність цілої низки інноваційних й інтелектуальних технологій, які значною мірою автоматизують наше повсякденне життя, слід очікувати також на схожий тренд у сфері систем, що допомагають у проєктуванні та реалізації будівельних інвестицій [2].

Видається, що на цьому полі система BIM має шанс стати безапеляційним лідером. Інформаційне моделювання в будівництві було започатковане в 1975 р. американським професором Чарльзом Істменом. У 1986 р. англієць Роберт Ейш вперше використав термін «Building Modeling» як інформаційне моделювання будівель.

Він сформулював основні принципи інформаційного підходу до проєктування:

- тривимірне представлення об'єкта;
- автоматичне отримання креслень на основі сукупності параметрів об'єкта та його елементів;
- інтелектуальна параметризація об'єктів;

- створення баз даних, що відповідають об'єктам будівництва;
- розподіл процесу будівництва по часовим етапам. Переваги застосування BIM:
- скорочення термінів проєктування;
- зменшення витрат на реалізацію проєкту;
- підвищення продуктивності праці завдяки простоті отримання інформації;
- покращення процесів узгодження будівельної документації;
- доступність конкретної інформації про виробників матеріалів,
- кількісні характеристики для оцінки та проведення тендерів.

У кінці 70-х – початку 80-х років минулого століття ця концепція розвивалася паралельно в Європі та США, причому в США найчастіше застосовували термін «Building Product Model», а в Європі «Product Information Model». Водночас обидва рази слово *Product* підкреслювало першочергову орієнтацію уваги дослідників на об'єкт проєктування, а не на процес. У результаті діяльності таких компаній, як *Autodesk*, *Bentley*, *Graphisoft*, *Nemetchek*, *Tekla* абревіатура BIM міцно увійшла в лексикон фахівців із комп'ютерних технологій проєктування й отримала широке розповсюдження, її тепер знає весь світ. Тоді і розпочався перший етап впровадження *BIM* у проєктних фірмах. Саме проєктувальників можна вважати «першопрохідцями» в новій технології. Проаналізуємо наявні визначення інформаційного моделювання. Інформаційна модель будівлі (BIM) – це вся інформація про об'єкт, яка має числовий опис і потрібним чином організована та використовується, як на стадії проєктування і будівництва, так і в період її експлуатації та знесення: – добре скоординована, злагоджена і взаємопов'язана; – піддається розрахункам та аналізу; – має геометричну прив'язку; – придатна для комп'ютерного використання; – допускає необхідні оновлення.

Інформаційна модель будівлі – це числова інформація про проєктований або вже наявний об’єкт, який можуть використовувати для:

- прийняття конкретних проєктних рішень;
- створення високоякісної проєктної документації;
- прогнозування експлуатаційних якостей об’єкта;
- складання кошторисів і будівельних планів;
- замовлення і виготовлення матеріалів і обладнання;
- управління зведенням будівлі;
- управління й експлуатації самої будівлі і засобів технічного оснащення

протягом всього життєвого циклу;

- управління будівлею як об’єктом комерційної діяльності;
- проєктування q управління реконструкцією або ремонтом будівлі;
- знесення та утилізації будівлі;
- інших пов’язаних із будівлею цілей.

BIM – це числове представлення та належним чином організована інформація про об’єкт, яка використовується на всіх етапах його життєвого циклу. Важливою складовою цієї технології є єдиний інформаційний простір, база даних, що містить усю інформацію про технічні, правові, майнові, експлуатаційні, енергетичні, екологічні, комерційні та інші характеристики об’єкта будівництва. Завдяки високій точності та детальному опису моделі, ця технологія дає можливість проводити різні розрахунки (наприклад, енергоефективність та енергоспоживання будівлі, комплексні розрахунки на довготривалість, вогнестійкість та міцність як усієї будівлі, так і її окремих елементів) та аналіз отриманих результатів [3].

Інформаційне моделювання будівництва BIM (Building Information Modeling) – це організаційний і технологічний підхід до проєктування, будівництва й експлуатації об’єкта будівництва (до управління життєвим циклом об’єкта), який передбачає збір і комплексну обробку в процесі проєктування всієї проєктно-конструкторської, технологічної, економічної та

іншої інформації про об'єкт будівництва із усіма її взаємозв'язками і залежностями, коли об'єкт будівництва і все, що має до нього відношення, розглядаються як єдиний об'єкт [7].

Інформаційне моделювання будівлі (building information modeling, BIM) – це технологія оптимізації процесів проектування і будівництва, в основі якої лежить використання єдиної моделі будівлі й обмін інформацією по будь-якому об'єкту між усіма учасниками, протягом усього життєвого циклу – від задуму власника і перших начерків архітектора до технічного обслуговування готового будинку [11].

Аналізуючи дефініції BIM, можна зробити висновок про необхідність більш чітко розрізняти, про який об'єкт ідеться. Так, є частина визначень, що стосуються безпосередньо моделі будівлі (Building Information Model), процесу життєвого циклу будівлі (Building Information Modeling) та всієї системи інвестиційно-будівельного процесу (Building Information Management). На нашу думку, найбільш чітко розподіл визначень BIM за трьома вищезазначеними напрямками наведено у звіті *Building SMART International* [3]:

Building Information Model – це цифровий опис фізичних і функціональних властивостей споруди, що є джерелом знань і різних даних про об'єкт та повною мірою доступний для учасників інвестиційного процесу і становить основу для прийняття рішення в процесі будівництва, від розробки концепції до знесення будівлі. *Building Information Modeling* – це творчий процес генерації та використання даних про споруду, її проектування, будівництво й експлуатацію під час повного життєвого циклу. *BIM* створює можливість доступу до інформації про об'єкт усіх зацікавлених учасників інвестиційно-будівельного процесу.

Building Information Management – це система організації і контролю інвестиційно-будівельного процесу за допомогою використання параметрів цифрової моделі будівлі для організації обміну інформацією під час усього інвестиційного циклу. Ефекти виникають унаслідок: централізованого обміну

даними, візуальної комунікації за допомогою тривимірних об'єктів, раннього розпізнання можливості, використання сталого, інтердисциплінарного та інтерактивного проектування, контролю в процесі та на місці будівництва, регулярної актуалізації документації (проектні зміни, під час будівництва, а також у процесі експлуатації).

Поява нової технології, яка допомагає в управлінні проектними, реалізаційними й операційними процесами, викликає багато різнопланових думок. Але більшість науковців погоджується з тим, що *BIM* став визначенням цифрового стандарту технологічної системи інформаційного моделювання споруд, метою функціонування якого є досягнення максимальної інтеграції між різними етапами будівельно-інвестиційного процесу та створення моделей «розумних» параметризованих об'єктів [12; 13].

Із розвитком технологій будівництва, змінюються і вся проектна документація ускладнюється, при цьому обсяг її неухильно зростає. Проектувальники змушені обробляти все більше і більше інформації, яка випереджає і супроводжує процес роботи над проектом. Потік інформації продовжує надходити і після здачі об'єкта в експлуатацію, оскільки зведена будівля тісно взаємодіє з навколишнім середовищем та іншими об'єктами. Також не варто забувати і про життєзабезпечення споруди, управління внутрішніми процесами.

У геометричній прогресії зростає ймовірність виникнення помилок, а зі збільшенням вартості проекту зростає і вартість помилок. У відповідь реакцією на перераховані вище проблеми стала концепція інформаційного моделювання будівель. Інформаційне моделювання як підхід до проектування будівель передбачає насамперед збір, зберігання і комплексну обробку в процесі проектування всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації про будівлю з усіма її взаємозв'язками і залежностями, коли будівля і все, що має до неї відношення, розглядаються як єдиний об'єкт. Бурхливий розвиток інформаційних технологій вимагає принципово нових

підходів в архітектурно-будівельному проєктуванні і розробці проєктно-кошторисної документації, що полягають у створенні комп'ютерних моделей будівель і споруд, що несуть у собі всі відомості про майбутні об'єкти. Головним принципом *BIM* є співпраця різних зацікавлених сторін під час окремих фаз життєвого циклу об'єкту, що дозволяє впровадження, отримання та актуалізацію інформації з метою підтримки і відображення ролі кожного користувача [14]. Отже, моделювання інформації про будівлю є системою, яка дозволяє цифровий опис багатьох параметрів будівельного об'єкту на етапах проєктування, реалізації та використання. Істотним є те, що опис параметрів *BIM* відбувається параметрично, що є принциповою перевагою і новаторським підходом. Але однією з основних ідей пов'язаних із *BIM* є можливість визначення й опису не тільки геометричних і матеріальних параметрів об'єкту, а також грошових і часових факторів. Завдяки цьому *BIM* дозволяє опис об'єкту, що охоплює всі фази, пов'язані з його виникненням і функціонуванням, від початкових концептуальних робіт, через етапи проєктування, реалізації, експлуатації, і аж по ліквідацію.

На сьогодні не існує загальноприйнятого визначення й єдиних стандартів до побудови інформаційної моделі об'єкта, але були сформовані основні принципи, яким вона повинна відповідати:

1) єдина інформаційна модель є узгодженим банком даних графічної і описової інформації, базою даних проєкту, загальною для всіх частин і етапів проєкту. Інформація може бути отримана з моделі за потребою.

2) ґрунтуючись на єдиній інформаційній моделі об'єкта, формується єдина стратегія управління проєктуванням, виробництвом і процесом реалізації будівельного об'єкта.

3) забезпечується підтримка розподілених груп: люди, інструменти і завдання можуть ефективно і спільно використовувати цю інформацію, що виключає надмірність, повторне введення і втрату даних, помилки під час їх передачі та перетворення.

4) універсализація форматів обміну даними між програмними комплексами різного призначення. Стандартні системи *CAD* дозволяють створення тривимірних моделей, які називають *3D моделями*.

Система *BIM* виходить за ці межі, даючи можливості для моделювання, що визначається як 4D, 5D, 6D та навіть 7D. Технологію *BIM* від 4D до 7D можна описати так:

- 4D – віртуальна модель будівлі з планами побудови і можливістю контролю процесу побудови, одночасно з візуалізацією будівлі в обраному часі;
- 5D – створює можливість виготовлення більш точної кошторисної документації, мінімізації ваги помилки, а також контролю витрат на етапі будівництва;
- 6D – дотримання принципів сталого розвитку в будівельному процесі. Завдяки цій технології вже на фазі проєктування можна оцінити майбутню будівлю з точки зору енергозбереження, використання сонячної енергії;
- 7D – моделювання, ґрунтоване на *Facility Management*, що полягає на управлінні будівельним об'єктом протягом цілого циклу життя від проєктування до ліквідації.

Інтеграція багатьох площин проєктування дозволяє аналізувати речі, які донедавна здавалися за межами проєктування. Навіть у разі найнижчого рівня *BIM 3D* актуальні аплікації мають набагато більші можливості, ніж стандартні системи *CAD*, обмежені найчастіше визначенням геометрії і матеріалу елементів, що проєктуються.

Системи BIM 3D дозволяють параметризаційний опис геометричних і матеріальних ознак, дають можливість щодо використання найновіших доступних технологій пов'язаних із виробництвом і переробкою будівельних елементів, наприклад, обробка на станках із ЧПУ чи різання лазером. Істотною перевагою систем *BIM 3D* є також можливість створення фото реалістичних зображень завдяки застосуванню відповідного програмного забезпечення об'єднаного з центральною аплікацією *BIM*. Системи «вище» 3D дають

можливість включати та враховувати в комплексі такі параметри, як час, вартість, а також інші параметри, що спрямовані на сталий розвиток і управління об'єктом. Вважають, що *BIM 4D* дає можливість об'єднувати геометричну та матеріальну інформацію з часовими параметрами, які допомагають під час планування та створення графіків, пов'язаних із об'єктом будівництва.

У випадку *BIM 5D* разом із параметрами характерними для *BIM 4D* існує можливість визначення витратних параметрів. Це настільки важливо, що дозволяє моделювати, а тим самим оцінювати й аналізувати витрати, які є або можуть генеруватися в процесі всього життєвого циклу об'єкту. Цим самим *BIM 5D* дозволяє здійснення моделювання витрат, що на цей час є одним із найістотніших чинників, які зумовлюють цілий ринок будівельних інвестицій. *BIM 6D* дозволяє здійснювати розрахунки енергоефективності та енергоспоживання будівлі, а також комплексні розрахунки всієї будівлі (з урахуванням місця розташування) і всіх її елементів одночасно.

У разі застосування *BIM 6D та 7D* ми додатково отримуємо можливість збору та використання різноманітної інформації про об'єкт в одній центральній системі, яка дозволяє ефективно використовувати будівлі час її експлуатації. Завдяки цьому основною функціональністю системи *BIM 6D та 7D* є застосування під час управління об'єктами. Як видно, системи комп'ютерного проектування *CAD* упродовж відносно короткого часу еволюціонували до дуже розвиненої системи інформаційного моделювання будівлею, ідея і можливості якої знаходяться далеко поза описом і моделюванням геометрії та матеріалів на етапі проектування.

Враховуючи зазначене вище, *BIM* можна описати, як спосіб:

– розробки стратегії реалізації будівельного проекту, а саме ключових його етапів: проектування, будівництва, експлуатації за допомогою моделювання та комп'ютерної імітації самого об'єкту та його цілого життєвого циклу;

– забезпечення інтегрованого управління графічними даними і потоками інформації в поєднанні з описом процесу, у межах єдиного інформаційного середовища;

– перетворення окремих виконавців у колективи для вирішення складних завдань й інтеграції окремих завдань у процеси;

– швидшого, більш ефективного, менш витратного виконання різних операцій протягом усього життєвого циклу будівельного проєкту.

Отже, на підставі опрацьованих праць вітчизняних та іноземних вчених розглянуто наукові підходи до визначення понять «інформаційне моделювання», «інформаційна модель». Щодо дефініції *BIM* необхідно чітко розрізняти про який об'єкт ідеться: безпосередньо модель будівлі (Building Information Model), процес життєвого циклу будівлі (Building Information Modeling) чи вся система інвестиційно-будівельного процесу (Building Information Management). Досліджено еволюцію, етапи становлення (від 3D-моделі до 7D-моделей) та перспективи розвитку інформаційного моделювання в будівництві. [3]

Контрольні питання

1. Подайте визначення BIM-технології.
2. Назвіть види вимірювань.
3. Які технології вимірювань переважні при роботі у BIM?
4. Що таке геодезичні вишукування в будівництві?
5. Від чого залежать результати проєктування в будівництві?

ТЕМА 4 СУЧАСНІ СУПУТНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

План

- 4.1 Застосування GNSS-технологій.
- 4.2 Державна геодезична мережа.
- 4.3 Мережа референсних базових станцій

4.1 Застосування GNSS-технологій

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 [4].

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. 4.1):

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

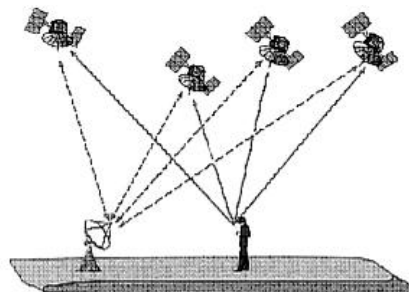


Рисунок 4.1 – Склад та робота системи GPS

Сегмент космічних кораблів складається з ряду навігаційних супутників (сузір'їв). Основною функцією сегмента космічних кораблів є генерація та виведення радіосигналів, необхідних для визначення місцезнаходження користувачів. Для цього кожен супутник оснащений таким обладнанням: обладнанням для прийому та передачі 32 радіосигналів, бортовим комп'ютером, бортовим високоточним частотним та часовим атомним стандартом, сонячними панелями та орбітальними корекційними двигунами. Вбудовані стандарти часу та частоти забезпечують майже синхронне випромінювання навігаційних сигналів усіма супутниками, що дозволяє користувачам виконувати небажані вимірювання на приймачах.

Вибір складу та конфігурації орбітальної групи навігаційних супутників забезпечує задану робочу зону (одночасне спостереження в будь-якій точці Землі), можливість виконувати різні методи вимірювання, безперервність і точність визначення координат.

