УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Будівельний факультет

Кафедра вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою

# Дослідження сучасних методів одержання геопросторової інформації на основі застосування лідарної технології

Пояснювальна записка

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

**ВПГЗ. 306.193.2026.ПЗ.**

Розробив: студент групи 216-ГЗ-Д24
Куліш Роман Вікторович
Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій

Керівник: к.т.н доц. Ужвієва О.М.

Нормоконтроль: к.т.н доц. Орел Є.Ф.

Зав. кафедри: д.т.н проф. Угненко Є.Б.

Рецензент: директор МПП
«АВТОДОРСЕРВІС»,
к.т.н., доцент кафедри будівництва
та цивільної інженерії Луцького
національного технічного університету
Процюк В.О.

2026

ВПГЗ

**Український державний університет залізничного транспорту**

**Факультет** будівельний
**Кафедра** вишукувань та проєктування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою
**Освітній рівень:** магістр
**Спеціальність** 193 «Геодезія та землеустрій»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри,
професор, доктор техн. наук
_____ Є.Б. Угненко
«_____»_____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**
**НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Куліша Романа Вікторовича

1. Тема проекту «Дослідження сучасних методів одержання геопросторової інформації на основі застосування лідарної технології»_____
керівник роботи Ужвієва Олена Миколаївна затверджені розпорядженням по будівельному факультету від «03» листопада 2025 року № 15.
2. Строк подання студентом закінченої роботи – «22» грудня 2025 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи): характеристика об'єкта зйомки; картографічні матеріали; дані лідарного сканування з різною щільністю; дані про апаратуру та методику виконання зйомки; додаткові матеріали дистанційного зондування; нормативні документи та технічні інструкції; геоінформаційне програмне забезпечення Digitals, ArcGIS Pro / QGIS для створення моделей рельєфу.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Теоретичні основи застосування лідарної технології для одержання геопросторової інформації. 2. Методи та технології лідарного сканування для формування геопросторових даних. 3. Лідарна зйомка у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації. 4. Лідаргграметрія та актуальні сфери її використання. 5. Інструментальне забезпечення проведення лідарної зйомки. 6. Програмні засоби обробки первинних результатів одержання цифрової геопросторової інформації. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
мета і завдання, актуальність теми, об'єкт і предмет дослідження; лідар та лідарна зйомка; характеристика Leica Pegasus Two; сфери застосування лідарних технологій; використання лідару в урбаністичних дослідженнях, у військовій сфері, в автомобілі; визначення хмари точок; лідаграметрія та її відмінності від фотограмметрії; переваги лідаргграметрії; застосування безпілотних літальних апаратів при проведення лідарної зйомки; переваги та недоліки використання БПЛА в зв'язці з лідаром; цифрові моделі місцевості; геоінформаційні системи (ГІС);

ВІЗ

програмні засоби для обробки цифрової геопросторової інформації; порівняння переваг та недоліків QGIS та ArcGIS; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання «03» жовтня 2025 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|---|---|---|
| 1 Вступ. Теоретичні основи застосування лідарної технології для одержання геопросторової інформації. | 10.11.2025 р. | виконано |
| 2 Методи та технології лідарного сканування для формування геопросторових даних | 15.11.2025 р. | виконано |
| 3 Лідарна зйомка у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації | 22.11.2025 р. | виконано |
| 4 Лідаргаметрія та актуальні сфери її використання | 30.11.2025 р. | виконано |
| 5 Інструментальне забезпечення проведення лідарної зйомки | 07.12.2025 р. | виконано |
| 6 Програмні засоби обробки первинних результатів одержання цифрової геопросторової інформації. Висновки | 15.12.2025 р. | виконано |
| 7 Оформлення роботи | 22.12.2025 р. | виконано |

**Студент** _____ Роман КУЛІШ

**Керівник проекту (роботи)** _____ Олена УЖВІЄВА

ВІТЗ

Зміст

Вступ 6

1 Теоретичні основи застосування лідарної технології для одержання геопросторової інформації 10

1.1 Поняття геопросторової інформації та її роль у сучасних геоінформаційних системах 10

1.2 Класифікація лідарних систем та сфери їх застосування 11

1.3 Вимоги до точності лідарних даних і фактори, що впливають на якість 13

2 Методи та технології лідарного сканування для формування геопросторових даних 14

2.1 Фізичні основи лідарної технології 14

2.2 Класифікація лідарних систем 15

2.3 Особливості обробки лідарних даних 16

3 Лідарна зйомка у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації 20

3.1 Поняття, склад та зміст цифрової геопросторової інформації 20

3.2 Види геоінформаційних продуктів як результат одержання та використання цифрової географічної інформації 21

3.3 Аналіз сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації 28

3.4 Місце лідарної технології у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації 36

ВПГЗ

4 Лідарграмметрія та актуальні сфери її використання 38

4.1 Поняття лідарграмметрії та її відмінності від фотограмметрії 38

4.2 Лідарна зйомка як технологія отримання та обробки інформації про віддалені об’єкти за допомогою активних оптичних систем 40

4.3 Просторово-часовий аспект розвитку лідарної зйомки 46

4.4 Актуальні сфери використання лідарграмметрії 50

5 Інструментальне забезпечення проведення лідарної зйомки 55

5.1 Сучасні лідарні системи та їхні технічні характеристики 55

5.2 Дослідження напрямів роботи лідарних режимів та їхнє порівняння 60

5.3 Ефективність застосування безпілотних літальних апаратів при проведення лідарної зйомки 65

5.4 Хмара точок як первинний результат роботи обладнання у рамках проведення лідарної зйомки 68

6 Програмні засоби обробки первинних результатів одержання цифрової геопросторової інформації 71

6.1 Класифікація програмних засобів обробки даних лідарної зйомки 71

6.2 Дослідження програмних засобів обробки даних лідарної зйомки 75

6.3 Цифрові моделі місцевості як кінцевий варіант одержання геопросторової інформації про об’єкти реальної дійсності 83

6.4 Перспективні напрями застосування лідарної зйомки 89

Висновки 94

Список використаних джерел 97

ВПГЗ

## Вступ

**Актуальність теми.** Сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій, зокрема активне впровадження цифрових методів збору та оброблення просторових даних, зумовлюють потребу у високоточних, швидких та автоматизованих засобах отримання інформації про навколишнє середовище. Однією з найбільш перспективних і прогресивних технологій у цьому напрямі є лідар (LiDAR — Light Detection and Ranging), який дає змогу формувати детальні тривимірні моделі місцевості, об'єктів інфраструктури та природних ландшафтів.

Актуальність теми визначається тим, що LiDAR-технологія забезпечує значно більшу точність, густоту та об'єктивність даних порівняно з традиційними геодезичними методами, а також дозволяє проводити зйомку у складних умовах — у важкодоступних районах, густій рослинності, уночі та незалежно від погодних факторів. При цьому технологія стає дедалі доступнішою завдяки розвитку безпілотних літальних систем, що стимулює її широке практичне застосування у картографуванні, будівництві, екологічному моніторингу та містобудуванні.

Таким чином, дослідження сучасних методів отримання геопросторової інформації із застосуванням лідарних систем є важливим науковим та практичним завданням, яке відповідає сучасним потребам суспільства та інфраструктурного розвитку.

**Метою роботи** є аналіз, порівняння та оцінювання ефективності сучасних методів отримання геопросторової інформації на основі використання лідарних технологій, а також визначення можливостей їх застосування у практичних галузях геодезії та картографії.

**Завдання роботи:**

1) Вивчити теоретичні основи застосування лідарної технології для одержання геопросторової інформації;
2) Розглянути методи та технології лідарного сканування для формування геопросторових даних;

ВПЗ

3) Проаналізувати місце лідарної технології у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації.
4) Розкрити актуальність сфери використання лідарграмметрії;
5) Оцінити інструментальне забезпечення проведення лідарної зйомки;
6) Окреслити перспективні напрями застосування лідарної зйомки.

**Об'єктом дослідження** є процес отримання геопросторової інформації за допомогою цифрових технологій дистанційного зондування.

**Предметом дослідження** є сучасні методи збору та обробки геопросторових даних на основі застосування лідарної технології, включно з аеролідарною та наземною лідарною зйомкою.

**Методи та методологія**. З огляду на широкий спектр сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації, велику увагу приділяється використанню безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у лідарній зйомці. Цей підхід є результатом комплексного дослідження, що включає наступні ключові аспекти.

Літературний огляд виявив ряд важливих напрямків досліджень та інновацій у використанні лідарної технології. Аналіз наукових публікацій визначив основні теми, які стосуються ефективності застосування літаків на основі лазерної дистанційної вимірювальної системи (лідару).

Сучасні технології лідару розглядаються в контексті їхнього використання в безпілотних літальних апаратах. Технічні характеристики систем, такі як точність, швидкість та здатність працювати в різних умовах, вивчаються для визначення їхнього оптимального застосування.

Аналіз сфер застосування лідару розкриває широкий спектр можливостей у геодезії, картографії, автономних транспортних засобах, екології, медицині та інших галузях. Виявлені переваги лідару в розв'язанні завдань з отримання геопросторової інформації.

Оцінка ефективності використання лідару в контексті БПЛА включає в себе аналіз переваг та обмежень цієї технології. Виявлені можливості та перспективи розвитку лідарної зйомки у майбутньому.

ВПЗ

Методи обробки даних, отриманих за допомогою лідарних сканерів на БПЛА, вивчаються з урахуванням створення точних геопросторових моделей. Розглянуті різні програмні інструменти та алгоритми для обробки отриманих даних.

Інтеграція лідарних даних з іншими джерелами геопросторової інформації, такими як GPS, фотограмметрія та супутникові зйомки, розглядається як важливий аспект для отримання комплексної та точної інформації.

На підсумок, ця методика дослідження надає комплексний погляд на використання лідару на безпілотних літальних апаратах для отримання цифрової геопросторової інформації та розв'язання різних завдань у різних сферах.

**Використані матеріали.** Використання матеріалів, представлених у цій роботі, дозволило надати комплексний погляд на сучасні методи отримання цифрової геопросторової інформації на основі лідарних технологій, зокрема в контексті безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Проведений огляд літератури, аналіз використання лідару та різні аспекти застосування цієї технології були інтегровані для розгляду її ефективності та перспектив.

Представлені дані висвітлюють широкий спектр сфер застосування лідарних технологій, включаючи геодезію, картографію, автономні транспортні засоби, екологію та інші галузі. Аналіз переваг та обмежень лідарної зйомки вказує на її потенціал для різноманітних завдань та водночас визначає проблеми, що потребують уваги.

Окрім того, розгляд методів обробки даних, інтеграція лідарних даних з іншими джерелами, такими як GPS та супутникові зйомки, також вносить важливий внесок у зрозуміння та оптимізацію використання цієї технології.

Отже, результати цього аналізу надають базові засади для подальших досліджень та використання лідарних технологій на БПЛА для отримання цифрової геопросторової інформації.

**Науково-практичне значення дослідження** полягає в прискоренні розвитку та вдосконаленні технологічних підходів до збору геопросторової інформації в різних галузях.

ВПЗ

По-перше, дослідження розкриває потенціал та ефективність лідарної зйомки у порівнянні з іншими традиційними методами. Це може служити основою для вибору оптимальних методів для конкретних завдань у галузях геодезії, картографії, архітектури та транспортної інфраструктури.

По-друге, результати дослідження можуть бути використані для розробки та оптимізації програмного забезпечення для обробки та аналізу даних, отриманих лідарним методом.

По-третє, дослідження може слугувати підґрунтям для вдосконалення навчальних програм у вищих навчальних закладах, сприяючи підготовці фахівців, які володіють сучасними методами збору та обробки геопросторової інформації.

По-четверте, впровадження результатів дослідження в практику може сприяти розвитку нових технологій у галузі автомобільної індустрії, зокрема у реалізації систем автономного водіння. Це може покращити безпеку та ефективність транспортних засобів.

Дослідження про сучасні методи одержання цифрової геопросторової інформації за допомогою лідарної зйомки має важливе значення для наукової спільноти та практикі в різних галузях, що використовують геопросторові дані для своєї діяльності.

Отримані результати можуть бути використані у роботі геодезичних, картографічних і проєктних організацій, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців із геоінформаційних технологій.

ВІП

# 1 Теоретичні основи застосування лідарної технології для одержання геопросторової інформації

## 1.1 Поняття геопросторової інформації та її роль у сучасних геоінформаційних системах

Геопросторова інформація (ГІ) є ключовим ресурсом у системах управління територіями, містобудуванні, екологічному моніторингу, інженерних вишукуваннях та національній безпеці. Під геопросторовою інформацією розуміють дані, що містять просторову прив'язку об’єктів реального світу до певної системи координат та описують їхню геометрію, положення, взаємозв’язки й атрибутивні характеристики.

У контексті використання лідарних технологій геопросторова інформація набуває нового рівня деталізації та точності, що дозволяє формувати високоточні цифрові моделі рельєфу, поверхонь, інженерних споруд і природних об’єктів.

Завдяки великій щільності вимірювань лазерне сканування забезпечує можливість швидкого отримання тривимірних даних про об’єкти різної складності, що значно перевищує можливості традиційних методів геодезичної зйомки.

Основи функціонування лідарної технології.

Лідар (LiDAR — Light Detection and Ranging) є технологією дистанційного зондування, яка працює на основі випромінювання лазерного імпульсу та фіксації часу його повернення після відбиття від поверхні. На основі відомої швидкості поширення світла обчислюється відстань до об’єкта, що дозволяє визначити його просторове положення.

Фундамент лідарної технології складений із таких компонентів:

- лазерного джерела випромінювання,
- оптико-сканувальної системи,
- GNSS-приймача для визначення координат платформи,
- інерціальної навігаційної системи (INS),
- системи збору даних та їх попередньої обробки.



ВІТЗ

Отримані дані формують хмару точок, де кожна точка має координати X, Y, Z та кілька додаткових атрибутів: інтенсивність, номер імпульсу, класифікацію та інші характеристики.

Основна перевага LiDAR полягає у можливості:

- отримувати дані в умовах складного рельєфу,
- проникати крізь рослинний покрив,
- забезпечувати високу точність і швидкість збору інформації,
- формувати тривимірні моделі об’єктів із високою деталізацією.

Таким чином, лідарна технологія має значний потенціал для отримання актуальної та точкової геопросторової інформації.

### 1.2 Класифікація лідарних систем та сфери їх застосування

Сучасні лідарні системи класифікують за типом платформи, принципом сканування, довжиною хвилі лазера та призначенням.

Класифікація за платформою:

- Наземні стаціонарні лідари (TLS) — використовуються у будівництві, архітектурних обмірах, моніторингу деформацій.
- Мобільні автомобільні системи (MLS) — застосовують у дорожніх геодезичних роботах, кадастрових зйомках, створенні високоточних карт міст.
- Авіаційні лідари (ALS) — дають можливість отримувати дані на великих територіях; використовуються в топографії, лісовому господарстві, картографуванні рельєфу.
- БПЛА-лідары (UAV-LiDAR) — оптимальні для локальних територій, забезпечують високу деталізацію при низькій вартості.

Класифікація за принципом сканування:

- механічні (обертові дзеркала),
- твердотільні (solid-state),
- одноімпульсні або мультиспектральні.

ВІТЭ

Класифікація за призначенням:

- лісові,
- топографічні,
- bathymetric LiDAR (для знімання мілководних акваторій),
- архітектурно-будівельні системи.

Кожен тип має свої переваги та обмеження, що необхідно враховувати при виборі методики зйомки.

Основним продуктом лідарної зйомки є хмара точок — множина просторово прив’язаних вимірів. На її основі формують:

- цифрову модель рельєфу (ЦМР),
- цифрову модель поверхні (ЦМП),
- моделі інженерних споруд,
- ортофотоплани,
- лісові та кадастрові моделі,
- 3D-візуалізації урбанізованих територій.

Джерела лідарних даних можуть включати:

- спеціалізовані аеролідарні зйомки,
- дані відкритих національних геопорталів,
- дані комерційних провайдерів,
- результати зйомки з безпілотних літальних апаратів,
- мобільне сканування транспортних коридорів.

Важливою складовою є можливість інтеграції даних з іншими джерелами (фотограмметричними, GNSS, ГІС), що забезпечує підвищення точності та повноти моделей.

ВПЗ

### 1.3 Вимоги до точності лідарних даних і фактори, що впливають на якість

Якість геопросторової інформації, отриманої за допомогою лідару, визначається такими характеристиками:

- планова та висотна точність,
- щільність точок (pts/m²),
- стабільність та калібрування INS,
- умови сканування (висота польоту, швидкість носія, кут сканування),
- метеорологічні умови.

Основні джерела похибок:

- коливання платформи,
- похибки позиціонування GNSS,
- атмосферні впливи,
- особливості відбивання лазерного імпульсу різними матеріалами,
- рельєфно-залежні фактори (круті схили, складні форми).

Сучасні системи дозволяють отримувати висотну точність до 3–5 см у висококласних авіаційних лідарів та до 1–2 см у наземних і мобільних систем.

У лідарних технологій є свої переваги та обмеження.

Переваги:

- надвисока точність і деталізація,
- можливість фіксації об’єктів у просторі незалежно від освітлення,
- ефективність у складних умовах рельєфу та густій рослинності,
- автоматична класифікація та моделювання.

Обмеження:

- висока вартість обладнання та зйомки,
- складна процедура калібрування,
- залежність точності від GNSS/INS,
- необхідність потужних обчислювальних ресурсів.

ВПЗ

## 2 Методи та технології лідарного сканування для формування геопросторових даних

Лідарні технології відіграють ключову роль у формуванні сучасних цифрових просторових даних, забезпечуючи високоточне сканування місцевості та об’єктів у тривимірному форматі. На відміну від традиційних методів знімання, LiDAR-дослідження дають змогу отримувати детальну та геометрично коректну інформацію незалежно від умов освітлення, густоти рослинності або складності рельєфу. Розвиток апаратних засобів, обчислювальних технологій і алгоритмів автоматизованої обробки хмар точок значно розширює можливості застосування LiDAR у геодезії, картографії, землеустрої, моніторингу довкілля та інженерних роботах.

У цьому розділі розглянуто ключові методи збору геопросторових даних, що ґрунтуються на лідарних системах, проаналізовано їхні особливості, технічні параметри, алгоритми побудови цифрових моделей, а також переваги та обмеження кожного підходу.

### 2.1 Фізичні основи лідарної технології

Лідарні системи (LiDAR — Light Detection and Ranging) функціонують на основі вимірювання часу проходження лазерного імпульсу від джерела випромінювання до об’єкта та назад до приймача. Лазерний дальномір, інтегрований із GNSS-приймачем та інерціальною навігаційною системою (INS), забезпечує визначення просторового положення кожного відбитого сигналу, що дозволяє отримувати тривимірну модель місцевості з високою точністю.

Основним параметром лідарів є частота імпульсів (кількість лазерних імпульсів за секунду), що визначає густоту хмар точок. Сучасні авіаційні лідарами здатні генерувати понад 1–2 млн точок/с, забезпечуючи надзвичайно детальне відображення об’єктів.

ВІПЗ

Додатковою перевагою є здатність лазерного променя частково проникати крізь рослинність, що робить лідар оптимальним інструментом для моделювання рельєфу під лісовим покривом, де інші методи (фотограмметрія, супутникові знімки) втрачають ефективність.

Формально визначення відстані базується на формулі:

$$D = c \cdot \Delta t / 2, \quad (2.1)$$

де D — відстань до об’єкта,

c — швидкість світла,

Δt — час між випроміненням та прийомом сигналу.

Ця формула лежить в основі всіх lidar-систем незалежно від носія чи призначення.

## 2.2 Класифікація лідарних систем

Лідарні комплекси класифікують відповідно до їх конструктивних характеристик та сфер застосування. У контексті геопросторового картографування найбільш поширеними є такі типи:

Авіаційний LiDAR використовується на літаках і гелікоптерах.

Авіаційний LiDAR характеризується:

- максимальною точністю (до 5–15 см),
- великою швидкістю покриття територій,
- можливістю рельєфних зйомок на складних ділянках.

Застосовується для формування ЦМР, ЦММ, крупномасштабного картографування, дослідження інженерних мереж.

БпЛА-лідар (UAV LiDAR) монтується на дронах мультироторного або крилатого типу.

ВПЗ

Переваги його:

- низька вартість робіт,
- гнучкість та точність,
- можливість застосування в урбанізованих та важкодоступних районах.

UAV-лідар став ключовою технологією останнього десятиліття, особливо у геодезії та будівництві.

Наземний лазерний сканер (TLS — Terrestrial Laser Scanning) використовується для обмірів:

- інженерних споруд,
- фасадів,
- кар'єрів,
- пам'яток архітектури.

Забезпечує міліметрову точність та надвисоку деталізацію, що робить його незамінним для BIM-моделювання.

Мобільний LiDAR інсталюється на автомобільні платформи.

Дозволяє оперативно створювати хмари точок уздовж доріг, тунелів, магістралей.

Використовується дорожніми службами, муніципальними органами, інженерами-проектувальниками.

ВІТЗ

## 2.3 Особливості обробки лідарних даних

Однією із ключових переваг LiDAR є можливість отримання високоточних тривимірних хмар точок, однак їх якісна інтерпретація потребує спеціалізованого програмного забезпечення та ретельної обробки.

Етапи оброблення включають:

1) Первинна фільтрація сигналу.

Відсіювання шумів, атмосферних артефактів, неправильних відбиттів.

Застосовують алгоритми:

- статистичних фільтрів,
- класифікації за інтенсивністю імпульсів,
- видалення одиночних точок.

2) Синхронізація траєкторії польоту.

GNSS/INS-дані поєднуються з лідарними вимірюваннями, що забезпечує точне визначення координат кожного лазерного імпульсу.

3) Класифікація хмари точок.

Розподіл точок на категорії:

- земля,
- рослинність,
- будівлі,
- транспорт,
- споруди.

Основні алгоритми:

- Progressive TIN Densification (PTD),
- Cloth Simulation Filtering (CSF),
- Random Forest та інші методи машинного навчання.

4) Формування ЦМР та ЦММ.

- ЦМР (цифрова модель рельєфу) — поверхня землі без об’єктів.
- ЦММ (цифрова модель місцевості) — рельєф разом із будівлями, інженерною та природною інфраструктурою.

Лідарна модель забезпечує точність ЦМР на рівні 10–20 см, що значно перевищує точність моделей, отриманих традиційними методами фотограмметрії.

5) Генерація 3D-моделей.

На основі хмари точок створюють:

- ортогональні зображення,
- цифрові карти висот,
- 3D-растрування,
- твердотільні моделі.

ВІТЗ

Завдяки надвисокій точності LiDAR є основою для BIM-проектування, 3D-кадастру та інженерного моніторингу.

Для оцінки ефективності лідарної технології доцільно порівняти її з традиційними геодезичними та дистанційними методами. Порівняльна характеристика методів одержання геопросторової інформації надана в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняльна характеристика методів одержання геопросторової інформації

| Метод | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|
| **Лідар** | Висока точність, великий обсяг даних, робота під рослинністю, 3D-моделювання | Відносно висока вартість |
| **Фотограмметрія** | Низька вартість, висока деталізація зображення | Не працює під рослинністю, залежність від освітлення |
| **GNSS-знімання** | Висока точність окремих точок | Тривалість робіт, неможливість суцільного покриття |
| **Наземна геодезія (тахеометр)** | Дуже висока точність | Потребує значного часу та фізичного доступу до кожної точки |

З таблиці видно, що лідарна технологія є найоптимальнішою для задач, які потребують масового збору просторової інформації, зокрема для створення ЦМР, 3D-моделювання територій, інженерного моніторингу.

Лідар є ключовим інструментом у низці галузей:

- Геодезія та землеустрій: створення топографічних карт, 3D-кадастру, визначення меж земельних ділянок.
- Будівництво та контроль деформацій: моніторинг інженерних споруд, аналіз просідань і зсувів.
- Лісове господарство: визначення висоти дерев, структури крон, біомаси.
- Транспортна інфраструктура: аналіз стану доріг, проєктування трас та залізничних ліній.

