УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Будівельний факультет

Кафедра вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ БПЛА ЗНІМАННЯ ТА ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦМР

Пояснювальна записка
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

ВПГЗ. 312 193.2025.ПЗ.

Розробив: студент гр. 103-ГЗ-Д22
Сергій РОТАНЬ
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: доктор філософії з наук про Землю, доцент, доцент кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру Одеського державного аграрного університету, Сопов Д.С.

2026

ВПГЗ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Факультет будівельний
Кафедра вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою
Освітній рівень: бакалавр
Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор д-р техн. наук

_____Є.Б. Угненко

« ___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ротаню Сергію Миколайовичу

1 Тема: Аналіз використання даних БПЛА знімання та лазерного сканування для побудови ЦМР_____
Керівник Ужвієва Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент _____
затверджені розпорядженням по будівельному факультету від «18» травня 2026 року № 5
2 Строк подання студентом закінченої роботи 15 червня 2026 року
3 Зміст пояснювальної записки Вступ. 1. Нормативно-правова основа. 2. Область застосування БПЛА знімання та лазерного сканування. 3. Огляд програмного забезпечення для обробки даних БПЛА знімання та лазерного сканування для побудови ЦМР. 4. Застосування даних лазерних знімальних систем та БПЛА для побудови ЦМР Висновки. _____
4 Перелік графічного матеріалу 1. Мета та основні задачі дослідження. 2. Особливості регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану. 3. Нормативна база та геодезичні вимоги зі створення топографічних планів та ЦМР. 4. Огляд наземних методів збирання геопросторових даних. 5. Прилади лазерного сканування. 6. Огляд дистанційних методів збирання геопросторових даних. 7. Лазерні сканувальні системи повітряного базування. 8. Зміст цифрових карт та вимоги, що пред'являються до них. 9. Програмне забезпечення для побудови ЦМР в Україні. 10.Алгоритм побудови ЦМР. 11. ЦМР за даними наземного лазерного сканування. 12. ЦМР за даними БПЛА лідарної системи. 13. Класифікація хмари точок над проїзжою частиною. Висновки

5. Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основні розділи	доц. Ужвієва О.М.		

6 Дата видачі завдання «18» травня 2026 року

ВНТЗ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1. Огляд джерел інформації нормативно-правової основи під час воєнного стану	18.05. – 20.05.2026	
2. Провести аналіз використання та методами застосування БПЛА знімання та лазерного сканування	20.05. – 25.05.2026	
3. Провести аналіз використання геоінформаційного і спеціального програмного забезпечення для побудови цифрової моделі рельєфу під час воєнного стану	25.05. – 01.06.2026	
4. Дослідити застосування даних лазерних знімальних систем та БПЛА для побудови ЦМР	01.06. – 13.06.2026	
5. Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації	13.06. – 17.06.2026	
6. Підписання кваліфікаційної роботи	18.06.2026	

Студент _____

Керівник _____

ВПГЗ

РЕФЕРАТ ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

УДК

Тема випускної кваліфікаційної роботи Аналіз використання даних БПЛА знімання та лазерного сканування для побудови ЦМР

Автор Ротань С.М., студент гр.103-ГЗ-Д22

кафедри *вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою*

Українського державного університету залізничного транспорту , 2026 рік;

Обсяг пояснювальної записки: _48_кількість аркушів текстової частини, __21__ілюстрацій, __-__фотографій, _2__таблиць, _-__додатків, __33__літературних джерел.

Обсяг графічного / презентаційного матеріалу: _12_кількість аркушів.

Мета та метод дослідження (виконання роботи): аналіз побудови цифрової моделі рельєфу за даними БПЛА лідарного знімання та наземного лазерного сканування за класифікацією хмари точок.

Отримані результати: для створення цифрової моделі рельєфу, придатної до використання слід застосовувати алгоритми оптимізації та усунення шумів

Новизна випускної кваліфікаційної роботи: застосовування алгоритму оптимізації та усунення шумів цифрової моделі рельєфу

Область використання: використання ЦМР для задач землеустрою,кадастру військової справи та у проектних організаціях

ВГЗ

Зміст

ВСТУП 6
1. Нормативно-правова основа 8
1.1 Особливості регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану 8
1.2 Проєкти цифрової трансформації е-Земля та НІГД 10
1.3 Геоінформаційні системи для управління та обліку ресурсами територіальних громад 12
2. Область застосування БПЛА знімання та лазерного сканування 15
2.1 Методи наземних геодезичних вимірювань 15
2.2 Аерофотознімання 18
2.3 Лазерні знімальні системи 22
3. Огляд програмного забезпечення для обробки даних БПЛА знімання та лазерного сканування для побудови ЦМР 26
3.1 Огляд програмних засобів 26
3.2 Формати просторових даних: GeoJSON, GML, XML, DXF 28
3.3 Порівняльна характеристика програмних рішень: переваги та недоліки 32
4. Застосування даних лазерних знімальних систем та БПЛА для побудови ЦМР ... 34
4.1 Алгоритм побудови цифрової моделі моделі рельєфа за даними наземного лазерного сканування та БПЛА лазерного сканування 40
ВИСНОВКИ 45
Список використаних джерел 46

ВПГЗ

					ВПГЗ. 312.193.2026 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		*Ротань С.М.*			*Аналіз використання даних БПЛА знімання та лазерного сканування для побудови ЦМР*	Літ.	Арк. 4 / Аркушів
Перевір.		*Ужвієва О.М.*					
Н. Контр.		*Орел Є.Ф.*				УкрДУЗТ	
Затверд.		*Угненко Є.Б.*					

ВСТУП

Рельєф є одним з найважливіших елементів змісту будь-якої карти, що визначає всі особливості ландшафту. характер рельєфу враховується у процесі освоєння та заселення території, розвитку транспорту, промисловості сільського господарства і будівництва, вибору місця для населених пунктів, бойових дій та ведення земельного кадастру.