Сегмент наземного контролю та управління GNSS складається з групи станцій моніторингу, станцій завантаження повідомлень із декількома супутниками та головної станції. Він контролює цілісність системи і є основним джерелом інформації, що надається користувачеві. Основними його завданнями є моніторинг роботи супутників, збір даних, необхідних для виявлення та прогнозування орбіт, створення системного часу та його синхронізація зі світовим часом, а також запис даних в бортову пам'ять супутників.

Користувацький сегмент GNSS представляє набір апаратного та програмного забезпечення, яке виконує основне призначення GNSS – ідентифікацію навігаційних даних на суші, морі, повітрі, навколоземному просторі та геодезичні положення на поверхні Землі.

Користувацький сегмент – власники супутникових приймачів, програмного забезпечення та комп'ютерів. Кількість одержувачів системи необмежена, оскільки вони є пасивними [4].

Для геодезичних вимірювань кожен користувач повинен мати принаймні два супутникові приймачі, комп'ютер та програму для постсупутникового моніторингу.

Супутникові приймачі, що використовуються геодезистами (далі – приймачі), виробляються декількома компаніями. Найвідоміші з них: Trimble, Ashtech (США), Leica (Швейцарія), Cersel (Франція), Soccia (Японія). Кожна компанія випускає кілька моделей, які відрізняються точністю та ціною. Усі приймачі поділяються на дві основні групи за кількістю частот, якими вони керують:

- одна частота;
- дві частоти.

З назв цих приймачів видно, що вони приймають однакову частоту від супутників, а інший – від двох частот. Останнє забезпечує більшу точність, оскільки прийняття двох частот дозволяє врахувати вплив іоносфери на передачу електромагнітних хвиль (EPC), що випромінюються супутниковим передавачем. Структура приймачів, метод спостереження та розвиток результатів спостережень постійно вдосконалюються, а точність визначення точок на землі підвищується.

Основними факторами широкого використання користувальницького обладнання *GNSS* є його здатність протистояти різним погодним умовам, ефективність першого виявлення координат (менше 3 хвилин після увімкнення приймача), безперервність виявлення координат (кожні 0,5 секунди), висока чутливість, невеликий розмір приймачів, точність і відносно недорого.

Система глобального позиціонування *GPS* була розроблена і побудована Міністерством оборони США. Повна назва системи – Навігаційна система з часом та рейтингом, Система глобального позиціонування. Скорочене найменування системи *NAWSTAR / GPS*. Перекладена назва: навігаційна система часу і відстані, глобальна система розташування. Система *GLO-NASS* була створена в колишньому Радянському Союзі і застосована на практиці в

Росії після розпаду. Ці дві системи знайшли застосування в геодезії. Європейське співтовариство створює власну навігаційну систему *GALLILEO*.

Оскільки система *GPS* розроблена переважно як військова система, вона є стабільною, надійною та ненав'язливою для природних та техногенних перешкод.

Повністю розроблений космічний сегмент може забезпечувати одночасне спостереження від чотирьох до восьми супутників для зменшення кутів вище 15° у глобальному масштабі. Якщо цей вертикальний кут між горизонтом і напрямком супутника зменшити до 10° , у полі зору може бути 10 супутників, а якщо цей кут зменшити до 5° , кількість видимих супутників може досягати 12. висота та період обертання близько 12 зоряних годин.

На сьогодні створено конфігурацію з 24 активних супутників, по чотири в кожній з шести орбітальних площин під кутом 55° до екваторіальної площини. Крім того, на Землі є ще чотири супутника для оперативної заміни [4].

Супутники дуже точно визначають свої орбіти і тримаються на них довгий час, оскільки на висоті 20–200 км майже не спостерігається уповільнення атмосфери. Орбіти визначені заздалегідь, і кожен приймач включає в пам'ять свого комп'ютера «альманах», що означає тип постійного оновлення, який показує, де буде знаходитись кожен супутник у будь-який час. Космічний корабель *GPS* фактично служить платформою для встановлення трансцендентів (приймачів), атомних годинників, комп'ютерів та іншого обладнання, необхідного для роботи системи. Цей електронний пристрій дозволяє користувачеві використовувати приймач для вимірювання відстані до супутника. Крім того, кожен спостерігач може будь-коли визначити просторові координати супутника за допомогою інформації про орбіти, закодовані в сигналі, що передається від супутника. Виходячи з цих двох можливостей та методу просторових серверів, користувачі можуть визначати координати земної поверхні. Допоміжне обладнання кожного супутника складається з двох

сонячних панелей площею 7 м^2 , які забезпечують потужні та реактивні рушійні системи, необхідні для ремонту орбіти та контролю напрямку космосу.

В даний час існує п'ять типів супутників GPS. Вони поділяються на класи: I блок, II блок, II A блок, II R і II F блоки [4].

Наступне покоління супутників під назвою Block II F було запущено з 2001 по 2010 рік. Ці супутники оснащені найсучаснішим обладнанням для автономної навігації, таким як інерційні навігаційні системи. Планується збільшити термін служби супутника Block II F до 14–15 років, а також ввести додаткову частоту L5, що еквівалентно 1176,45 МГц, що значно спростить вирішення неоднозначних характеристик вимірювання фази.

Система ГЛОНАСС повинна включати 24 супутники, розташовані в трьох орбітальних площинах із нахилом $64,8^\circ$ відносно екваторіальної площини. Номінальна висота земної орбіти становить 19-100 км, а її орбіта – 11 р. 15хв 44 с. Загальна вага супутника – 1 415 кг. Планується підвищити стабільність частоти генераторів, точність виявлення та прогнозування ефемерних супутників, а також збільшити термін служби супутників. Технічні параметри системи GPS та ГЛОНАСС є різними. Істотною різницею цих систем є те, що в системі GPS усі супутники випромінюють коливання однакових частот, а в системі ГЛОНАСС кожен супутник випромінює свою частоту.

Передавачі всіх супутників безперервно випромінюють коливання двох частот. Частоти модельовані кодами. Крім вимірювальних сигналів, передавачі передають інформацію про свою орбіту, а також про стан інших супутників системи і параметри їх орбіт. Супутники мають також приймачі, які приймають сигнали від основної станції сегменту керування. Ці сигнали містять інформацію про орбіту супутників. Траєкторії супутників можна коректувати з основної наземної станції керування.

Навігаційні супутники періодично пролітають над станціями стеження, що дозволяє визначати і прогнозувати їх ефемериди, формувати необхідну службову інформацію і завантажувати її в бортовий комп'ютер. Синхронізація

різних процесів у *СРНС* забезпечується за допомогою високо стабільного (атомного) еталона часу і частоти, який використовується в процесі юстування бортових еталонів навігаційних супутників.

Основи методики ведення *GPS-зйомки*.

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

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

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

Планування здійснюється за допомогою спеціальної програми на персональному комп'ютері, а потім 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 вирішенні двозначності. Великий розмір вимірювання дозволяє записувати журнали циклів та правильно їх моделювати [4].

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, 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 з приймачів встановлений у точці з відомими координатами (зазвичай точки ДГМ), а другий супутниковий приймач працює на ньому під час зображення. Перший супутник називається приймальною базою (базою, базовою станцією), другий – ровером (мобільним). Мобільний приймач можна транспортувати (транспортувати), тоді як мобільний забезпечує його «відкритим небом» для супутникової антени. Для визначення координат приймач розміщується в точці (точці) у стаціонарному режимі, включається режим стрільби і приймає сигнали від супутника протягом 5 "до 2 хвилин. Потім режим стрільби відключає сигнали від супутників) і перейшов 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 пост-обробки в режимі «Стоп / йди» складається з двох частин:

- 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 ви отримуєте повідомлення про втрату супутникових сигналів або отримання сигналів менш ніж з чотирьох супутників, вам потрібно знову запустити лінію спостереження, тобто повторно ініціалізувати.

Ініціалізація здійснюється одним із трьох способів:

1. Основний приймач встановлюється в точці з відомими координатами. Мобільний приймач встановлюється в будь-який час. Приймачі включаються 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 з 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. У більшості випадків дискретність запису даних вибирається рівною 3, 4 або 5 секундам (табл. 2.1).

На сьогодні в Україні створена мережа постійних станцій, що працюють у режимі *RTK*. Однією з таких мереж є мережа фіксованих станцій *System.NET* (рис. 2.1).

Таблиця 2.1 – Рекомендовані параметри налаштувань для роботи в режимі «стій/йди»

Параметри	Базова станція	Мобільна станція
Режим роботи	«Статика» (static)»	«Кінематика» (Kinematic)
Дискретність запису	5с	5с
Мінімальна висота супутника над горизонтом	15°	15°
Режим запису даних	Ущільнений(compacted)	Ущільнений (compacted)
Мінімальна кількість супутників ICOP	4	4

Для проведення вимірювань *RTC* необхідне наступне обладнання; станція, одна (або декілька) мобільних станцій, спеціальне обладнання для передачі даних від посилення на мобільний приймач (радіо-модем), спеціальне програмне забезпечення приймача.

Існують особливі вимоги до засобів передачі змін – радіо-модему. Рекомендується встановлювати еталонну станцію на відкритому високому місці, щоб забезпечити безперебійний радіозв'язок між приймачами та збільшити діапазон радіо-модему.

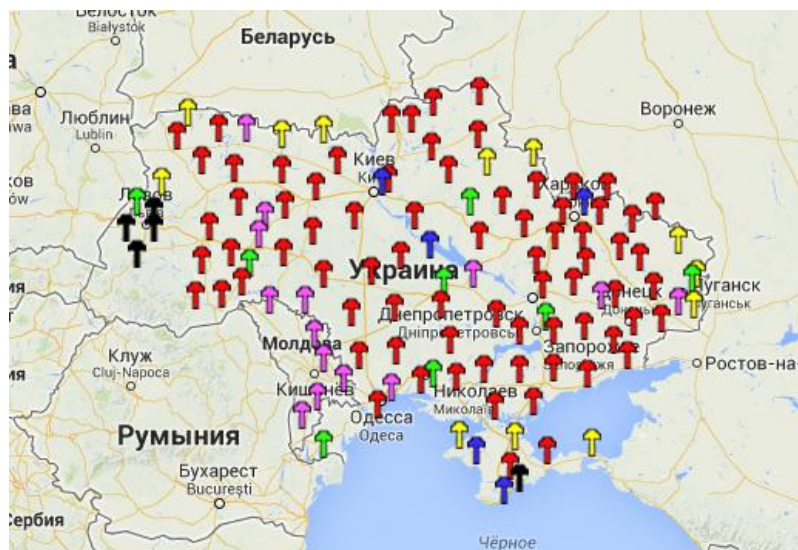


Рисунок 4.2 – Мережа перманентних станцій System.NET

Ця мережа (рис. 4.2) фіксованих станцій *GPS* та / або *GNSS* використовується для розробки корекцій *RTK* для його комбінованого приймача (мобільного) ровера. Така структура поправок до *RTK* називається «Мережевий *RTK*». Термін *RTN* (Real Time GNSS Network) в даний час широко використовується в літературі.

Сьогодні *RTN* працює у багатьох країнах світу, таких як США та Канада, Великобританія та Ірландія, Німеччина, Іспанія, Польща, Угорщина та багато інших. Мережі *RTK* варіюються від малих мереж локальної мережі до десятків опорних станцій, що охоплюють континенти, таких як Північноамериканський *SmartNet*. Щоб отримувати виправлення *RTK*, користувачі підписуються на мережу *RTK* замість того, щоб встановлювати базову станцію. Редагування *RTK* можна створювати різними способами:

- майстер-допоміжні редагування (MAX);
- індивідуальний MAX (i-MAX);
- віртуальні базові станції (VRS);
- параметр Флахена-Корректур (FKP) – метод корекції площини.

Автоматична обробка даних на мережевому сервері (Computing Service) - це можливість виконувати *GPS-вимірювання* в режимі післясесійної обробки та

вирівнювання даних. Послуга дозволяє завантажувати дані зі статичних та кінематичних вимірювань та автоматично вирівнювати їх за допомогою веб-інтерфейсу. Порівняння виконується на базових станціях станції за допомогою програмного пакету *Leica GeoOffice* (LGO), встановленого на сервері. Результатом обробки є координати точок у системі координат *УСК-2000*, які вказують на точність результатів вимірювань.

4.2 Державна геодезична мережа

Згідно із статтею 1 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» геодезичний пункт – пристрій і (або) споруда для позначення на місцевості точок земної поверхні з відомими координатами і висотами.

Державна геодезична мережа – мережа геодезичних пунктів, що забезпечує поширення координат на територію держави і є вихідною для створення інших геодезичних мереж.

Відповідно до статті 22 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» земельні ділянки, на яких розташовані геодезичні пункти, зі смугою землі завширшки один метр уздовж меж геодезичних пунктів є охоронними зонами цих пунктів.

Суб'єкти підприємницької діяльності, які виконують топографо-геодезичні роботи і використовують пункти Державної геодезичної мережі України, а також пункти зйомочних геодезичних мереж як вихідну геодезичну основу, мають право доступу до геодезичних пунктів на підставі договору, укладеного з власником земельної ділянки, або за погодженням із землекористувачем та власником будівлі, на якій вони розміщені, та подають в установленому порядку спеціально уповноваженому центральному органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин, відомості про стан пунктів, що ними використовувалися.

Геодезичні пункти Державної геодезичної мережі України є державною власністю. Облік геодезичних пунктів здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин. Охорона геодезичних пунктів здійснюється у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

4.3 Мережа референсних базових станцій

Мережа, яка на цей час вже складається з 6 референсних станцій ГНСС-спостережень, які розташовано в Києві, Славутичі, Ніжині, Сквирі, Малині та Каневі, дозволяє отримувати координати розташування об'єктів в різних системах координат в реальному режимі часу та у режимі післясеансних визначень з сантиметровою точністю

Основний принцип роботи полягає в тому, що всі базові станції в мережі постійно передають супутникові вимірювання на центральну панель управління (сервер), що працює на основі спеціального програмного забезпечення, такого як Leica GNSS Spider.

Основна мета мережі – мінімізувати вплив помилок, пов'язаних з відстанню між базовими станціями та ровером, координатами, розрахованими ровером, що працює в мережі.

Мережеве програмне забезпечення робить наступне:

- усунути невизначеність для супутників, виявлених базовими станціями в мережі.

- використовувати дані всіх базових станцій (або частин станцій) для обробки оновлень ровера (рис. 4.3).

- ровер зв'язується з мережевим сервером базової станції за допомогою одностороннього або двостороннього пристрою зв'язку (наприклад, радіо модем, модем GSM або Інтернет). Після отримання поточних даних марсохід обчислює свої координати за допомогою відповідного алгоритму. Який

алгоритм використовує ровер та як мінімізують віддалено залежні помилки, залежить від методу корекції, що використовується в мережі *RTK*.

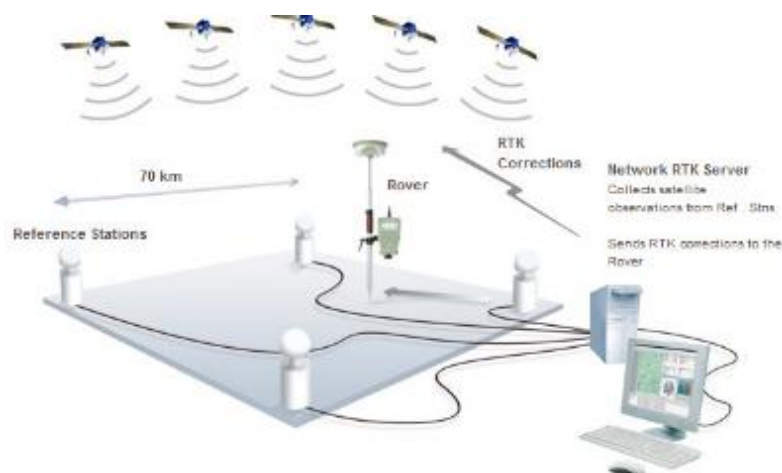


Рисунок 4.3 – Схема мережі перманентних станцій

Вже зазначалося, що на ринку існують такі методи, як *MAX*, *FKP* та *Virtual Reference Station* кожен з яких мінімізує помилки різними способами (або моделями). Залежно від методу, це моделювання виконується на мережевому сервері або самим ровером. Оскільки взаємодія мережі та ровера для кожного методу різна, це призводить до значних відмінностей в ефективності, точності та надійності розташування ровера.