ВПЗ

• Охорона природи: виявлення руслових змін, ерозії, моніторинг територій, що зазнали впливу стихійних явищ.

Таким чином, лідар став універсальним інструментом геопросторового аналізу, що має унікальне поєднання точності, продуктивності та функціональної гнучкості.

Завдяки постійному вдосконаленню сенсорів та алгоритмів обробки лідарні технології стрімко інтегруються у:

- створення цифрових двійників міст,
- моніторинг інженерних споруд,
- прогноз негативних природних процесів,
- автоматизовані системи управління транспортом,
- робототехніку та автономні навігаційні системи.

LiDAR стає фундаментальною складовою сучасної геоінформаційної інфраструктури та цифрової трансформації територій.

У розділі розглянуто фізичні основи лідару, класифікацію технологій сканування, принципи оброблення даних та порівняння з іншими методами збору геопросторової інформації. Лідарні системи довели свою ефективність у створенні геопросторових моделей високої точності, особливо у складних природних умовах та урбанізованих територіях. Аналіз підтвердив, що лідар є одним із найперспективніших методів одержання геопросторової інформації завдяки високій точності, швидкості та можливості формування детальних 3D-моделей.

ВІТЗ

# 3 Лідарна зйомка у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації

## 3.1 Поняття, склад та зміст цифрової геопросторової інформації.

Цифрова геопросторова інформація та складова геопросторової розвідки - означає інформацію будь-якого типу або формату, яку отримано в результаті збору, перетворення, виробництва, представлення в графічній формі, розповсюдження або накопичення геодезичних, геомагнітних, аеронавігаційних, топографічних, гідрографічних, комерційних та інших несекретних зображень, картографічних, культурних, батиметричних, топонімічних даних або іншого типу інформації, що ідентифікує географічне положення та характеристики природних та побудованих об’єктів та кордонів на земній кулі. Геопросторова інформація також означає інформацію, яку отримано в результаті оцінки топографічних, гідрографічних або аеронавігаційних властивостей, що впливають на військові операції або розвідку, у тому числі, серед іншого, презентацію у таких формах: топографічних, планіметричних, рельєфних або тематичних карт або схем, морських й аеронавігаційних графіків і публікацій, комерційних та інших несекретних зображень, а також у модельованих, фотографічних, цифрових та комп’ютеризованих форматах.

Склад:

- Географічні координати: Інформація про місцезнаходження об’єктів на поверхні Землі, виражена у вигляді широти, довготи та, можливо, висоти.
- Топографічні дані: Включають в себе рельєф місцевості, гірські хребти, річки, озера, ліси, тощо.
- Адміністративні межі: Інформація про адміністративний поділ територіїна різні адміністративні одиниці, такі як країни, штати, області, райони.
- Спеціалізовані дані: Залежно від конкретного застосування цифрової геопросторової інформації, можуть включати дані про клімат, ґрунти, населення,

ВПЗ

екологію та інші фактори.

- Картографічні дані: Графічне представлення геопросторової інформації на картах різних масштабів і форматів.

Цифрова геопросторова інформація містить у собі об'єктивні дані, які можуть використовуватися для аналізу, моделювання та прийняття рішень в різних галузях, таких як географія, геологія, екологія, міське планування, сільське господарство, транспорт і багато інших. Вона служить основою для геоінформаційних систем (ГІС) та інших технологій, що дозволяють працювати з просторовою інформацією у цифровій формі для розв'язання різноманітних завдань.

## 3.2 Види геоінформаційних продуктів як результат одержання та використання цифрової географічної інформації.

Геоінформаційні продукти - це різноманітні результати обробки та аналізу географічних даних, які використовуються для різних цілей у різних галузях. Вони можуть приймати різні форми і включати в себе різні види інформації. Ось деякі основні види геоінформаційних продуктів:

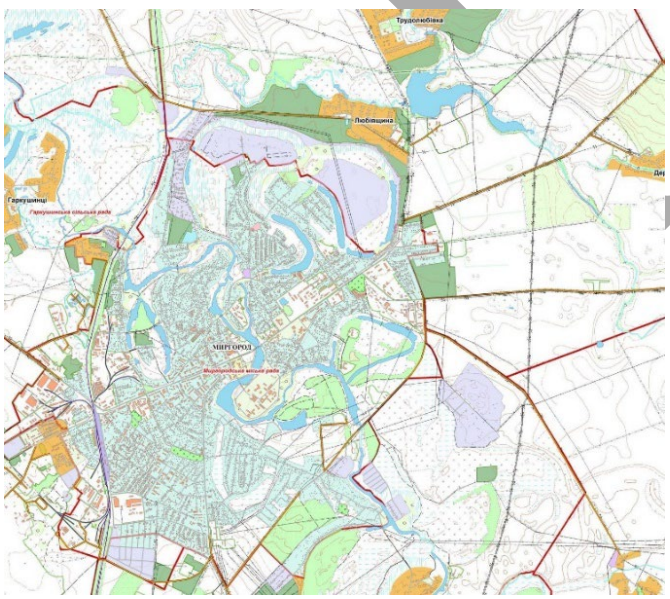


*Рис. 3.1- Топографічна карта.*

**Карти:**

*Топографічні карти нового покоління:*

Топографічні карти стали не просто інструментом для визначення місцевості, а справжнім джерелом географічної інформації в цифровому форматі (Рис. 3.1). Вони включають деталізовані дані про рельєф, річки, озера, ліси, дороги та інфраструктуру. Такі карти не лише дають змогу зорієнтуватися у просторі, але й слугують основою для планування маршрутів, вивчення природних ресурсів та прогнозування ризиків.

*Спеціалізовані карти та їх роль в аналізі просторових взаємозв'язків:*




*Рис. 3.1 Спеціалізована органічна карта*

Спеціалізовані карти створюються для вивчення конкретних аспектів географії та геології. Наприклад, карти густоти населення, розподілу територійних ризиків або розташування природно-ресурсних об'єктів (Рис. 3.2). Ці карти дозволяють проводити більш глибокий аналіз просторових взаємозв'язків та визначати зони потенційного впливу різних чинників на даний регіон.

*Аналітичні карти у геоінформаційних системах:*

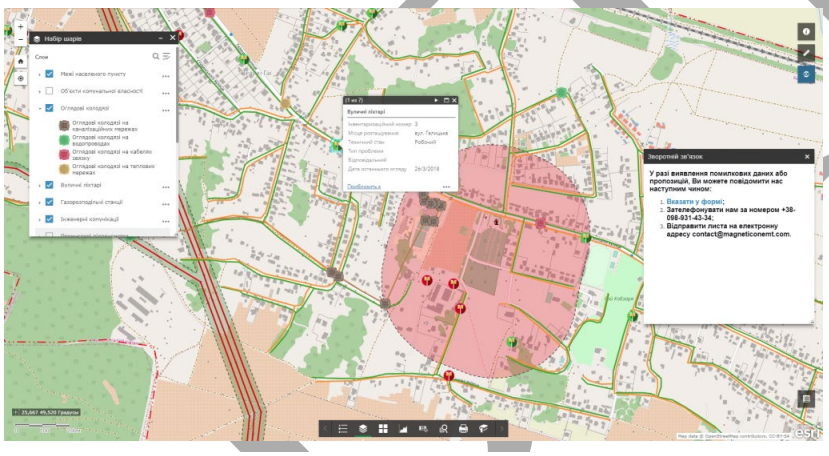


*Рис. 3.3 Аналітична карта*

Геоінформаційні системи (ГІС) створюють аналітичні карти (рис. 3.4), які об'єднують дані різних джерел та надають можливість виконувати глибокий аналіз. Це може включати в себе взаємодію різних шарів інформації для виявлення тенденцій, визначення взаємозалежностей та вирішення складних географічних проблем.

**Аерофотознімки та Супутникові Знімки:**



*Рис. 3.5 Ортофотоплан*

*Ортофотоплани та їх роль у геодезії та архітектурі:*

Ортофотоплани представляють

собою георефернційовані та виправлені зображення, отримані з аерофотознімків (рис. 3.6). У геодезії вони використовуються для створення точних карт земельних ділянок, визначення контурів будівель та взаємного розташування об'єктів. У сфері архітектури ортофотоплани надають можливість отримати докладну інформацію для проектування та планування.

*Супутникові знімки для моніторингу та дослідження змін на поверхні Землі:*



*Рис. 3.7 Супутниковий знімок*

Супутникові знімки є інструментом для моніторингу та дослідження змін на поверхні Землі (Рис. 3.5). Вони дозволяють відслідковувати вплив природних явищ, таких як повені чи лісові пожежі, а також виявляти зміни в земельному використанні. Це особливо важливо для екологічних та геологічних досліджень.

**Геодезичні та Картографічні Плани:**

*Геодезичні плани: роль у визначенні меж земельних ділянок:*

Геодезичні плани є ключовим інструментом для визначення меж земельних ділянок. Вони містять інформацію про географічні координати та границі земель, а також характеристики топографічних та інженерних особливостей. Ці плани використовуються у правових питаннях, пов'язаних із власністю на землю та

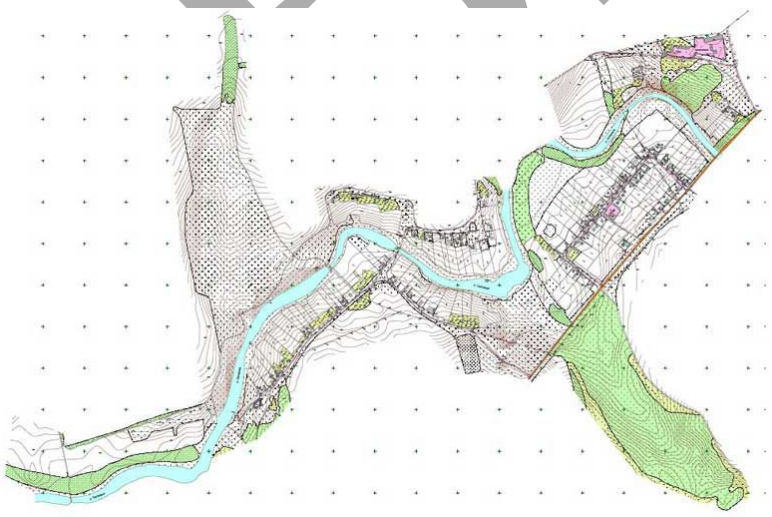


*Рис. 3.8 План меж земельних ділянок*

регулюванням земельних відносин.

*Плани для міського планування та інфраструктурного розвитку:*

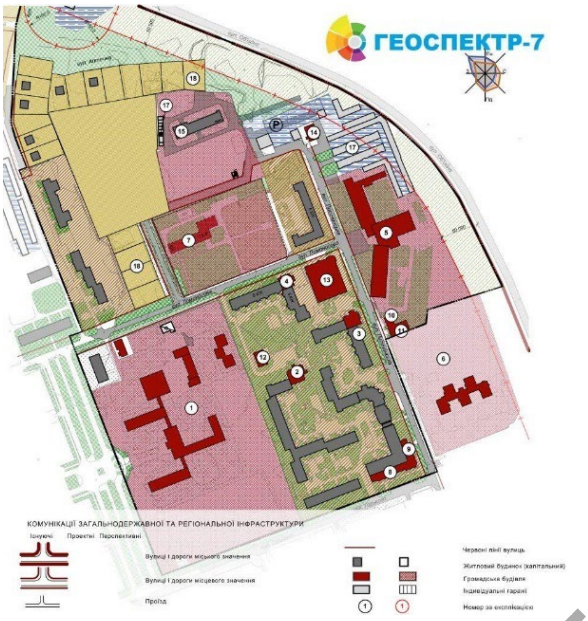



*Рис. 3.9 План майбутнього мікрорайону*

Плани відіграють важливу роль у міському плануванні та розвитку інфраструктури. Вони містять інформацію про розташування будівель, доріг, комунікацій та інших об'єктів, що є ключовим для визначення оптимального розвитку територій та планування інфраструктурних об'єктів.

**Геоінформаційні Системи (ГІС):**

Геоінформаційні системи (ГІС) створюють аналітичні карти, що дозволяють взаємодіяти з різними шарами географічних даних. Ці карти використовуються для виявлення патернів та тенденцій у розподілі географічних факторів. Наприклад, аналіз карти може вказати на залежності між місцевістю та показниками економічного розвитку.

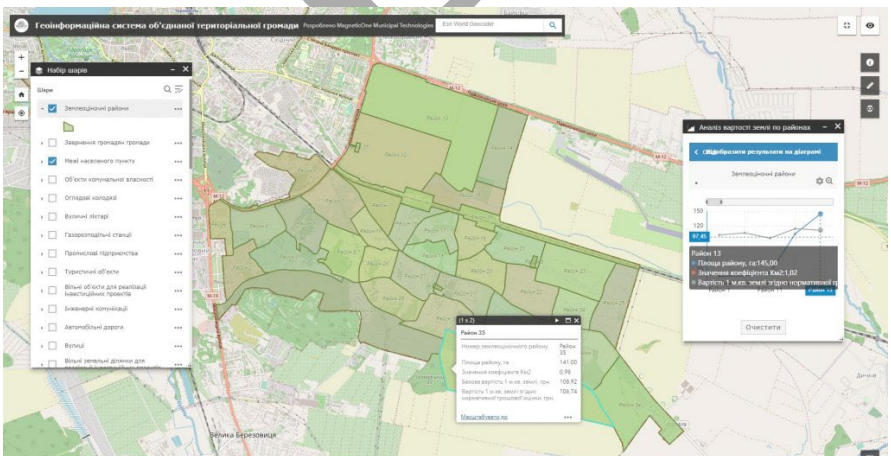


*Рис. 3.10 Аналітична карта для сільського господарства*

*Аналітичні карти у геоінформаційних системах:*

*Моделювання просторових процесів у ГІС:*

ГІС використовуються для моделювання просторових процесів, таких як розподіл

ВШЗ

ресурсів, екологічні зміни та розвиток територій. Моделі можуть допомагати у прогнозуванні впливу різних сценаріїв та розвитку подій на конкретних географічних об’єктах.

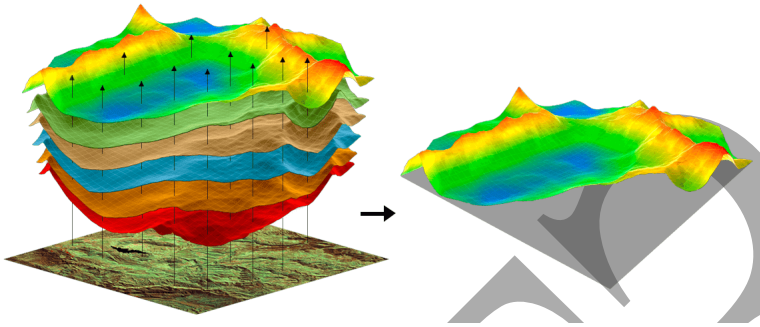


*Рис. 3.11 Багатошарова карта змін рельєфу*

**Тематичні Атласи:**

Тематичні атласи стають інструментом для комплексного представлення географічних аспектів. Наприклад, екологічні атласи можуть включати карти розподілу видів, енергетичних потоків та зон екологічного ризику. Це дозволяє висвітлити комплексність взаємодій між різними географічними факторами та їх вплив на навколишнє середовище.




*Рис. 3.12 Карта екологічної ситуаії та питних вод України*

*Екологічні Атласи:*

Екологічні атласи представляють собою комплексні зібрання карт та графіків, що відображають стан природи в різних регіонах. Вони можуть містити інформацію про розподіл рослинних та тваринних видів, рівень забруднення, зони екологічного ризику та інші параметри. Це важливий інструмент для науковців, екологів та природоохоронців.

*Економічні Атласи:*




*Рис. 3.13 Економічна карта Європи*

Економічні атласи надають географічні аспекти економічних процесів. Вони включають карти, які демонструють розподіл ринків, промислових зон, торгових шляхів та інших елементів економічної активності. Економічні атласи допомагають визначати стратегії розвитку регіонів та впливати на ефективність господарської діяльності.

**Спеціалізовані Аналітичні Звіти:**

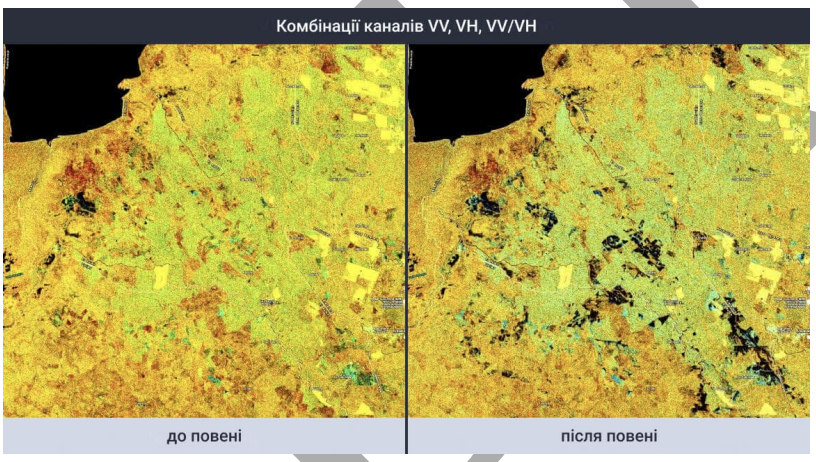



*Рис. 3.14 Карта аналізу наслідків повені*

*Геоінформаційні аналізи для рішення конкретних завдань:*

Спеціалізовані аналітичні звіти у геоінформаційному контексті орієнтовані на вирішення конкретних завдань або проблем. Наприклад, вони можуть включати в себе аналіз впливу природних катастроф на території, визначення оптимальних місць для розташування нових об'єктів інфраструктури або оцінку ризиків екологічних порушень.

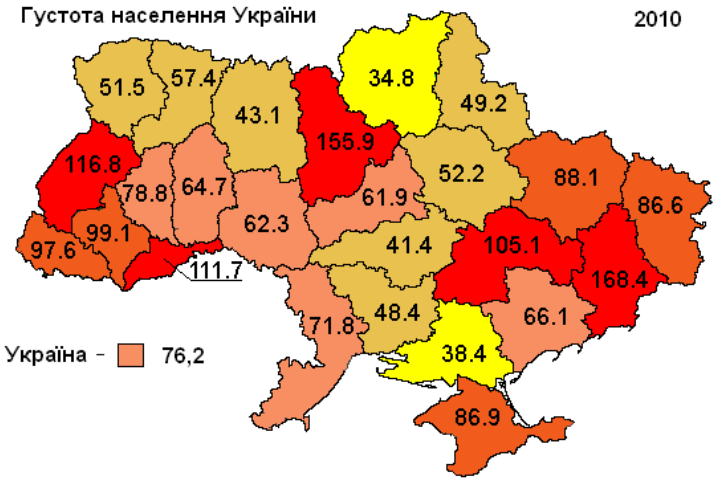



*Рис. 3.15 Карта густоти населення України*

*Статистичні Звіти з*

*урахуванням географічних параметрів:*

Географічні параметри додають контекст інформації у статистичних звітах. Наприклад, статистичний звіт про населення може бути доповнений географічною інформацією про розподіл населення за регіонами або у статистичних звітах про економіку може бути врахована географічна динаміка економічного зростання.

**Мобільні Додатки та Сервіси:**

*Навігаційні Додатки:*




*Рис. 3.16 Навігаційна карта Waze*

Мобільні додатки для навігації використовують географічні дані для надання користувачеві точних та зручних маршрутів. Вони включають в себе інформацію про дороги, громадський транспорт та інші об’єкти інфраструктури, що допомагає користувачеві легко переміщатися в просторі.

*Місцеві Послуги та Додатки:*

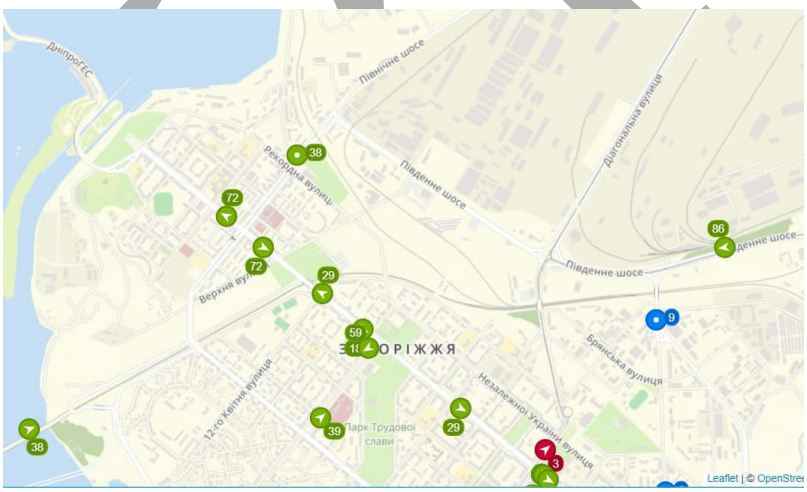



*Рис. 3.17 Карта транспорту EasyWay*

Додатки, які надають місцеві послуги, використовують геодані для надання інформації про події, ресторани, магазини та інші об’єкти в конкретному географічному контексті. Ці додатки дозволяють користувачам знаходити та оцінювати послуги, які є доступні в їхньому регіоні.

### 3.3 Аналіз сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації

**Наземні методи знімання.** До наземних методів топографічних знімань відносяться :

- горизонтальні та вертикальні знімання: планові, висотні, планово - висотні;
- тахеометричне знімання;
- знімання за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС);
- наземне фотограмметричне знімання та лазерне сканування;
- мобільні картографічні системи та інерціальні навігаційні системи.

**Горизонтальні, вертикальні та тахеометричні знімання.** Сучасні моделі високоточних електронних та роботизованих теодолітів, тахеометрів, нівелірів дозволяють відповідно виконувати кутові вимірювання з точністю до 0,5” – 1”, 2”, вимірювання відстаней до 1 міліметра чи кілька міліметрів на один кілометр та вимірювання висот на 1 км подвійного ходу від 0,3 до 1 мм у відношенні від виду рейки, що використовується. Безумовно, це величина допусків при розвитку змін мінімальних геодезичних мереж та при всіх видах тахеометричних знімань.

**Знімання за методами ГНСС.** Розвиток глобальних супутникових геодезичних систем (ГНСС) типу GPS (США), ГЛОНАСС (Росія) та навігаційний компас (Китай), Галілей (Європейський Союз) здійснило революцію в геодезичних методах вимірювань. ГНСС — інфраструктура, яка включає плеяду орбітальних супутникових станцій з глобальним покриттям, які працюють у поєднанні з мережею наземних станцій і супутникових систем диференціальної корекції, дозволяє визначати географічне положення, відстань, швидкість руху і місцевий час приймача-користувача в будь-якому місці земної поверхні чи в повітрі за допомогою оброблення сигналів, отриманих від супутників у космосі. Особливою увагу заслуговує кінематичне знімання у режимі реального часу (справжнє Time Kinematic

ВНТУ

– RTK) та кінематична постобробка (Post-Processed Кінематичний – PPK), що і має задоволеняти знімання великої кількості точок за менший відрізок часу з горизонтальною точністю 1 см + 2 мм та вертикальною 2 см + 2 мм. Розвиток цих методів є розбудова в Україні мережі активних референтних станцій ГНСС.

**Комбіновані методи створення знімальних мереж та наземних знімань.** З'єднання електронних тахеометрів з ГНСС ( SmartStation ) спричинило потребу в значній зміні до самих підходів проектування схем геодезичних знімальних знімків мережа. Комп'ютерне оброблення геодезичних мереж повністю перейшло на застосування строгих параметричних методів вирівнювання з визначенням повних кореляціних матриць та тотальною оцінкою точності всіх елементів мережі. По суті справи, традиційна побудова геодезичних мережа методами полігонометрії, тріангуляції, трилатерації зазнала трансформації у побудові лінійно – кутових мереж у поєднані з вимірюваннями методами ГНСС. Це потребує кардинальних змін у розроблені схем розвитку знімальних геодезичних мереж, перегляд усіх точностей моделі та допусків на них.