Одним з способів зображення рельєфу є перспективні знаки, що вказують на рельєф місцевості. є декілька спосіб відображення рельєфу, перший перспективний спосіб який застосовувався ще з середини XVIII сторіччя, але він не дозволяв визначати по картографічному матеріалу крутизну схилів і виражати всі характерні деталі рельєфу, особливо це стосується рівнинний місцевості. З початку розвитку диджиталізації та цифровізації почалась активна розробка нових все більш складних способів відображення рельєфу. І тому перше експерименти зі створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР), що відносяться до першого етапу розвитку геоінформатики одразу ж засвідчили, що вони є унікальним інструментом для аналізу різноманітних антропогенних об'єктів і природних процесів та явищ.

Оскільки рельєф земної поверхні зазнає інтенсивних змін під впливом як природних, так і антропогенних чинників, то актуальним є завдання швидкого коригування і відображення цих змін у ЦМР з найменшими фінансовими і часовими витратами. Для цього потрібно провести огляд наявних моделей створення цифрової моделі рельєфу з метою їх порівняння і визначення оптимальності їх використання.

Крім того, розпочати проектування неможливе без точних відомостей про територію майбутньої забудови. Тому для детального аналізу поверхні рельєфу та розробки землевпорядних проектів або масштабних проектів будівництва застосовується цифрова модель рельєфу. Фактично цифрова модель рельєфу це зображення планових координат і висот конкретної ділянки місцевості, що має математичне уявлення. З її допомогою проектні організації аналізують поверхню рельєфу, проводять моніторинг стану територій та розташованих на ній об'єктів,

ВГЗ

контролюють обсяг робіт, та вирішують інші завдання в рамках аналітичних проектних завдань.

Обмеження. В зв’язку з невиправданою воєнною агресією з боку Російської Федерації в Україні введено воєнний стан, під час якого обстежувальні, вишукувальні та топографо-геодезичні роботи можливі лише за умови отримання спеціального дозволу від Служби безпеки України. Що спричиняє обмеження в практичному дослідженні.

ВПГЗ

1. Нормативно-правова основа

1.1 Особливості регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану

З 24 лютого 2022 р. в Україні запроваджено воєнний стан. Розглянуто основні із чинних та потенційних законодавчих змін у сфері землеустрою та кадастру [1].

1. Особливості вчинення правочинів, предметом яких є земельна ділянка.

Набрала чинності Постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо діяльності нотаріусів та функціонування єдиних та державних реєстрів, держателем яких є Міністерство юстиції, в умовах воєнного стану» [2], що передбачила на період дії воєнного стану та протягом одного місяця після його припинення/скасування такі особливості:

- нотаріальне посвідчення договорів щодо відчуження нерухомого майна, договорів іпотеки, довіреностей на право розпорядження нерухомим майном, здійснюється виключно нотаріусами, включеними Міністерством юстиції України до переліку;

- реєстрацію речових прав на нерухоме майно здійснюють, окрім нотаріусів, що увійшли до Переліку нотаріусів, також визначені Мін'юстом державні реєстратори;

- нотаріальне посвідчення договорів щодо відчуження нерухомого майна і відповідна державна реєстрація прав забороняється до закінчення одного місяця з дня державної реєстрації права власності відчужувача нерухомого майна (за винятком, зокрема, оформлення спадщини);

- забороняється також нотаріальне посвідчення договорів щодо відчуження нерухомого майна, іпотеки, встановлення довірчої власності на нерухоме майно (в тому числі внесення змін або припинення таких договорів) і відповідна державна реєстрація прав на підставі довіреності відчужувача/іпотекодавця;

- нотаріальне посвідчення договору щодо відчуження нерухомого майна, іпотеки, про встановлення довірчої власності на нерухоме майно здійснюється виключно за місцезнаходженням такого майна (з певними особливостями для міста

ВПЗ

Києва та Київської області);

- забороняється державна реєстрація права власності на нерухоме майно у зв'язку з передачею майна у власність юридичної особи як внесок (внесення майна до статутного (складеного) капіталу (статутного фонду)), а також у власність фізичним та юридичним особам, що вийшли із складу засновників (учасників) юридичної особи.

2. Доступ до відомостей із Державного земельного кадастру.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України «Деякі питання ведення та функціонування Державного земельного кадастру в умовах воєнного стану» [3] протягом дії воєнного стану в Україні та одного місяця з дня його припинення/скасування припиняється доступ користувачів до Державного земельного кадастру (далі – ДЗК) в межах адміністративно-територіальних одиниць, перелік яких затверджується Державною службою з питань геодезії, картографії і кадастру за погодженням з Міністерством аграрної політики та продовольства.

Такий перелік визначається з урахуванням переліку адміністративно-територіальних одиниць, в межах яких припиняється доступ користувачів до єдиних та державних реєстрів, і які розташовані в районі проведення воєнних (бойових) дій або які перебувають у тимчасовій окупації, оточенні (блокуванні), а також переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих збройними формуваннями Російської Федерації.

Однак в межах адміністративно-територіальних одиниць, які до такого переліку не входять, ведення операцій із ДЗК забезпечується з урахуванням таких особливостей:

- внесення відомостей (змін до відомостей) до ДЗК здійснюється виключно державними кадастровими реєстраторами Держгеокадастру та його територіальних органів, включеними до переліку, що затверджується Держгеокадастром за погодженням із Мінагрополітики;

- надання доступу до ДЗК користувачам, які мали такий доступ до 24 лютого 2022 року, здійснюється за рішенням Держгеокадастру на підставі їх звернень. Надання доступу новим користувачам відбувається у встановленому

ВПЗ

законодавством загальному порядку;

- надання таких відомостей із ДЗК може здійснюватися також адміністраторами центрів надання адміністративних послуг або уповноваженими посадовими особами виконавчих органів місцевого самоврядування, зокрема: витягів із ДЗК про об'єкт ДЗК; довідок, що містять узагальнену інформацію про землі (території), за формою, встановленою Порядком ведення ДЗК та викопіювань з картографічної основи ДЗК, кадастрової карти (плану);

- користування відомостями ДЗК про координати поворотних точок меж об'єктів ДЗК дозволяється лише особам, визначеним у Переліку кадастрових реєстраторів, а також визначеним сертифікованим інженерам-землевпорядникам та інженерам-геодезистам. Такі відомості не зазначаються у витягах із ДЗК, викопіюваннях з картографічної основи ДЗК, копіях документів ДЗК;

Публічна кадастрова карта не функціонуватиме, оприлюднення відомостей ДЗК через Публічну кадастрову карту не здійснюється.