Переваги мережі базових станцій *RTK*:

- не потрібно мати власну базову станцію.
- точність координат ровера майже постійна.
- точність зберігається на великих відстанях між базовою станцією та марсоходом.
- рівна площа може охоплювати менше однієї базової станції.
- висока надійність та ефективність системи (якщо одна з мережевих станцій виходить з ладу, інші можуть її замінити).

Недоліки мережі *GNSS*:

Необхідність платити за користування та обслуговування мережі [13].

Контрольні питання

1. Як оцінюють результати вимірювань?
2. Назвіть методи оцінки вимірювань.
3. Яким чином плануються та виконуються вимірювання за GNSS технологією?
4. Яка максимальна точність вимірювання за допомогою RTK-ровера?.
5. Як здійснюють обробку результатів вимірювань?

ТЕМА 5 ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ТА ЛІДАРІВ

План

5.1 Використання сучасних безпilotних літальних апаратів для інженерно-геодезичних вишукувань.

5.2 Повітряне лазерне сканування

5.1 Використання сучасних безпilotних літальних апаратів для інженерно-геодезичних вишукувань

Безпilotні літальні апарати (БПЛА, рідше БЛА) або дрони зарекомендували себе як надійна технологія для створення карт, планів та інших продуктів геоданих [6].

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

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

Погляд згори завжди давав можливість оцінити ситуацію більш комплексно, побачити приховане, побачити зміни. Аерофотозйомка із

використанням БЛА (БПЛА) дозволяє отримувати знімки із роздільною здатністю менше 1 см на піксель. Необхідна (доцільна) детальність зйомки визначається цілями проєкту 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 проєктів 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 контролю якості кожного етапу виконання робіт. Проєкт починається з дуже ретельного планування маршрутів зйомки та їх перекриття, оскільки ці параметри мають критичний вплив на точність та якість кінцевого продукту. Найкращий варіант буде обрано в залежності від цілей проєкту, конфігурації об'єкту зйомки, вимог до кінцевого результату, строків та очікуваної вартості. Для досягнення необхідних параметрів точності аерофотознімання розробляється проєкт планово-висотної прив'язки, що гарантує необхідну надійність даних та досягнення вимог діючої інструкції і нормативних актів щодо точності готової картографічної продукції.

Результати аерофотозйомки являють собою основу для виробництва численних похідних продуктів геоданих, які можуть бути використані для різних напрямків професійної діяльності клієнта: проєктування, будівництва, аудиту та документування, моніторингу змін, розробки земельної та містобудівної документації, аналізу ризиків техногенного та природного походження, імітаційного моделювання, пошуку інвесторів та багато іншого.

Глибоке розуміння технологій дозволяє нам 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 покращити будь-який проєкт за рахунок швидкого та недорогого виробництва актуальних, детальних та надійних локальних даних про об'єкт без проблем з доступом до нього та пов'язаних із дослідженням ризиками.

Безумовно, рішення, які базуються на використанні БЛА, мають певні технологічні обмеження [4].



Рисунок 5.1 – Приклад БПЛА, який виконує аерофотозйомку

На (рис. 5.1) зображено, як БПЛА находячись у повітрі виконує аерофотозйомку. В даному випадку, це квадрокоптер DJI, серії Phantom, який наразі є дуже поширеним, також має свій модуль камери, яка керується з пульта оператора БПЛА.

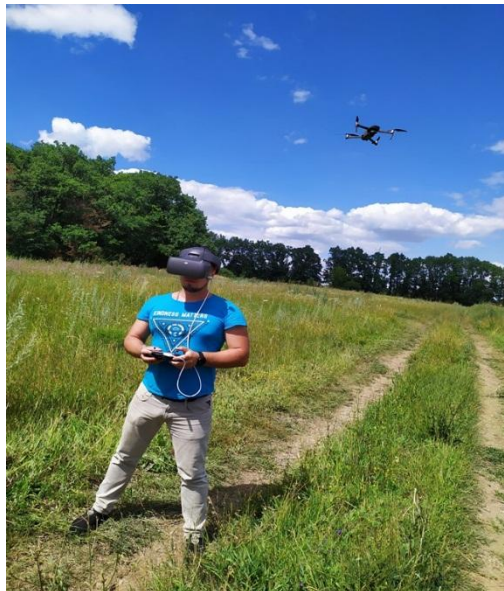


Рисунок 5.2 – Приклад пілотування БПЛА

Оператор БПЛА керує аерофотозйомкою (рис. 5.2), находячись безпосередньо на об'єкті, де виконується зйомка. Сучасні квадрокоптери *DJI Mavic Enterprise Dual*, які підтримують керування за допомогою окулярів віртуальної реальності, дозволяють оператору бачити зображення з камери дрону від першої особи, що дає можливість більш точно та ювелірно контролювати роботу БПЛА та корегувати виконання польових робіт.



Рисунок 5.3 – Комплектування БПЛА

На (рис. 5.3) зображено комплект БПЛА, який також використовується для топографічних вишукувань та аерофотозйомки.

DJI Mavic 2 Enterprise Dual – це портативний промисловий БПЛА, оснащений потужною тепловою камерою, яка надає пілотам надійний інструмент для роботи краще, безпечніше і швидше в складних умовах. Розроблений у співпраці з *FLIR Systems*, БПЛА оснащений радіометричним термодатчиком. Камера дозволяє користувачам вимірювати температуру і надійно зберігає всі дані для ефективного складання звітів і аналізу [10]. Такі технології надають змогу отримувати просторові дані для *BIM-моделювання*.

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 – у лідерах китайська компанія *DJI*.

DJI поки утримує близько 75 % світового ринку. Другим за популярністю в 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 завойовують популярність, позиціонуючи себе як якісний американський продукт з можливістю професійного застосування.

На другу позицію вийшов французький бренд *Parrot*, завдяки створенню напрямку промислових рішень, популярних в українських аграріів. 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.

Поки що 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 агро-дронів близько \$1,8 млрд 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 зарубіжним колегам. Проте, близько 10 українських розробників цілком можуть стати світовими гравцями.

До недавнього часу в Україні основним промисловим сегментом, який використовував дрони, залишалась сільськогосподарська галузь. Вона часом 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, підрахунків сходів і розрахунок вегетаційних індексів. «Також багато підприємств зараз цікавляться послугами зі створення карт диференційованого внесення азотних добрив і внесення засобів захисту рослин за допомогою дронів.

Безпілотники також стали активно застосовуватися в геодезії і топографії. А останнім часом, низка великих видобувних компаній теж розпочали роботу з дронами для оцінки обсягів видобутої породи, вимірювальних робіт [9].

Нещодавно деякі підприємства запустили пілотні проєкти з моніторингу енергомереж. Дрони оснащуються 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.

В подальшому дронами користуватимуться дуже багато галузей. Найбільш очікувана 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 можливості «зльоту» цими технологіями в доставці. Так, наприклад, «Нова пошта» вже кілька разів заявляла про бажання використовувати дрони.

ЖКГ – для енергоаудиту будинків, лісництва – 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. Плюс на дрони монтуються тепловізори, вночі безпілотною може побачити, як відбувається процес охорони і виявити порушника.

Важливим пунктом у розвитку ринку буде наявність простих і прозорих правил використання БПЛА в Україні. Законодавче регулювання може стимулювати зростання галузі, але може і його «поховати». Тимчасовий порядок використання повітряного простору, ініційований Державіаслужбою, викликає безліч питань і нарікань у «безпілотної» спільноти.

Для аерофотозйомки використовуються професійні БЛА (БПЛА) та камери. Використання двочастотних GPS, технологій PPK/RTK, камер із великою матрицею та об'єктивів без дисторсії та хроматичних аберацій,

оцифровка по стереозображенням дозволяє із легкістю виконувати вимоги до створення топографічних планів масштабу 1:5000 – 1:1000 та частково 1:500. Результати аерофотознімання проходять польовий контроль точності готової продукції. У порівнянні із літаком чи гелікоптером, дрони мають мініатюрний розмір, не мають палива на борту, обладнані парашутною системою та дублюючими навігаційними системами і не можуть завдати шкоди об'єктам інфраструктури та спорудам [12].

Існує декілька розділів характеристик БПЛА:

1. **Базові**, до них можна віднести такі параметри:

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

Кожен виробник БПЛА має свій визначений обсяг параметрів і всі вони можуть відрізнятися. Також наявність тих чи інших параметрів, та їх максимальне значення, залежить від вартості та моделі того, чи іншого 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), що у перекладі означає «кінематика реального часу». Іншими словами, це сукупність різних способів отримання планових

координат місцевості сантиметрової точності за допомогою супутникової системи навігації. Вперше цей метод був виявлений у середині 90-х, 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 знаходиться на одній висоті, то висока ймовірність того, що атмосферні перешкоди будуть однакові для обох. Ґрунтуючись на вимірних координатах, опорний приймач здатний обчислити поправки до координат і легко передає їх на мобільний пристрій. В останні роки більшість країн зацікавлені в розробці станцій та мережі для *RTK*. Завдяки їм будь-який оператор може скористатися перевагами *RTK* в діапазоні базових станцій.

Але ми розуміємо що будь-які радіосигнали, які передають нам супутники схильні до 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 вказує пляму в розмірі від 5 до 100 метрів. Такі деформації можуть бути зменшені завдяки наземній інфраструктурі *RTK*.

Інакше кажучи, система *RTK* – це позиціонування з точністю до міліметра (рис. 5.4).

Завдяки дронам із вбудованою системою *RTK* можливе 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. 5.5).

РРК-обробка і трансформація центрів збору даних. На кар'єрах поширена практика щодо використання місцевих систем координат і власних диференціальних базових станцій. В цьому випадку, з огляду на особливості

підприємства, було прийнято рішення по використанню технології *PPK* (Post Processing Kinematic), замість *RTK* (Real Time Kinematic), для отримання координат центрів фотографування з сантиметровою точністю. Дана технологія дозволяє виконати зрівняння траєкторії польоту, щодо базової станції кар'єра, вже після виконання польоту – в офісі для цього необхідна наявність даних *Rinex* з дрона і базової станції, щодо якої здійснюється порівняння.

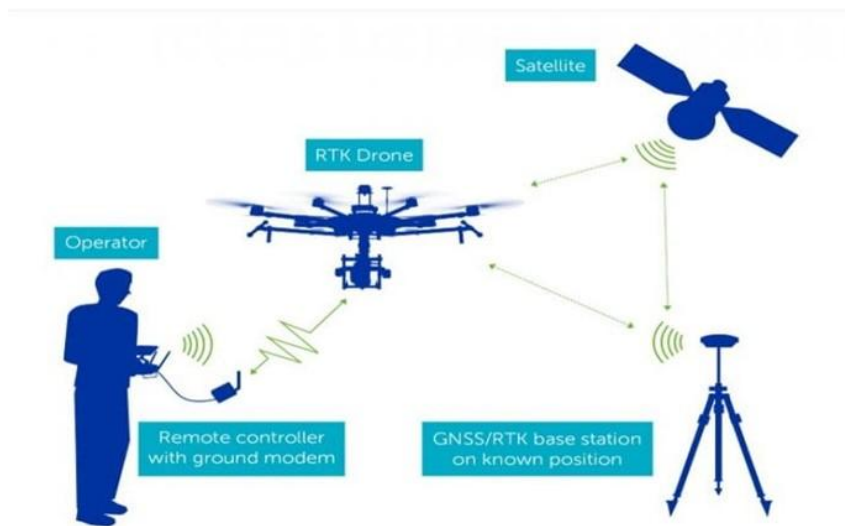


Рисунок 5.4 – схема роботи БПЛА з RTK модулем



Рисунок 5.5 – БПЛА з RTK модулем (DJI Matrice 300 RTK)

5.2 Повітряне лазерне сканування

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 являє собою, як мінімум, активний далекомір оптичного діапазону. Скануючи 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 напрямок і швидкість переміщення повітряних потоків в різних шарах атмосфери.



Рисунок 5.6 – БПЛА з RTK модулем та LIDAR (Leica BLK2FLY)

Усталений переклад *LIDAR* як «лазерний радар» (рис. 5.6) 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 служити звичайні світлодіоди. Однак, в основних сферах застосування технології

(дослідження атмосфери, геодезія та картографія) з радіусами дії від сотень метрів до сотень кілометрів, застосування лазерів неминуче.

Такі модулі також встановлюються на БПЛА з *RTK*, що дозволяє отримати хмару крапок 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 літаючого сканеру *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 літаючий лазерний сканер із удосконаленою функцією обходу перешкоди, для зручного захоплення реальності з висоти. Він призначений для зйомки екстер'єрів будівель, конструкцій та навколишнього середовища, створюючи хмару точок під час роботи.

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

Легкість в керуванні, нова система сканування чорної лінійки *BLK* не складна у застосуванні і спирається на елементи 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 самостійно літатиме виконуючи свою місію. Також є можливість відслідковувати або змінювати траєкторію БПЛА в режимі реального часу. У разі потреби, є опція керувати пристроєм вручну, за допомогою віртуальних джойстиків. Безпілотник спроектований так, щоб бути максимально зручним у використанні. З використанням декількох простих натискань на планшеті, користувачі можуть підняти дрон у повітря для

автономного сканування зовнішньої частини будівель та важкодоступних областей даху та фасаду [12].

Програма *BLK2FLY Live* має функцію відстеження польоту. Інші опції включають панорамний перегляд для зміни напрямку видимості, масштабування зображення в реальному часі, при цьому безпілотник відповідним чином адаптує свою точку огляду. Легко змінювати траєкторію польоту квадрокоптера, для захоплення нової області, обравши область, через систему крапок безпосередньо у 3D-виді у додатку на планшеті. Дрон створює траєкторію польоту для швидкого та безпечного сканування цієї зони.

Це рішення легко може супроводжувати хід будівництва, на кожному його етапі, при цьому заощаджуючи час, підвищуючи точність зйомки радара, за допомогою самостійного робочого процесу сканування. Легко візуалізуються вихідні умови, для реконструкції фасадів, за допомогою БПЛА, який пропонує самоврядний, але простий метод захоплення реальності на основі дрону. БПЛА самостійно скануватиме весь зовнішній вигляд будівлі з повітря, при цьому, надаючи високу точність відображення реальності, навіть у важкодоступних місцях.

Використовуючи дрон перед початком реконструкції, для отримання високоякісної 3D моделі будівлі. За заданою оператором лінійної траєкторії, *BLK2FLY* самостійно здійснює захоплення реальності, при цьому адаптуючись до навколишнього середовища, в якому він літає. Уникаючи перешкод і зберігаючи ідеальну відстань для якісного сканування, самостійно фіксує зовнішні особливості та розміри будівель. Вся отримана інформація виводиться на планшеті кількома операціями.

Використання у картографії.

Новий погляд на вимірювання від *Leica Geosystems* об'єднує всі системи безпілотного літального апарату (рис. 5.7), 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, з

яким процес збору картографічного матеріалу відбувається набагато швидше і якісніше. Застосовані рішення, дозволять 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, в обидві сторони одночасно. Наявність 5-ти камер по всьому периметру, зовні пристрою, дозволяє їх використовувати для відстеження та розфарбовування хмар точок і візуалізуючи їх відразу на планшет, для управління. Під час роботи, використовуються радарні датчики разом з *LiDAR*, щоб вчасно виявляти перешкоди, та уникати їх. Особливо важлива ця функція для виявлення скляних конструкцій, як перешкоди при скануванні великих сучасних будівель.

Актуальні завдання:

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



Рисунок 5.7 – Візуалізація роботи БПЛА з RTK модулем та LiDAR

Контрольні питання

1. Що таке БПЛА?
2. Для чого потрібна RTK-технологія? .
3. Опишіть технологію геодезичних вишукувань за допомогою БПЛА.
4. Які перевірки даної технології та недоліки?
5. Назвіть основні програмні забезпечення для даної технології.