**Методи наземної фотограмметрії.** Технологія наземного фототеодолітного знімання, яка до недавна широко використовувалась для отримання топографічних планів місцевості (особливо для відкритих місцевостей зі складними формами рельєфу) у заданому масштабі, при архітектурних обмірах пам'ятників історії та культури, проходить досить новий технологічний рівень - знімання з використанням цифрової фотограмметрії та лазерного сканування (НЛС).

**Методи наземного лазерного сканування та мобільні картографічні системи.** Методи наземного лазерного сканування відомі з початку 90- х років минулого століття, потужно розвиваються останні десять років і полягають у вимірюванні з високою швидкістю відстаней від сканера до точок об'єкту реєстрації відповідних напрямків (вертикальних і горизонтальних кутів),тож величини, що вимірювалися аналогічні як і при тахеометричному зніманні. Проте на ефект від останнього результатом роботи наземного лазерного сканування є хмара точок (тривимірне зображення – скан) всього. об'єкта, а не окремо виміряні точки, як на рисунку . Тому в результат наземного лазерного сканування підтримується



ВПЭ

надлишкові виміри, для опрацювання і зберігання яких необхідні потужні комп'ютерні ресурсі.



*Рис. 3.16 Скан об'єкту*

За призначенням метод НЛС по відділу на: системи мобільного лазерного сканування, який застосували для сканування лінійних об'єктів(залізниць, тунелів, автодоріг) та системи стаціонарного лазерного сканування, який використовуються (залежно від значення відстані)для пункт багато прикладних завдань, таких як моніторинг, топографічне знімання, в промисловості, цивільному будівництві, відтворенні об'єктів тощо. Система мобільного лазерного сканування є різновидом мобільної системи картографування (МСК – з англ. Мобільна картова система ).МСК складається з таких блоків: лазерних сканерів і/або цифрових камер для визначення кординат об'єктів дорожньої інфраструктури, ГНСС та інерційної навігаційної системи(ІНС)для орієнтування мобільної картографічної системи. Чому ІНС забезпечує високоточне орієнтування МСК в тих випадках, коли неможливо використання ГНСС (тунелі, щільна забудова тощо). Мобільною платформою основною блоків може бути автомобіль або безпілотний літальний апарат (БПЛА). Точність геопросторових даних отриманих в результаті мобільного лазерного сканування при створенні автомобільних ГІС коливається від метра до десятка сантиметрів, а при скануванні залізничних колій досягає від кількох сантиметрів до міліметрів (3,5).

З'єднання методів цифрової фотограмметрії та наземного лазерного сканування стало можливим завдяки досягненням в приладобудуванні. Серед сучасних приладів, які об'єднують кілька методів збирання геопросторових даних можна відмітити: наземні лазерні сканери з інтегрованою цифровою камерою (та на додаток інколи з відеокамерою),електроні роботизовані тахеометри з функцією сканування, електроні роботизовані фототахеометри з функцією сканування,

ВІТЗ

наземні лазерні сканери з окремою цифровою камерою, мобільні картографічні системи. При чому МКС по методу наземної фотограмметрії, наземного лазерного сканування, ГНСС та інерційних навігаційних систем. Сучасні електроні роботизовані тахеометри, лазерні трекери можна відповідно простим 3 D лазерним сканером, який призначений для вимірювання одиничних точок. Отже, зазначені методи вимірювання можуть бути об'єднані, використовуючи переваги кожному. Лазерні сканери та тахеометри які бути обладнані цифровими камерами для отримати справжніх кольорових зображення вимірюваного об'єкта або для опрацювання зображень, наприклад, автоматичного вимірювання цілей або реконструкції поверху за допомогою опрацювання стереозображення. Також 3D хмари точок, отримані в результаті наземного лазерного сканування які були об'єднані з відомості зображення способами, наприклад, для візуалізації, ідентифікації і вимірювання точок об'єкта, створення ортофотопланів або заплатою реєстрації.

**Дистанційні методи знімання.** Вдосконалення технологій збирання геопросторових даних можна відзнак не тільки як у наземних, так і дистанційних зніманнях: аерофотограмметрії та космічним зніманні з високою роздільною здатністю, завдяки чому рівень точності оперативності та отриманих даних зростає. Залежно від висоти знімання території вирізняють: космічне, аерознімання та знімання безпілотними літальними апаратами (БПЛА – безпілотні літальні апарати (УАВ)). Традиційно до дистанційних або аерокосмічних методів відносяться ті методи, які отримали інформацію про об'єкти земної поверхні, явища і процеси з космосу чи повітря і обгрунтовуються на неземній реєстрації електромагнітного випромінювання земної поверх в різних зонах спектра. Ці методи можна класифікувати: за методами знімання і аналізу даних, за способом одержання дані та за типом сенсора. До методів знімання і аналізу даних належать: стереознімання, багатозональне, багаточасове, багаторівневе, багатополяризоване знімання, комбінований та дисциплінарний методи — які детально описані в праці.

За способом одержання даних методи поділяються на :

***Фотографічні знімання*** виконуються переважно кадровими (існують ще



ВПЗ

панорамні і щілинні) аерокосмічними фотографічними знімальними системами у видимому та близькому інфрачервоному категорії. В результаті створено чорно - білі, кольорові, спектрозональні багатоспектральні фотозображення на засадах центрального проектування. Фотографічні зображення мають високе розрізнення і використовуються для створення ортофотопланів, топографічних планів у великих і середніх масштабах. Аерофотознімання – один з елементів технології картографування, яка забезпечити комп'ютерне опрацювання аерофотознімків, який саме сканують на фотограмметричному сканері з високого розрізнення. Недоліком фотографічного знімання є низька оперативність отримати інформації. У космічним зніманні фотографічні знімальні системи замінили сканувальні системи на ПЗЗ - пристроях, радіолокаційні та інші види систем.

Телевізійні зйомки переважно виконуються кадровими знімальними системами (у видимому та близькому інфрачервоному діапазоні), що відтворюють зображення земної поверхні в режимі реального часу як на екрані приймача, так і з магнітних цифрових записів на основі центрального проектування. Телевізійні зображення мають невисоку просторову роздільну здатність, тому їх переважно використовують для швидкої оцінки явищ та процесів, спричинених надзвичайними ситуаціями природного та техногенного характеру.

Оптико-електронні зображення ефективні матричними, лінійними цифровими знімальними системами, а також багатоспектральними і гіперспектральними сканерами (приймачами сигналів є пристрої із зарядовим зв'язком – так звані ППЗ), розташованими на космічних літальних апаратах та літаках, в оптичному та інфрачервоному діапазоні до 14 мкм. Цифрові зображення формуються оптичним способом у межах ліній ППЗ матриці на основі центрального проектування. Якщо вибір ППЗ - лінійки, то зображення будується у межах рядка на основі центрального проектування вздовж рядка. Цифрові зображення підтримуються в режимі реального часу і відрізняються високою просторовою роздільною здатністю, що дозволяє їх використання для різноманітних прикладних завдань.

ВПЗ

Інфрачервоні (теплові) знімання забезпечуються інфрачервоними аерокосмічними знімальними системами, тепловізорами, сканувальними радіометрами в середньому та дальньому інфрачервоному діапазоні спектра. Зображення створюється за рахунок власного випромінювання об’єктів і частково відбитого від них інфрачервоним випромінюванням інших джерел на основі панорамного проектування. Переваги цих знімань є можливість використання їх як в денний, так і в нічний час. Знімки, отримані в нічний період доби, правдивіше характеризують теплове випромінювання об’єктів, оскільки кількість відбитого випромінювання вдень значно зменшує теплове зображення. Результати знімань можна використовувати не лише для розпізнавання об’єктів, а й для вивчення динаміки процесів і явищ (розвиток міст, завдання охорони довкілля) завдяки можливостям доповнювального дешифрування. Інфрачервоні зображення мають значні переваги перед іншими знімками щодо дешифрування гідрографічних мереж (чітко виділяються берегові лінії, теплові неоднорідності водної поверхні тощо), а також при вивченні дна шельфу.

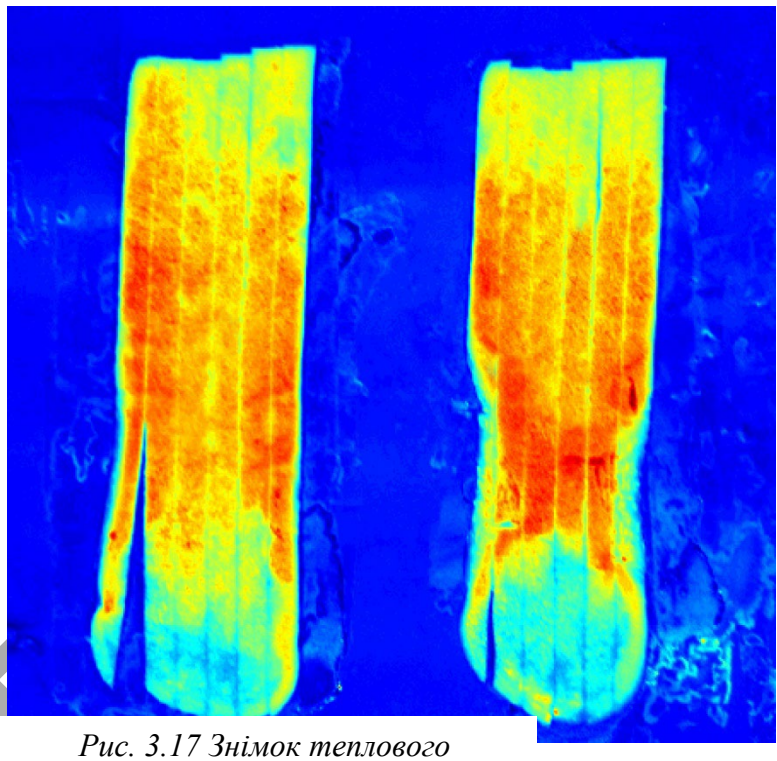


*Рис. 3.17 Знімок теплового випромінення поля*

Радіотеплові знімання виконуються в міліметровому діапазоні радіохвиль мікрохвильовими радіометрами (відносяться до пасивних знімальних систем), які фіксують радіотеплове випромінювання землі. Перевагами цього виду знімання є можливість отримання зображення навіть через хмари, снігове, льодовикове покриття, вдень і вночі. Недоліком цього виду знімання є отримання зображень з порівняно низьким просторовим розрізненням: сотні й десятки метрів за авіаційного знімання та кілометри в разі космічного знімання. Зображення отримується в результаті лінійного проектування та конічної згортки. Результати радіотеплових

ВІЛ

знімань використовують для дослідження стану забруднення вод, геологічного картографування, дослідження стану морів і океанів, в навігації, стану снігового покриву та інших галузях науки і економіки. Також радіотеплові зображення можуть бути корисними під час розпізнавання об'єктів з низькими температурами. Лазерне сканування відносяться до активних методів зондування та виконуються лазерними знімальними системами, які встановлюють на борту літака, аероплану, гелікоптеру, безпілотних літальних апаратів, у видимому та близькому інфрачервоному діапазоні. Зображення земної поверхні одержують у вигляді хмари точок земної поверхні за рахунок відбитого випромінювання від поверхні землі. Методика відзначається високою продуктивністю та ґрунтується на лазерному вимірюванні від відстані до приладу до точки на місцевості, координати якої визначаються у вибраній системі координат.

Лазерне сканування застосовують з метою побудови цифрових моделей рельєфу навіть для важкодоступних та недоступних територій, за наявної рослинності та несприятливих погодних умов, створення ортофотозображень та мозаїк, картографування територій та в завданнях оцінювання явищ та процесів, спричинених надзвичайними ситуаціями природного і техногенного характеру. До переваг методу відносять: незалежність від погоди і освітленості, висока продуктивність при менших фінансових витратах в порівнянні з іншими методами, такими як традиційний фотограмметричний. Радіолокаційні знімання виконуються в сантиметровому або метровому діапазоні радіохвиль за допомогою радіолокаційних систем бічного огляду та радіолокаційних систем з синтезованою апертурою (активних знімальних систем). Зазначені системи є сканувальними пристроями, в яких сканування відбувається по один бік від носія перпендикулярно до лінії польоту, тому щоб зняти дві смуги відносно траєкторії польоту необхідно встановити дві антени. Перевагами знімання є можливість отримання зображень в умовах, коли об'єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо в будь-який час доби. Зображення отримується в результаті тангенціальної розгортки. Застосовують в завданнях екологічного моніторингу, визначення деформацій земної поверхні та для побудови цифрових моделей рельєфу.

ВІТЗ

За типом сенсора аерокосмічні методи поділяються на активні і пасивні. При активному зондуванні використовується вимушене випромінювання об’єктів, ініційоване штучним джерелом спрямованої дії; при пасивному використовується власне, природне відбите або вторинне випромінювання об’єктів на поверхні Землі, обумовлене сонячною активністю (5) .

До пасивних відносять: аерофотознімання, гіперспектральні та мультиспекральні знімання, знімання з безпілотних літальних апаратів. При чому БПЛА впевнено завойовують популярність серед виробників геопросторових даних завдяки відносно недорогої вартості знімального обладнання та великої швидкості отримання і опрацювання даних на території інтересу для створення: ортофотопланів, 3-D моделей місцевості і рельєфу, крупномасштабних топографічних планів тощо.

До активних відносять лазерне сканування (LIDAR) та радіолокаційне знімання (Radar), яке в свою чергу поділяється на: радіолокаційне знімання за допомогою системи бічного огляду з реальною антеною (Side Looking Airborne radar – SLAR), радіолокаційне знімання за допомогою системи із синтезованою апертурою антени (Synthetic-aperture radar – SAR), інтерферометрію (InSAR). Радіолокаційне знімання за допомогою системи бічного огляду з реальною антеною (РБО) використовувалося для геологічних, геоморфологічних досліджень та для картографування тих регіонів, які завжди закриті хмарами. Ці знімання з часом замінили радіолокаційні знімання за допомогою системи із синтезованою апертурою антени (РСА). РСА формують зображення, зондуючи поверхню когерентними надвисокочастотними радіосигналами та приймаючи відбите випромінювання послідовно, за траєкторією польоту носія.

Спосіб побудови зображення дозволяє істотно збільшити просторове розрізнення зображень до метрів на земній поверхні. Метод інтерферометрії ґрунтується на використанні пари радіолокаційних зображень і заснований на різниці фаз двох чи більше відбитих від поверхні землі когерентних радіолокаційних сигналів з метою отримання точної інформації про рельєф та невеликі зсуви об’єктів місцевості. Інтерферометрія поділяється на: однопрохідну інтерферометрію,

ВІТЗ

двопрохідну, диференціальну, які відрізняються лише технологією сканування для отримання пари радіолокаційних зображень. Дані, отримані в результаті такого знімання, відносяться до класу середньої розрізненості і не використовуються для топографічного картографування, проте в 2000-х роках в результаті виконання топографічного проекту Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), було отримано цифрову модель рельєфу Землі з точністю 30 м.

### 3.4. Місце лідарної технології у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації.

Лідарна технологія відіграє визначальну роль у структурі сучасних методів одержання цифрової геопросторової інформації. Ця технологія використовує лазерне випромінювання для точного вимірювання відстаней та створення тривимірних моделей об'єктів та поверхонь на землі. Місце лідару в геодезії та в суміжних галузях є важливим через його унікальні характеристики. Висока точність цих даних дозволяє створювати докладні тривимірні моделі, що стає корисним для багатьох галузей. У топографічних та геологічних дослідженнях лідар використовується для отримання точної інформації про рельєф та геологічні особливості. Він стає ключовим інструментом у створенні детальних карт та моделей місцевості. Лідар також важливий для картографії та геоінформаційних систем (ГІС), де його дані використовуються для оновлення карт та покращення аналітичних можливостей. Високочастотні лазерні вимірювання сприяють точному аналізу місцевості та плануванню міського середовища. У лісовпорядкуванні лідар допомагає визначити кількість та розташування дерев, а також їхню структуру. У сфері транспортного планування він використовується для створення тривимірних карт доріг та інших елементів інфраструктури.

Ця технологія також має важливе застосування в геодезії та інженерних дослідженнях, де вона дозволяє контролювати точність будівельних проектів та вимірювань. В Україні, розвиток мереж активних референтних станцій ГНСС у поєднанні з лідаром зумовив потребу в змінах у самих підходах проектування

ВІЗ

геодезичних знімальних мереж та вимагав перегляду точнісної моделі та допусків на них. Отже, лідарна технологія стала необхідною складовою сучасного геопросторового обліку, надаючи важливі дані для різних галузей та застосувань, та постійно змінюючи підходи до геодезичних та картографічних робіт.

ВПТЗ

## 4. Лідарграмметрія та актуальні сфери її використання.

### 4.1 Поняття лідарграмметрії та її відмінності від фотограмметрії.

Лідарграмметрія – це метод геоінформаційного збору даних, що використовує лазерне сканування для отримання точкового хмарозображення земної поверхні. Сучасні лазерні системи, такі як ЛІДАР, забезпечують високу точність та просторову роздільну здатність, фіксуючи відбиту енергію від об’єктів. Інтенсивність відбитих сигналів, так звані "intensity returns," можуть бути використані для додаткової інформації.

Відмінність лідарграмметрії від фотограмметрії полягає в принципах отримання даних. Якщо фотограмметрія базується на зображеннях, отриманих від фотокамер, то лідарграмметрія використовує лазер для генерації точкової хмари, фіксуючи відстані та інтенсивність відбитих сигналів. Це дозволяє отримувати точні просторові координати поверхні з унікальною можливістю фіксації інтенсивності сигналів, що відкриває нові можливості для аналізу об’єктів та їхніх характеристик.

Лідарграмметрія має ще одну істотну відмінність від фотограмметрії. В останній просторова модель будується на підставі прямої фотограмметричної засічки з двох сусідніх знімків (рис. 5.4), а при лазерному скануванні просторова модель будується з однієї точки (в межах смуги сканування) вектором *R* (так, ніби вона виконана з миттєвого центру знімання). Вся сукупність отриманих векторів утворює просторову модель території, яка є неперервною для всієї траєкторії польоту носія (?).

Переваги:

- **Висока точність вимірювань:**

Лідарграмметрія забезпечує високу точність вимірювань в порівнянні з фотограмметрією, особливо при визначенні висот та рельєфу. Це дозволяє отримувати точні та надійні дані для різних застосувань, таких як картографія та геодезія.

ВІТЗ

- **Здатність працювати в різних умовах:**

Лідар може функціонувати незалежно від погодних умов та освітлення, оскільки відскікані лазерні промені фіксуються приймачем. Це робить його ефективним інструментом для отримання даних у темряві або при хмарному покриві.

- **Висока просторова роздільна здатність:**

Лідарграмметрія забезпечує високу просторову роздільну здатність точкових хмар, що дозволяє отримувати деталізовані та чіткі зображення об’єктів на земній поверхні.

- **Ефективність у визначенні висот:**

Завдяки прямому вимірюванню висот за допомогою лазерних променів, лідарграмметрія ефективно визначає висотні параметри об’єктів та рельєфу, що робить її важливим інструментом для великої кількості застосувань, включаючи геологію та лісове господарство.

- **Можливість отримання інтенсивності сигналів:**

Лідарграмметрія дозволяє фіксувати інтенсивність відбитих сигналів, що надає додаткову інформацію про властивості об’єктів, таких як тип рослинності чи будівельний матеріал.

- **Незалежність від наземних обмежень:**

Відсутність необхідності у наземних точках визначення положення спрощує процес збору даних, а також дозволяє отримувати інформацію з важкодоступних або великих територій.

Лідарграмметрія використовується для створення цифрових моделей рельєфу, картування лісів, визначення висоти будівель, топографічних досліджень та інших застосувань, де важлива точність і деталізація просторової інформації. Лідарграмметрія, як сучасний метод геоінформаційного збору, відкриває широкі перспективи для отримання високоточної інформації про земну поверхню. Її унікальність полягає в можливості створення точкових хмар, які не лише містять координати об’єктів, але і фіксують їхню інтенсивність відбитих сигналів. Це

ВІТЗ

дозволяє отримати додаткові дані про властивості об’єктів та їхню структуру.

Застосування лідарграмметрії включає створення цифрових моделей рельєфу з високою точністю, аналіз лісового покриву, визначення параметрів архітектурних об’єктів та інші галузі. Можливість отримання інтенсивності відбитих сигналів розширює спектр можливостей для класифікації та ідентифікації об’єктів.

Зокрема, лідарграмметрія дозволяє ефективно вирішувати завдання у сфері геодезії, архітектури, екології, міського планування та інших галузей, де важлива деталізація просторової інформації та висока точність даних.

Цей метод стає невід’ємною частиною сучасних геоінформаційних технологій, відкриваючи нові можливості для аналізу та моделювання геопросторових об’єктів.

## 4.2 Лідарна зйомка як технологія отримання та обробки інформації про віддалені об’єкти за допомогою активних оптичних систем.

LiDAR - технологія, яка вимірює відстані (або діапазони) на основі часу між передачею і прийомом лазерних сигналів. Можуть використовуватися як імпульсні, так і безперервні хвильові лазери: імпульсні лазери передають енергії дуже короткої тривалості і виявляють діапазони, засновані на амплітудах прийнятих сигналів; на відміну від них, лазери на безперервних хвилях визначають діапазони на основі різниці фаз між переданим і прийнятим сигналами (Baltsavias 1999b). Імпульсні лазери найчастіше використовуються в наземних застосуваннях і тому є основним предметом розгляду в цій книзі.

ВПЗ

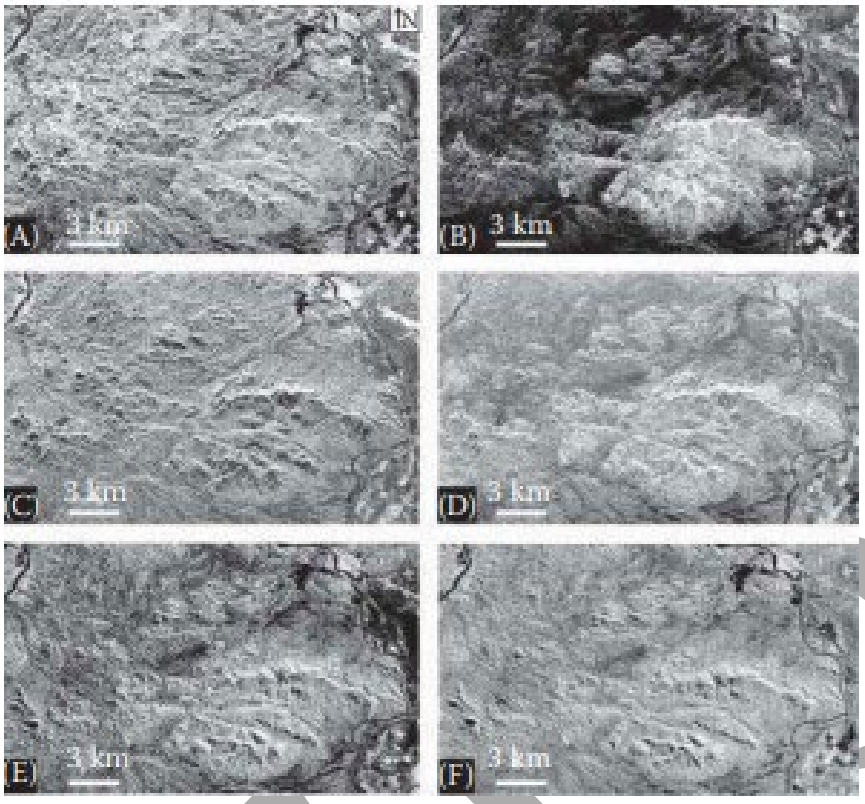



*Рис. 4.1 Зображення SIR-C та Radarsat-1 ділянки 15 км × 25 км поблизу Юми, Арізона, США.*

*(A) Зображення SIR-C L-HH; (B) Зображення SIR-C L-HV; (C) Зображення SIR-C C-HH; (D) Зображення SIR-C C-HV*

*(E) Знімок Radarsat-1 C-HH Standard Beam 4; і (F) Знімок Radarsat-1 C-HH Extended Знімок з високою інтенсивністю Beap 3.*

Як видно з рисунка 2.1, LiDAR - це активний метод дистанційного зондування який можна використовувати на космічних, повітряних і наземних платформах. У 2003 році NASA запустило супутник для дослідження льодових хмар і висоти поверхні землі (ICESat), який ніс на собі Geoscience Laser Altimeter System (GLAS), лазерний профілограф з 65-метровим для збору даних про полярні крижані шапки, рослинний покрив та інші параметри, та інших параметрів. Повітряний LiDAR іноді використовується як взаємозамінний з повітряним лазерним скануванням, повітряним лазерним картуванням смуги або лазерним радаром. Наземний LiDAR часто називають наземним лазерним скануванням, яке включає в себе стаціонарненаземне лазерне сканування зі статичної точки спостереження на поверхні землі і мобільне наземне лазерне сканування з рухомого транспортного

ВЛО

засобу.