Додатково, на аналогічний строк, Постановою Кабінету Міністрів України «Деякі питання регулювання земельних відносин» [4,5] було призупинено реалізацію пілотного проєкту, згідно з яким розробники документації із землеустрою мали б отримали можливість вносити відомості до ДЗК самостійно.

1.2 Проєкти цифрової трансформації е-Земля та НІГД

Сьогодні в Україні презентовано 94 проєкти цифрової трансформації у ключових сферах. Затверджений Урядом перелік проєктів буде реалізований протягом трьох років (2022-2025 рр.) та сприятиме розбудові цифрової держави. Міністерству цифрової трансформації вдалося масштабувати управління проєктами цифрової трансформації на всі сфери та галузі. В основі такого менеджменту – унікальна ефективна система управління проєктами, що дозволить трансформувати Україну на всіх рівнях – від загальнонаціонального до місцевого.

На порталі Дія [6,7] є можливість переглянути основну інформацію про проєкти.

ВПЗ

В сфері геодезії, землеустрою та кадастру запропоновано 2 проєкти, які входять до галузі сільське господарство:

- цифрова трансформація земельних відносин, землеустрою та охорони земель (е-Земля);

- цифрова трансформація геодезії та картографії (НІГД).

Цифрова трансформація земельних відносин, землеустрою та охорони земель (е-Земля) передбачає автоматизацію процесу формування та встановлення меж земельних ділянок повністю в електронній формі, переведення всіх видів документації із землеустрою в електронну форму, забезпечення внесення відомостей про всі об'єкти до Державного земельного кадастру та підвищення їх якості, автоматизацію контролю за використанням та охороною земель, земельного податку та моніторингу земель, відкриття даних Державного земельного кадастру.

В проєкті е-Земля передбачено розробку 2 підпроєктів:

- підпроєкт цифровізація контролю за використанням та охороною земель, який повинен забезпечити повну прозорість заходів з контролю та за використанням та охороною земель і буде містити продукти: електронний документообіг інспекторів, виконання наземної зйомки та дронів, автоматизація аналітики;

- підпроєкт відкриті земельні дані направлений на покращення доступу до даних ДЗК та інших наборів даних шляхом створення API і буде містити продукти: протокол підключення API для підключення зовнішніх користувачів, набори відкритих даних.

Цифрова трансформація геодезії та картографії передбачає запровадження Національної інфраструктури геопросторових даних (далі – НІГД), а саме: розроблення та доопрацювання специфікацій наборів даних і розподілу повноважень щодо оновлення геопросторових даних, цифровізація банку геодезичних даних, створення цифрових моделей рельєфу та місцевості, оновлення топографічних планів та ортофотопланів і забезпечення доступу до топографічних наборів даних.

В проєкті НІГД передбачено розробку 2 підпроєкти:

- підпроєкт оновлення ортофотоплану, який передбачає оновлення

ВПЗ

ортофтопланів всієї України, забезпечення доступу до ортофотопланів, створення інструментів оновлення та доступу до ортофотопланів окремих територій і буде містити продукт – сервіс доступу до ортофотопланів;

- підпроєкт цифрових моделей рельєфу та місцевості направлений на створення картограм рельєфу та місцевості, забезпечення доступу до картограм рельєфу та місцевості і буде містити продукт – сервіси доступу до наборів геоданих.

1.3 Геоінформаційні системи для управління та обліку ресурсами територіальних громад

Для розроблення геоінформаційних систем для управління та обліку ресурсами територіальних громад необхідно враховувати такі рекомендаційні вимоги [8]:

1) використовувати базові геопросторові дані при створенні тематичних геопросторових даних;

2) забезпечити інтероперабельність та сумісність даних;

3) забезпечити роботу з геопросторовими даними у діючих системах координат та висот, Державній геодезичній референцній системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот 1977 року;

4) забезпечити регламентований доступ суб'єктам, що беруть участь у створенні і зміні геопросторових даних, до базових геопросторових даних;

5) сповіщати адміністратора базових геопросторових даних про необхідність зміни координатних даних об'єктів, що належать до базових геопросторових даних, за актуалізованими даними про відповідні об'єкти;

6) створювати першочергово координатні дані тих об'єктів, які вимагають більш високої точності з міркувань економічної доцільності та спеціальних нормативних вимог, встановлених для відповідних об'єктів:

- в іншій системі геодезичних координат (попередніх єдиних державних системах геодезичних координат: СК-42, місцевих системах координат) з обов'язковим описом способу переходу від цієї системи координат до УСК-2000;

ВПІЗ

- в картографічній проекції, пов’язаної з УСК-2000 через формули проекції або з попередніми єдиними державними системами координат СК-42, або місцевою чи іншою системою координат, з обов’язковим додатком відповідних формул проекції, що пов’язують її з УСК-2000 чи іншою зазначеною системою координат (з обов’язковим описом в останньому випадку способу переходу від цієї системи координат до УСК-2000);

- в іншій прямокутній системі координат із обов’язковим описом способу переходу від цієї системи координат до УСК-2000.

- мати доступну для публічного використання документацію з описом формату даних;

7) кожен користувач повинен мати відповідну категорію щодо права внесення і зміни координатних даних певних категорій об’єктів при багатокористувацькому доступі, що надає право зміни геопросторових даних;

8) забезпечити підтримку форматів обміну геопросторовими даними для забезпечення сумісності даних.