ТЕМА 6 ВІМ-МОДЕЛЮВАННЯ ТА МОНИТОРИНГ

План

6.1 ВІМ-моделювання та лазерне сканування.

6.2 Геодезичний супровід будівництва, реконструкції і моніторинг будівель та споруд.

6.1 ВІМ-моделювання та лазерне сканування

На сьогодні час 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 зйомці розріджених, не завантажених об'єктами площі. Очевидними недоліками такої технології є мала швидкість проведення вимірювань, і неефективність зйомки завантажених площ, таких як фасади будівель, заводів площа яких перевищує 2 га, а так само мала щільність точок на 1 м². Одним з можливих способів вирішення даних проблем є застосування нових сучасних технологій дослідження, а саме лазерного сканування.

Лазерне сканування – технологія, що дозволяє створити цифрову тривимірну модель об'єкта, представивши його набором точок з просторовими координатами.

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

Технологія заснована на використанні нових геодезичних приладів – лазерних сканерів, що вимірюють координати точок поверхні об'єкта з високою швидкістю порядку декількох десятків тисяч точок в секунду. Отриманий набір точок називається «хмарою точок» і згодом може бути представлений у вигляді тривимірної моделі об'єкта, плоского креслення, набору перерізів, поверхні і т.д.

Більш повну цифрову картину неможливо уявити ніяким іншим з відомих способів. Процес зйомки повністю автоматизований, а участь оператора зводиться лише до підготовки сканера в робочий стан. [2]

На сьогоднішній день лазерне сканування, яке прийшло з машинобудування, стало невід'ємною частиною топографічних зйомок. Геодезисти оцінили можливість лазерних сканерів в лічені хвилини отримувати десятки тисяч безвідбивних вимірювань, які дозволяють замість схематичної цифрової карти побудувати повноцінну тривимірну фото-реалістичну модель місцевості, при цьому значно скоротивши час польових робіт. Особливе значення має застосування 3D сканерів в інженерній геодезії і маркшейдерській справі, де потрібно максимально докладно змодельювати форму складних інженерних споруд чи підземних пустот.

Існує цілий ряд задач, які слід віднести до класики інженерної геодезії. До таких задач відносять: виконання контрольно-монтажних вимірів і виконавчого знімання при будівництві інженерних споруд, спостереження за вертикальними і горизонтальними деформаціями та переміщеннями, вирішення задач вертикального планування, маркшейдерські роботи при експлуатації об'єктів гірничодобувної промисловості та ін.

За характеристиками лазерні 3D сканери можна розділити на дві основні категорії: фасадні та інтер'єрні. Фасадні сканери мають перевагу в дальності і швидкості вимірювань, але мають обмежену зону сканування. Основна область застосування фасадних 3D сканерів – знімання 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 у дальності вимірювань, тому зазвичай застосовуються для зйомки інтер'єрів або невеликих замкнутих просторів (тунелів, печер та інших порожнин).

Особливе місце займають скануючі станції (сервопривідні тахеометри з функцією сканування). Значно поступаючись 3D сканерам у швидкості (десятки вимірювань у хвилину замість тисяч вимірювань в секунду), скануючі станції мають на порядок вищу точність позиціонування точок (1-2 мм замість 1-2 см). Тому скануючі станції призначені для робіт, де точність має вирішальне значення (наприклад для задач моніторингу), або спільно з 3D-сканерами, для точної прив'язки відсканованих даних.

Лазерні сканери для наземних зйомок (рис. 6.1) являються більш складними приладами у порівнянні з електронними тахеометрами, хоча в них закладені ті ж самі принципи визначення координат точок, на автоматичному вимірюванні кутів і відстаней.



Рисунок 6.1 – Сучасні наземні лазерні сканери

Принцип роботи лазерного сканера аналогічний принципу роботи безвідбивного електронного тахеометра і полягає у вимірюванні часу проходження лазерного променя від випромінювача до поверхні, що відбиває, і назад до приймача. Шляхом 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 блоку розгортки лазерного променя. В якості блоку розгортки в сканері виступають сервопривід і полігональне дзеркало або призма. Сервопривід відхиляє промінь на задану величину в горизонтальній

площині, при цьому повертається вся верхня частина сканера, яка називається голівкою. Розгортка у вертикальній площині здійснюється за рахунок обертання або гойдання дзеркала. Сучасні 3D сканери складаються з двох основних компонентів: скануючої системи і цифрової відеокамери. Скануюча система призначена для моделювання форми вимірюваних об'єктів, а цифрова відеокамера – для точної передачі кольору об'єктів.

Наприклад, скануючий тахеометр *Leica Nova MS60* з сучасним польовим програмним забезпеченням *Leica Captivate* перетворює складний набір просторових даних в зручні для роботи 3D моделі. Використовуючи зрозумілі прикладні програми та сенсорні технології, всі типи вимірювань і проєктні дані можна переглядати в трьох площинах. Польове ПО *Leica Captivate* може застосовуватися в різних сферах і галузях незалежно від того, з яким інструментом Ви працюєте: GNSS приймачем, тахеометром або і тим і іншим.

У той час 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 в зв'язці для об'єднання, управління і редагування польових вимірювань і проєктних даних швидше і ефективніше.

Основна відмінність сканера від електронного тахеометра полягає у тому, що з допомогою електронного тахеометра кожна точка визначається індивідуально, і на кожную точку затрачається час від одиниць до десятків хвилин. Це пов'язано з тим, що спостерігач біля приладу спочатку знаходить точку візуально, потім візує зорову трубу інструмента, вводить номер точки, що спостерігається і проводить вимірювання, які вводить у пам'ять (або стирає). Практично ці ж операції спостерігач виконує навіть у тому випадку, коли наведення на ціль здійснюється автоматично, тобто якщо використовується роботизований електронний тахеометр. При цьому найшвидші виміри виконуються зі швидкістю не більше двох вимірів в секунду.

Сканери, на відміну від електронних тахеометрів, здійснюють сканування простору лазерним пучком. За один період сканування, тривалістю в соті частини 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 5000 вимірів за секунду, що відповідає щільності до десятків точок на 1 см^2 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 відпадають такі операції, як пошук цілі і візування, а також необхідність 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 установлюється область сканування і щільність (вертикальна і горизонтальна відстань до сусідніх точок). Сканер самостійно може знайти і відсканувати з

максимальною щільністю спеціальні візирні цілі, які служать для визначення системи координат об'єкта, а також служать геодезичною основою для порівняння окремих сканів. Таким чином, вся знімальна місцевість (і предмети місцевості) в межах поля зору сканера виявляється рівномірно покрита точками, координати яких визначені за допомогою сканера, і одночасно зареєстрований рівень відбитого сигналу від кожної точки. В момент вимірювань на дисплеї приладу виникає зображення знятої на цій станції місцевості, тобто отримують ніби знімок місцевості і в цифровому вигляді.

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

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

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

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

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

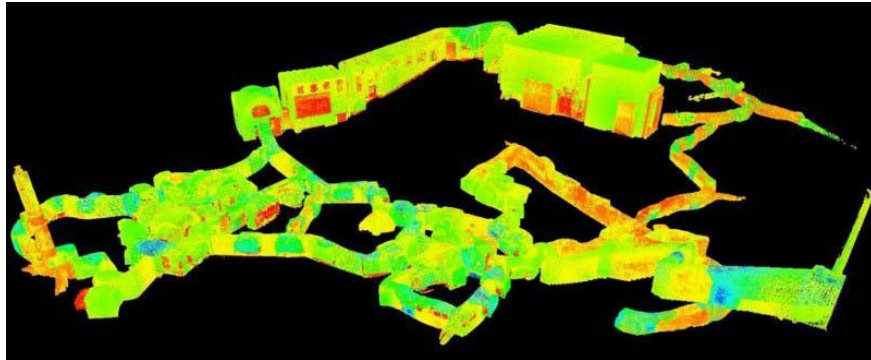


Рисунок 6.2 – Сканування Києво-Печерської лаври. Загальний вигляд

Мобільне лазерне сканування з'явилося більше 15 років тому і з тих пір зробило величезний технологічний прорив від експериментальних установок до сучасних геодезичних приладів. В Україні мобільне лазерне сканування з'явилося в 2000 роках (рис. 6.2) і більше всього застосовується для виконання вимірювань лінійно-протяжних об'єктів, в першу чергу – 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 м^2 знімальної поверхні. Мобільне лазерне сканування здійснюється, як правило, з візкових пристроїв або транспортних засобів зі швидкостями від 3 до 90 км/год в залежності 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 з дуже високою та достатньою швидкістю і детальністю.

В першу чергу випробування мобільних лазерних сканерів проводилось на автомобільних дорогах міського та міжміського типів. Випробування несли за собою зіставний характер. В результаті перших випробувань були отримані неперевершені результати та продемонстровано готовність даної технології для

геодезичних вишукувань, в тому числі таких відповідальних, як для проєктів з ремонтів та реконструкцій ділянок і окремих об'єктів.

Принцип роботи мобільних лазерних пристроїв сканування достатньо простий і зрозумілий. Високошвидкісний мобільний лазерний далекомір або його дзеркало встановлюється на поворотній основі. Така поворотна основа представляє собою головку для лазера. За один оберт головки далекомір може робити від сотні до тисячі вимірювань, що дає можливість детально оцінити профіль оточуючого простору в одній двовимірній площині (рис. 6.3). При використанні лазерної головки, встановленої на рухомій базі з поступальним рухом під кутом до площини сканування, далекомір з кожним обігом головки буде знімати нову площину.

В результаті буде отримано безліч поперечних сканованих площин вздовж напрямку руху (рис. 6.4). 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.

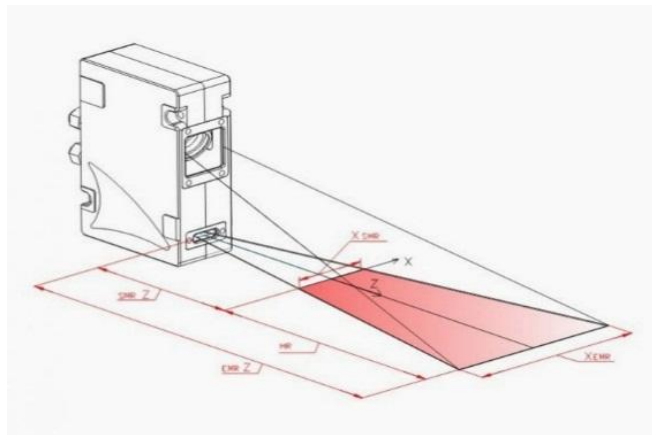


Рисунок 6.3 – Схема роботи мобільного лазерного скануючого пристрою

Сфери застосування лазерного сканування.

Лазерне сканування має дуже широку область застосування:

- топографічна зйомка лінійних об'єктів (автодороги, залізниці, мости, тунелі);
- створення 3D моделей об'єктів;
- створення поздовжніх і поперечних профілів автодороги;
- поздовжні і поперечні ухили проїжджої частини;
- цифрова модель рельєфу і цифрова модель дорожнього покриття;
- створення паспорта автодороги;
- оцінка колійності та визначення поздовжньої рівності покриття;
- оцінка зон видимості;
- створення відомостей дорожніх знаків, дорожніх огорожень, інформаційних і рекламних щитів з додатком фотоматеріалів.

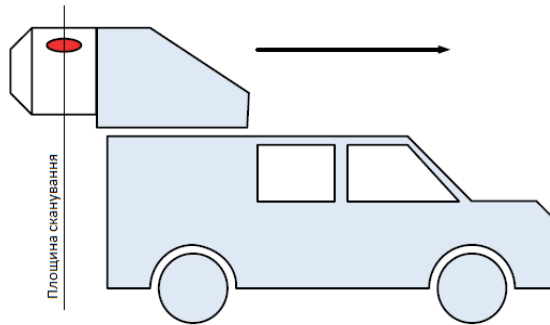


Рисунок – 6.4 Схема встановлення далекоміру на рухомій базі

В дорожній галузі лазерне сканування (рис. 6.4) ефективно застосовується у трьох широких областях: інженерно-геодезичні вишукування при проектуванні і виконавчої зйомки; для паспортизації, інвентаризації існуючої інфраструктури; для створення ГІС та геопросторових баз дорожніх даних. При проектуванні та проведенні виконавчої зйомки необхідна максимальна точність, особливо за висотою. Це досягається головним чином плануванням проведення вимірювань і застосуванням декількох базових станцій в районі робіт; по-друге, введенням опорних точок для вирівнювання траєкторій. При виконанні паспортизації та інвентаризації необхідне максимальне охоплення,

особливо придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Лазерне сканування в таких випадках ефективно поєднувати з панорамною відео зйомкою. Такого типу поєднання необхідне для камерального дешифрування об'єктів проектування. Висока точність для проведення даних робіт не потрібна, можливе виконання роботи без базових станцій з високою швидкістю руху (рис. 6.5).



Рисунок 6.5 – Виконання зйомки мобільним лазерним сканувальним пристроєм

Створення ГІС і геопросторових баз дорожніх даних вимагає проміжної точності, але при цьому високої деталізації і максимального охоплення, зокрема придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Окрема увага приділяється зйомці укосів насипів та контр-банкетів, 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 проектування ремонтних робіт та реконструкції найбільш складним і важливим є докладне моделювання деталізації поверхні автомобільної або залізничної дороги з високою точністю в профільному та плановому відношеннях. Традиційне нівелювання дає високу точність, однак не дає докладної моделі проїжджої частини, враховуючи тільки колійність або полосність, невеликі просадки і однорідні малі дефекти – в силу того, що точок

зйомки досить мало та лазерне сканування вирішує такі обмеження. Для отримання детального і високоточного результату зйомка виконується ділянками по 10–15 км. В районі робіт виставляється не менше 2 базових станцій (рис. 6.6). Обов'язковим є планування роботи при очікуванні достатньо високій точності сеансу вимірювань. У випадку необхідності зйомки насипу попередньо проводиться покіс трави на укосах для досягнення високої точності вимірювань і визначення підшви укосу і його форми.

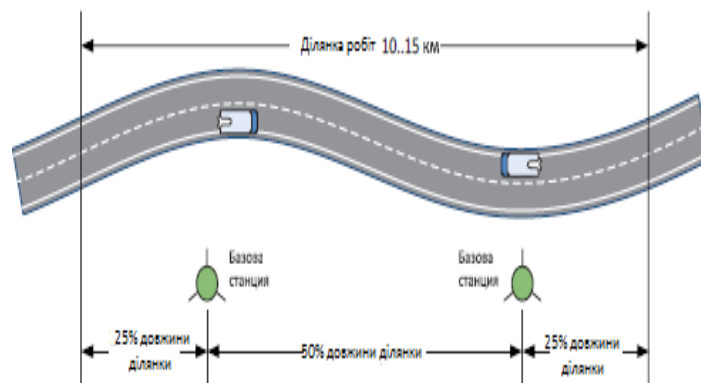


Рисунок 6.6. – Розміщення базових станцій в районі виконання сканувальних робіт

При зйомці для проведення ремонтів покриття або рихтувальних робіт на залізницях швидкість руху лабораторії обмежується до 20 км/год, для інших проєктів – 30 км/год при зйомці. Для підвищення абсолютної точності та посилення контролю за кожні 200 м на крайній смузі устанавлюються «опорні точки» з обох сторін дороги, вони маркуються світло-відбиваючою фарбою, при цьому окремо виконується їх нівелювання. Після зйомки порівнюються траєкторії по базовим станціям 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 у потрібному програмному забезпеченні для розробки необхідної проєктної документації. Перевага мобільного лазерного сканування перед традиційними зйомками -

набагато більш детальна модель поверхні, яка відображає реальні ухили на всій поверхні шляху сканування з деталізацією дефектних місць та ін.