Основна ідея досить проста: виміряти час, за який лазерний імпульс, щоб вразити об’єкт і повернутися до датчика (який сам має відоме місце розташування завдяки системам прямої системи прямої прив’язки), визначаємо відстань за часом проходження, фіксуємо кут нахилу лазерного променя, а потім, на основі цієї інформації, обчислити, де знаходиться об’єкт, що відбиває промінь (наприклад, земля, дерево, автомобіль тощо) знаходиться у тривимірному просторі.

Насправді, щоб досягти високого рівня точності, цей процес трохи складніший, оскільки важливо знати з точністю до сантиметра, де знаходиться літак, коли він летить зі швидкістю від 100 до 200 миль на годину, підстрибуючи вгору і вниз, відстежуючи при цьому сотні тисяч лідарних імпульсів за секунду (1). На щастя, кілька технологій - особливо Глобальна система позиціонування (GPS) і прецизійні гіроскопи - об’єдналися разом, щоб зробити це можливим (рис. 4.2).

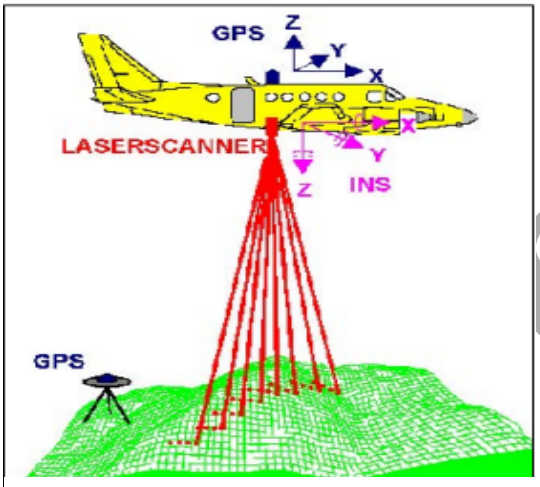


*Рис. 4.2 Схематичне зображення лідарної зйомки з повітря з прив’язкою до GPS бази*

Значний прогрес в інерційних вимірювальних приладах (IMU) або інерційних навігаційних системах (INS) відіграли важливу роль у забезпеченні точного позиціонування літака. Ці системи здатні вимірювати рух в усіх напрямках і перетворювати ці вимірювання в положення. Однак вони не є досконалими і втрачають точність через короткий проміжок часу (наприклад, 1 секунду). А дуже складний пристрій GPS, який реєструє кілька типів сигналів від супутників GPS супутників, використовується для "оновлення або скидання" INS або IMU щосекунди або приблизно щосекунди. Позиції GPS реєструються записуються літаком, а також наземною станцією з відомим положенням. Наземна станція надає "поправочний" коефіцієнт до GPS-позиції, записаної літаком.

Аналогічно, лідарні системи значно просунулися вперед. Перші комерційні прилади були здатні зробити 10 000 точок на секунду (10 кілогерц) і були великими і

громіздкими. Новіші системи більш компактніші, легші, мають вищу кутову точність і можуть обробляти кілька повернень лазера в повітрі (тобто, другий лазерний постріл випромінюється до того, як буде отримано відповідь від попереднього лазерного пострілу), що дозволяє досягати частоти імпульсів понад 300 000 за секунду (300 кілогерц). Системи з декількома поверненнями, які є поширеними, можуть фіксувати до п’яти повернень за один імпульс.Це може збільшити кількість даних на 30% або більше (100 000 імпульсів/секунду ≈ 130 000 повернень/секунду) і збільшує можливість розглядати тривимірну структуру "об’єктів над поверхнею землі", таких як лісовий полог і підлісок.

*Основні етапи лідарної зйомки включають:*

**Випромінювання лазерних променів:**

Система лідару випромінює лазерні промені у різних напрямках. Ці промені направляються до поверхні об’єктів, які вони вражають.

**Відбиття від об’єктів:**

Лазерні промені, зіштовхуючись з об’єктами, відбиваються від них. Важливою є характеристика цього відбиття, так як вона містить інформацію про відстань до об’єкта та інші параметри.

**Реєстрація відбитих сигналів:**

Сенсори лідару реєструють відбиті сигнали та вимірюють час їх повернення. Це дозволяє визначити відстань до об’єктів.

**Створення хмари точок:**

Отримані відстаневимірювальні дані використовуються для створення тривимірної хмари точок, яка представляє собою просторову модель поверхні об’єктів.

**Аналіз та обробка даних:**

Отримана хмара точок піддається аналізу та обробці для визначення різних характеристик об’єктів, таких як висота, форма, густота та інші.

**Створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР):**

Дані лідарної зйомки використовуються для створення цифрової моделі рельєфу, яка може бути використана в галузі картографії, геодезії, геології та інших



ВІТЗ

областях.

Повітряна або супутникова система дистанційного зондування LiDAR зазвичай складається з лазерного далекоміра, який визначає дальність, і системи позиціонування та орієнтації яка вимірює місцезнаходження та орієнтацію датчика, що в поєднанні може виводити тривимірні (3D) координати об’єктів, які він виявляє. Оскільки LiDAR може безпосередньо вимірювати географічне середовище в трьох вимірах (3D), він не має проблеми геометричних спотворень (наприклад, зміщення рельєфу), пов’язаних зі знімками з візуалізацією, яка повинна проектувати тривимірний світ у двовимірний простір зображень. Іншими словами, користувачеві не потрібно турбуватися про питання географічної прив’язки, що є нетривіальною проблемою для зображень. нетривіальною проблемою для обробки зображень. Це одна з головних переваг LiDAR.

Ще однією перевагою LiDAR є те, що дані можна збирати як вдень, так і вночі, якщо немає сильного туману, диму або високого рівня вологи, наприклад, дощу, сніг та хмари між лазерною системою та об’єктом. Наприклад, дані LiDAR можна збирати вночі, коли вітер безвітряний (рис. 4.3).

Найбільш корисною характеристикою LiDAR може бути те, що лазерна енергія може проникати крізь щілини в навісі і вимірювати структуру навісу і рельєф місцевості вздовж напрямку лазерних променів. В оптичному зображенні значення кожного пікселя (шкала сірого або колір) домінує над відбивною здатністю поверхні об’єкта, і користувачі не можуть реально побачити місцевість під щільним покровом. Однак лазерна енергія може досягати

ВІТЗ

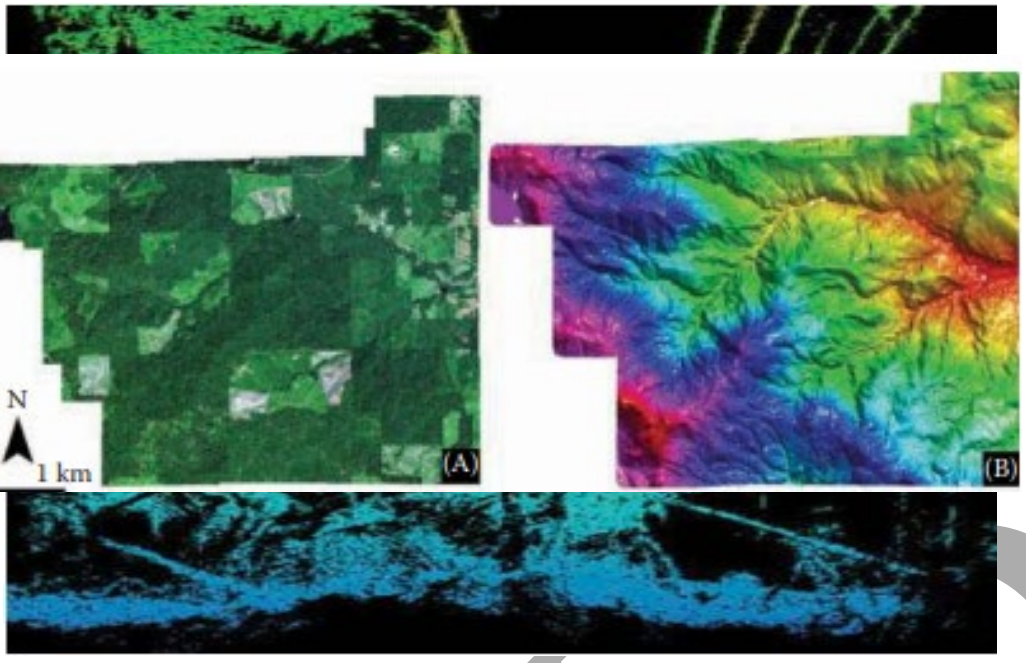



*Рис. 4.4 Різні види Пантер-Крік, штат Орегон,*

*Рис. 4.3 Наземні дані LiDAR, зібрані опівночі для деревовидних папоротей у тропічному лісі штату Гавайї, США*

*на основі оптичних знімків і даних LiDAR. (А) Зображення Geoeye і (Б) ЦМР, отримана з повітряного LiDAR.*

Порівняно з мультиспектральним, гіперспектральним і радіолокаційним дистанційним зондуванням, про яке йшлося у попередніх розділах, дистанційне зондування LiDAR є відносно новою галуззю. Хоча лазери використовувалися для дослідження атмосфери протягом десятиліть (Goyer and Watson 1963), а лазерні висотоміри використовувалися для вимірювання відстані від орбітального космічного апарату до поверхні планети або астероїда, саме розробка високоточних систем глобального позиціонування та інерціальних вимірювальних приладів до середини 1990-х років уможливила повітряну LiDAR-зйомку. Найсучасніші системи LiDAR здатні випромінювати понад 1 мільйон імпульсів на секунду. Огляди історії LiDAR та нових систем можна знайти в роботах Baltsavias (1999a) та Mallet Bretar (2009).

### 4.3 Просторово-часовий аспект розвитку лідарної зйомки.

Лазерні скануючі далекоміри працюють на різних довжинах хвиль, але частіше за інших використовуються наступні:

− λ = 355нм. УФ-лідари, що відповідають третьої гармоніки твердотільного лазера Nd: YAG.

− λ = 523нм. Видиме випромінювання.

− λ = 905нм. Зазвичай застосовується в лідарній цеометрії, яка відповідає лазерному діоду InGaAs.

− λ = 1064нм. ІЧ-випромінювання, що генерується лазером Nd: YAG.

− λ = 1540нм. Зазвичай використовується в безпечних для очей системах.

Вибір довжини хвилі лазерного випромінювача залежить від цілого ряду чинників: відбиваючих властивостей сканованих об'єктів; характеристик навколишнього середовища; чутливості використовуваного детектора; необхідного ступеня безпеки для очей; вимог до конструкції пристрою.

Сканування лідарних вимірів в міських районах стає більш важливим з причин, пов'язаних з впливом аерозольних викидів на клімат. Зокрема, скануючі лідари зворотнього розсіювання пропонують можливість виявляти і відображати дорожні шлейфи потенційно небезпечних аерозолів. Через те, що міські райони переповнені людьми, будинками і повітряним рухом, безпека очей є обов'язковим фактором.

Ніяка оптична довжина хвилі не є невід'ємно безпечною для очей, але деякі довжини хвиль безпечніші, ніж інші. Це відображено на рисунку.

Він показує максимальну енергію зору для імпульсного лазера як функцію довжини хвилі променю. Довжини хвиль 9 між 1,5 і 1,8 мкм дозволяють передавати найвищу допустиму енергію. Це пов'язано з об'ємною поглинаючою здатністю рідини очей. Максимальна безпечна для очей енергія в залежності від довжини хвилі для пучка діаметром 10мм, імпульсом тривалістю 6нс і частотою повторення імпульсів 10 Гц У таблиці 1.1 показано, що для кожної досліджуваної довжини хвилі на декількох частотах повторення імпульсів (PRF) розширення лазерного променя, необхідне для того, щоб система була безпечною для очей. Відправною точкою для



ВПЗ

цього є рівні максимально допустимої експозиції (МДЕ). Наведені значення PRF враховують, що система повинна мати тимчасовий дозвіл більше 1с, тому потрібно мінімум PRF 1Гц. Чим вище PRF, тим вище тимчасовий дозвіл, хоча рівень безпеки очей буде знижений. При 905нм безпека очей досягається тільки для розширень пучка більше 50мм (таблиця 4.1). При 1064 нм значення МДЕ досягаються з розширеннями пучка, дещо меншими, ніж необхідні при 905 нм. Це пов'язано 10 з більш високим рівнем безпеки очей на цій довжині хвилі і, незважаючи на випромінювання більш високих енергій імпульсу. При довжині хвилі 1064 нм у всіх випадках потрібні діаметри променів більше 50 мм, за винятком низькоенергетичних

*Таблиця 4.1 Необхідні діаметри променя (в мм) при декількох частотах повторення для досліджуваних довжин хвиль та енергій імпульсів*

викидів і помірних значень PRF (25 мкДж і 1-10 Гц). Розширення пучка, необхідні при 1,54мкм, знаходяться на один і два порядки нижче, ніж розраховані для 905 і 1064 нм [2].

| Довжина хвилі | 905нм | | | 1064нм | | | 1,5мкм | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Енергія імпульса, мкДж | 15 | 75 | 300 | 25 | 100 | 500 | 50 | 200 | 1000 |
| 1Гц | 51 | 115 | 230 | 34 | 67 | 151 | 0,8 | 1,6 | 3,6 |
| 10Гц | 69 | 153 | 307 | 45 | 90 | 201 | 2,5 | 5 | 11 |
| 100Гц | 91 | 204 | 409 | 60 | 120 | 268 | 8 | 16 | 36 |

Виходячи з вищенаведених результатів, найбільш оптимальна довжина хвилі становила 1,54 мкм. Це дозволяє випускати необхідні імпульсні енергії і в той же час задовольняти вимогам компактного дизайну, зазначеним спочатку. Крім переваг в плані безпеки очей, на цій довжині хвилі сонячна радіація приблизно на порядок нижче, ніж при 1064 нм, а сигнал Релея малий. Один з недоліків, який слід згадати, полягає в тому, що при використанні InGaAs у якості генераторів випромінювання на довжині хвилі 1,54мкм, мають максимальний діаметр всього 200мкм. Ці невеликі розміри обмежують поле зору і пред'являють більш високі вимоги до

оптикомеханічного дизайну. Незважаючи на це, випромінювання довжини хвилі 1,54мкм являє собою в даний час одну з найбільш перспективних альтернатив для розробки безпечних для очей лідарних систем.

REAL (RAMAN-SHIFTED EYE-SAFE AEROSOL LIDAR) виробляє високі співвідношення сигнал-шум аерозолів зворотного розсіювання з окремих лазерних імпульсів і забезпечує високу роздільну здатність (3 м) даних. Тому REAL відрізняється від існуючих мікроімпульсних та когерентних доплерівських лідарних систем. Такою системою можна безпечно передати більше 1Дж на імпульс в цій області. Діаметр променю, що передається системою, приблизно 5см у вихідному отворі. REAL використовує мультипрохідну газову клітку, яка містить 10 атмосфер чистого метану для перетворення 1,0мкм довжини хвилі Nd:YAG лазерного випромінювання до безпечніших 1,54 мкм довжини хвилі за допомогою стимульованого комбінованого розсіювання. Хоча REAL і використовує Раманівське розсіювання в його передавачі, яке випливає з його назви, це не "Раманівський лідар", який виявляє непружне розсіювання з водяної пари в атмосфері. Для порівняння, REAL використовує Раманівське розсіювання в метановій комірці передавача для генерування світла в області довжини хвилі з максимально допустимою експозицією. REAL виявляє еластичне розсіяне світло від малих частинком в атмосфері. Тому REAL – це не "Раманівський лідар" в традиційному сенсі. Для того, щоб переконатися в тому, що для вимірювання дрейфу аерозолів як в сільськогосподарській промисловості, так і в міських місцевостях найкраще підходять лідарні системи з довжиною хвилі випромінювача 1543нм (у тому числі і Раманівський з’ємний аерозольний лідар), нижче приведені розрахунки характеристик лідарної системи даної довжини хвиль і їх порівняння з характеристиками для довжин хвиль 905нм та 1064нм(12) .

На рисунку 4.5 показана оптико-механічна конфігурація прототипу лідарної системи.

ВПЭ

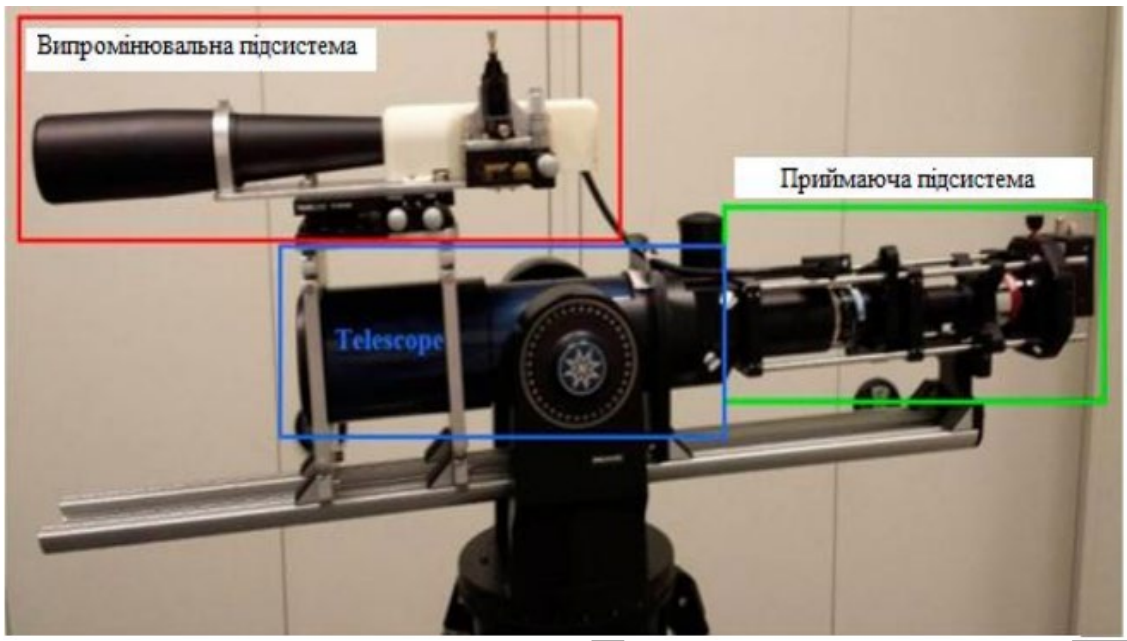



*Рис. 4.5 – Оптомеханічна конфігурація прототипу лідарної системи*

Існують різні варіанти генерації імпульсної лазерної енергії при 1,54мкм: вимушене комбінаційне розсіювання (ВКР), оптичні параметричні осцилятори (ОПО), леговані ербієм скляні лазери і лазерні діоди InGaAsP. Утой час як напівпровідникові діоди представляють собою найпростіше і економічне рішення, їх мала потужність обмежує їх застосування липовими токометрами, енергетичні вимоги яких не дуже вимогливі (~ 1 мкДж). Інші недоліки лазерних діодів включають їх високу дивергенцію і низьку спектральну чистоту. Скляні лазери, леговані ербієм у вигляді стрижнів або оптичних волокон, безпосередньо випромінюють імпульси на довжині хвилі 1,54 мкм. У цьому проекті було вирішено вибрати джерело такого типу з його основними перевагами простоти і вартості в порівнянні з ОПО. Їх імпульсні енергії варіюються від декількох мікроджоулів до 40мДж. Ці значення нижче, ніж значення, отримані за допомогою SRS або OPO, але вони достатні для нашого застосування(13, 14).

Як джерело випромінювання використовувалася модель лазерного скла, легована ербієм з енергією імпульсу 3 мДж при 1 543нм. Ця модель дозволяє поєднувати короткі тривалості імпульсів (обмежена з міркувань безпеки). Обраний блок дозволяє регулювати PRF від одиночних викидів до 10 Гц. Рис. 2.6 показує відносне положення лазерного передавача і розширювача пучка. Лазерний блок

утримується на місці за допомогою мініатюрної ступені трансляції XZ, функція якої полягає в тому, щоб відрегулювати положення випромінюваного пучка з оптичним входом розширювача променя. Цей ступінь трансляції, в свою чергу, утримується на місці за допомогою платформи аксесуарів тангажу і рискання, яка дозволяє кутовий вирівнювання лазерного променя щодо оптичної осі розширювача. Вся емісійна підсистема (лазерний передавач і розширювач пучка) утримується на місці платформою з високим навантаженням, яка дозволяє точно регулювати кут нахилу між осями оптичного випромінювання і прийому. Коефіцієнт перекриття (OVF – overlap factor) і діапазон, на якому досягається повна OVF, критично залежать від кута наклону (11).

### 4.4 Актуальні сфери використання лідарграмметрії.

**Геодезія та картографія.**

Створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР): Лідар в геодезії та картографії використовується для створення високоточних цифрових моделей рельєфу. Це важливо для точного відображення земельної поверхні з усіма її висотними особливостями. Лідарні датчики, встановлені на польотному обладнанні або дронах, генерують точкові хмари, які відображають висоти різних точок на поверхні.

Це застосування лідару дозволяє:

•Вимірювання висот: Лідар дозволяє точно визначити висоту об’єктів на землі, таких як будівлі, дерева, гори, тощо.

•Моделювання та аналіз рельєфу: З отриманих точкових хмар можна створити тривимірні моделі рельєфу, які використовуються для аналізу та планування. Наприклад, при проектуванні транспортних маршрутів або розвитку територій.

•Забезпечення точності картографічних матеріалів: ЦМР, отримані за допомогою лідару, використовуються для покращення карт та іншої картографічної інформації.

•Дослідження змін в рельєфі: Лідар може виявляти зміни в рельєфі, що є

корисним для вивчення ефектів природних катастроф, таких як зсуви ґрунту чи затоплення.

Це застосування лідарних технологій у геодезії та картографії допомагає збирати високоточні геопросторові дані, які є важливим ресурсом для різних галузей, включаючи планування міст, землекористування та екологічний моніторинг.

**Лісове господарство.**

Моніторинг лісового покриву та визначення обсягів деревини: Лідар в лісовому господарстві використовується для ретельного аналізу та управління лісовими ресурсами, сприяючи сталому лісовому господарюванню та вирішенню важливих екологічних завдань. Деталізуємо його ролі:

•Лісовий інвентаризаційний облік: Лідарні дані використовуються для проведення точного обліку дерев, визначення їхньої висоти, діаметру, та інших параметрів. Це дозволяє створити докладні картографічні матеріали та лісові інвентарні бази даних.

•Визначення висоти дерев: Лідарні дані дозволяють точно виміряти висоту дерев, враховуючи варіації в лісовому покриві. Це особливо важливо для оцінки зростання та обсягів деревини, що є ключовими показниками для лісового господарювання.

•Моніторинг змін лісового покриву: Лідар дозволяє виявляти зміни в лісовому покриві, такі як поява нових насаджень, природні зміни, чи незаконна рубка. Це важливо для збереження біорізноманіття та реагування на потенційні загрози лісовому екосистемі.