Для забезпечення сумісності геопросторових даних в геоінформаційних системах вони повинні бути представлені в Державній геодезичній референцній системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот 1977 року.

У разі відсутності можливості подання геопросторових даних безпосередньо в УСК-2000 припустимі такі варіанти їх подання [9, 10]:

При застосуванні систем координат для подання геопросторових даних в НІГД слід враховувати положення національного стандарту ДСТУ ISO 19111:2017.

При плануванні робіт, що входять до складу безпосереднього забезпечення інвестиційної діяльності та при здійсненні яких потрібне уточнення існуючих і формування нових координатних даних об’єктів або відповідних картографічних документів, за якими можна сформувати такі координатні дані, до складу робіт включаються заходи, що забезпечують підвищення сумісності координатних даних НІГД.

Формат обміну геопросторовими даними для забезпечення сумісності повинен відповідати таким вимогам [11]:

ВПЗ

- опис повинен бути достатнім для того, щоб можна було застосовувати існуючі конвертори або розробити нові конвертори даних у відкриті обмінні формати;

- формат має відповідати даним, що постачаються в цьому форматі, та забезпечувати в повному обсязі відображення структури даних та системи класифікації класів об’єктів, атрибутів об’єктів і доменів їх значень, визначених в специфікації геопросторових даних, включно з іменами класів об’єктів, іменами атрибутів об’єктів та типів даних для значень їх атрибутів, що формально описані в каталозі класів об’єктів;

- у разі подання даних у форматі, документація для якого відсутня у публічному доступі, до таких даних повинні додаватися конвертори, що забезпечують конвертування дані у відкриті обмінні формати.

- формати, засновані на використанні мови географічної розмітки GML відповідно до національного стандарту ДСТУ ISO 19136:2017;

- формати, засновані на використанні GeoJSON та TopoJSON, що розширюють загальновідому об’єктну нотацію JSON (JavaScript Object Notation) для подання просторових властивостей об’єктів та їх атрибутів.

Базовими форматами обміну векторними даними в НІГД визначаються такі відкриті та нейтральні до ГІС-платформ формати [11]:

- докладною специфікацією, що розробляється відповідно до вимог Порядку функціонування НІГД та національного стандарту ДСТУ ISO 19131:2019;

- метаданими відповідно до Закону [12] та Порядку [13].

Ці формати забезпечують найповніше відображення об’єктної структури наборів геопросторових даних і топологічних відношень між об’єктами, визначених в прикладних схемах даних та каталогах класів об’єктів у складі специфікацій на геопросторові дані.

До усіх зазначених документів держателі даних забезпечують відкритий доступ в мережі Інтернет як одну із важливих складових в реалізації інтероперабельності геопросторових даних НІГД.

ВПЗ

2. Область застосування БПЛА знімання та лазерного сканування

2.1 Методи наземних геодезичних вимірювань

Топографічні знімання – сукупність геодезичних вимірювань, які виконують з метою побудови карт і планів місцевості. Розвиток технологій інформаційно-обчислювальних систем звузив коло методів, оскільки вони базувалися на засобах якими ці виміри виконували. Сучасні методи наземних геодезичних вимірювань поділяються [16], [17]:

–горизонтальні та вертикальні знімання: планові, висотні, планово-висотні;

–наземна фотограмметричне знімання та лазерне сканування;

–тахеометричне знімання;

–знімання за допомогою GNSS приладів;

–аерофотознімання із застосування безпілотних літальних апаратів;

–комбіновані.

Горизонтальні, вертикальні та тахеометричне знімання. Сучасні моделі високоточних електронних тахеометрів, нівелірів дозволяють відповідно виконувати кутові вимірювання з середньоквадратичною похибкою до 0,5″, вимірювання відстаней з середньо квадратичною похибкою від 1 мм до 10 мм на 1 км та перевищення з середньо квадратичною похибкою від 0,3 мм на 1 км подвійного ходу.

Теодолітне знімання – виконується відносно точок і ліній планово-висотної зйомочної основи наступними способами:

–перпендикулярів;

–полярним;

–кутових засічок;

–лінійних засічок;

–обходу.

Тахеометричне знімання – застосовують при складанні планів невеликих територій із зображенням предметів, контурів і форм рельєфу місцевості в

ВПЗ

масштабах 1:500 – 1:5000. Сучасні тахеометри, можуть працювати як на відбиваючу поверхню (до 300 м) так й на відбиваючу призму, в залежності від типу застосованих призм діапазон вимірювання відстані може досягати до 5000 м.

Горизонтальні, вертикальні та тахеометричне знімання застосовують для невеликих обсягів робіт, коли застосування інших методів недоцільне або обмежене. Зазвичай тахеометричну зйомку місцевості, як правило, виконують одночасно з прокладанням тахеометричного ходу. Зйомка предметів, контурів і рельєфу місцевості виконується полярним методом, а інколи способом кутових засічок за маршрутом. При тахеометричному зніманні із застосуванням електронних тахеометрів та оптичних теодолітів з світловіддалемірними насадками необхідно дотримуватися технічним вимог «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500».

Наземне фотограмметричне знімання – сьогодні активно витісняється наземним лазерним скануванням, при якому проводять вимірюванні з високою швидкістю відстаней від сканера до точок об'єкта та реєстрації відповідних напрямків (вертикальних і горизонтальних кутів) отримуючи координати значної кількості точок (хмар точок) на поверхні об’єктів, які характеризують його форму, розміри та розташування в просторі. Наземне лазерне сканування реалізується з допомогою спеціальних приладів – наземних лазерних сканерів, які вимірюють горизонтальні та вертикальні напрямки розповсюдження лазерного випромінювання і похилі відстані до точок об’єкту. В результаті обробки отриманої хмари точок можливе подальше створення тривимірних моделей об'єктів і ділянок рельєфу місцевості, які знімаються, з усіма подробицями. Наземне лазерне сканування широко застосовується в архітектурі, промисловості, будівництві дорожньої інфраструктури, геодезії і маркшейдерії, археології.