При зйомці для паспортизації розглядається особливий вид зйомки, який не вимагає дуже високої абсолютної точності, але вимагає охоплення всіх елементів дороги та придорожньої смуги. Матеріали такої зйомки можуть застосовуватися як власне для паспортизації, так і для інвентаризації майнового комплексу та для проектування організації дорожнього руху. В даному виді робіт проводиться зйомка ділянками, протяжність яких може досягати 100 км. Плануються роботи з достатньою точністю вимірювань для даного виду робіт. Швидкість руху мобільних лазерних пристроїв знаходиться в межах 60–80 км/год. Одночасно виконується панорамна відео зйомка. Для повного охоплення автомобільної або 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 перекривалась зворотним проїздом. Після зйомки зіставляються траєкторії по опорним точкам та перехрестям за допомогою програмного забезпечення *Novatel*, *Autocad* та *Arcgis*. Далі хмари точок зіставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримується остаточна хмара точок. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується, після чого будується спрощена модель автомобільної або залізничної дороги для формування паспортної документації.

При зйомці для ГІС і геопросторових баз даних роботи виконуються ділянками по 100 км. В районі робіт виставляється не менше 2 базових станцій. Швидкість руху знаходиться в межах 5–60 км/год. Одночасно виконується панорамна відео зйомка. Виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики, об'єкти сервісу, великі з'їзди. Рух здійснюється по одиночним маршрутам, з частковим заїздом на узбіччя у межах твердого покриття. Після зйомки зіставляються траєкторії по опорним

точкам та перехрестям за допомогою програмного забезпечення *Novatel*, *Autocad* та *Arcgis*. Далі хмари точок зіставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії зйомки. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується для побудови моделі автомобільної дороги, маршрутних шляхів, залізничних шляхів.

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 проєктування ремонтних робіт – до 50 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення.

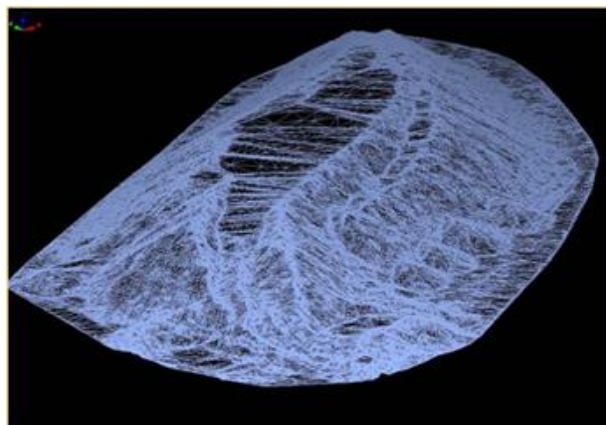
Як видно, швидкість виконання польових робіт перевершує класичні методи в декілька разів, а при зйомці для проєктування ремонтних робіт – на порядок. При обліку найвищої точності і детальності одержуваних даних можна робити чіткий висновок про доцільність широкомасштабного застосування мобільного лазерного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

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

Розглянемо типовий порядок обробки даних мобільного лазерного сканування – від отримання вихідних даних до побудови моделі. Процес отримання хмари точок має досконалу технологію і досить добре опрацьований. Але для досягнення необхідної точності, особливо за висотою, необхідне якісне планово-висотне обґрунтування і поміщення хмар на

контрольні точки. Процес обробки даних лазерного сканування практикується досить безсистемно і зазвичай зводиться до класифікації і розфарбування хмар точок. Цього явно виявляється замало для подальшої роботи інженерів в 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 і сотні мільйонів точок, що належать до рельєфу. Дуже велика отримана кількість точок зовсім зайва, коли мова йде про побудову тріангуляційної моделі рельєфу, що застосовується як вихідний матеріал для проєктування. Для того, щоб отримати таку модель рельєфу, з великої кількості вихідних точок, що належать до рельєфу, виокремлюють невелику кількість характерних модельних точок рельєфу. Модельними точками рельєфу називають такі точки хмари, які вносять найбільший внесок у форму рельєфу (рис. 6.7) 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 тріангуляційної моделі, побудованої за модельними точкам.



Рисунк 6.7 – Модельні точки рельєфу в загальній хмарі точок

Зазвичай число модельних точок для моделей рельєфу з заданою точністю 1 см буває на 2–3 порядки менше, ніж число вихідних точок, що належать до рельєфу (рис. 6.8). Модельні точки поверхні застосовуються для моделювання рельєфу поряд з автомобільною чи залізничною дорогою і задають цифрову модель рельєфу, придатну для застосування в будь-яких системах автоматичного програмування і ГІС, а також для швидкої тривимірної візуалізації.

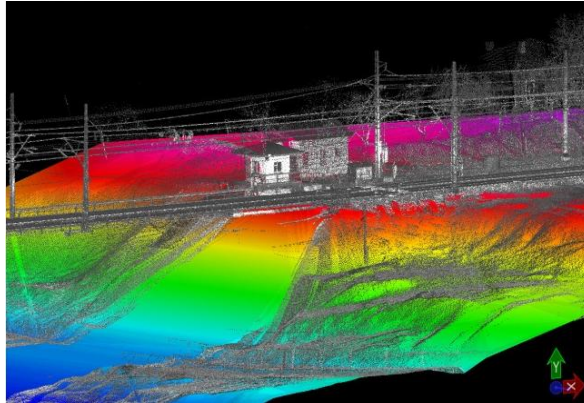


Рисунок 6.8. – Мобільні точки рельєфу в тривимірному просторі

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 в себе осьові лінії, кромки проїжджої частини, бровки, підшви, межі укосів виїмок, насипів, контр банкетів, берм і т. п. В даний час вже існує ряд алгоритмів і програмних продуктів, що дозволяють розпізнавати дані структурні лінії і будувати статистично згладжені просторові лінії за хмарою точок. Отримувані структурні лінії є найважливішим елементом моделі сканування дороги і використовуються напряму сучасними системами автоматичного програмування автомобільних і залізничних доріг. Слід зазначити, що автоматизоване розпізнавання структурних ліній дороги надійно працює тільки для нових доріг. У решти випадках точно розпізнати вісь дороги, напівзасипану

кромку, зарослу травною бровку і ін. досить проблематично – в цьому випадку єдиним виходом є ручне оцифрування структурних ліній. Підмогою оператору тут може бути механізм локальної статистичної оцінки розподілу точок по висотах.

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

Моделювання об'єктів інженерного облаштування також являється важливим завданням при створенні моделей автомобільних та залізничних доріг. Поширені технології, реалізовані в багатьох програмних продуктах і є досить трудомісткими, так як не орієнтовані на специфічні об'єкти (стійкі дорожніх знаків, огороження тощо). У той же час є в наявності досить ефективні спеціалізовані програмні продукти, що виконують дану задачу (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-вигляді. Хмара точок або розфарбовується в природні кольори, і оператор довільно «переміщається» у просторі, або використовуються панорамні знімки, на які «накладається» хмара точок. Перевага першого підходу полягає в тому, що є можливість наблизитися до об'єкта і подивитися на нього з потрібного ракурсу; перевага другого підходу - зображення не закрите надлишковим числом точок і розпізнавання для складних, насичених ділянок виконується швидше.

Переваги лазерного сканування над іншими видами наземної зйомки.

Основні сфери застосування тривимірного сканування:

- створення тривимірних моделей складних інженерних споруд та технологічного обладнання з високим ступенем деталізації і точності;
- зйомка фасадів історичних будівель, пам'ятників і унікальних об'єктів для їх реконструкції;

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

Цей список далеко 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 завчасної зйомки і виключення пересічний 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 надають додаткові переваги:

- швидке отримання результатів;
- зменшення загального циклу робіт над проєктом;
- більш якісний результат;
- велика повнота;
- високий рівень деталізації;
- безпеку робіт при зйомці;
- неруйнівного методика зйомки;
- хмари точок можуть бути використані іншими фахівцями з більшою ефективністю [9].

6.2 Геодезичний супровід будівництва, реконструкції і моніторинг будівель та споруд

В Україні все більше набирає популярність і впроваджується, можливо, найбільш значуще технологічне нововведення в геодезії, архітектурі та ряді інших суміжних галузей – лазерні скануючі системи (ЛСС).

Результатом роботи лазерних скануючих систем є масив тривимірних координат точок лазерних відображень (ТЛВ) від поверхні вимірюваних об'єктів з високою щільністю, який надалі можливо відобразити в тривимірному просторі у вигляді точкової тривимірної моделі об'єкта. Такий вид відображення даних відрізняється високою візуалізацією в порівнянні з двовимірними кресленнями [7].

Використання ЛСС в геодезії дозволяє говорити про високий ступінь збору геопросторових даних.

Проте використання ЛСС на сьогодні в нашій країні ускладнюється через відсутність затвердженої технічної літератури, яка описує різноманітні методики виконання роботи, а також єдиної термінології та класифікації даного виду обладнання. Наприклад, на один і той же тип пристрою від різних виробників дано 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 розділення ЛСС на типи більш доцільним буде прийняти за основу загальні ознаки класифікації геодезичних приладів на основі. Провівши аналіз різних існуючих моделей скануючих систем, можна запропонувати наступну класифікацію в залежності від класу, типу та характеру пристрою (рис. 6.9).

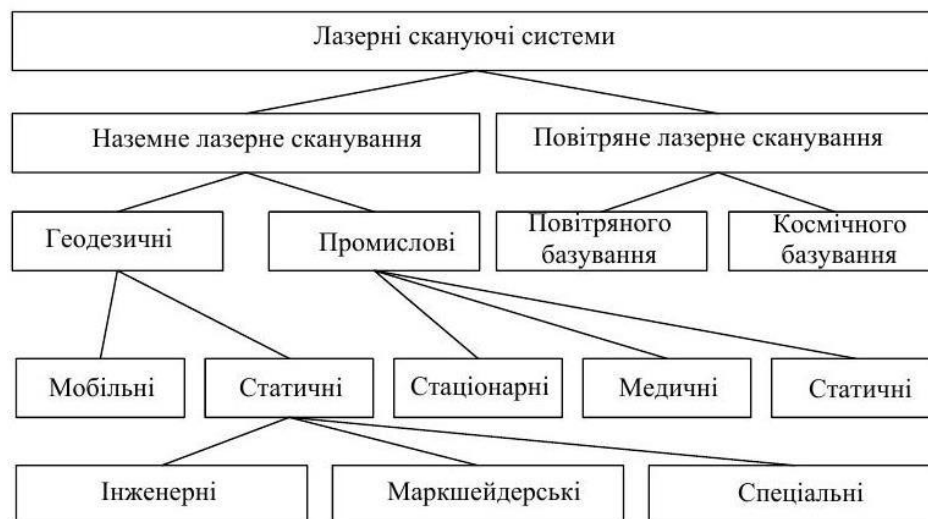


Рисунок – 6.9 Схематична класифікація лазерних скануючих систем

Виходячи із запропонованої класифікації, найбільш доцільним типом лазерної скануючої системи для виконання геодезичного моніторингу є наземний лазерний сканер (НЛС) геодезичного типу, статичний, інженерний.

Приклади застосування НЛС, при визначенні деформацій, за кордоном мають більш поширене застосування. Нижче наведені приклади використання деяких з них.

Для виявлення мінімальних зміщень об'єкта сканером *Leica Scan Station* (наступне покоління цього сканера використовувалось автором при вимірюванні досліджуваного об'єкту) польські вчені виконали дослідження. Метою даного дослідження є порівняння відхилень цілей за допомогою наземного лазерного сканера. Відхилення визначались за трьома напрямками (осі координат X , Y , Z). Для цього використовувалась марка-базис з двома мішенями розташованих під кутом 90° одна до одної (рис. 6.10). Експеримент проводився п'ятьма циклами (0,001 м, 0,003 м, 0,005 м, 0,010 м, 0,020 м) і, нарешті, на декількох відстанях досягав максимального діапазону вимірювань сканера. Дані оброблялися за допомогою ПЗ *Cyclone* та *Matlab*. Аналіз отриманих результатів створює нову можливість для використання лазерного сканера при точних вимірюваннях для визначення невеликих деформації об'єктів.

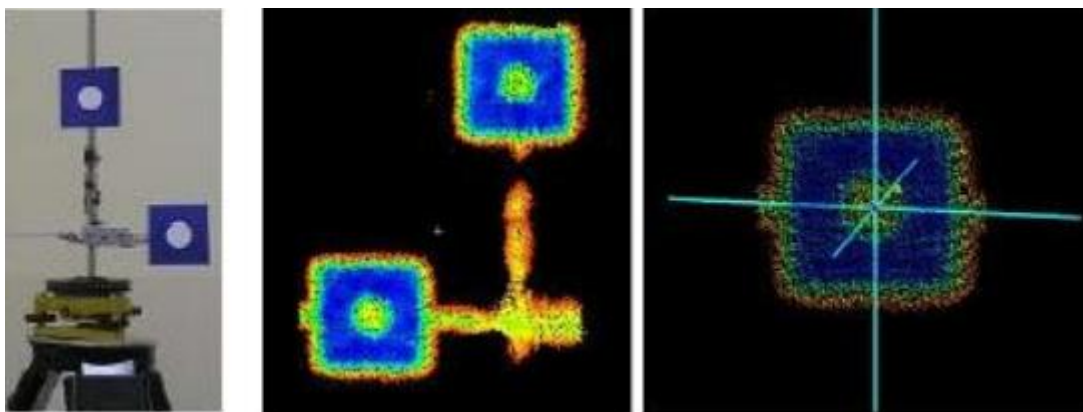


Рисунок 6.10 Марка-базис при скануванні

Аналіз даних показує, 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 [11] було помічено, що помилки при вимірюванні можуть бути результатом програмного забезпечення *Cyclone*, яке автоматично призначає центр знаку 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.

Визначенням деформацій частини покрівлі займались у 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 (рис. 6.11). Висота даху над поверхнею сягає 32 м [12].

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

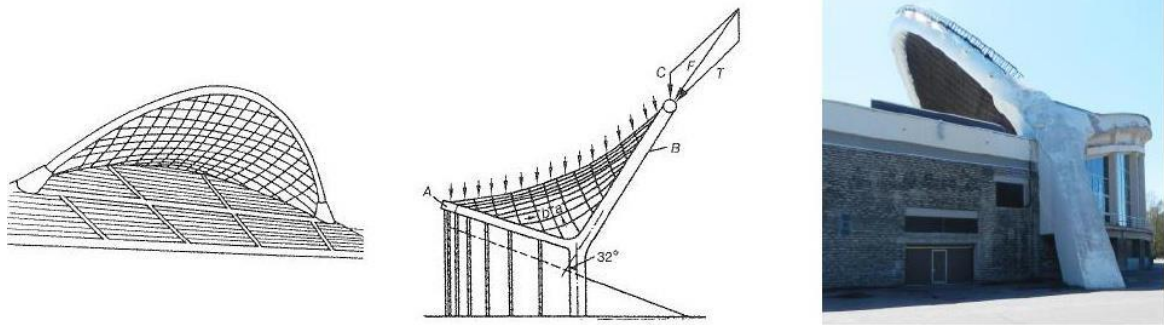


Рисунок 6.11 – Схема кабельної мережі даху та його фото

Порівняння результатів першого і другого циклу показують, що деформації під впливом снігу сягають до $-11,3$ см у нижній частині даху (зображені темними кольорами на (рис. 6.12, а), а на вищому боці біля передньої арки дах піднявся вгору до $+3,1$ см (рис. 6.12, а). Східна сторона, розташованого в центрі рисунка, залишається практично незмінною. Порівняння даних за другий і третій цикл показує, що форма даху не повністю повернула свою оригінальну геометрію. 72 % фактично піднялося в центральній частині. Результати показують зростання до $+12,1$ см (рис. 6.12, б) зображений червоним кольором. Віддалені частини на краях не відновилися від снігового навантаження, що вказує на те, що 1% поверхні було ще нижчий, до $-3,8$ см, лише 27 % даху повністю відновили початкову форму.