•Створення цифрових моделей лісу: За допомогою лідару можна створити тривимірні цифрові моделі лісових територій, що полегшує аналіз структури лісу та прийняття ефективних управлінських рішень.

Це дозволяє лісовим господарствам ефективно керувати лісовими ресурсами, запобігати нелегальній рубці, зберігати лісову біорізноманіття, та сприяти сталому розвитку. Лідар в лісовому господарстві є важливим інструментом для

ВІЗ

збалансованого підходу до використання та збереження лісів.

**Архітектурне проектування та містобудівництво:**

Аналіз міської території та визначення рельєфу: Використання лідарних технологій в архітектурному проектуванні та містобудівництві відкриває нові можливості для точного визначення характеристик міського середовища та оптимізації розташування будівельної інфраструктури. Розглянемо детальніше:

•Топографічне моделювання міської території: Лідарні дані дозволяють створювати точні топографічні моделі міських територій, включаючи висоти будівель, дороги, зелені зони та інші елементи. Це важливо для проектування нових будівель та інфраструктури.

•Аналіз рельєфу та геометрії міського середовища: Лідар дозволяє точно вимірювати рельєф міського ландшафту, враховуючи навіть невеликі висотні відмінності. Це стає важливим при проектуванні інфраструктури, яка повинна враховувати геометричні особливості міського середовища.

•Визначення об’єктів інфраструктури: Лідар дозволяє точно визначити розміри та форму будівель, доріг, мостів та інших інфраструктурних об’єктів. Це полегшує планування та розміщення нових об’єктів у міському середовищі.

•Моніторинг змін в міському ландшафті: Лідар дозволяє виявляти зміни в міському середовищі, такі як розширення забудови, будівництво нових об’єктів чи зміни в ландшафтному дизайні. Це важливо для планування та адаптації міського розвитку.

Використання лідару в архітектурному та містобудівному проектуванні допомагає забезпечити точність та ефективність у визначенні параметрів міського середовища, сприяючи сталому та естетичному розвитку міст.

**Енергетика.**

Моніторинг та оптимізація енергетичних інфраструктур:

Лідарні технології знаходять широке використання в галузі енергетики,

ВТЭ

сприяючи моніторингу та управлінню різними аспектами енергетичних інфраструктур. Розглянемо, як це застосовується:

•Лідар в електроенергетиці використовується для створення точних тривимірних моделей електроенергетичних ліній. За допомогою лазерних сканерів можна вимірювати висоти та розташування електропроводів, оптичної лінії передачі та інших компонентів електромережі. Це дозволяє операторам енергосистем точно визначати стан інфраструктури, виявляти пошкодження або неполадки, а також забезпечує підтримання необхідних відстаней між елементами ліній з метою безпеки та оптимізації роботи систем.

•Оптимізація сонячних електростанцій: Лідарні дані використовуються для вимірювання параметрів сонячних панелей, таких як нахил, орієнтація та висота. Це дозволяє точно визначити, як сонячні панелі збирають сонячну енергію протягом дня та різних сезонів. Оптимізація розміщення сонячних панелей за допомогою лідару сприяє максимізації енергетичного виробництва та підвищенню ефективності сонячних електростанцій.

•Моніторинг вітрових турбін: Лідар використовується для визначення вітрового потенціалу в різних точках на місці розташування вітрових турбін. Відомості про вітрові умови допомагають вибрати оптимальне місце для розміщення турбін, а також оптимізувати їхню роботу з урахуванням змін вітрового режиму. Це сприяє підвищенню ефективності вітрових електростанцій та забезпеченню стійкості генерації вітроенергії.

•Точна геопросторова аналітика для мереж електропостачання: Лідар забезпечує високоточні геопросторові дані, які використовуються для оптимізації розміщення електропостачальних підстанцій та ліній передачі. Враховуючи географічні особливості місцевості, лідар допомагає енергетичним компаніям ефективно планувати і розвивати свої мережі. Точні геодезичні дані сприяють уникненню перевантажень та оптимізації роботи системи електропостачання.

ВПЗ

**Археологія:**

Археологічні дослідження та картування: 3D моделювання археологічних об’єктів:

•Лідар використовується для створення високоточних 3D моделей археологічних об’єктів, таких як стародавні поселення, структури та пам’ятки. За допомогою лазерних вимірювань можна отримати детальні дані про рельєф та структури землі, що дозволяє археологам не лише визначати межі археологічних об’єктів, а й досліджувати їхню структуру та еволюцію протягом часу.

•Дослідження підземних структур: Лідар може проникати через рослинність та земельні покриви, дозволяючи археологам виявляти підземні структури, такі як стародавні фундаменти, канали чи різні реліквії. Це особливо корисно для вивчення місць, де земельні шари часу можуть приховувати артефакти.

•Розкопки та планування археологічних об’єктів: Лідарні дані використовуються для планування розкопок та локалізації об’єктів для археологічних досліджень. Точні 3D моделі навколишнього рельєфу та об’єктів допомагають археологам у визначенні оптимальних місць для розкопок та уникненні пошкоджень артефактів.

•Геодезичні та просторові аналізи: Лідар забезпечує точні геодезичні дані, які використовуються для геодезичного орієнтування та визначення географічних координат археологічних об’єктів. Це дозволяє створювати детальні карти та плани археологічних областей.

Лідар в археології відкриває нові можливості для досліджень та розкриття таємниць минулого, забезпечуючи археологам інструменти для детального вивчення та документування археологічних об’єктів.

ВІТЗ

# 5 Інструментальне забезпечення проведення лідарної зйомки

## 5.1 Сучасні лідарні системи та їхні технічні характеристики (Leica Terrain Mapper, Optech ALTM Pegasus і RIEGL VQ-1560i).



*Рис. 5.1 Leica TerrainMapper*

Leica TerrainMapper - топографічний лідар з високоточним лінійним режимом

Leica TerrainMapper - це бортовий LiDAR датчик новітнього покоління, що працює в лінійному режимі і оптимізований для регіональних картографічних проєктів. З широким діапазоном висот зйомки від 300 м до 5 500 м, гранично високою точністю і неперевершеною щільністю точок, лідар Leica Terrain Mapper пропонує гнучкість використання для топозйомки складного і різноманітного рельєфу місцевості.

Безшовне, якісне, точна хмара точок з рівномірним розподілом щільності, може бути отримано навіть в гористій місцевості за допомогою MPiA шлюзу. Лідар Leica TerrainMapper добре підходить для широкого розмаїття регіональних картографічних проєктів: від вузьких, лінійних коридорів сканування до завдань майданного сканування великих ділянок місцевості, в тому числі високогірних районів зі складним і непостійним рельєфом (13).

- Сканування ліній електропередач з щільністю 100 точок / м2;
- Складання карт областей найвищої якості (рівень 0 за стандартом USGS - геологічної служби США);

ВНЗ

- Можливість проведення лідарних зйомок при польотних місіях на великих висотах - до 5 500 м.

Завдяки частоті повторення імпульсів 2 МГц та оптиці для збору чутливості Leica TerrainMapper збільшує швидкість збору даних в порівнянні з висотою польоту, дозволяючи вам проходити великі смуги для будь-якої заданої щільності точок. Домогтися більш ефективного планування польоту і рівномірного розподілу точок для висот польоту від 300 до 5500 м над рівнем моря з використанням до 35 імпульсів в повітрі і без обмежень дальності воріт.

Інтелектуальне рішення

Лідар TerrainMapper є частиною бортового рішення Leica RealTerrain, що об'єднує апарат з програмним забезпеченням для обробки поста Leica HxMap. ПЗ Leica HxMap має наступні особливості:

- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- Висока пропускна здатність;
- Відсутність обмежень: обробка даних з декількох робочих станцій;
- Прискорений процес передачі кінцевих даних замовнику;
- Легкий процес освоєння програми.

CountryMapper повною мірою використовує унікальний досвід Leica Geosystems у поєднанні провідних у галузі зображень і модулів датчиків LiDAR у високоефективні гібридні бортові системи. Модулі камери Leica MFC150 на основі CMOS використовують справжню механічну компенсацію руху вперед (FMC), щоб забезпечити найкращу в галузі якість зображення навіть на вищих швидкостях літака та в складних умовах освітлення. Новий блок Hyperion3 LiDAR має кут огляду 60 градусів, що покращує продуктивність і гнучкість системи порівняно з попередніми модулями LiDAR, а зменшена розбіжність лазера забезпечує більшу планіметричну точність і краще проникнення в листя. CountryMapper повністю інтегрується з наскрізним робочим процесом мультисенсорної обробки Leica HxMap, що забезпечує розподілену обробку зображень і хмар точок для оптимізації продуктивності для дуже великих наборів даних.

ВПЗ

**Встановлення нових стандартів продуктивності в галузі бортового картографування.**

Системи візуалізації та LiDAR охоплюють ту саму смугу одночасно, забезпечуючи максимальну узгодженість часових і геометричних даних. Гібридна система максимізує точність зібраних даних і дозволяє створювати найповніші 2D і 3D продукти, підтримуючи такі додатки, як створення ортофото, картографування місцевості, гідрографія, моніторинг лісового господарства та управління інфраструктурою. Усуваючи необхідність літати з двома окремими системами візуалізації та LiDAR, CountryMapper збирає більше даних за меншу кількість годин польоту, значно знижуючи експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище. Власники датчиків попереднього покоління можуть використовувати свої початкові інвестиції та оновити свої системи до конфігурації CountryMapper.

«Постачальникам бортових даних довелося адаптувати свої пропозиції LiDAR і зображень, щоб підкреслити те чи інше. CountryMapper забезпечує обидва з найвищими рівнями продуктивності в одній конфігурації системи». сказав Лейтон Гоббс, директор лінійки Airborne продуктів у Hexagon."Завдяки своїй неперевершеній ефективності, точності даних і універсальності застосування, новий датчик готовий трансформувати проекти картографування великих територій. Спираючись на наш успіх із Leica CityMapper, CountryMapper продовжує розширюйте межі гібридного бортового картографування, надаючи клієнтам високопродуктивне та універсальне рішення, яке змінює наші галузеві стандарти».

Optech Pegasus ALTM — це високоефективне рішення для картографування на лідарі, розроблене для максимальної ефективності збору, точності даних і високої щільності точок. Багатолазерний датчик Pegasus містить повністю вбудовану ортометричну камеру високої роздільної здатності та надає надзвичайно щільні та багаті на інформацію набори даних. Pegasus забезпечує найвищу



*Рис. 5.2 Optech Pegasus ALTM*

ВПЗ

щільність точок і точність даних за найнижчої вартості за квадратну милю/км.

Переваги Pegasus

Широкий кут огляду в поєднанні з найвищою робочою висотою та можливістю виявлення забезпечують найвищу ефективність збору даних, доступну на ринку

Конструкція вставного датчика встановлюється в глибокі портали з необмеженим використанням усього кута зору

Висока точність забезпечує високоякісні набори даних

Багатолазерна конструкція забезпечує вдвічі більшу ефективність збору та щільність даних, ніж однолазерні системи

Повністю вбудована цифрова камера середнього формату забезпечує одночасне отримання зображень із високою роздільною здатністю

Таблиця 5.1 Характеристики Optech ALTM PEGASUS HA500

| Характеристика | Показник |
|---|---|
| Висота зйомки (над середнім рівнем рельєфу) | 800 м |
| Швидкість носія | 190 км/год |
| Частота імпульсів сканера | 500 КГц |
| Поле зору сканера | 60 градусів |
| Щільність точок лазерних відбитків, щонайменше | 5 на кв. м |
| Середня помилка визначення планових координат точок, не гірше | 25 см |
| Середня помилка визначення висоти точок, не гірше | 15 см |
| Розмір сторони пікселя аероснімку на землі, не більше | 10 см |
| Поздовжнє перекриття знімків | 60% |
| Поперечне перекриття знімків | 30% |

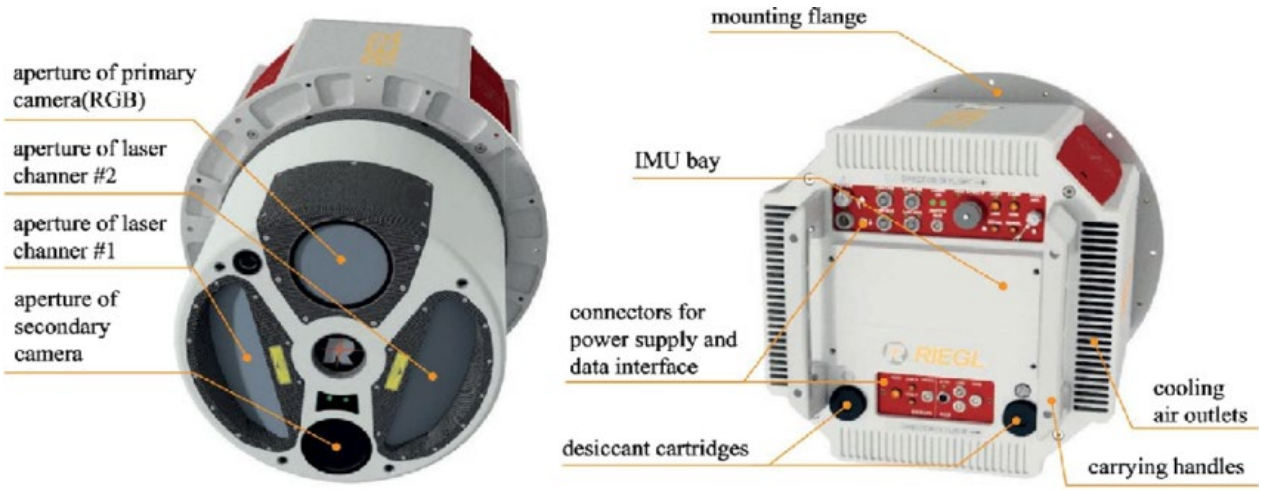



*Рис. 5.4 RIEGL VQ-1560i-DW*

RIEGL VQ-1560i-DW (Рис. 5.4 ) - це бортова скануюча система LiDAR, що пропонує два LiDAR канали з різною довжиною хвилі, зелений та інфрачервоний (IR). Ці довжини хвиль добре підібрані, що дає змогу отримувати дані сканування з додатковим інформаційним змістом, що дає змогу отримати дві незалежні карти розподілу відображень, по одній на кожну довжину хвилі лазера.

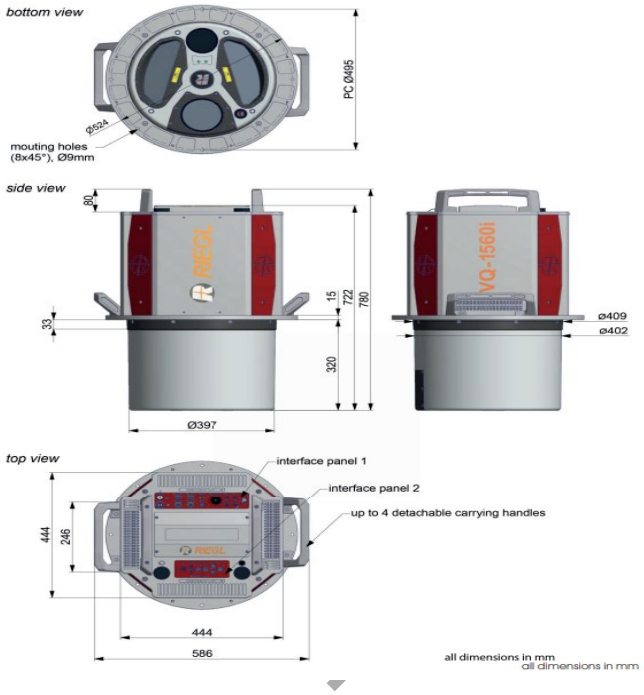



*Рис. 5.5 Параметри габаритів RIEGL VQ-1560i-DW*

Скануючі дані, отримані за допомогою RIEGL VQ-1560i-DW, є вихідними для методів обробки скануючих даних, які добре себе зарекомендували, а також для розроблення високотехнологічних алгоритмів обробки та оцінки даних для нових галузей застосування, як-от картування рослинності в сільському та лісовому господарстві. Таким чином, VQ-1560i-DW пропонує інноваційні технології як для комерційного, так і для наукового та дослідницького застосування. VQ-1560i-DW забезпечує

частоту повторення лазерного імпульсу до 1 МГц на канал LiDAR, унаслідок чого на землі проводиться загалом понад 1,3 мільйона вимірів на секунду.

VQ-1560i-DW працює з максимальною продуктивністю при об'єднанні обох каналів LiDAR, як правило, на висоті до 8300 футів. Однак кожен канал також підготовлений до роботи в автономному режимі. Така можливість вибору каналу в поєднанні з узгодженою лінійкою вимірювальних програм, а також широко варійовані параметри сканування забезпечують максимально можливу гнучкість для задоволення специфічних вимог складних сценаріїв застосування. Система комплектується високопродуктивним блоком IMU/GNSS і двома додатковими камерами. 150-мегапіксельну камеру RBG призначено для використання як первинну камеру, а також як вторинну камеру, в яку можна вбудувати тепловізійну або БІК-камеру.

## 5.2 Дослідження напрямів роботи лідарних режимів та їхнє порівняння (звичайний режим, режим Гейгера, одинарний фотон).

Лазерне сканування ґрунтується на використанні оптично спрямованих лідарних пучків для збору інформації про об'єкт у прямих 3D-вимірах. Це дає змогу системі траєкторії будувати зображення надійно і точно. До середини 90-х рр. минулого століття технологія GNSS-IMU не була доступною для комерційноговикористання. Розвиток волоконно-оптичних гіроскопів (FOG), мікроелектромеханічних систем (MEMS) та створення загальнонаціональних мереж базових станцій GNSS сприяло успіху Lidar в геодезії та землеустрої.

Ефективність технології Lidar пояснюється її здатністю 3D-вимірювання та проникнення променів через рослинність для збору інформації про довкілля та глибини землі. Отримання інформації ґрунтується на принципах лазерного спектра. Традиційний спосіб отримання даних – це подання лазерного імпульсу до об'єкта і збір сигналу зворотного розсіювання. Обробка сигналу передбачає виявлення об'єкта на основі різних діапазонів променя світла з використанням вибору

ВПЗ

спектральних довжин хвиль для передачі збору даних. Лідарне знімання виконується для різних типів проєктів залежно від поставлених завдань. Наприклад, для картографування та цивільного будівництва використовують зйомки максимальної деталізації, дані якої отримують із низьких висот (50–300 м) на міліметровому рівні (наприклад, RIEGL VUX-240 або Optech ORION C300-1). Щільність даних цього рівня становить десятки або сотні точок на квадратний метр. Для дорожнього та міського планування часто застосовують сканування середньої висоти (400–1000 м), а щільність даних зазвичай становить близько двох десятків точок на квадратний метр. Картографічні польоти дрібних масштабів проводять на висоті 2000 м і вище. Щільність даних менше десяти точок на квадратний метр, як правило, 1–2. Сучасними приладами цього напряму застосування на ринку є Leica Terrain Mapper, Optech ALTM Pegasus і RIEGL VQ-1560i. Зазначимо, що найбільш точний сигнал записується за допомогою повного сигналу Lidar. Політ у режимі Гейгера та однофотонної технології відтворюють ряд дискретної матриці. Збільшення кута сканування впливає на сигнал відповідно до змінюваного напряму світла через завіс. У теперішніх умовах аерофотознімання виявилось нерентабельним і малоефективним у зв'язку з великими матеріальними затратами на утримання та експлуатацію літального апарата та всього знімального комплексу, собівартість застосування літаків і гелікоптерів у десятки разів більша. Враховуючи те, що оновлення даних про той чи інший об'єкт є досить затратним, альтернативою класичному аерофотозніманню з літаків є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), яке нині широко застосовують в Україні та світі . Крім високої економічної ефективності (здешевлення в десятки разів), БПЛА мають додаткові переваги порівняно з традиційним аеро- та космічним зніманням (9): – невелика висота знімання – можливо виконувати знімання на висотах від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десяті сантиметра) на місцевості; – точковість – можливість детального знімання невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад в умовах міської забудови;

ВПЗ

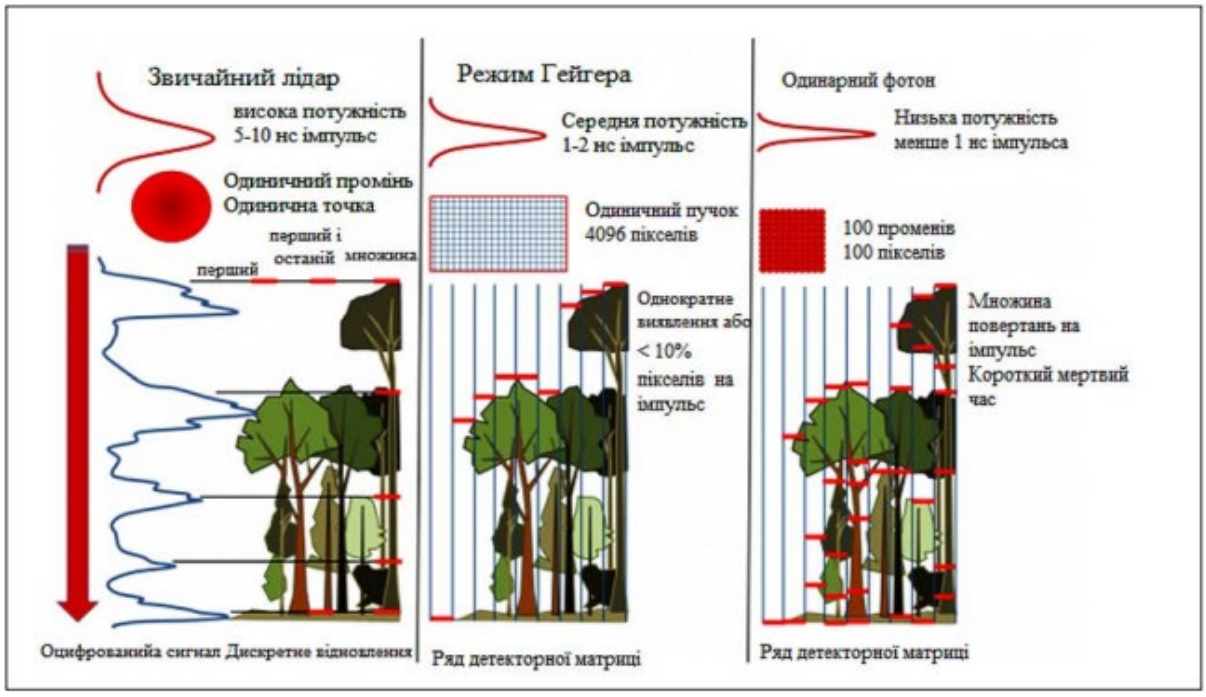



*Рис. 5.6 Режими лідару*

– мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів; – висока оперативність – увесь цикл, від виїзду на знімання до одержання результатів, займає кілька годин; – екологічна чистота польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище. Маршрутизація та зйомка дронами забезпечують легку для розгортання платформу, яка враховує вимоги аерофотозйомки. Нині є фактори, що обмежують використання безпілотних літальних апаратів – час експлуатації та розвиток державного правового регулювання. Зазначимо, що зйомка території безпілотниками використовується для потреб у різних інженерних проєктах, містобудівних і наукових завданнях. Сьогодні для додатків UAS-Lidar розроблені різні типи невеликих датчиків, які залежать від розміру безпілотника, наприклад: RIEGL MiniVUX-1UAVi Velodyne Buck LITE – у звичайній категорії, а Cepton SORA200 – у «твердотілій» розробці . Малі, але високопродуктивні датчики та дані у реальному часі є найбільш актуальними потребами для безпілотних літальних апаратів. Сучасні

системи не потребують наявності GNSS-IMU, а дані обробляються до локальної системи координат. Зазначимо, що все менші та більш спроможні GNSS-IMU, такі як NovAtel CPT7 або SBG Ellipse2-D, стають доступніші у використанні зі зниженням цін, прямого геопосилання та легкості наземного управління. Лазерне сканування без GNSS швидко розвивається. Системи складаються з недорогих лазерних сканерів й інерційних одиниць вимірювання. Дані Lidar використовуються, а в деяких випадках доповнюються візуальною одометрією від камер для компенсації миттєвих рухів датчиків, калібрування низькопродуктивних IMU і відстеження позиції датчика та / або платформи. Ці рішення для відображення забезпечують 3D-дані в режимі реального часу або в режимі реального часу для завдань із помірними потребами точності. Така розробка була можливою завдяки мініатюризації датчиків і SLAM, одометрії і картографії LIDAR (LOAM) і відповідних алгоритмів. Багатошарове сканування виявило достатню інформацію для оцінки руху платформи від одного сканування. Такими прикладами є системи Gexcel HERON, GeoSLAM Zeb Horizon і Kaarta Stencil, основою яких є сканер Lydar Puck компанії Velodyne. Зазначимо, що багато компаній планують вивести подібні сенсорні продукти на ринок, серед яких є пристрої від RoboSense і Ouster(12). Зазначимо, що однофотонна технологія є новим технологічним проривом для аеродинамічного лазерного сканування. Для однофотонних систем потрібен лише один виявлений фотон порівняно із сотнями або навіть тисячами фотонів у звичайному лідарі. Як результат, щільність імпульсів може бути досягнута в десятьсто разів вищою порівняно зі звичайними датчиками. Сучасні однофотонні датчики – Leica SPL100 і Harris Geiger-mode Lidar. Операційні відмінності показані на рисунку 1 у порівнянні зі звичайними. Обидві доступні однофотонні системи базуються на використані зеленого світла (532nm), що робить



*Рис. 5.7 Leica SPL100*

ВІДО

їх придатними для використання і батиметричного відображення . Підкреслимо, що зміни в обчислювальних хмарах і спектральні дані значно збільшують обсяги виробництва. Збільшена частота вимірювання та щільність хмари точок забезпечує ефективну та високого рівня деталізацію зображення. Поява державних кампаній із лазерного сканування в таких країнах, як Нідерланди, Швеція та Фінляндія, підкреслює необхідність автоматизованих методів обробки. У більш обмеженому масштабі багатовимірні хмари точок застосовують для виявлення змін – як у міських районах, так і в природному довкіллі – для управління земельними ресурсами та боротьби з небезпеками, ефективно показуючи потенціал багатовимірних 3D-даних. Періодична повторюваність сканування територій на загальнодержавному рівні дасть змогу виявити різний спектр проблем і геометричні зміни в довкіллі. Крім того, у міських умовах автоматизована генерація простих будівельних моделей стала типовим підходом для 3D-моделювання міста. Введено кілька алгоритмів детального моделювання будівлі, що потенційно підвищує рівень деталізації в автоматизованому моделюванні. Подібним чином були введені алгоритми для моделювання об'єктів дорожнього середовища з густих мобільних ділянок точок лазерного сканування. У природному середовищі та лісовому господарстві набори даних хмари точок застосовуються як для отримання інформації про хід процесів на великих територіях (наприклад, для гідравлічного моделювання та аналізу повеней, так і для вивчення процесів вічної мерзлоти), а також детальне моделювання окремих дерев для оцінки лісових ресурсів і біомаси.