Спеціальні прилади та лазерні сканері виконують до мільйона вимірів в секунду, представляють об'єкти у вигляді набору точок з просторовими координатами [18]. Типовий процес сканування наведено на рисунку 2.1.

ВПЗ



Рисунок 2.1 – Процес лазерного сканування

За принципом дії лазерні сканери розділяють на імпульсні (TOF), фазові і триангуляційні. Імпульсні сканери розрахувають відстань як функцію часу проходження лазерного променя до вимірювального об'єкту і назад. Фазові оперують із зрушенням фаз лазерного випромінювання, в триангуляційних лазерних сканерах – приймач і випромінювач рознесені на певну відстань, яка використовується для вирішення трикутника випромінювач-об'єкт-приймач.

Основні параметри лазерного сканера - дальність, точність, швидкість, кут огляду [18].

Переваги наземного лазерного сканування :

–висока деталізація і точність даних;

–висока продуктивність зйомки (від 50 000 до 1 000 000 вимірів в секунду);

–технологія вимірів що не потребує тріангуляційних відбивачів, здатність сканування «сірої» поверхні, незамінна при виконанні робіт по лазерному скануванню важкодоступних об'єктів та об'єктів, де знаходження людини заборонено;

–повна автоматизації, що практично виключає вплив суб'єктивних чинників на результат лазерного сканування;

–сумісність отриманих даних з форматами програм автоматизованого проектуванню (Autodesk, SolidWork, Bentley, AVEVA, Intergraph та ін.);

–низька доля польового етапу в загальних трудовитратах.

2.2 Аерофотознімання

Топографічна аерофотозйомка (метод АФЗ) - це процес отримання аерофотознімків земної поверхні та використання їх для створення топографічних карт. Ці карти показують фізичні особливості місцевості, включно з висотою рельєфу, розташуванням природних і штучних об'єктів і розподілом рослинності. Топографічна аерофотозйомка зазвичай виконується за допомогою спеціалізованих камер, встановлених на літаках або безпілотних літальних апарата (БПЛА). Отримані зображення потім обробляються для створення точних і докладних топографічних карт, які можуть бути використані для різних цілей, включно з міським плануванням, розвитком інфраструктури та управлінням природними ресурсами.

Сучасний розвиток БПЛА дозволив значно скорити витрати проведення АФЗ, а застосування сучасних інформаційних технологій дозволив підняти точність в порівняні з дистанційною космічною зйомкою. В порівняні АФЗ дозволяє досягти точність зняття координат на рівні від 3 до 8 мм, в той же час похибка фотограмметрії складає близько 30 мм. Крім того під час використання космічної зйомки доводиться враховувати різні кліматичні, сезонні чинники місцевості, які позначаються на процесі дешифрування отриманого масиву інформації.

На рисунку 2.2 представлений результат АФЗ для ведення кадастру .

ВПЗ



Рисунок 2.2 – Результат АФЗ з БПЛА

Незважаючи на доволі значну ціну обладнання та програмного забезпечення, варто відзначити цілу низку переваг АФЗ за допомогою БПЛА порівняно з іншими засобами, призначеними для проведення аерофотозйомки [19, 20].

По перше – висока роздільна здатність зйомки, одержувана завдяки малій висоті польоту, що дає змогу детальніше відобразити особливості рельєфу.

По друге – оперативність самого процесу, який від моменту виїзду на місцевість до отримання даних зазвичай займає всього кілька годин.

Ще одним з вагомим критеріїв застосування БПЛА – відповідність концепції екологічної безпеки - БПЛА оснащені переважно електричними двигунами.

БПЛА які використовують для АФЗ поділяють на типи:

–літакові;

–вертолітні;

Кожен з яких сконструйований для виконання своєї низки завдань. Літаковий тип (рис.2.3) використовують переважно для створення ортофотопланів, цифрового моделювання місцевості та моніторингу лінійних об'єктів.

ВГЗ

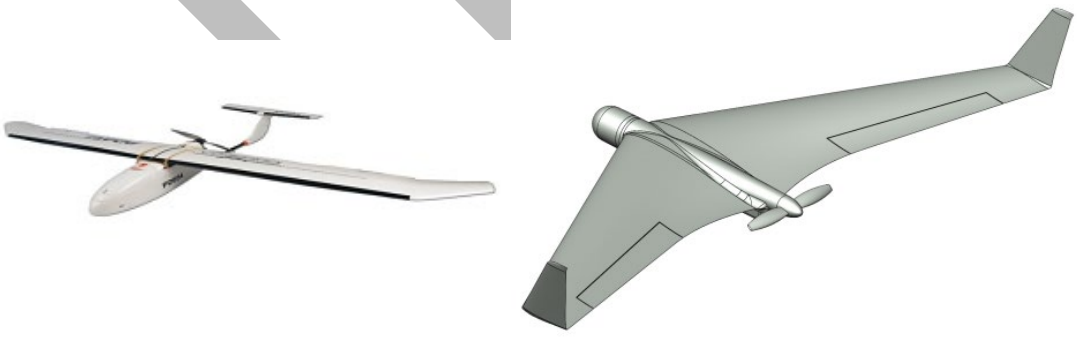


Рисунок 2.3 – БПЛА літакового типу

Виробники використовують дві системи компонування БПЛА літакового типу:

–класична, рис. 2.2 а), що складається з фюзеляжу, крил і хвоста;

–типу «літаючого крила», рис. 2.2 б).



а) б)

Рисунок 2.3 – Системи компонування літакових БПЛА

БПЛА вертолітного типу (рис. 2.4) застосовують у перспективній зйомці, моніторингу невеликих територій, при складних конструкціях рельєфу місцевості та при лазерному скануванні місцевості.