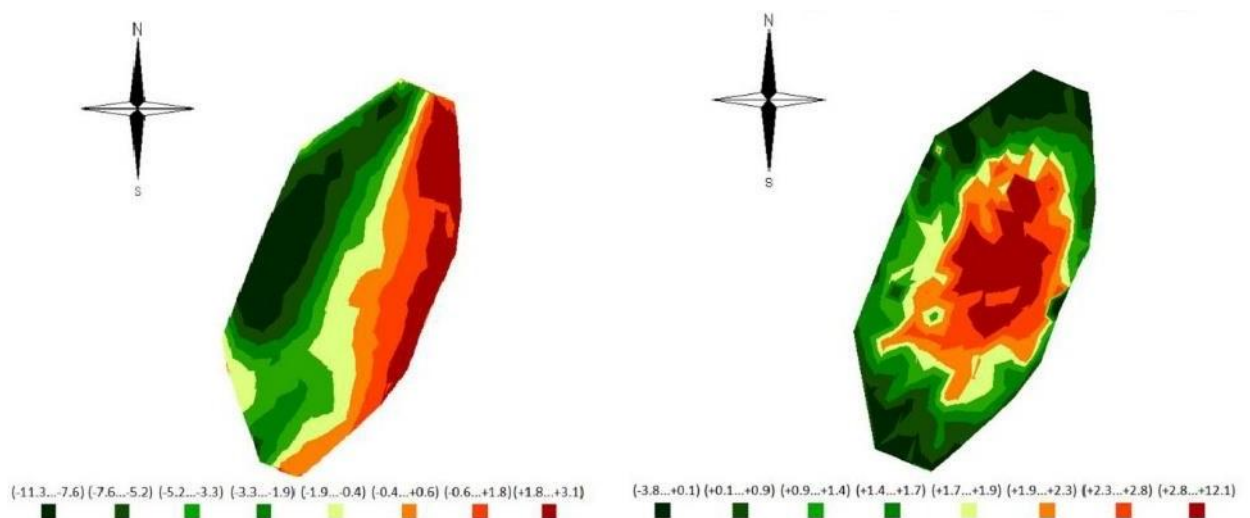


Рис. 6.12 – Результати порівняння поверхонь (см)
а) нижня частина б) верхня частина

Хоча НЛС в основному вважаються придатними для використання при

температурах вище нуля і бажано в сухих умовах, але дослідженням доведено інше. На сьогоднішній день НЛС здатні отримувати дані в несприятливих умовах навколишнього середовища. Загалом технологія НЛС виявилася корисною для моніторингу складного та недоступного об'єкта [12].

Ще одним незручним об'єктом для безпосередніх спостережень класичними методами є мости. Тому за їх станом зручно спостерігати безконтактним методом НЛС. Так у Іспанії був відсканований міст *Segura Roma* для аналізу геометричних параметрів арок (рис. 6.13).

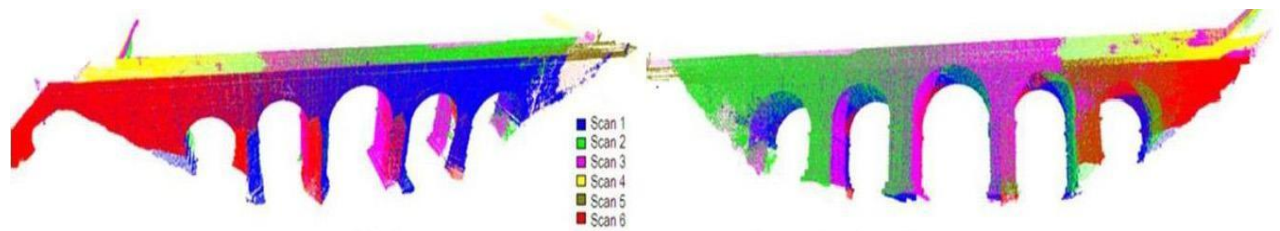


Рисунок 6.13 – Відсканований міст *Segura Roma*

За допомогою даних НЛС визначались вертикальні переміщення мосту, а також стан матеріалів, з яких його зведено (розтріскування, відшаровування, зміна геометричної форми). При веденні робіт здійснена вибірка методів, серед яких були такі: фотограмметричний, нівелювання, традиційне використання НЛС та сканування з точок з відомими координатами. Відповідно отримана точність результатів наступна: 4,9 – 9,1 мм; менше 3,5 мм; більше 3,5 см, 9 – 11 мм. З результатів очевидно, що контролювання координат скануючих станцій значно покращує результати сканування.

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 з традиційним методом та НЛС і фотограмметрії. Так на об'єкті велось постійне спостереження за допомогою роботизованого тахеометра *Leica TS15* по марках. Аналіз методів проводився по 6 марках, що були встановлені на арках у різних місцях, координати яких визначались по черзі різними методами. Для сканування використовувався сканер *FARO Focus^{3D}*, ПЗ для сканування – *Faro*

Scene, для обробки хмарин точок *Leica Cyclone*. Для фотограмметричних робіт використовувалась камера *Nikon D3200*, для обробки зображень ПЗ *Visual SFM*.

Після проведених робіт отримано наступні результати. Розходження координат марок між координуванням тахеометром і НЛС склали 1-20 мм. Але побудова автоматичних розрізів за допомогою методів *CAD* на основі знімання тахеометром неінформативна та не повна через малу кількість даних. Якість розрізів, в цілому, можна покращити за рахунок 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 ж сама область арки. Ця область була близькою до гладкої однорідної поверхні. Так як поверхня не ідеально гладкої форми, хмарина точок була виправлена та зрівняна методом найменших квадратів за допомогою ПЗ *Shapes*, і накладені одна на одну. Розбіжність між двома методами показана на (рис. 6.14). При цьому розбіжність накладання поверхонь склала не більше 3 мм. Зростаюча різниця даних ближче до вершини арки, може бути більш слабким зображенням у віддалених місцях.

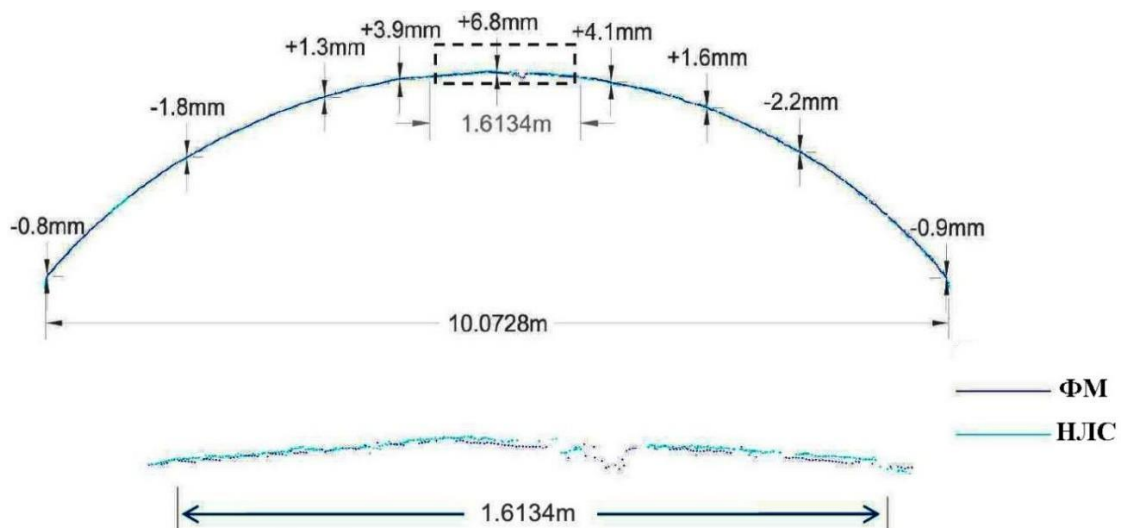


Рисунок 6.14 – Порівняння методу НЛС та фотограмметрії

Щодо точності наземних лазерних сканерів. Так у Канаді разом зі швейцарськими вченими розроблений новий алгоритм обробки даних, отриманих за допомогою НЛС.

Проведено контрольований експеримент у лабораторії, щоб перевірити здатність цього алгоритму для виявлення 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, прикріпленими дерев'яними тілами різної неправильної форми. У цілому було виконано сканування твердої поверхні 50 разів при середній відстані між точками 6 мм. Після калібрування сканувань на поверхню були поміщені випробувальні зразки з картону (поверхня 200×70 мм) у семи різних місцях (рис. 6.15, а). Кожна окрема частина становила від 0,2 мм до 3,7 мм в товщину. Щоб перевірити здатність алгоритму для виявлення переміщень у похилих напрямках до сканеру, у двох місцях на півсфері прикріплені два шматки таким чином, щоб кут падіння лазерного променя був приблизним 45° . Після розміщення шматочків мішень сканували ще 50 раз у тому ж місці сканера для створення хмарин точок з даними (рис. 6.15, б).

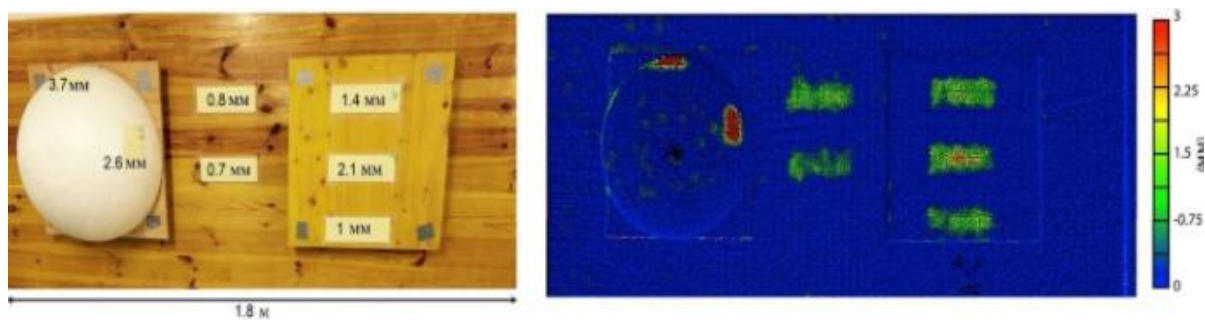


Рисунок – 6.15 – Марки для сканування:

а) об'єкти сканування

б) відсканована поверхня

Алгоритм був задіяний таким чином, що стандартне відхилення в такому випадку є систематичною помилкою в опорному скануванні і віднімається з відфільтрованих точок даних хмарини в 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 L D, при моделювання 3D поверхні.

Цей метод перевірено в польових умовах. Був відсканований скальний схил 54 рази з п'ятихвилинними інтервалами із середньою відстанню 200 м. Кожне сканування складалося приблизно з 360000 точок із середнім кроком сканування між точками 25 мм. Після обробки результатів було встановлено, що стандартні відхиленням склали 0,55 мм, що робить кожную точку рівня виявлення на похилій площині при 95% довірчому інтервалі (1,96 стандартних відхилень) у межах 1,1 мм.

Виділені важливі фактори вибору системи моніторингу об'єкту є комплексний підхід до вирішення проблеми. На сьогоднішній день 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 р., відповідно принципи і засоби вимірювання даних методів ґрунтуються на застарілих технологіях. Звідси виникає проблема застосування отриманої інформації до сучасних засобів вимірювання. Крім того, застарілі методики не відповідають вимогам і завданням модерної концепції будівельної та промислової індустрії.

Застосування НЛС на даний час у тій чи іншій інженерній сфері вимагає значних досліджень, класифікації завдань і розробок, для оновлення та створення документації, методичних вказівок при виконанні польових робіт і камеральної обробки результатів. Тому вищенаведені висновки з даного розділу підкріплюють актуальність теми та досліджень дисертаційної роботи.

Контрольні питання

1. Що таке лазерне сканування?
2. Розкрите сучасні технології моніторингу.

3. З якою метою виконується контроль якості геодезичних робіт?
4. Яка точність сучасних скануючих систем?
5. Назвіть та охарактеризуйте етапи геодезичного контролю якості.

ТЕМА 7 ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ В ГЕОДЕЗІЇ ТА КАРТОГРАФІЇ

План

7.1 Передумови, основні положення та нормативно правові засади цифрової трансформації.

7.2 Основні принципи побудови геопорталів.

7.1 Передумови, основні положення та нормативно правові засади цифрової трансформації

Для забезпечення проєктних умов розвитку територій на довгострокову перспективу, а також розміщення будівництва і реконструкції споруд, пов'язаних з функціонуванням міського господарства, по перше треба ознайомитись, сформулювати та актуалізувати існуючі дані з електронних ресурсів та галузевих департаментів, для складання проєктів розвитку та програм з організації територій.

Для створення будь-яких проєктів розвитку та організації територій необхідна просторова основа. Для формування інформаційної основи розглядаються етапи створення і розробки топографічної підоснови для проєктної документації. В подальшому дані систематизуються та будуються складові системи інформаційного планування інженерних вишукувань.



Рисунок 7.1. – Типова схема роботи з інформаційними ресурсами

Для того щоб перейти до збору та систематизації даних минулих років і розпочати побудову гео-просторової основи (рис. 7.1), необхідно виконати серію послідовних процесів.

Перш за все, необхідно визначити технічне завдання на основі тих матеріалів, які були отримані від замовника. На цьому етапі треба ознайомитись з територією (ділянкою) та з усіма її особливостями.

С початку треба визначити право власності на землі, або земельні ділянки розвитком територій яких планується займатися. За допомогою інформаційного ресурсу держгеокадастру, а саме публічної кадастрової карти України можна знайти, по кадастровому номеру, ділянку землі на схемі України з урахуванням області, району та міста.

Даний ресурс поміщений на офіційному сайті державного агентства Земельних ресурсів України. За допомогою карти земельних ділянок можна отримати інформацію про стан земельних ресурсів, про надра, мережах і комунікаціях розташованих на ділянках і водних ресурсах, а також інформація що до відомостей та витягів з державного земельного кадастру, цільового використання земельних ділянок та інше. Растрова підоснова цієї карти дозволяє точно управляти та корегувати кадастровим поділом та надавати

користувачам актуальну інформацію для подальшої актуалізації.

Складання проєкту, а потім його перенесення в натуру є процесом протилежним зніманню і складанню плану. Якщо при зйомці виконують вимірювання на місцевості для подальшого зображення на папері (плані) межі землекористувань, ділянок, угідь, доріг, річок, каналів, лісосмуг і т.п., то при складанні проєкту спочатку на плані показують проєктні межі полів, ділянок, доріг, каналів та ін., після чого розташування цих об'єктів визначають на місцевості шляхом відповідних вимірювань при перенесенні проєкту в натуру.

Проєкт землеустрою складають відповідно до завдання, яке містить основні показники перспективного плану розвитку з урахуванням економічних і природних умов.



Рисунок 7.2 – Сучасні геодезичні прилади та програмне забезпечення для обробки даних

Взявши за основу вказані вище матеріали і побажання землекористувачів, на плані (карті) або копії з нього складають графічний проєкт, де вказують розташування складових частин елементів організації території. В багатьох випадках найбільш правильне проєктне рішення знаходиться в результаті складання і економічного аналізу кількох варіантів проєкту.

Графічний проєкт будується на основі даних з польових робіт, які завдяки сучасним електронним геодезичним приладам і програмному забезпеченню актуалізується з кадастровою базою та растровим поділом.

На сьогоднішній день геодезичні, вишукувальні та будівельні роботи виконуються із застосуванням найсучасніших і передових технологій збору і обробки інформації (рис. 7.2), одним з яких є супутникове обладнання. Зйомка за допомогою правильно підбраного обладнання дозволяє з високою точністю визначити місце розташування будь-якого об'єкта, що є головною вимогою при проведенні знімальних робіт. А програмне забезпечення (рис. 7.3), в свою чергу, дозволяє при камеральній обробці суттєво економити час та ефективно виконувати роботи на високому рівні.