*Рис. 5.8 Harris Geiger-mode Lidar*

Сучасні топографічні бази даних зазвичай базуються на аерофотознімках і підтримуються національними картографічними агентствами із значним обсягом ручної праці. Розробки в галузі лазерного сканування й обробки хмари точок могли б забезпечити значну економію коштів за допомогою автоматизації процесів картографування з поліпшеною

продуктивністю та якістю даних. Мультимодальні дані Lidar усе більше будуть використовуватися в майбутньому завдяки розробленню та доступності високотехнологічних датчиків. Більш невеликі системи з подібними або поліпшеними характеристиками забезпечуватимуть застосування практично будь-якої платформи для керування Lidar для відображення та зйомки. Літаки, безпілотні літальні апарати, транспортні засоби та портативні системи картографування слугують засобом збирання додаткових даних практично для будь-якого уявного завдання. Нові однофотонні технології мають найбільший потенціал як сенсорне рішення для забезпечення щільних точкових хмар із низькими витратами на придбання даних на рівні держави. Мультимодальне лазерне сканування забезпечує більш детальними даними досліджених об'єктів. Щільні хмари точок із мультиспектральною інформацією забезпечують дані для автоматизованого моделювання робочих процесів і додатків прямої візуалізації, формуючи майбутні топографічні бази даних, що є важливим інструментом підвищення ефективності управління земельними ресурсами та інфраструктурою міських територій, а також стануть основою для проведення майбутніх досліджень.(2).

### 5.3 Ефективність застосування безпілотних літальних апаратів при проведення лідарної зйомки.

В сучасному світі велику увагу приділяють впровадженню новітніх технологій для покращення різноманітних галузей, і лідарна зйомка за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стала однією з важливих інновацій у сфері збору геопросторової інформації. Цей розділ розглядає ефективність застосування БПЛА для проведення лідарної зйомки та його вплив на різні 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.



ВПЗ

Літаючий лазерний сканер - нове рішення максимально просте у використанні, але при цьому ефективне 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(15).

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.

**Основні переваги використання БПЛА в поєднанні з лідаром:**

- Доступ до недоступних місць: потужність LiDAR полягає в його здатності збирати дані у важкодоступних місцях, будь то високі гори, густі ліси чи нерівні ландшафти.
- Ефективність завдяки автоматизації: переважно автоматизовані процеси LiDAR роблять його більш ефективною альтернативою традиційним методам зйомки, які вимагають значної ручної участі.
- Висока точність на великих територіях: за допомогою LiDAR можна сканувати величезні простори, забезпечуючи при цьому першокласну точність результатів.
- Можливості проникнення: LiDAR може бачити крізь рослинність та інші перешкоди, забезпечуючи точне нанесення на карту землі під ним.
- Ефективність витрат і часу: згідно з дослідженням, послуги LiDAR зазвичай варіюються від 6500 до 9000 доларів США на день, а вартість може досягати 12 000 доларів США залежно від конкретних

потреб клієнта. Однак великий обсяг і багатоденне використання можуть призвести до значних знижок. Вартість LiDAR-зйомки безпілотника може змінюватися залежно від таких факторів, як рівень точності, необхідні результати, розмір території, тип рельєфу та віддаленість місця розташування. Інтеграція легких датчиків LiDAR у комерційні дрони ще більше знизила витрати, пов'язані з картографуванням LiDAR.

- Удосконалені рішення LiDAR: YellowScan Vx15-100, наприклад, є висококласним рішенням для картографування БПЛА LIDAR. Він включає датчик Riegl Mini-VUX-1UAV LiDAR і Applanix APX-15 БПЛА, що робить його найкращим вибором для професіоналів, яким потрібна точність.

**Основні недоліки використання БПЛА в поєднанні з лідаром:**

- Вимоги до кваліфікованого аналізу даних: складні дані, зібрані LiDAR, вимагають передових методів аналізу, що потенційно може збільшити вартість проекту.
- Обмеження щодо висоти над рівнем моря: робоча висота LiDAR обмежена 500-2000 м, що робить його непридатним для проектів на великих висотах .
- Занепокоєння історичними витратами: Традиційні методи захоплення LiDAR передбачали використання пілотованих літальних апаратів, що супроводжувалося значними експлуатаційними витратами.

Підсумовуючи, зазначимо, що картографування БПЛА LIDAR з його безліччю переваг, безсумнівно, є силою, з якою доводиться рахуватися у сфері топографічного картографування. Незважаючи на те, що він пов'язаний зі своїми труднощами, переваги, особливо в поєднанні з універсальністю дронів, роблять його кращим вибором для багатьох проектів. Оскільки технології продовжують розвиватися, цікаво уявити майбутні можливості та досягнення, які відкриє LIDAR Mapping UAV(16).

### 5.4 Хмара точок як первинний результат роботи обладнання у рамках проведення лідарної зйомки

Хмара точок – це цифрове представлення тривимірного простору, що складається з великого набору точок даних або координат (рис. 3.9). Кожна точка даних у хмарі точок представляє певну позицію в просторі та може містити додаткову інформацію, таку як колір, інтенсивність або коефіцієнт відбиття. Хмари точок зазвичай створюються шляхом отримання даних із різних джерел, як-от лазерних сканерів, лідарних систем або методів фотограмметрії.

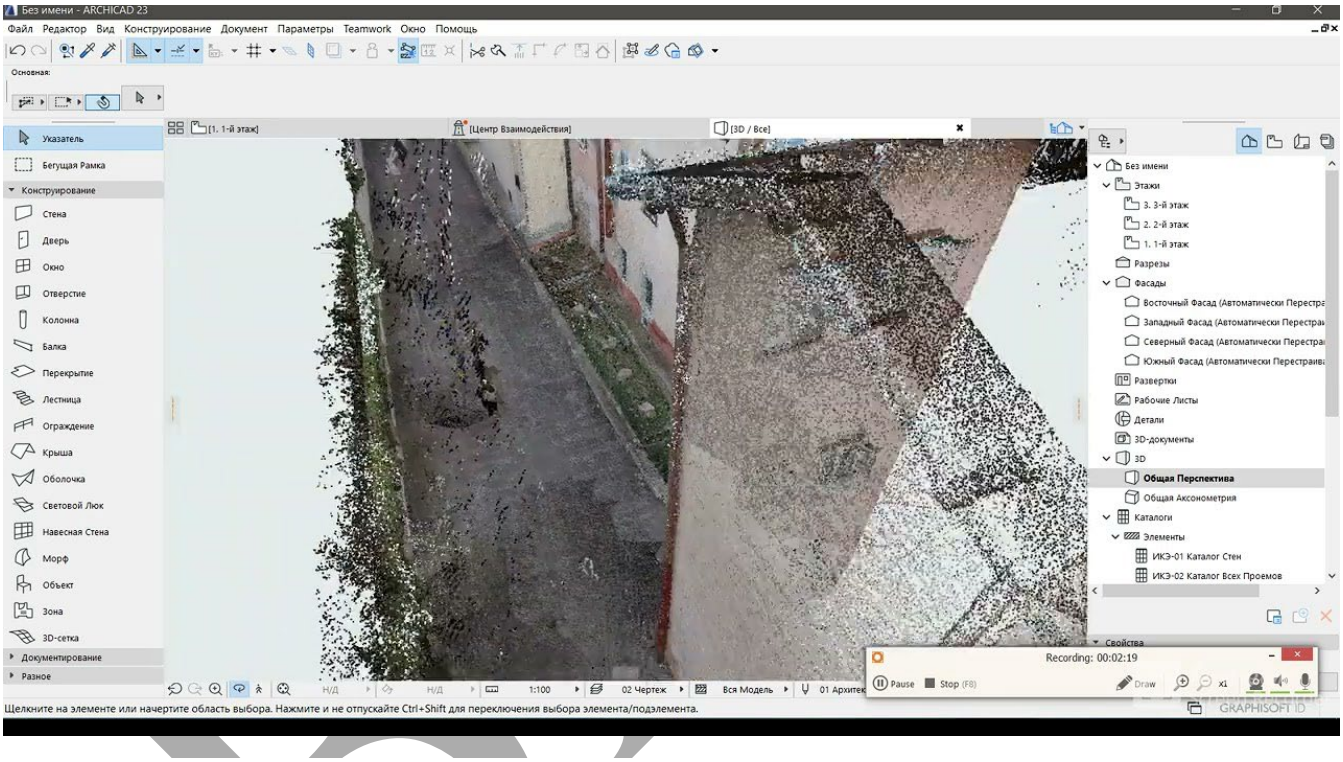



*Рис. 5.9 Хмара точок*

Точки даних у хмарі точок зазвичай генеруються шляхом випромінювання лазерних променів або захоплення зображень з різних точок зору. Ці методи збору даних дозволяють збирати мільйони або навіть мільярди точок, щільно покриваючи поверхню або об’єм об’єкта чи сцени. Хмари точок зазвичай використовуються в таких сферах, як комп’ютерний зір, робототехніка, віртуальна реальність і 3D-моделювання.

Хмари точок забезпечують насичене та детальне представлення геометрії та просторових характеристик об’єктів або середовища. Їх можна використовувати для різних цілей, зокрема для розпізнавання та класифікації об’єктів, реконструкції

поверхні, відстеження руху та аналізу сцени. Дані хмари точок також можна обробляти та маніпулювати ними для отримання певної інформації, як-от обчислення відстаней, об'ємів або виконання статистичного аналізу зібраних даних.

Для ефективної візуалізації та роботи з хмарами точок часто використовується спеціалізоване програмне забезпечення та алгоритми. Ці інструменти дозволяють користувачам маніпулювати, фільтрувати та аналізувати дані хмари точок, витягувати значущі функції та створювати точні представлення оригінальних об'єктів або сцен. Хмари точок стали важливим ресурсом у багатьох галузях промисловості, надаючи цінну інформацію та створюючи передові програми в різних сферах: від архітектури та міського планування до археології та автономного водіння.

Класифікатор. Класифікація хмари точок: Групуючи певні точки в класи об'єктів: рослинність, будівлі, штучні об'єкти і точки на землі, ви можете отримати класифіковану модель місцевості. Подібна класифікація може бути корисна для різних галузей застосування. В процесі класифікації є можливість відредагувати отриману хмару точок і тим самим отримати вихідні дані найкращої якості.

Важливою перевагою використання класифікації й істотне підвищення швидкості роботи з хмарами точок, а також економія місця на диску: можна вирішувати різні завдання з точками, наприклад, тільки рельєфу (вирішуючи завдання моделювання рельєфу), тільки ЛЕП або будівель (працюючи над відображенням ситуації), маючи тільки одне вихідну хмару точок з виконаної класифікації.

Під час виконання робіт зі створення ЦММ за хмарами точок першим завданням є виділення (класифікація) рельєфу - точок хмари, що належать до земної поверхні. Точки шумів нижче від рельєфу можуть призвести до некоректної класифікації рельєфу, тому необхідно попередньо їх видалити або класифікувати як шум і вилучити з подальшого оброблення.

Весь масив («хмара точок») повинен бути поданий поверхнями, що математично описуються. Це потрібно для того, щоб можна було надалі використовувати дані в CAD-системах або ж при 3D-моделюванні. Тому в

програмний комплекс входить великий набір прикладних програм, який дає змогу створювати прості математичні поверхні (сфера, циліндр, конус, площина тощо). Або використовувати апарат апроксимації поверхонь (наприклад TINповерхня). Отримані результати подають у стандартних форматах, які дають 68 змогу їх експортувати в системи автоматичного проєктування та в різноманітні системи прийняття інженерних чи інших рішень. Для користувачів лазерних скандувальних систем дуже важливою є точність отриманих просторових координат. Задекларована фірмамивиробниками точність здебільшого не збігається з реальними характеристиками, тому кожна система повинна бути досліджена на точність. Прослідковується аналогія з підходами, що здавна існують у фотограмметрії (калібрування знімальних систем та калібрування вимірювальних приладів). На точність отримання координат сканерними системами впливають:

– точність визначення віддалі;

– характеристика розрізненості;

– граничні ефекти (розмитість сигналів);

– відбивна здатність поверхонь;

– фізичний стан середовища, в якому поширюється лазерний промінь.

Дослідники розробили спеціальні тест-об’єкти, які дають змогу виявити інтегральну точність кожної з досліджуваних систем.

ВІЗ

# 6 Програмні засоби обробки первинних результатів одержання цифрової геопросторової інформації.

## 6.1 Класифікація програмних засобів обробки даних лідарної зйомки.

Обробка даних лідарної зйомки вимагає високоспеціалізованих програмних засобів для ефективного використання отриманих геопросторових інформаційних наборів. Класифікація таких програмних продуктів може базуватися на функціональності, спрямованій на обробку та аналіз лідарних даних.

**Геоінформаційні системи (ГІС):**

ГІС-програми є ключовим інструментом для обробки лідарних даних. Вони дозволяють імпортувати, аналізувати та візуалізувати геопросторові дані. Найпопулярніші ГІС-програми, такі як ArcGIS, QGIS, або ENVI, забезпечують широкий спектр інструментів для обробки лідарних відомостей.

ГІС забезпечують імпорт лідарних даних та їх інтеграцію з існуючою географічною інформацією. Після імпорту ГІС проводять фільтрацію та класифікацію точок, видаляючи артефакти та виділяючи об’єкти і рельєф. Великий обсяг точок обробляється і використовується для створення векторних моделей об’єктів та рельєфу.

ГІС дозволяють аналізувати та візуалізувати дані лідару, створюючи цифрові висотні моделі, контурні лінії, та інші географічні продукти. Крім того, вони допомагають в інтеграції лідарних даних у різноманітні сфери, такі як міське планування, лісове господарство, геологічні дослідження та інші галузі, де точні топографічні та геометричні дані є критично важливими.

**Спеціалізовані лідарні пакети:**

Існують програмні засоби, розроблені спеціально для обробки лідарних даних. Наприклад, LASTools, Fusion, або TerraScan. Вони надають розширені функції для



ВПЗ

фільтрації, класифікації, та моделювання точок, що робить їх ідеальними для завдань, пов’язаних з аналізом та реконструкцією територій.

Спеціалізовані лідарні пакети представляють собою програмне забезпечення, спеціально розроблене для обробки та аналізу даних, отриманих з лідарних зйомок. Ці пакети володіють рядом функцій та інструментів, які сприяють ефективній обробці та використанню лідарних даних. Вони забезпечують високий рівень автоматизації та точності в різних застосуваннях.

Спеціалізовані лідарні пакети включають у себе засоби для фільтрації та класифікації точок, видалення артефактів, створення цифрових моделей рельєфу та інших продуктів. Вони дозволяють користувачам легко взаємодіяти з тривимірними даними, визначати об’єкти, проводити геоінформаційний аналіз та генерувати високоякісні векторні та растрові картографічні продукти.

Ці пакети також можуть включати інструменти для роботи з об’ємами даних, виявлення змін в місцевості, аналізу структур та розпізнавання об’єктів на знімках. Інтерфейс користувача спеціалізованих лідарних пакетів зазвичай розроблений таким чином, щоб забезпечити зручну роботу та навігацію через різні функції програми.

Ці пакети грають ключову роль у великій кількості галузей, включаючи геодезію, лісове господарство, картографію, архітектуру, геологію, міське планування та інші області, де точні геопросторові дані мають велике значення.

**Програми для візуалізації точок хмари:**

Цей тип програм орієнтований на візуалізацію великих обсягів точок хмари. Програми, такі як CloudCompare, покликані полегшити відображення та взаємодію з точками хмари даних лідару в тривимірному просторі.

Програми для візуалізації точок хмари володіють рядом інструментів, що дозволяють користувачам взаємодіяти з тривимірними даними, отриманими з лідарних зйомок, у зручний та інтуїтивно зрозумілий спосіб. Ці програми спрощують сприйняття великої кількості точок, розташованих у тривимірному просторі, та надають можливість візуально вивчати геопросторові дані.

ВПЗ

Програми для візуалізації точок хмари дозволяють відображати точки в різних кольорах, залежно від їх класифікації або інших властивостей. Користувачі можуть встановлювати параметри відображення, такі як прозорість, розмір точок, колір підсвічування та інші.

Ці програми часто підтримують можливість накладання додаткових геопросторових даних, таких як ортофотознімки чи векторні шари, на точкові хмари. Вони також можуть включати інструменти для вимірювань в тривимірному просторі, обрізки даних, створення скріншотів та інші опції для подальшого аналізу та спільної роботи з даними.

Ці програми грають важливу роль у великій кількості галузей, зокрема геодезії, архітектури, міського планування та інших, де візуалізація тривимірних геопросторових даних є важливою частиною процесу аналізу та прийняття рішень.

**Бібліотеки та SDK:**

Розробницькі набори, такі як PDAL (Point Data Abstraction Library) чи libLAS, надають функціональність для розробки власних програм обробки лідарних даних. Вони дозволяють розробникам створювати власні рішення, спрямовані на конкретні завдання.

Бібліотеки та набори розробницьких інструментів (SDK) для обробки даних лідарної зйомки надають розробникам програмний інтерфейс та набір інструментів для роботи з тривимірними геопросторовими даними. Вони дозволяють ефективно взаємодіяти з лідарними точковими хмарами та виконувати різноманітні операції з обробки та аналізу цих даних.

Бібліотеки та SDK часто мають вбудовані функції для класифікації точок, фільтрації шуму, створення цифрових моделей рельєфу, визначення висот та інших важливих характеристик ландшафту. Вони можуть підтримувати різні формати даних лідару, що дозволяє розробникам працювати з різними типами обладнання та форматами збереження.

Ці інструменти забезпечують розширені можливості для автоматизації обробки та аналізу даних лідару, що дозволяє розробникам ефективно

ВПЗ

використовувати ці дані в своїх програмах та проектах. Бібліотеки та SDK спрощують інтеграцію лідарних технологій у різноманітні програмні застосунки, забезпечуючи швидкий та зручний доступ до тривимірних геопросторових даних.

**Програмні комплекси для великих обсягів даних:**

З огляду на великі обсяги даних, що характерні для лідарних зйомок, деякі програмні засоби спеціалізуються на роботі з великими обсягами інформації. Наприклад, Hadoop, Spark, або Amazon AWS, які надають інфраструктуру для обробки великих наборів даних у розподілених системах. Програмні комплекси для великих обсягів даних включають інструменти для швидкої обробки, аналізу та візуалізації великих обсягів точкових хмар, які можуть складатися з мільйонів і навіть мільярдів точок. Вони надають можливість ефективно виконувати операції класифікації точок, виявлення об’єктів, створення цифрових моделей рельєфу та інші аналітичні завдання.

Ці програмні комплекси зазвичай оптимізовані для роботи з великими даними та можуть використовувати розподілені системи обчислень для прискорення обробки. Вони забезпечують високу швидкість та продуктивність при роботі з великими наборами лідарних даних, що дозволяє ефективно використовувати ці дані у великих та складних проектах.

Програмні комплекси для великих обсягів даних допомагають вирішувати завдання обробки та аналізу геопросторової інформації, яка отримується за допомогою лідарних технологій.

Ця класифікація показує різноманітність програмних рішень, призначених для обробки лідарних даних, і дозволяє користувачам обирати інструменти, які накращим чином відповідають їхнім конкретним завданням та потребам.

ВПЗ

## 6.2 Дослідження програмних засобів обробки даних лідарної зйомки. (На прикладі ArcGIS і QGIS)

### ArcGIS

ArcGIS – комплекс геоінформаційних програмних продуктів американської компанії ESRI. Застосовуються для земельних кадастрів, у завданнях землеустрою, обліку об'єктів нерухомості, систем інженерних комунікацій, геодезії та надрокористування та інших областях. Сімейство продуктів під маркою ArcGIS поділяється на настільні та серверні.

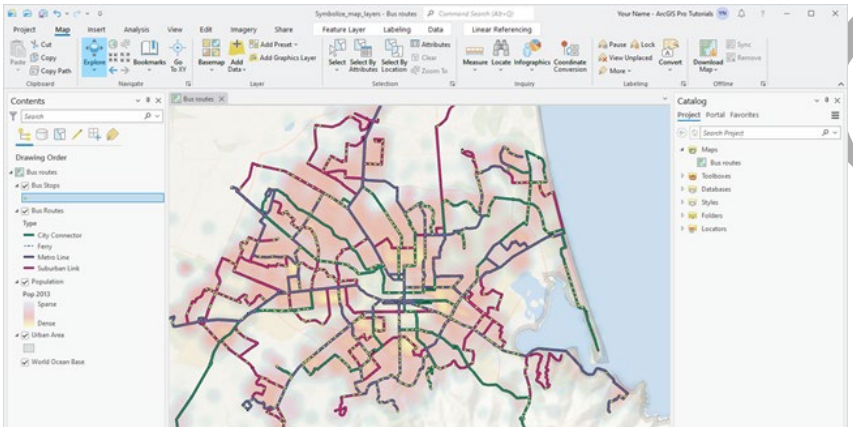


*Рис. 6.1 Інтерфейс ArcGIS*

Основні продукти настільної лінійки - ArcView, ArcEditor, ArcInfo, - кожен наступний включає функціональні можливості попереднього. Крім того, до настільної лінійки входять безкоштовні програми ArcReader (для перегляду даних, опублікованих засобами ArcGIS) та ArcGIS Explorer (полегшений настільний клієнт для ArcGIS Server).