Рисунок 2.4 – БПЛА вертолітного типу

Вертолітні БПЛА також можуть збиратися за двома системами компонування: класичною (рис. 2.5) - один ротор із гвинтом, і типу "мультикоптер" (рис. 2.6) - із кількома роторами.



Рисунок 2.5 – БПЛА вертолітного типу з класичною компоновкою



Рисунок 2.6 – БПЛА вертолітного типу «мультикоптер»

Вертолітний БПЛА гексакоптер виробництва Aibot від Leica Geosystems доволі успішно застосовується в Україні для створення топографічної продукції масштабів 1:5000-1:500, а саме виконання маркшейдерських знімальних робіт на відкритих розробках [21].

Програмне забезпечення ГІС Leica Infinity - призначений для управління, обробки, аналізу і перевірки якості даних, дозволяє геодезистам легко обробляти і візуалізувати дані АФЗ для підвищення продуктивності та швидкості доставки даних [22].

2.3 Лазерні знімальні системи

Лазерні аеро- та наземні знімальні системи відносяться до активних знімальних систем що працюють в оптичному діапазоні. в основі лазерної зйомки лежить принцип роботи світло далекоміра без відбивача - лазерна локація.

Відбивачем є поверхня об'єкта, що знімається. В якості опромінювача використовують напівпровідниковий лазер, що генерує випромінювання в ближній інфрачервоній зоні в імпульсному режимі (наприклад, з частотою 150 кГц).

ВГЗ

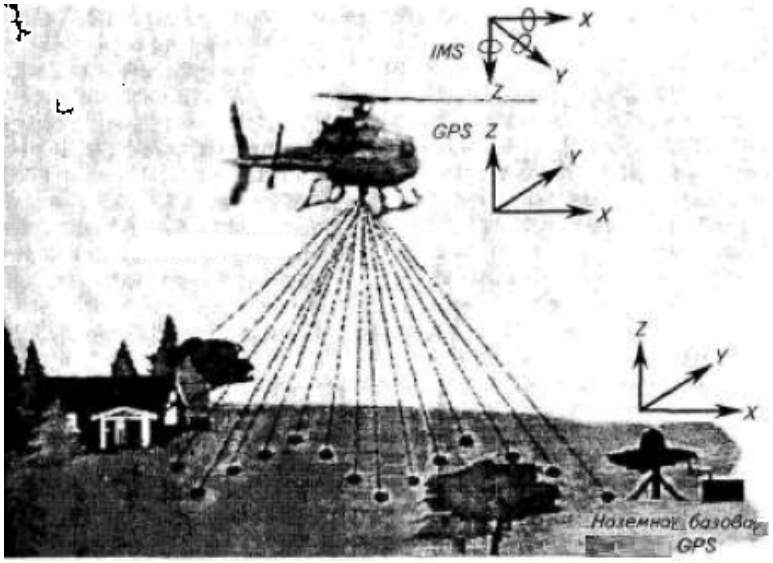


Рисунок 2.7 – Схема лазерної зйомки

За допомогою лазера здійснюють спрямоване опромінення поверхні. Сигнал, відбитий від елементарної ділянки земної поверхні (об'єкта), приймає оптична система.

При кожному елементарному вимірюванні в процесі сканування реєструються похила відстань до ділянки відбиття та напрямок відносно осей системи координат лазерного локатора (рисунок 2.7). Положення локатора в геодезичній системі координат (X, Y, Z) визначається бортовим GPS/GNNSS-приймачем. Кути нахилу та повороту зондувального променя відносно осей геодезичної системи координат визначаються за допомогою інерційної апаратури. Це дозволяє отримати після обробки результатів вимірювань геодезичні координати елемента поверхні, що викликав відбиття зондувального променя. Точність просторових координат обернено пропорційна висоті зйомки. Результат зйомки - цифрове тривимірне зображення. Технічні характеристики авіаційного лазерного сканера MT 1020 фірми Optech Inc, Канада:

– висота зйомки H, м 80…2000;

– точність визначення висоти точки місцевості, см (H=1200 м)…. (H=2000 м);

– планових координат X, Y;

– точки місцевості висоти польоту H;

ВГЗ

– ширина смуги сканування 0, 72 Н;

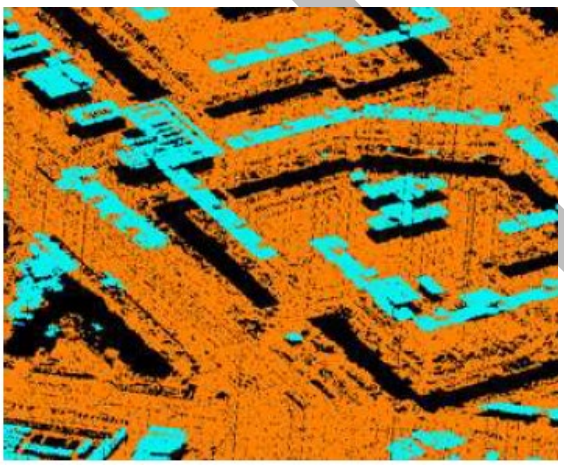
– частота сканування, Гц до 100;

– імпульсів лазера 50;

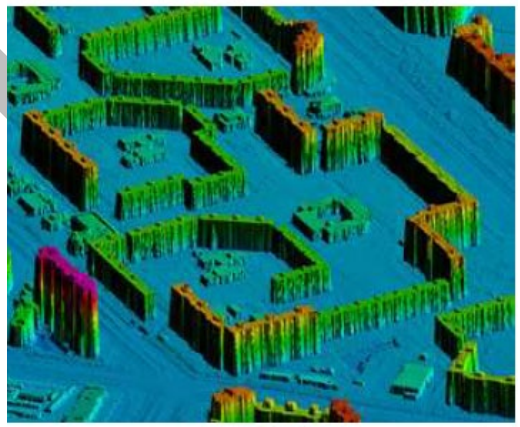
– мінімальна помітний елемент місцевості(роздільна здатність) з висоти 300 м, 25 см.