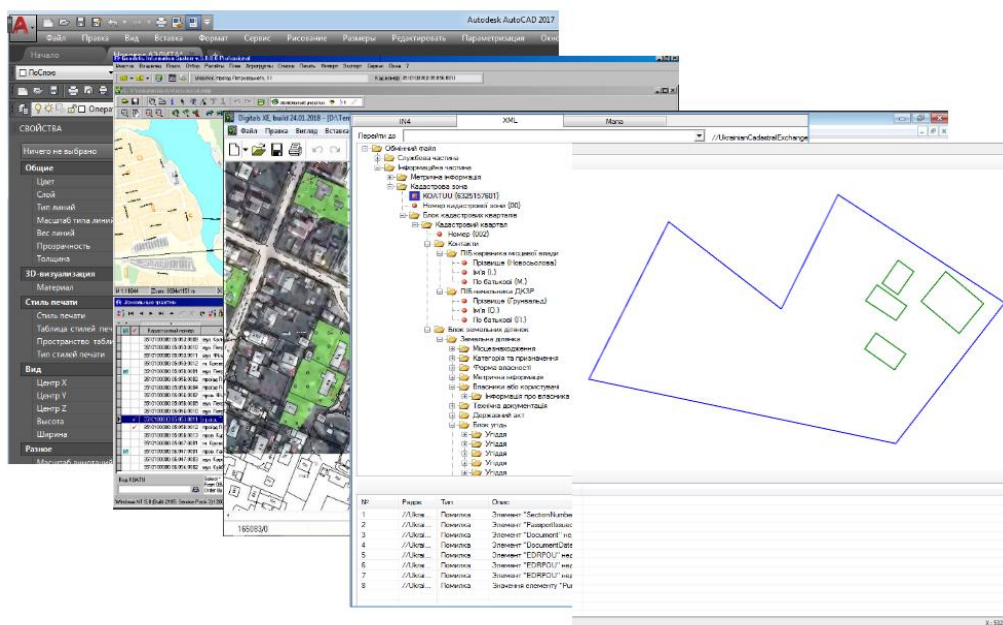


Рисунок 7.3 – Програмне забезпечення для землевпорядних робіт

По перше, одним із розповсюджених програмних продуктів є Autocad (рис. 7.3). Це дво- і тривимірна система автоматизованого проєктування і креслення. В області двовимірного проєктування Autocad дозволяє використовувати елементарні графічні примітиви для отримання більш складних об'єктів. Крім того, програма надає великі можливості роботи з шарами і блоками об'єктів (розмірами, текстом, позначеннями).

На даний час це є самим розповсюдженим програмним продуктом, формати файлів якого дозволяють обмінюватись даними (імпортувати) з більшістю інших програмних комплексів для геодезичних вишукувань і землевпорядного проєктування.

Програмне забезпечення *Digitals* – універсальна платформа з величезним набором функцій (рис. 7.3). Забезпечує автоматизацію геодезичних робіт від обробки польових вимірювань до створення обмінних файлів, кадастрових планів і технічної документації. Не потребує додаткових програм, таких як *Autocad* або *MapInfo*. Створює графічні і текстові документи на основі шаблонів, що, дозволяючи максимально автоматизувати процес і легко адаптувати його під будь-які вимоги. В *Digitals* можливо зрівнювати теодолітну і тахеометричну зйомку, створювати топографічні та спеціальні карти і плани, накопичувати кадастрову базу даних, будувати моделі рельєфу і моделювати горизонталі, розраховувати площі і обсяги, переглядати карти в тривимірному вигляді, використовувати супутникові знімки, ортофотоплани і скановані карти, створювати текстову і графічну документацію.

Геодезична Інформаційна Система 6 (GIS-6) крім створення обмінних файлів, кадастрових планів і технічної документації, має додаткові реєстри земельних ділянок, нерухомості, державних актів, договорів оренди та реєстраційних карток (рис. 3). Структура баз даних організована таким чином, що в міру створення земельних ділянок і заповнення, пов'язаних з ними параметрів, виконується автоматичне заповнення реєстрів.

Менеджер обмінних файлів (рис. 7.3) – програма для перегляду, перевірки, виправлення обмінних файлів у форматі xml. Дозволяє дивитися і коригувати геометрію метричну частину з обмінного файлу та інформаційні блоки стосовно земельних ділянок. Також дивитися і коригувати семантичну інформацію файлів in4 та xml в дереві властивостей. Перевірити правильність заповнення файлів (відповідність формату, коректність геометрії - відсутність перетинів, само перетинів). Перетворювати файли In4 в xml і навпаки. Якщо ці

файли були створені у ранніх версіях програмних продуктів *gis*, менеджер обмінних файлів є дуже актуальним продуктом для землевпорядників.

Часто після обробки даних за допомогою різних програмних забезпечень з'являються не точності, в силу специфіки кожного продукту. Завдяки програмному продукту *XML-viewer* можливо остаточно перевірити *xml* файли на наявність помилок метричної частини і інформаційних блоків, та далі скорегувати і виправити ці неточності.

Перші проєктні рішення, роблять наближеними, по можливості, простими технічними засобами і прийомами. Щоб швидше графічно оформити проєкти землеустрою їх розробляють в дві стадії:

- складання попереднього, або ескізного, проєкту;
- складання кінцевого, або технічного, проєкту.

За ескізним проєктом, в якому дається економічне обґрунтування розміщення всіх основних елементів організації території, вирішується питання про способи і прийоми кінцевого (технічного) проєктування тих чи інших об'єктів та проведення необхідних польових робіт для складання технічного проєкту і перенесення його на місцевість.

В технічному проєкті забезпечується необхідна точність розташування проєктованих об'єктів та їх площ. Після складання проєкту і його юридичного оформлення виконують підготовчі роботи для перенесення проєкту в натуру, а потім і саме перенесення в натуру всіх точок, кутів, ліній, площ запроєктованих об'єктів.

Після перенесення проєкту в натуру або в період перенесення інколи виконують виконавчу зйомку побудованих або тих, що знаходяться в стадії зведення, об'єктів із метою геодезичного контролю за процесом перенесення проєкту в натуру (їх відхиленням і т. д.).

Матеріали землеустрою – відкориговані плани землекористувань, проєкти, експлікації та ін. потім використовуються для земельного кадастру.

Наступним етапом отримання інформації стосовно виконання проєкту отримання даних з департаменту містобудування та архітектури (міської або обласної архітектури) в залежності від місця розташування об'єкту. Ці департаменти займаються підготовкою і винесенням на затвердження ради відповідних місцевих містобудівних програм, генерального плану та іншої містобудівної документації для міста.

- узгодження проєктів окремих об'єктів містобудування, благоустрою, озеленення, інженерної підготовки територій і дизайну міського середовища.

- координація роботи з підготовки проєктів рішень міської ради та її виконавчого комітету про надання земельних ділянок у власність або користування для розміщення та здійснення будівництва об'єктів містобудування.

- збереження об'єктів самочинного будівництва (в тому числі з наданням земельних ділянок), передачі та придбання земельних ділянок в власність, вилучення (викуп), надання земель в користування та припинення права користування.

- координація на відповідній території діяльності суб'єктів містобудування для комплексної забудови міста;

- надання забудовникам містобудівних умов і обмежень забудови земельної ділянки, встановлених правилами забудови міста;

- ведення містобудівного кадастру, чергового плану, створення архіву містобудівної документації, ведення обліку проєктів окремих будівель і споруд, інженерних комунікацій міського значення;

- підготовка проєктів розпорядчих актів щодо розміщення малих архітектурних форм для здійснення підприємницької діяльності, привласнення поштових адрес об'єктам нерухомості, розташованим на території міста;

- узгодження проєктів землеустрою;

- здійснення контролю за виконанням проєктів і схем землеустрою, проєктів внутрішньогосподарського землеустрою;

— забезпечення державних органів, органів місцевого самоврядування, громадян і юридичних осіб необхідною інформацією для вирішення питань прогнозування розвитку, планування і забудови міста, розміщення, проектування, будівництва і реконструкції об'єктів громадського, виробничого, житлового або іншого призначення, охорони пам'яток архітектури та містобудування, створення, розвитку, реконструкції соціальної, інженерної і транспортної інфраструктури, регулювання земельних відносин в містах.

Більш важливим, стосовно цієї тематики, можна виділити отримання в цих установах архітектурні планшети з підземними та наземними комунікаціями (рис. 7.4) які зв'язані між собою місцевою системою координат.



Рисунок 7.4 – Архітектурні планшети з підземними та наземними комунікаціями

В подальшому детально визначається приналежність підземних на наземних комунікацій. Визначається їх потужність та отримуються технічні умови на підключення, тому як з подальшим розвитком території підвищується потужність будь-яких мереж. Також встановлюються межі комунікацій для подальшого погодження у відповідних установах.

Отже, можна визначити основні стадії збору та систематизації даних у цих установах:

1. Отримання архітектурних планшетів:

- зшивка планшетів (рис. 7.4), визначення їх координат;
- прив'язка планшетів до місцевої системи координат.

2. Визначення меж проєктованих ділянок та прив'язка до розробленої гео-підоснови:

- перенесення меж на виконавчу зйомку;
- актуалізація даних з проєктом організації території.

3. Аналіз підземних та наземних комунікацій і мереж з подальшим погодженням у відповідних установах:

- підземні комунікації (водопровід, каналізація, електричні кабелі, газопровід, міський зв'язок, районний зв'язок, центральний зв'язок інші подібні комунікації);
- наземні комунікації (леп, лінії зв'язку, та інші подібні мережі).
- нанесення зон обмеження та обтяження щодо розташування діючих мереж (за класифікатором).

4. Визначення червоних ліній:

- позначення існуючих або планованих меж територій загального користування;
- позначення меж земельних ділянок, на яких розташовані лінії електропередачі, лінії зв'язку, трубопроводи, автомобільні дороги, залізничні лінії та інші подібні споруди.

– прив’язка червоних ліній (рис. 7.5) до виконавчої гео-підоснови за допомогою місцевої системи координат.



Рисунок 7.5. – Нанесення червоних ліній на архітектурних планшет

Інформація про штучні споруди, будівлі та малі архітектурні форми, аналіз та визначення технічного стану будівель і споруд – отримуються для визначення дій щодо проведення заходів по реконструкції або зносу об’єктів на проєктованій території.

У період зведення будівництва будівель та споруд і в процесі їх експлуатації за допомогою геодезичних вимірів виконують спостереження за деформаціями і осіданнями споруд, щоб запобігти їх руйнування. [6]

Ще одним не менш важливим інформаційним ресурсом є геоportal адміністративно-територіального устрою України (рис. 7.6). На картографічних матеріалах цього portalу можна отримати інформацію стосовно:

- меж адміністративно-територіальних одиниць;
- територію проєктних громад;
- межі проєктних та об’єднаних громад та їх території;
- адміністративний поділ та функціональне використання земель об’єднаних територіальних громад.

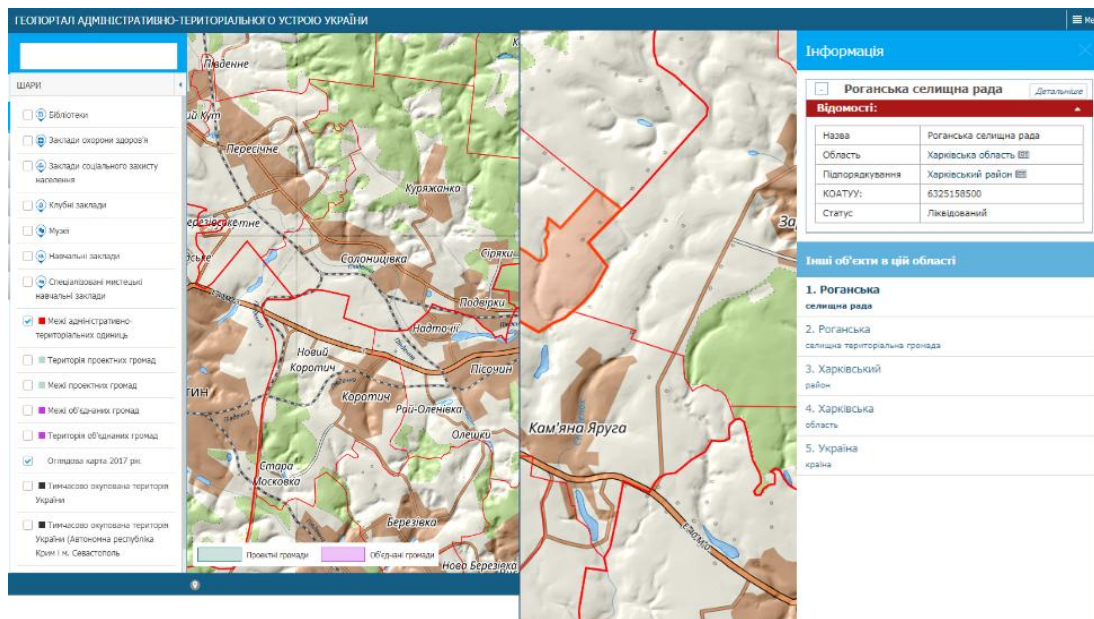


Рисунок 7.6. Геопортал адміністративно-територіального устрою України

Для складання проєкту використовують план (карту) з експлікаціями (площ) по землекористуваннях і угіддях, матеріали агро-господарських, ґрунтових, геоботанічних, агролісомеліоративних та інших досліджень. [14]

Наступним етапом збору даних для проєктування є аналіз та актуалізація геологічних та морфологічних матеріалів. На даний час основним інформаційним ресурсом за даною тематикою є онлайн карта ґрунтів України (рис. 7.7). Цей ресурс відображає дані, в яких регіонах розташовані певні типи ґрунтів. Також відкриває інформацію про більше ніж 650 типів ґрунтів по всій Україні, деталізує ґрунти по всіх областях України.

Також для аналізу поверхневого шару ґрунту отримуються ґрунтові карти та геологічні перерізи, визначаються необхідні параметри ґрунтів, цінність ґрунтів, прогноз зміни їх властивостей у процесі будівництва й експлуатації об'єктів. Ці дані отримується у науково-дослідних інститутах інженерно-технічних та екологічних вишукувань, наприклад УКРІНТІЗ м. Харків.

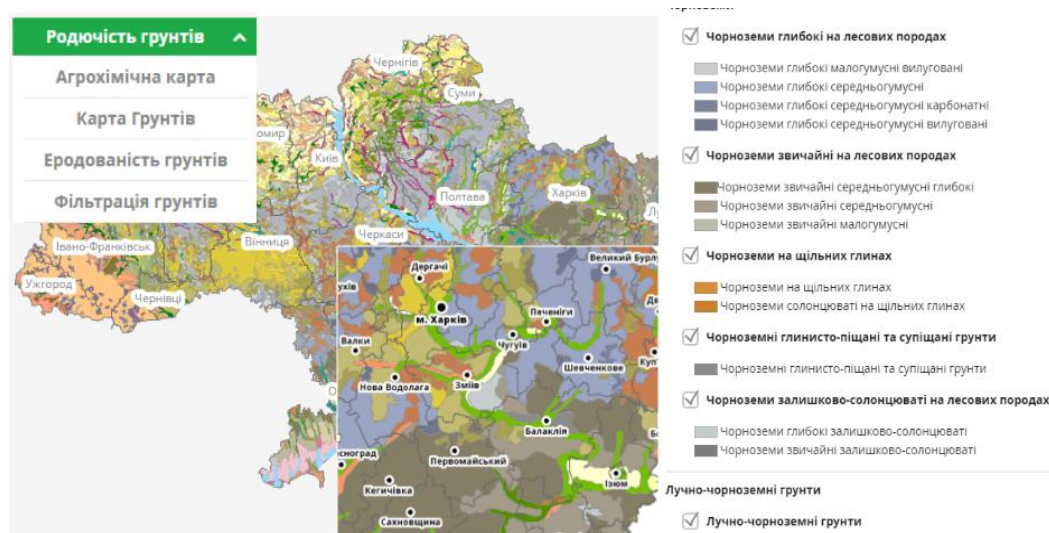


Рисунок 7.7 – Карта ґрунтів України

Більш детальний аналіз стосовно складу та бонітету ґрунтів, даних земельного покриву на територію (ділянку), яка передбачена проєктом, а також отримання якісного складу родючого шару ґрунту збирається в інституті землеустрою.