Основний серверний продукт - ArcGIS for Server, призначений для розрахованих на багато користувачів геоінформаційних проектів з централізованим сховищем і необмеженим числом робочих місць, публікації інтерактивних карт в Інтернеті. Для публікації великих обсягів растрових даних випускається продукт Image Server, для зберігання просторових даних у СУБД та інтеграції з іншими інформаційними системами призначений продукт ArcSDE.

Крім того, окремими продуктами є інструменти для розробників (ArcGIS Engine та ArcGIS Runtime).

ВЦЗ

Постачається як окремий програмний продукт ArcPad — геоінформаційна система для кишенькових портативних комп'ютерів.

Додатково поставляються численні модулі для продуктів ArcGIS, що розширюють функціональні можливості продуктів, модулі розширення розробляються як ESRI, так і незалежними розробниками.

Компонент ArcCatalog надає інструменти для знаходження, попереднього перегляду, документування, організації географічних даних і створення складних баз геоданих. Цей додаток забезпечує каркас для організації великого і різнотипного зберігання даних ГІС. У ArcCatalog є великий перелік інструментів, що спрощує процес створення особистих баз геоданих, створення або імпорту класів просторових об'єктів та таблиць. Додаток ArcMap дозволяє створювати карти і працювати з ними. Можливості ArcMap:

— перегляд, редагування і аналіз географічних даних;

— створення запитів просторових даних, щоб знаходити і розуміти відношення між географічними об'єктами;

— створення діаграм та звітів.

Можливості ArcMap також дозволяють створювати карти, які інтегрують дані з великим різноманіттям форматів, включаючи покриття, таблиці, креслення AutoCAD, сітки, мережі нерегулярної тріангуляції. Для створення структури бази геоданих використовуються класи просторових об'єктів. Класи просторових об'єктів — це набір географічних об'єктів із загальним типом геометрії (точки, лінії, полігони), однаковим набором атрибутів і однаковою просторовою прив'язкою. В базах геоданих взаємопов'язані класи об'єктів часто групують в набори класів об'єктів. Це використовується для створення топологій для керування геометрією об'єктів, побудови геометричних мереж для шару інженерних комунікацій, отримання набору мережевих даних для визначення і оптимізації маршрутів. Існує чотири основних способи створення нового класу просторових об'єктів в базі геоданих:

— за допомогою ArcCatalog або вікна Catalog у програмі ArcMap;

ВІГЗ

— за допомогою інструменту георозробки «Створити клас просторових об’єктів»;

— зберегти вміст шару карти у ArcMap;

— конвертувати з зовнішнього джерела даних в клас просторових об’єктів бази геоданих (наприклад, конвертація шейп-файла або креслення САПР).

Пустий клас просторових об’єктів можна створити в дереві Каталога. Новий клас просторових об’єктів може бути створений у складі набору класів об’єктів або як автономний клас об’єктів бази геоданих. Вони також можуть бути частиною наступних структур:

— шейп-файлів;

— покриттів;

— даних САПР, SDC, VPF.

При створенні нового класу просторових об’єктів необхідно задати декілька властивостей класу об’єктів, що визначають його структуру. Ім’я класу просторових об’єктів ж унікальним ідентифікатором, що визначає цей клас просторових об’єктів. Найпоширеніший спосіб іменування класу просторових об’єктів це використання у назві поєднання заголовних і прописних букв або поєднання слів символом підкреслення. Створюючи клас просторових об’єктів необхідно дати йому назву, що вказує на те, які саме дані зберігаються у цьому класі. Назви класів просторових об’єктів в базі даних повинні бути унікальними. Не допускається використання однакових імен класів об’єктів в одній базі даних, навіть якщо вони знаходяться у різних наборах класів. Ім’я класу просторових об’єктів, вказане при створенні в ArcGIS, виглядає інакше при відображенні в базі даних. БД додає до імені класу ім’я схеми, в якій зберігається клас просторових об’єктів. У всіх БД, окрім Oracle, до імені класу також додається ім’я бази даних. Таке ім’я називається повним іменем класу просторових об’єктів. Наприклад, якщо користувач «User» створить клас просторових об’єктів під назвою «FeatureClass» у базі даних «Database», то повне ім’я класу просторових об’єктів буде виглядати як «Database.User.FeatureClass». Відповідно інші користувачі можуть створити у цій БД клас з таким самим іменем «FeatureClass», адже тоді повне ім’я класу просторових об’єктів буде виглядати як

ВГЗ

«Database.OtherUser.FeatureClass». Але все ж таки не рекомендується використання однакових імен класів, щоб уникнути плутанини. До того ж, немає потреби створювати інший клас, що зберігає ті ж дані, що і перший. Якщо ж дані не збігаються, то це має бути відображено у імені класу. Додаткові правила іменування:

— імена повинні починатись з літери, а не з цифри чи спеціального символа, такого як зірочка чи знак відсотку;

— імена не повинні містити пробіли;

— імена не повинні містити зарезервовані слова, такі як «select» чи «add»; — максимальна довжина назви класу просторових об’єктів у файловій базі геоданих дорівнює 160 символам.

Також не підтримуються назви таблиць і класів просторових об’єктів, що починаються з префіксів:

— gdb_;

— sde_;

— delta_.

Починаючи з версії ArcGIS 10 існує можливість перейменування полів в таблицях та класах просторових об’єктів. Таблиці та класи просторових об’єктів мають таку властивість, як псевдоніми. При створенні класу або таблиці об’єктів в базі геоданих можна одразу присвоїти їм псевдонім. Псевдонім — це альтернативна назва. Якщо присвоїти псевдонім класу чи таблиці просторових об’єктів, то саме ця назва буде відображена у таблиці вмісту ArcMap. Для імен полів існують ті самі обмеження, що для імен класів і таблиці просторових об’єктів. Також неможливо перейменувати наступні поля:

— ObjectID і GlobalID;

— будь-які службові поля Shape;

— поля Enabled, AncillaryRole або поля ваги мережі;

— поля представлення;

— поля, що використовуються для відслідковування редагування;

— поля первинного та зовнішнього ключів у класах відношень;

— поле підтипу;

ВІЗ

— поля растру.

Векторні об’єкти бувають різносторонніми і є часто використовуваними географічними типами даних. Вони добре підходять для представлення об’єктів з дискретними границями, таких як вулиці, земельні ділянки тощо. Просторовий об’єкт — це об’єкт, що зберігає своє географічне представлення, яке зазвичай передається у вигляді точки, лінії чи полігона, у якості однієї з властивостей у рядку. В ArcGIS класи просторових даних — це однотипні сукупності об’єктів з однаковим просторовим представленням і набором атрибутів, що зберігаються в таблиці бази даних, наприклад, клас об’єктів, що представляє полігони будівель. При розробці бази геоданих були застосовані такі типи просторових об’єктів:

— точки;

— лінії;

— полігони.

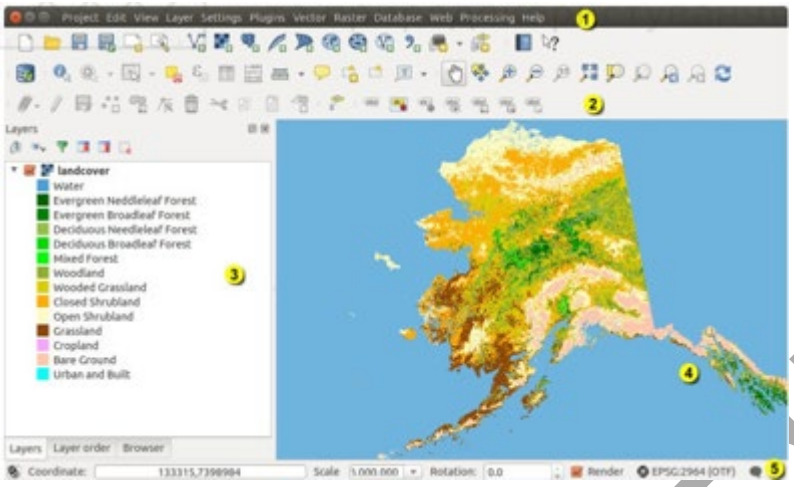
Точки зазвичай використовуються, коли просторовий об’єкт занадто малий, щоб позначати його полігоном, а також точкові місцерозташування. Лінії використовуються для відображення форми та місцезнаходження об’єктів, що занадто вузькі для використання полігонів, такі як мережі водопостачання, електропостачання тощо. Полігони — це набір багатосторонніх об’єктів, що відображають форму і місцезнаходження однорідних типів просторових об’єктів.

**QGIS.**

Quantum GIS – QGIS проста інструментальна ГІС з дружнім інтерфейсом. Це відкрита ГІС яка запускається під Linux, Unix, Mac OS X, та Windows. Відкриті системи характеризуються підтримкою різноманітних платформ, відкритий у більшості випадків початковий код, можливість роботи з різноманітними форматами даних, є можливість додавання власних алгоритмів обробки даних, модульний підхід. Quantum GIS може оперувати даними у наступних форматах: GRASS GRID, ESRI Arc/Info Grid, ESRI E00 Files, USGS SRTM Grid, MOLA Grid, SRTM30 DEM, Images (GIF, JPEG, BMP, PNG,XPM, TIFF), GDAL raster formats, Gstat Shapes, ODBC tables. Quantum GIS дозволяє зберігати інформацію у більш широкому і популярному

ВІТЗ

наборі форматів, при цьому використовуючи сучасну базу даних для зберігання. При першому запуску QGIS користувач бачить вікно, показане нижче (рис. 6.2).




Інтерфейс QGIS поділяється на п’ять областей:

1. Головне меню
2. Панель інструментів
3. Легенда
4. Область карти
5. Рядок стану

*Рис. 6.2 Інтерфейс QGIS*

Відкрийте файл ПроектНовый як приклад. Виберіть Слой/Добавить слой. У діалоговому вікні оберіть з папки НовийПроект файл Tochki.shp та відкрийте його. Натисніть на цей шару вікні легенди, тепер можна включати редагування. 7 Головне меню Головне меню надає доступ до всіх можливостей QGIS у вигляді стандартного ієрархічного меню. Нижче показані меню верхнього рівня і короткий опис їх вмісту, а також значки відповідних їм інструментів по мірі їх появи на панелі інструментів і комбінації клавіш клавіатури. Комбінації клавіш, описані в цьому розділі, задані за замовчуванням, але їх можна змінити, викликавши діалог налаштування з меню Установки ▸ Комбинации клавиш Незважаючи на те, що більшості пунктів меню відповідає свій інструмент, і навпаки, - меню і панелі інструментів організовані по різному. Панель інструментів, в якій знаходиться інструмент, показана після кожного пункту меню у вигляді прапорця.

**Панелі інструментів**

Панелі інструментів забезпечують доступ до більшості тих самих функцій, що і меню, а також містять додаткові інструменти для роботи з картою. Для кожного пункту панелі інструментів також доступна спливаюча підказка. Для її

ВІЗ

отримання просто затримайте мишу над пунктом панелі інструментів. Кожну панель інструментів можна переміщати в залежності від ваших потреб. Крім того, кожну панель інструментів можна приховати за допомогою контекстного меню, яке викликається клацанням правою кнопкою миші на відповідній панелі.

**Легенда**

Область легенди містить список всіх шарів проекту. Прапорець у кожного елемента легенди використовується для показу чи приховування шару. Виділений шар можна перетягувати вище або нижче інших шарів, міняючи їх порядок розташування. Порядок розташування шарів означає, що шари знаходяться ближче до верхньої частини легенди, відображених у вікні карти над шарами, перерахованими в легенді нижче. Шари можна об'єднувати в групи. Це можна зробити наступними способами: Помістіть курсор миші у вікні легенди карти, клацніть правою кнопкою миші і виберіть пункт Добавить групу. Введіть ім'я групи та натисніть Enter. Тепер можна виділити шар і перетягнути його на значок групи. Виберіть кілька шарів, викличте контекстне меню і виберіть Сгруппировать выделенное. Виділені раніше шари буду автоматично поміщені в нову групу. Виключити шар з групи можна перетягнувши його з групи на вільне місце в області легенди, або вибравши пункт Сделать элементом первого уровня в контекстному меню шару. Групи можуть бути вкладеними. Прапорець біля імені групи дає можливість перемикати видимість всіх шарів у групі однією дією. Зміст контекстного меню, доступного при натисканні правої кнопки миші на шарі, залежить від того, на якому шарі у вікні 14 легенди ви натиснули правою кнопкою - растровому або векторному.

**Область карти**

Це найбільш важлива частина QGIS - в цій області відображаються карти. Карта, яка відображається в області, залежить від того, які векторні і растрові шари завантажені в QGIS. Дані у вікні карти можна панорамувати (прокручувати, зміщувати фокус відображення карти на іншу область) і масштабувати (збільшувати або зменшувати). Також з картою можна виконувати багато інших операцій, які



ВТЭ

перераховані вище в описах меню і панелей інструментів. Область карти і легенда тісно пов’язані один з одним - карта відображає зміни, що вносяться в легенді.

Порада: масштабування карти за допомогою колеса миші.

Для збільшення та зменшення масштабу карти можна користуватися колесом миші. Помістіть курсор миші всередині області карти і обертайте колесо вперед (від себе) для збільшення масштабу (наближення) і назад для зменшення масштабу 17 (видалення). Масштабування проводиться щодо центру, яким є положення курсора миші. Поведінка колеса миші при масштабуванні, можна налаштувати на свій смак на вкладці Инструменти в меню Установки ‣ Параметри.

Порада: панорамування карти, використовуючи клавіші зі стрілками і клавішу пробілу.

Для панорамування (прокрутки) карти можна користуватися клавішами управління курсором (клавіші зі стрілками). Помістіть курсор миші всередині області карти, натисніть клавішу вправо для панорамування на схід, вліво - для панорамування на захід, вгору - для панорамування на північ і вниз - для панорамування на південь. Також можна панорамувати карту використовуючи клавішу пробіл: просто наведіть курсор мишею, утримуючи клавішу "пробіл».

**Рядок стану**

Рядок стану відображає поточну позицію в координатах карти (наприклад, в метрах або десяткових градусах) курсору миші при його переміщенні у вікні карти. Зліва від відображуваних координат в рядку стану, знаходиться маленька кнопка, яка дозволяє перемикатися між відображенням координат позиції курсора і координат меж виведення карти при масштабуванні і панорамуванні.

Поряд з полем відображення координат курсора показується масштаб карти. При масштабуванні це значення змінюється автоматично. Починаючи з QGIS 1.8 масштаб можна вибирати зі списку попередньо встановлених значень від 1: 500 до 1: 1000000.

Індикатор виконання в рядку стану, відображає процес відображення (рендеринга) кожного шару у вікні карти. У деяких випадках, таких, як підрахунок статистики в растрових шарах, індикатор стану використовується для відображення



ВГЗ

статусу тривалих операцій.

У випадку, якщо буде доступний новий модуль або оновлення для існуючого модуля, в рядку стану з'явиться нове повідомлення. Праворуч у рядку стану, знаходиться маленький прапорець, який використовується для тимчасового припинення відображення шарів у вікні карти. Натисканням на кнопку можна негайно припинити відображення карти.

Останнім праворуч в рядку стану знаходиться код EPSG поточної системи координат і значок Преобразование координат. Натискання на цьому значку відкриває вікно свойств поточного проекту з активною вкладкою Система координат.

Порада: обчислення правильного масштабу карти.

При запуску QGIS, одиницями виміру за замовчуванням є градуси, і передбачається, що будь-які координати в ваших шарах також задані в градусах. Для отримання правильних значень масштабу, можна вручну змінити одиниці шару на метри на вкладці Загальні пункту меню Установки ▸ Свойства проэкта, або вибрати систему координат (CRS) натисненням на значку Преобразование координат в правому нижньому кутку рядка стану. В останньому випадку, одиниці шару будуть встановлені відповідно до вказаних в системі координат, наприклад, «+ units = m»

## 6.3 Цифрові моделі місцевості як кінцевий варіант одержання геопросторової інформації про об'єкти реальної дійсності.

Цифрова модель місцевості – упорядкований список вихідних даних (цифр), призначений для математичного моделювання місцевості. У розв'язанні тих або інших задач використовують або планову частину відповідної карти, або висотну. Аналогічно в складі цифрової моделі місцевості можна виділити цифрову модель об'єктів (ситуації, контурів) і цифрову модель рельєфу.

Цифрові моделі місцевості можуть бути: **растрові, векторні, гібридні**.



ВІТЗ

- **Растрова модель даних** заснована на використанні регулярної решітки, елементи якої відображають певні ділянки вихідного об'єкта (зокрема - місцевості), називаються пікселями і характеризуються кольором і яскравістю.

Побудова автоматизованих систем великомасштабного картографування або проектування на основі растрової моделі даних утруднено, так гак не допускає виділення конкретних об'єктів (доріг, будівель, інших елементів або об'єктів). Тому така модель використовується для подання аналогових карт і планів з метою подальшого перетворення і створення на їх основі цифрової моделі місцевості або рельєфу, або в якості оглядового матеріалу.

- **Векторна модель даних** орієнтована на опис просторового положення об'єктів за допомогою примітивів перших чотирьох типів: точок, ліній, контурів і поверхонь і містить як координати відповідних елементів, так і деякі інші параметри.

- **Регулярна модель даних** також заснована на використанні регулярної решітки, але її елементи являють собою формалізовані описи властивостей відповідних їм фрагментів території або містять посилання на ці описи.

Сьогодні існує певна термінологічна неоднозначність в англомовних назвах продукції, що містить висотне подання земної поверхні, зокрема по цифрових моделях поверхні (ЦМП) та цифрових моделях рельєфу (ЦМР). Англомовними аналогами понять ЦМП та ЦМР прийнято вважати DSM (Digital Surface Model) та DTM (Digital Terrain Model).

DSM – висота видимої поверхні (цифрова модель місцевості (ЦММ), що відображає природний рельєф місцевості з рослинністю та різноманітними штучними перешкодами (будинками, деревами тощо), також відредаговані на моделі водні об'єкти, присвоєні їм однакові значення висоти).

DTM – точного визначення не існує, в деяких випадках розглядається аналогічно ЦМР (рис. 6.3).

DEM – висота рельєфу (цифрова модель рельєфу (ЦМР), що відображає природний рельєф місцевості).

Перша модель включає в себе висоти всіх точок на земній поверхні, а друга –



ВПЗ

висоти рельєфу або, як доповнення, висоти окремих об’єктів місцевості. Одночасно і перша, і друга моделі є DEM (Digital Elevation Model).

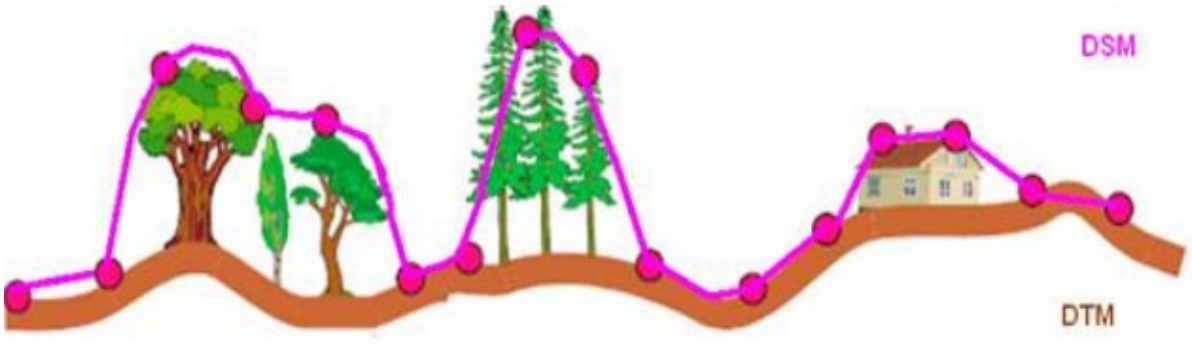



*Рис. 6.3Digital Elevation* Model

Основні види висотної інформації

Цифрова модель поверхні (ЦМП) (digital model, DM) – це інформаційна дискретна модель поверхні, що сформована для обробки на комп’ютері.

ЦММ, записана на машинний носій у певних структурах і кодах, являє собою електронну карту.

Визначальним у назві "цифрова модель" є те, що вона сформована в цифровому коді, який сприймає комп’ютер і може на цій основі здійснювати обробку даних.

При розв’язанні задач за допомогою комп’ютера застосовують математичну інтерпретацію цифрових моделей, яку називають математичною моделлю місцевості (МММ). Автоматизоване проектування на основі ЦММ і МММ скорочує витрати праці і часу в десятки разів порівняно з використанням для цих цілей паперових топографічних карт і планів.

Цифрові моделі поверхонь містять різні типи інформації (рис. 6.4). За аспектом просторових відношень виділяють метричну й атрибутивну типи інформації.

ВІТ

Метрична інформація визначає положення шляхом завдання абсолютних координат точок ЦМП і розмірів об’єкта шляхом відносних координат точок в умовних або місцевих системах координат. Характерною рисою метричної інформації ЦМП, отриманих за реальними вимірами, є характеристика точності. Вона обумовлена похибками вимірів і наступними похибками обчислень. Цей параметр визначає можливість застосування ЦМП при розв’язку практичних задач у різних масштабах.

Атрибутивна інформація в ЦМП визначає приналежність точок або об’єктів до

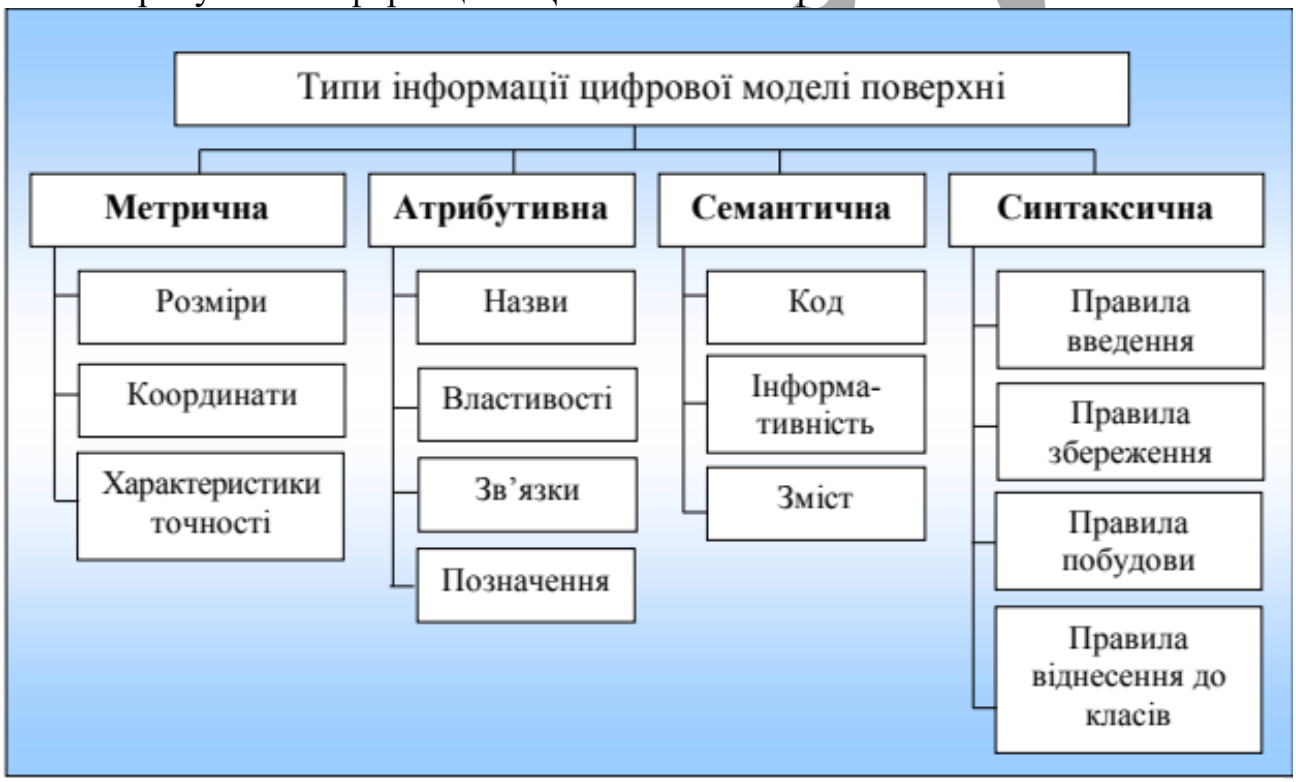



*Рис. 6.4 Основні типи інформації в цифровій моделі*

пев
ного класу або об’єкту (складний або простий об’єкт), описує властивості об’єктів і їх частин, задає взаємозв’язки й умови обробки, умови відтворення тощо. Вона розв’язує головну задачу знаходження просторових відношень.