Залежно від типу лазерного локатора під час зйомки можна фіксувати до п'ятьох відбиттів для кожного напрямку візування. це означає, що під час одного елементарного вимірювання можуть бути отримані відгуки від декількох просторових компонентів об'єкта. Наприклад, послідовно від проходів лінії електропередачі, листяного покриву лісу, поверхні Землі [23].

Лазерні зображення отримують у два етапи. На першому етапі сканером виконується реєстрація результатів вимірювань безлічі елементарних майданчиків – точок локаційного відбиття (ТЛВ). безліч тло мають назву «хмара точок», кожна з яких має координати X, Y, Z.



Хмара точок лазерних відбиттів для забудованої території



3-х вимірна модель місцевості, яка побудована за ТЛВ, наведена сіткою трикутників

Рисунок 2.8 – Результати лазерної зйомки

Наприклад, модель лазерного сканера ALMT 3100 канадської фірми має робочу частоту зондувальних імпульсів 100 Гц і забезпечує щільність сканування земної поверхні до 10 точок на 1 м².

На другому етапі здійснюють комп'ютерну обробку результатів вимірювань і візуалізацію зображення (рисунок 2.8). За допомогою програмних засобів можна виключити з обробки будь-який з відгуків, задаючи тим самим тематичну спрямованість перетворених знімків. Наприклад,залишити відгуки від поверхні об'єкта, і тим самим отримати інформацію про рельєф. Обробка результатів вимірювань може здійснюватися на борту літального апарату [23].

ВПГЗ

3. Огляд програмного забезпечення для обробки даних БПЛА знімання та лазерного сканування для побудови ЦМР

3.1 Огляд програмних засобів

Розвиток геодезії, картографування та кадастрів спирається на використання сучасних геоінформаційних систем (ГІС) та пов’язаного програмного забезпечення для створення, аналізу і управління просторовими даними. У цьому підрозділі здійснено порівняльний огляд основних програмних засобів, що застосовуються в містобудівному кадастрі, зокрема QGIS, ArcGIS, Digitals, SoftPro тощо. Розглянуто призначення і функції кожної системи, їх використання у задачах містобудівного кадастру, а також проаналізовано сильні та слабкі сторони, включно з доступністю цих рішень для територіальних громад.

QGIS – потужна десктопна ГІС з відкрити м вихідним кодом, що розповсюджується безкоштовно за ліцензією GNU GPL. Програма працює на різних платформах (Windows, Linux, MacOS) та підтримує широкий набір просторових форматів (векторних, растрових), баз даних і сервісів, забезпечуючи інструменти для візуалізації, редагування, аналізу геоданих і створення друкованих карт [24].

Функціональність і інтеграція: Активна спільнота розробників і користувачів постійно оновлює функціонал через нові версії та плагіни. QGIS інтегрується з іншими ГІС-платформами (GRASS GIS, PostGIS) і дозволяє розширювати можливості за допомогою плагінів на Python та C++.

Використання в містобудівному кадастрі: У містобудівному кадастрі QGIS дозволяє органам місцевого самоврядування створювати і вести геоінформаційні бази даних, відображати кадастрові плани, підключати публічні картографічні сервіси (наприклад, ортофотоплани або публічну кадастрову карту) та проводити базовий аналіз просторової інформації.

Переваги - Основна перевага QGIS – безкоштовна ліцензія та відкритий код, що робить його доступним для громад. Програма має розвинений набір ГІС-функцій, підтримує численні формати (Shapefile, GeoJSON, KML, PostGIS) і

забезпечує гнучкість завдяки плагінам і можливостям налаштування. Дружній інтерфейс і велика спільнота гарантують наявність багатьох навчальних матеріалів і підтримки.

Недоліки Ефективна робота з QGIS вимагає базових знань ГІС. Спеціалізовані задачі містобудівного кадастру (наприклад, автоматизоване створення документів за державними стандартами) можуть вимагати додаткових плагінів або інтеграції з іншими системами. Відсутність офіційної технічної підтримки, що компенсується активною спільнотою, може бути критичним для окремих застосувань.

QGIS є оптимальним рішенням для невеликих громад та організацій, яким потрібна доступна та функціональна ГІС для містобудівних потреб.

ArcGIS – провідна комерційна ГІС-платформа від Esri, яка встановила галузевий стандарт цифрового картографування та просторового аналізу. Комплекс продуктів (ArcGIS Desktop/Pro, серверні рішення, ArcGIS Online тощо) забезпечує повний цикл роботи з геоданими: створення і редагування карт, аналіз, складну геообробку, управління просторовими базами даних та організацію багатокористувацького доступу. У містобудівному кадастрі ArcGIS застосовується для ведення кадастрових інформаційних систем, створення земельно-кадастрових баз, аналізу територіального розвитку, моделювання інфраструктури та візуалізації містобудівної документації. Державні та муніципальні установи використовують його для земельного кадастру, землеустрою, обліку нерухомості та управління інженерними мережами [25].

Переваги: розширена аналітика, 3D-моделювання, веб-картографування, інтегровані інструменти для спільної роботи, регулярні оновлення, повноцінна технічна підтримка та багата база кваліфікованих спеціалістів.

Недоліки: висока вартість ліцензій та супроводу. Програмне забезпечення ArcGIS є пропрієтарним, вимагає придбання ліцензії для кожного користувача або організації. Тому ArcGIS переважно використовується великими містами та установами, які здатні інвестувати у професійний інструментарій

Digitals – спеціалізоване вітчизняне програмне забезпечення для геодезичних і кадастрових робіт, яке об’єднує функції геоінформаційної системи і системи

автоматизованого проєктування. Розроблений ТОВ «Аналітика», який поєднує можливості геоінформаційної системи та САПР. Він орієнтований на виконання геодезичних, землеустроєвих і містобудівних завдань у єдиному середовищі. Програма автоматизує обробку польових вимірювань, побудову топопланів, підготовку кадастрової документації, а також формування обмінних файлів (XML, GeoJSON) для подальшого внесення до ДЗК.