Проєктом треба визначити цінність земель, та якщо потрібно, передбачити проєкт рекультивації. Визначається напрямок рекультивації і цільового призначення рекультивованих земель (наприклад лісового господарства або сільськогосподарських потреб). Також виконується заходи щодо організації і порядку проведення рекультивації та визначення територій для розміщення знятого шару ґрунту.

Наступним етапом формування інформаційної основи є збір даних з геопорталу «Ліси України» (рис. 7.8). Він створений для визначення прилеглості зелених насаджень та лісового господарства. З інформаційних ресурсів цього порталу можна отримати інформацію щодо:

- формування звітів за фондами та лісовим кадастром;
- прийом оновлених даних для коректування до актуального стану;
- оперування геопросторовою інформацією про введення лісового господарства в сукупності з даними агентства земельних ресурсів та даними дистанційного зондування землі;

- отримання інформації щодо рубок та лісорубних квитків.



Рисунок 7.8 – Геоportal «Ліси України».

Насадження повинні бути пов'язані з усіма підземними мережами. Тільки так можуть бути достатньо вирішені питання інженерного обладнання і озеленення. Відстані від будинків, споруд, а також об'єктів інженерного благоустрою до дерев і чагарників приймаються за діючими державними будівельними нормами. Основними композиційними елементами системи озеленення повинні бути масиви, великі групи – санітарно-гігієнічна і мікрокліматична роль їх особливо ефективна. Також їх застосовують для виконання ізолюючих і захисних функцій, для розчленування території, маскування, створення фону для декоративних акцентів. [6]

Зелені насадження також повинні відокремлювати ділянки відпочинку для дорослих і майданчики для дітей молодшого і середнього віку один від одного, проїздів, навколишньої забудови.

Погодження щодо зелених насаджень, лісосмуг та лісових масивів відбуваються відповідно до територіальної прилеглості. Наприклад у містах «Міськзеленбуд», в окремих регіонах – лісовий фонд (лісництво), в обласних центрах – «Агроліс» та інші подібні установи. Лісосмуги вздовж залізничних колій які знаходяться в полосі відводу визначаються та погоджується з АТ «Укрзалізниця».

7.2 Основні принципи побудови геопорталів

В Україні всі останні роки посилюється інформатизація суспільства. Створюється багато електронних сервісів та порталів, що охоплюють всі сфери економіки і нашого життя. Інформаційні системи та засоби їх побудови також постійно і стрімко розвиваються. Чітко виділяються основні тенденції та напрями розвитку(Тренди) побудови сучасних інформаційних систем, серед основних є:

Перехід від інформаційних до геоінформаційних систем (ГІС), що мають переваги звичайних інформаційних систем та додатково містять спеціалізовані функції для роботи з просторовими компонентами наборів даних.

Портальні технології, що дозволяють надавати широкий доступ до ресурсів та сервісів онлайн з будь-якого пристрою та місця.

Геоінформаційні системи побудовані як набір онлайн сервісів, доступних через веб-портал, називаються геопорталом.

Розрізняють декілька рівнів геопорталів за охопленням території: Світові, Транснаціональні (Європейські та ін.), національні, регіональні, місцеві. Прикладами Геопорталів світового рівня є *Google MAP, Bing Map, OSM* та ін.

Прикладами в Україні – геопортал адміністративно-територіального устрою. Публічна кадастрова карта та ін.

Геопортальні технології пройшли декілька етапів стандартизації даних та геосервісів і світовою спільнотою напрацьовані чіткі принципи побудови геопорталів. Дотримання цих принципів дозволить не тільки правильно будувати і розвивати геопортал, та й інтегрувати його в світовий геоінформаційний простір. Крім того це дозволить використовувати готові компоненти та дані. Наразі розроблені та активно розвиваються бібліотеки готових геокомпонентів в тому числі і Open Source (для відкритого користування). Також існують великі об'єми геопросторових даних, побудованих за цими стандартами, що охоплюють цілий світ і Україну зокрема.

Це і бази геопросторових даних(OSM та ін.), космознімки (landsat та ін.) , та геосервіси – Google TMS, Google Geocoding та ін. Якщо гармонізувати ці принципи побудови геопорталів для України, то основними є наступні:

- використання сучасних геоінформаційних технологій;
- врахування міжнародного досвіду участі в реалізації геоінформаційних систем та геопорталів;
- відповідність міжнародним стандартам серії ISO 19100 Географічна інформація / Геоматика;
- відповідність положенням Директиви Європейського парламенту та Ради 2007/2/WE від 14 березня 2007 р. яка встановлює інфраструктуру геопросторової інформації в Європейському Співтоваристві (INSPIRE).

Інтеграція базових та профільних геопросторових даних в базі геоданих(БГД) геопорталу на основі геокодування об'єктів за координатами (ISO 19111) за географічними ідентифікаторами (ISO 19112).

Модульність системи для забезпечення етапності розвитку та розгортання. Зв'язок з законопроектом «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», що встановлює загальні правові основи створення, функціонування та розвитку національної інфраструктури геопросторових даних, спрямованої на забезпечення ефективного прийняття управлінських рішень органами державної влади та органами місцевого самоврядування, задоволення потреб суспільства у всіх видах географічної інформації

Контрольні питання

1. Що таке геопортали?
2. Основні принципи побудови геопорталів.
3. Використання сучасних геоінформаційних технологій?
4. Які перевірки виконуються при геодезичному контролі?
5. Які основні нормативні документи використовуються в цій сфері?

ТЕМА 8 ЗАСТОСУВАННЯ, ОФОРМЛЕННЯ ТА РЕЄСТРАЦІЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

План

8.1 Технологія зберігання даних та принципи їх застосування.

8.2 Методика застосування просторової основи для оформлення та реєстрації топографо-геодезичних матеріалів.

8.1 Технологія зберігання даних та принципи їх застосування

Метою будь-якої інформаційної системи є використання комп'ютерної технології. Будь-яка інформаційна система управляє інформаційними ресурсами і включає не лише базу атрибутивних даних інформації, а також просторові елементи.

Для багатьох користувачів поняття ГІС асоціюється з синонімом карти. Карта виступає засобом, за допомогою якого здійснюється збір геоданих. Різноманіття зв'язків геоінформатики і картографії ведуть до виділення ряду аспектів їх взаємодії:

- цифрові карти – векторні або растрові структури, створені за допомогою технічних і програмних засобів у відповідних картографічних проекціях, системі координат і висот, розграфленні, яка призначена для відображення спеціальної інформації, аналізу, моделювання і вирішення інформаційно-розрахункових задач;

- загально-географічні і тематичні карти, дані дистанційного зондування. Землі виступають важливим джерелом просторово-часової інформації про об'єкти;

- системи координат і розграфка служать основою для географічної локалізації інформації, що надходить, зберігається і обробляється в ГІС;
- картографічний аналіз – один з найбільш ефективних засобів виявлення просторових закономірностей, зв'язків, залежностей при формуванні даних;
- картографічне моделювання – важливий і ефективний засіб представлення інформації при прийнятті рішень, в управлінні, прогнозуванні стану і моніторингу природних ресурсів.

Центральну складову будь-якої ГІС складає база геоданих. Дані надають контексту і значення певній галузі застосування і набувають інформативної величини. Дані є корисними тільки тоді, коли вони є частиною структури взаємозв'язків, що формують контекст.

ГІС має достатньо повні функціональні можливості забезпечувати високий рівень аналізу і підтримки рішень, що вимагається в області застосування. Зокрема ГІС, яка використовується для комунальних послуг, буде вимагати операцій аналізу мережі (оптимальне маршрутування між вузловими точками, і т.д.), в той час ГІС для використання в земельно-інформаційних системах забезпечує введення, контроль, накопичення, зберігання, обробку, картографування, аналіз і моделювання даних про земельний фонд. Географічні дані описують об'єкти дійсного світу на основі їх положення по відношенню до відомих систем координат, атрибути, які не пов'язані з місцеположенням (площа, рН водного розчину, кількість гумусу тощо), просторові взаємозв'язки (топологічні відносини), які описують їх взаємо поєднання.

Комп'ютерне проєктування – це галузь, яка має спільні елементи з ГІС. Деякі сучасні складові ГІС походять з систем комп'ютерного проєктування. Ці системи надають інтерактивні графіки з метою проєктування різноманітних штучних структур (будівель, комп'ютерних мереж). Особливе значення має взаємодія між дизайнером і комп'ютерною моделлю. Створення трьохвимірних моделей - важлива особливість таких систем.

Системи картографування – програмні засоби, призначені для професійного виробництва карт. Поряд з цим такі системи картографування не спрямовані на управління даними, практично обмежені в засобах аналізу, їх не використовують в тематичному картографуванні, менеджменті, моніторингу.

Геоінформаційне картографування становить інформаційно-картографічне моделювання географічних систем в геоінформаційному середовищі. Геоінформаційне картографування передбачає перш за все створення картографічних моделей.

На сьогодні ГІС знайшли практичне застосування в кадастровій і топографічній картографії, тематичній картографії, землеустрої, цивільній інженерії, географії, ґрунтознавстві, картографії ґрунтів, лісовому господарстві, навігації, обробці даних дистанційного зондування, аналізі і моделюванні надзвичайних ситуацій, економіці підприємств, фінансах, кліматології, гідрології, моніторингу і менеджменті ресурсів, прогнозуванні продуктивності культур, агроекологічному зонуванні, прогнозуванні ерозійних процесів, точному землеробстві.

Аналіз даних щодо правового, природного і господарського стану земель, які містить державний земельний кадастр, свідчить, що їх одержання, обробка, аналіз супроводжуються залученням великої кількості цифрових даних.

Земельний кадастр є основою функціонування ринку землі і нерухомості будь-якого суспільства, що дозволяє ефективно здійснювати державну політику у галузі земельних відносин. Це вимагає створення автоматизованої системи державного земельного кадастру на платформі ГІС. Функціональне призначення автоматизованої системи ДЗК полягає у створенні інформаційної бази для об'єктивного та ефективного оподаткування власників і користувачів земельних ділянок, забезпечення обміну кадастровою інформацією з іншими галузевими кадастрами та автоматизованими інформаційними системами, створення муніципальних ГІС, територіальних кадастрів, багатоцільових кадастрів.

База геоданих виступає обов'язковим компонентом будь-якої геоінформаційної системи – це сукупність геопросторових даних, організованих за визначеними правилами, які встановлюють загальні принципи опису, збереження і управління даними. Будь-яка ГІС включає систему візуалізації даних, яка виводить на екран існуючу інформацію у вигляді карт, картографічних моделей, таблиць, схем тощо; систему керування даними, за допомогою якої відбувається їх пошук, сортування, вилучення, додавання, редагування та аналіз. Система вводу включає програмний блок, який відповідає за отримання даних, джерелами яких можуть бути різноманітні електронні пристрої, такі як дигітайзер (цифрувач), за допомогою якого здійснюється шифрування карт, сканер, який зчитує зображення у вигляді растрового зображення, електронні тахеометри, електронні теодоліти та інші геодезичні прилади. Система виводу ГІС призначена для подання результатів у вигляді, зручному користувачу. За допомогою плотера отримують дуже якісні чорно-білі і кольорові зображення різних форматів. Використовуються також різноманітні принтери, в тому числі лазерні і струминні.

Результати роботи можуть бути подані у вигляді відеофільмів, записані на БУВ, роздруковані у формі звітів, діаграм, карт, картографічних моделей або відправлені по мережі в зовнішні комп'ютерні системи. Виділяють п'ять основних компонент геоінформаційних систем – блок програмного і апаратного забезпечення, база геоданих, аналітичний блок, який забезпечує провідні функції геоінформаційного аналізу і блок розробників та користувачів геоінформаційних систем.

8.2 Методика застосування просторової основи для оформлення та реєстрації топографо-геодезичних матеріалів

Після збору інформації та актуалізації даних для побудови просторової гео-підоснови формуються дані на архітектурно-обласну комісію, після чого компетентними органами надається розпорядження та дозвіл, що до даної території та використання об'єктів. Що надалі дає можливість сформувати технічні умови для подальшого складання програм та проєктування розвитку території.

Виходячи з усього вище вказаного та після виконання серії послідовних процесів щодо формування гео-підоснови для вишукувальних проєктів територій, можна викласти послідовність проходження погоджень проєкту:

1. Отримання технічних умов від власника об'єкту (замовника), підтвердженням власності якого є витяг з державного реєстру речових прав.
2. Власник замовляє виконавчу зйомку М – 1:500 території згідно технічних умов.
3. Виконавча зйомка здається для нанесення червоних ліній в Службу містобудівельного кадастру у відповідному регіоні.
4. Отримання витягу з містобудівельного кадастру про межі земельної ділянки та суміжних землекористувачів і землевласників.
5. Побудова проєкту та виконання проєктних робіт.
6. Креслення генерального плану та нанесення проєкту території на окрему кальку (лавсан) для виконання погоджень (на одному листі для зручності).
7. Замовник надає лист у Департамент містобудування та архітектури відповідного регіону на узгодження проєкту.
8. Виконується узгодження проєкту (в термін протягом трьох місяців). Замовник надає листи на погодження у міські та районі підприємства, які є

власниками підземних та наземних мереж і комунікацій. Перелік установ отримується у Департаменті містобудування та архітектури.

9. Відбувається погодження проєкту з суміжними землекористувачами та землевласниками ділянок.

10. Узгоджений проєкт реєструється у Департаменті містобудування та архітектури.

11. Отримується дозвіл на земельні роботи.

12. Відбувається виконання робіт.

13. Замовляється та виконується виконавча геодезична зйомка.

14. Виконавча зйомка здається у Департамент містобудування та архітектури у відповідному регіоні.

Контрольні питання

1. Що є геопідосною?
2. Опишіть послідовність погодження проєктів.
3. Як взаємодіють геоінформатика і картографія?
4. Чим цифрова карта відрізняється від електронної?
5. Сутність введення картографічних даних в ГІС.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. – Чинний від 2017–04–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 47 с.
2. ДБН В.2.1 – 10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2019. – С. 7–8.
3. ДБН В.1.3 – 2:2010. Геодезичні роботи в будівництві. – Чинний від 2010–09–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – С. 29–33.
4. 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.
5. Войтенко С. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування / С. Войтенко, Р. Шульц, М. Білоус // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва : зб. наук. праць – Київ, 2009. – Вип. I (17). – С. 144–150.
6. Devendra Kumar Yadav. A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT / Devendra Kumar Yadav, Singam Jayanthu, Santos Kumar Das. // ReView by River Valley Technologies. – 2019. – P. 2–19.
7. Галінський О. М. Геодезичне забезпечення будівництва сьогодні. Відкриття конференції [Електрон. ресурс] / О. М. Галінський // Нові технології в будівництві. – 2011. – № 2. – С. 3. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntvb_2011_2_3, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.
8. Хачатурян С. Л. Про надійність основ будівель і споруд [Електрон. ресурс] / С. Л. Хачатурян // Наукові записки : зб. наук. пр. – Кіровоград : КНТУ,

2010. – Вип. 10, ч. 3. – С. 12–13. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5504>, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.

9. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. – Чинний від 2008–07–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. – 76 с.

10. Літинський В. (ред.) Геодезичний енциклопедичний словник / В. Літинський. – Львів : Євросвіт, 2001. – 668 с. : іл.

11. Електронний атлас України /Інститут географії НАНУ [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/default.html>, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.

12.Смолій К. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / К. Смолій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – С. 87–89.

13. 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.

14. ДБН В.2.1 – 10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2019. – С. 7–8.

15. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд. – Чинний від 2015–07–01. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – С. 20–27.

16. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навч. посіб. / Б. Д. Бачишин. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с.

17. Баран П. І. Інженерна геодезія : монографія / П. І. Баран. – Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. – 618 с. : іл.

Навчальне видання

КАСЬЯНОВ Володимир Володимирович

**ДОСЛІДНИЦЬКІ МЕТОДИ ТА СУЧАСНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗІЇ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *С. Г. Нестеренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *В. В. Касьянов*

План 2022, поз. 215Л

Підп. до друку 14.12.2022. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 12,5

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.