Семіотичний аспект дозволяє розглядувати ЦМП як інформаційну модель, уводити у відомі в інформатиці оцінки коефіцієнт інформативності і коефіцієнт змістовності цифрової моделі.

За аспектом семіотичного аналізу виділяють семантичну і синтаксичну складові. Семантична частина інформації визначає її змістовну сторону, вона

пов’язана з кодуванням даних. Синтаксична частина інформації визначає набір правил і відношень роботи з цифровою моделлю як зі звичайною інформаційною моделлю. Вона пов’язана з класифікацією і правилами побудови моделей.

Аспект розгляду структури цифрової моделі дозволяє виділити в ній логічну і фізичну структури [78] (рис. 6.5).

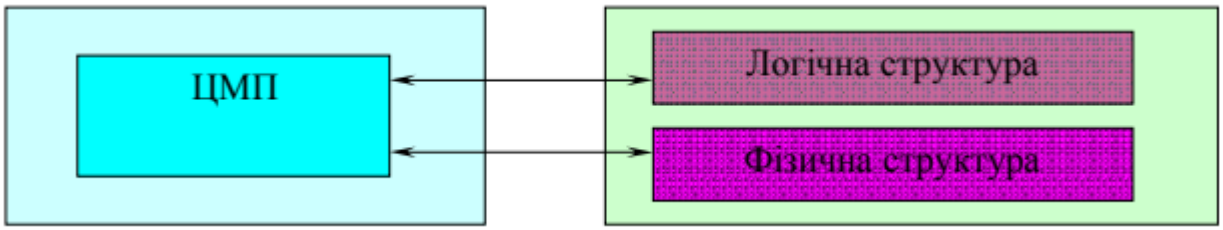



*Рис. 6.5 Структура ЦМП*

Компоненти ЦМП

Логічна структура ЦМП (рис. 6.6) визначається як сукупність схем і логічних записів, що описують дану ЦМП.




*Рис. 6.6 Логічна і фізична структура цифрової моделі поверхні*

Вона може включати схеми взаємозв’язку частин ЦМП в натурі, в базі даних, схеми взаємозв’язку властивостей ЦМП і схеми побудови ЦМП, містить логічні записи, що складають інформаційну основу. Елементом логічної структури ЦМП є логічний запис.

Логічна структура ЦМП описується об'єктною моделлю даних ГІС і створюється з урахуванням особливостей властивостей об'єктів, що мають координати, кількісний, якісний вираз, геометричну форму, характеристики взаємного розташування і взаємного впливу. Тому базовими є просторові характеристики геооб'єктів – геометричний опис форми у певному координатному просторі. Такі характеристики, як відомо, називають геометрією.

З точки зору геометричного моделювання всі моделі поділяються на точкові, лінійні, полігональні та поверхні. Всі об'єкти, що створюються в системі, незалежно від їх типу та інформаційного наповнення, належать до однієї з цих моделей.

Фізична структура ЦМП визначається способом реалізації логічної ЦМП на конкретній технічній основі. Вона задає формат запису даних, розміри кластерів, слів тощо. Елементом фізичної структури ЦМП є фізичний запис.

Ці дві частини є відповідністю даталогічної і фізичної моделей. Таким чином, ЦМП – це комп'ютерно-орієнтована модель і модель, що об'єднує даталогічну і фізичну моделі. ЦМП являє собою інформаційно-математичну модель, що поєднує природно-ресурсні геоінформаційні моделі територій на найнижчому природнокомпонентному рівні і включає формальний опис та подання всіх природних елементів території (рельєфу, гідрологічної мережі, ландшафту тощо).

ЦМП – це передусім просторовий каркас, що слугує основою для розв'язку низки задач, а тому ЦМП повинна створювати можливості для побудови й візуалізації аналітичної тривимірної топографічної поверхні та математичний апарат моделювання процесів у тривимірному геопросторі.

Цифрова модель місцевості – упорядкований список вихідних даних (цифр), призначений для математичного моделювання місцевості. У розв'язанні тих або інших задач використовують або планову частину відповідної карти, або висотну. Аналогічно в складі цифрової моделі місцевості можна виділити цифрову модель об'єктів (ситуації, контурів) і цифрову модель рельєфу.

ВНЗ

Цифрова модель об’єктів (ЦМО) – сукупність інформації про планове положення, характеристики об’єктів і зв’язки між ними. Іноді в технічній літературі її називають також цифровою моделлю ситуації (ЦМС) або контурів (ЦМК).

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – інформація про рельєф місцевості, що поданий сукупністю точок з відомими координатами і висотами, зв’язків між ними і способу визначення висот нових точок по їх відомих планових координатах.

## 6.4 Перспективні напрями застосування лідарної зйомки.

**Урбаністичні дослідження**

Лідарні дані у комбінації з ефективними алгоритмами обробки, зчитування та фільтрації даних мають широкий прикладний потенціал для їх використання у різних урбаністичних дослідженнях. Отримувана з лідарних даних тривимірна модель міської місцевості може суттєво полегшити вирішення низки завдань, що стосуються моніторингу місцевості, міського планування, відстеження змін тощо, але, крім того, тривимірне подання міського середовища відкриває можливість виділення нових урбогеосистемних властивостей міста, які складно було виявити на двовимірних картах. Такими властивостями можуть бути, наприклад, розподіл щільності забудови у міському середовищі, закономірності поширення різноманітних архітектурних форм та міської інфраструктури. З вилученням таких властивостей міста можна буде простежити різні проблеми міської забудови, різні конфлікти між будівлями окремих функціональних зон та в результаті запропонувати рішення щодо оптимізації забудови та запобігання таким проблемам у майбутньому. Тривимірне моделювання на підставі обробки даних лідарної зйомки місцевості може бути реалізовано в сучасних ГІС. Отримані моделі мають високу точність, а сам спосіб їх отримання є економічно ефективним. Таким чином, тривимірне моделювання виводить урбаністичні дослідження на якісно новий рівень. Важливою перевагою такого підходу є те, що сама обробка лідарних даних і подальша побудова моделей може бути повністю автоматизована, що дозволяє регулярно проводити лідарну зйомку міського середовища і відслідковувати будь-які істотні зміни

ВІЗ

просторової структури урбогеосистеми, які в свою чергу свідчать про зміни соціально-економічних характеристик міста (8).

**Військова сфера**

Ціль використання лазера (призначення) визначає вибір основних технічних характеристик лазера і вимоги до його конструкції. Всі перераховані якості дозволяють фокусувати лазерний промінь в пляму надзвичайно малого розміру, одержуючи в точці фокусу величезну густину енергії і температуру. Ці унікальні властивості лазерного випромінювання зробили лідарні системи незамінним інструментом в самих різних областях науки і техніки і особливо у військовій техніці.

Дистанція зондування (до 15 км для атмосфер- ного розсіяння і до 30…40 км при використанні природних топографічних відбивачів) забезпечує ефективне і безпечне застосування лідарних систем в різних умовах: на територіях військових дій, при проведенні спеціальних і антитерористичних операцій. Військове застосування лазерів включає як їхнє використання для виявлення цілей і зв'язку, так і застосування як зброю. Зараз, отримані такі параметри випромінювання лазерів, які здатні істотно підвищити тактикотехнічні дані різних зразків військової апаратури.

Основними напрямками розвитку лідарних технологій що є перспективними для використання у військових цілях є:

- *Застосування лідарів в локаційних оптико-електронних системах бачення (ЛСБ):* На основі лазерного випромінювання з високою спектральною інтенсивністю, спрямованістю і монохроматичністю, дозволяє формувати зображення видалених об'єктів з метою їхнього виявлення і розпізнавання в умовах недостатньої освітленості (вночі) або в поганих погодних умовах .
- *Застосування лідарів в системах лазерної локації:* Дозволяє виявляти і визначати місцеположення різної військової техніки (ракети, літаки, супутники-розвідники, військові кораблі і підводні човни, танки і



ВІТЗ

інша бронетехніка), а також військові об’єкти і споруди. В основі лазерної локації використовуються основні властивості імпульсів лазерного випромінювання: здатність відображатися від об’єктів і розповсюджуватися прямолінійно з постійною швидкістю.

- *Застосування лідарів в системах стеження:* За ракетами, літаками і супутниками, зарубіжними фахівцями розробляються стаціонарні лазерні локатори . Велике значення надається лазерним локаторам, включеним в систему ПРО і ПКО. На думку фахівців саме оптичний локатор забезпечує видачу точних координат головної частини або супутника в систему лазерної поразки цілі. Смуга пропускання злагоджена з довжиною хвилі випромінювання лазера, ніж забезпечення проходження на приймач тільки свого лазерного випромінювання.

- *Застосування лідарів в системах наведення:* У військовій авіації широко використовуються для розробок лазерних далекомірів і висотомірів, які дають високу точність вимірювання дальності або висоти, мають невеликі габарити і легко вбудовуються в систему управління вогнем, а також вирішують задачі по наведенню і цілевказанню.

- *Застосування лідарів в системах повітряної розвідки:* Дозволяє вести приховану розвідку в нічних і складних метеоумовах, а також в оперативні терміни обробляти, передавати і надавати матеріали, несучі інформацію з високою роздільною здатністю .

- *Застосування лідарів в прицільно–навігаційній системі:* Був розроблений голографічний лазерний індикатор на лобовому склі, який дозволив льотчику пілотувати літак візуально вночі і в складних метеоумовах, вирішувати задачу по виявленню цілей в стороні від маршруту і виробництву протизенітного маршруту і маневру атаки цілей.

- *Застосування лідарів у військовому зв’язку:* Поява лазерів

здійснила переворот в техніці військового зв'язку і запису інформації. Використання коротких електромагнітних хвиль лазерного випромінювання дозволяє передати в десятки тисяч разів більше інформації, ніж по високочастотному радіоканалу. Лазерний зв'язок здійснюється по оптичному волокну – тонким скляним ниткам, світло в яких за рахунок повного внутрішнього віддзеркалення розповсюджується практично без втрат на багато сотень кілометрів. Лазерним променем записують і відтворюють зображення.

- *Лідарний контроль метеопараметрів, погодо-кліматичних параметрів, в умовах підготовки і ведення бойових дій*: Лазерні локатори, працюючі у видимому і ІК – діапазонах хвиль, можуть застосовуватися для моніторингу наступних метеопараметрів: швидкості і напрямків горизонтального і вертикального вітру в приземних шарах атмосфери; турбулентності, вогкості і температури повітря, атмосферного тиску і інших параметрів .
- *Застосування лідарних систем для зондування морської акваторії:* Стоїть на озброєнні військових кораблів і підводних човнах при вимірюванні і внесенні в карти глибин, а також по виявленню природних і антропогенних об'єктів , що знаходяться як всередині так і на поверхні води рік, озер, морів і океанів.

**Лідар в автомобільній сфері**

У світі швидко змінюючихся технологій автопромисловості, лідари визначають новий вимір в розвитку безпеки, ефективності та комфорту автомобілів. Ця сенсорна технологія, що використовує лазерне випромінювання, має широкий потенціал в автомобільній індустрії.

Важливою перспективою є подальше вдосконалення систем безпеки автомобілів. Інтеграція лідарів дозволяє системам екстреного гальмування та уникнення зіткнень працювати з великою точністю навіть в умовах обмеженої



ВПЗ

видимості. Це робить водіння безпечнішим та сприяє зниженню аварійності.

Розвиток автономного водіння є іншою ключовою галуззю використання лідарів. Їх вмонтована 360-градусна обзорність надає системам повноцінну картину дорожньої ситуації, що стає основою для повністю автономних автомобілів. За допомогою лідарів, вони можуть точно визначати розташування і взаємодіяти з іншими учасниками дорожнього руху, що важливо для розвитку масового застосування автономій.

Лідари також мають великий потенціал для оптимізації систем адаптивного круїз-контролю та управління смугами руху. Вони забезпечують виявлення та відстеження інших транспортних засобів, дозволяючи автомобілю підтримувати безпечну відстань та уникаючи небезпечних ситуацій на дорозі.

У сфері автопромисловості, лідари можуть також бути використані для вдосконалення систем управління та підтримки водіїв. Вони можуть допомагати в розпізнаванні дорожніх знаків, розміщенні парковочних місць та визначенні оптимальних маневрів для підвищення ефективності водіння.

Зазначимо також, що потенціал лідарів ще далеко не вичерпаний. Інноваційні розробки в сфері обробки даних та штучного інтелекту дозволяють вдосконалювати алгоритми взаємодії лідарів з іншими системами та середовищем. Це відкриває нові перспективи для розвитку технологій, які можуть допомагати в управлінні рухом, прогнозуванні ситуацій на дорозі та вдосконаленні загального досвіду водіння.

Узагальнюючи, лідари виявляються ключовим компонентом для подальшого розвитку автомобільної промисловості. Вони надають безпрецедентні можливості для покращення безпеки, ефективності та автономності, роблячи дорожній рух більш безпечним та зручним для всіх учасників.

ВПЗ

ВИСНОВКИ

1) У результаті аналізу сучасних методів лідарної зйомки видно, що ця технологія стала важливим інструментом для отримання точних та високороздільних цифрових моделей місцевості. Лідарні системи забезпечують неперевершену точність вимірювань, що робить їх ефективними для використання в різних галузях, включаючи картографію, геологію, лісівництво та інші. Висока швидкість збору даних, можливість роботи в різних погодних умовах та невеликий вплив рослинності на результати сканування роблять лідарну зйомку ефективним методом для отримання геопросторової інформації. Однак, важливо відзначити, що існують виклики, такі як обробка великих обсягів даних та високі витрати на технічне обладнання, які вимагають подальших вдосконалень та досліджень у цьому напрямку.

2) Узагальнюючи обговорення, лідарні технології демонструють значні переваги та обмеження у своєму застосуванні. З одного боку, вони вирізняються високою точністю та роздільною здатністю, що робить їх ефективними для отримання детальних цифрових моделей місцевості. Можливість здійснення зйомок у різних погодних умовах і високий рівень автономії, особливо в безпілотних літальних апаратах, роблять їх важливим інструментом для великої кількості галузей, включаючи геодезію, картографію, лісівництво, археологію та інші.

З іншого боку, існують певні виклики, такі як високі витрати на технічне обладнання та складність обробки великих обсягів даних. Іноді обмеження взаємодії із землею та висока вартість обладнання можуть ускладнити широке впровадження цих технологій. Однак постійний розвиток та удосконалення лідарних систем можуть допомогти подолати ці виклики та забезпечити їхнє широке застосування в різних сферах.

3) Лідаргграметрія вирізняється великими перевагами, такими як висока точність вимірювань, незалежність від погодних умов та можливість



ВПЗ

швидкої обробки даних. У той же час існують виклики, пов'язані з вартістю та складністю використання, а також деякі обмеження, наприклад, необхідність додаткового аерофотознімання для створення ортофотокарт.

В цілому, лідаргграметрія визначається як ефективний інструмент для збору геопросторової інформації, що забезпечує важливі дані для різних дисциплін та галузей.

4) Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у лідарній зйомці супроводжується як перевагами, так і недоліками, визначаючи комплексний характер цієї технології.

Переваги використання БПЛА у лідарній зйомці включають гнучкість та маневреність. Здатність літати у важкодоступних областях, таких як гори чи ліси, дозволяє отримувати дані з різних кутів та забезпечує високу точність. Швидкість та ефективність БПЛА сприяють швидкому збору даних та покращенню ефективності зйомки. Масштабованість за допомогою різних конфігурацій лідару може покращити точність та роздільну здатність отриманих даних.

З іншого боку, недоліки використання БПЛА включають високі витрати на придбання та обслуговування, що може стати обтяжливим для бюджетів. Тривалість польоту обмежена енергоресурсами, що може ускладнити використання для великих обсягів робіт. Також, ефективне використання БПЛА вимагає кваліфікованих операторів та великого рівня обізнаності з технічним обладнанням.

Враховуючи ці аспекти, можна зазначити, що хоча використання БПЛА у лідарній зйомці відкриває нові можливості для збору геопросторової інформації, важливо бути свідомими як переваг, так і обмежень цієї технології.

5) Технологія лідарної зйомки має значний потенціал і великі перспективи в різних областях застосування. По-перше, вона є важливим інструментом для просторового моделювання та картографування рельєфу місцевості. Висока точність та швидкість збору даних лідару дозволяють отримувати детальні та точні цифрові моделі, що є важливими для вирішення завдань в геодезії, міському плануванні та дослідженнях природних ресурсів.

Далі, лідарна зйомка знаходить своє застосування в автономних автомобілях та



ВПЗ

системах безпеки транспорту. Точні дані про оточуюче середовище, отримані за допомогою лідару, дозволяють автомобілям здійснювати навігацію та уникати перешкод, що є важливим для розвитку технологій самоїї їзди.

Технологія лідарної зйомки також має велике значення в археології, екології та лісового господарства. Збір точних геопросторових даних допомагає вивченню історичних об’єктів, визначенню стану екосистем та вивченню впливу людської діяльності на навколишнє середовище.

Однією з актуальних галузей застосування лідару є також в області медицини, зокрема для створення точних тривимірних моделей людського тіла для медичних досліджень та планування хірургічних втручань.

Загалом, технологія лідарної зйомки продовжує розвиватися та розширювати свої можливості, що робить її важливим інструментом для різноманітних наукових, технічних та промислових застосувань (10).

ВПЗ

Список використаних джерел

1. Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center Coastal Geospatial Services Division Coastal Remote Sensing Program. Стр. 7

2. «ЛІДАРИ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ» Люльчик В.О. ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України» Русіна Н.Г. ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України» Петрова О.М. ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України» Стр. 216-219

3. МЕТОДИ ЗБИРАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ Ю. Карпінський, Н. Лазоренко-Гевель Науково-дослідний інститут геодезії і картографії Київський національний університет будівництва і архітектури Стр 2-7

4. Airborne and terrestrial laser scanning. Edited by George Vosselman and Hans-Gerd Maas. – UK: Whittles Publishing, 2011. – 318 p.

5. Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник. – Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.

6. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: підручник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 316 с.

7. Цивільний захист: навч. посіб. / Я. П. Скоробогатий, Т. Р. Садніцька, В. О. Василечко, І. Г. Породко; Укоопспілка, Львів. комерц. акад. — Львів, 2015. — 367 с. — Бібліогр.: с. 361—365.

8. Серьогін Денис. Принципи обробки та тривимірного моделювання через лідарні дані для прикладних досліджень міського середовища / Денис Серьогін // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія



ВПЗ

«Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 218-233. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-17

9. Глотов В., Гуніна А. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2014. Вип. II (28). С. 65–70

10. ТОПОГРАФІЧНИЙ ЛІДАР LEICA TERRAINMAPPER https://ngc.com.ua/ua/p/927-leica-terrainmapper.html

11. Gong W., Chyba T.H., Temple D.A. Eye-safe compact scanning LIDAR technology. Opt. Lasers Eng. 2007, 906p.

12. Tsai M.Y. Ph.D Thesis. University of Washington; Seattle, WA, USA: 2007. The Washington Spray Drift Studies: Understanding the Broader Mechanisms of Pesticide Spray Drift.

13. Mayor S.D., Spuler S.M., Morley B.M., Loew E. Raman-shifted eye-safe aerosol lidar. Appl. Opt. 2004, 4590p.

14. Hiscox A.L., Miller D.R., Nappo C.J., Ross J. Dispersion of fine spray from aerial applications in stable atmospheric conditions. Trans. ASABE. 2006, 1700p.

15. Як БПЛА зробили революцію у галузі лазерного сканування! - СканИкс (scanx.com.ua)

16. UAV LIDAR Mapping: A Comprehensive Look at Its Advantages, Disadvantages, and Cost Implications Santosh Kumar Bhoda стр – 1.

17. Innovative Geoinformation Systems for the Design of Communication Paths / Yevheniia Ugnenko, Olha Tymchenko, Elena Uzhviieva, Nataliia Sorochuk, Gintas Viselga // Environmental Engineering: 11th International Conference, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, 2020, Article ID: enviro.2020.693, DOI:10.3846/enviro.2020.693.

18. Innovative Methods of Using Laser Scanning and Geoinformation Systems for Design of Communication Routes / Sergii Panchenko, Ievgeniia Ugnenko; Valentina Yurchenko, Elena Uzhviieva; Nataliia Sorochuk; Yevhen Korostelov / 12th International Conference “Environmental Engineering”, Transportation Science and Technology,

ВІТЗ

Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, April 27–28, 2023, article number: enviro.2023.843, DOI: 10.3846/enviro.2023.843..

19. Geoinformation systems design of repairs of connection roads on the basis of laser scanning / Ievgeniia Ugnenko; Elena Uzhviieva; Nataliia Sorochuk; Valentina Yurchenko; Gintas Viselga // AIP Conference ProceedingsThis link is disabled., AIP Conf. Proc. 2684, 020012 (2023), DOI: 10.1063/5.0121327

20. Application of Laser Technologies for Scanning Communication Routes While Restoring the Infrastructure of Ukraine / Sergii Panchenko, Yevgeniia Ugnenko, Elena Uzhviieva, Yevhen Korostelov, Nataliia Sorochuk // International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology, TRANSBALTICA 2023: TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology, Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, 2024, pp 3–11. DOI: 10.1007/978-3-031-52652-7_1

21. Навчальна геодезична практика: Навч. посібник, 2-ге вид. / Угненко Є.Б., Шевченко А.О., Ужвієва О.М., Коростельов Є.М., Бєлікова Н.В., Сорочук Н.І. - Київ: Видавничий дім «Кондор», 2024. - 228 с.

22. Використання інноваційних комп'ютерних технологій для камеральної обробки геодезичних даних / Н.І. Сорочук , Ю.О. Сорочук // Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки: Міжнародна науково-практична конференція молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, 21-22 травня 2020 року, м. Рівне: Тези доповідей. – Рівне, НУВГП, 2020.

23. Використання методики лазерного сканування поверхні лінійних об'єктів при створенні проектів будівництва / Є.Б. Угненко, Н.І. Сорочук, О.Н. Ужвієва, Ю.О. Сорочук // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку», Україна, м. Луцьк, ЛНТУ, 19 листопада 2021 р., Тези доповідей конференції, с.120-123.

24. Характеристика інженерно-екологічних вишукувань лінійних об'єктів / Н.І. Сорочук , Ю.О. Сорочук // VII Міжнародна науково-практична інтернет-

ВНТУ

конференція молодих учених та студентів «Інновації у будівництві», Україна, м. Луцьк, ЛНТУ, 12 травня 2022 року, Тези доповідей конференції, с. 1-3.

25. Модернізація геодезичних методів для відновлення енергетичної інфраструктури України / Наталія СОРОЧУК, Євгенія УГНЕНКО, Григорій ШАРИЙ, Анна ШЕВЧЕНКО // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку геодезії, землеустрою та природокористування» , 19-20 червня 2025 р., ОДАУ, Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії, Одеса, 2025 р., Тези доповідей конференції, с. 15-19.

ВПЗ

ВШЭ