Digitals повністю підтримує українські стандарти (зокрема, умовні топознаки згідно з ДСТУ) та не потребує сторонніх CAD-програм. Завдяки багатошаровій структурі, підтримці 3D-візуалізації та просторових баз даних, програма активно використовується в містобудівному кадастрі для планування територій та обміну інформацією з державними реєстрами [26].

Переваги: адаптований до українського законодавства і стандартів; інтегрує ГІС і CAD-функції в одному середовищі; має широкий набір інструментів для роботи з топографією та землеустроєм; підтримує численні формати: DWG, DXF, SHP, MIF/MID, DGN, GeoTIFF тощо.

Недоліки: потребує купівлі ліцензії (хоча ціна помірна); менш зручний для складного просторового аналізу чи веб-картографування; інтерфейс може бути складним для новачків, а довідка – не завжди українською.

Проведений огляд свідчить, що для задач Державного кадастру, картографування та геодезії існує спектр програмних рішень – від безкоштовних ГІС до комплексних комерційних систем. Вибір програмного забезпечення залежить від розміру території знімання, бюджету та кваліфікації кадрів.

3.2 Формати просторових даних: GeoJSON, GML, XML, DXF

У системах геодезії, картографування та кадастру використовується кілька стандартних форматів для зберігання та обміну геопросторовими даними. В Україні, наприклад, геоінформаційні портали кадастрів поширюють дані в різних ГІС-форматах, таких як DXF, XML, GeoJSON тощо. Розглянемо основні характеристики форматів GeoJSON, GML, XML та DXF, а також їх застосування в кадастрі та

взаємне порівняння за призначенням, зручністю, сумісністю, придатністю для архівування і обміну даними.

GeoJSON — відкритий текстовий формат для представлення простих географічних об’єктів (точки, лінії, полігони) та їх атрибутів. Він базується на стандарті JSON і є офіційно затвердженим як RFC 7946 (2016). GeoJSON використовує систему координат WGS84 [27].

Переваги формату - Легкий і зрозумілий для читання; Ідеально підходить для веб-картографії (Leaflet, OpenLayers); Сумісний з QGIS, ArcGIS та іншими ГІС; Підтримує інтеграцію через API і відкриті геопортали.

Застосування в кадастрі - GeoJSON активно використовується для публікації зонування, містобудівної документації, меж об’єктів на відкритих порталах громад. Він зручний для обміну даними з громадськістю та інтеграції у веб-сервіси.

Особливість: GeoJSON орієнтований на WGS84, тому при використанні локальних систем координат (наприклад, УСК-2000) може знадобитися трансформація даних [24].

GML (Geography Markup Language) – це XML-формат, який використовується для опису геопросторових об'єктів та їх атрибутів. Він розроблений Open Geospatial Consortium (OGC) і стандартизований як ISO 19136:2007. GML слугує мовою моделювання географічних систем, а також відкритим форматом обміну географічною інформацією між різними додатками.

Переваги: дозволяє створювати складні набори геоданих, підтримує різні типи геометрій (точки, криві, полігони, поверхні, тривимірні об’єкти тощо), множинність об’єктів, і може включати як векторні, так і растрові дані та метадані. GML-документ являє собою XML-файл з ієрархічною структурою, де геооб’єкти описуються за допомогою тегів, а система координат може зазначатися атрибутом srsName для геометрій.

Застосування в кадастрі та картографуванні:

GML є офіційним форматом обміну геоданими в багатьох національних і міжнародних системах. У рамках INSPIRE він використовується для передачі кадастрової інформації: меж ділянок, зон, обмежень тощо. Містобудівні кадастри

застосовують GML для обміну між відомчими ГІС, що гарантує збереження повної структури та семантики даних.

Формат підтримується більшістю сучасних платформ: ArcGIS (через модуль Interoperability), QGIS (читання/запис GML), геопортали та WFS-сервіси, які за замовчуванням використовують GML.

Через свою гнучкість GML-файли можуть бути великі й складні, але завдяки структурованості та тегам вони ідеальні для офіційного зберігання геоданих і міжвідомчого обміну.

XML (Extensible Markup Language) – текстовий формат для зберігання й передачі структурованих даних, розроблений консорціумом W3C. XML є гнучким і машиночитаним, базується на системі ієрархічних тегів і може використовуватись у різних галузях завдяки створенню спеціалізованих схем (наприклад, GML, KML, CityGML, LandXML).

У картографії та кадастрах XML слугує форматом обміну офіційними даними – наприклад, про земельні ділянки, дозвільні документи, елементи містобудівної документації. В Україні програмні комплекси формують «обмінні файли» у форматі XML для подачі в Державний земельний кадастр та відповідні реєстри.

Переваги XML полягають у його універсальності, читабельності та платформонезалежності, що дозволяє зберігати дані довгостроково. Водночас, для правильного трактування XML-файлів необхідно мати схему (XSD), яка описує структуру даних.

GML-файли є самодокументованими та легко перевіряються на відповідність схемі, що зручно для контролю цілісності даних у масштабних проєктах. XML забезпечує гнучкість структури, але потребує додаткових зусиль для розробки та освоєння схем. Формат DXF хоч і зберігається у текстовому вигляді, його коди важко читати вручну. Проте DXF зручний для користувача завдяки широкій підтримці у ПЗ: майже всі платформи можуть його імпортувати й експортувати, що спрощує обмін даними без технічної підготовки.

Усі розглянуті формати є відкритими або добре задокументованими стандартами, що забезпечує їхню сумісність. GeoJSON активно використовується у

ВПЗ

сучасних ГІС, веб-сервісах і застосунках з відкритими даними. GML підтримується провідними платформами та геопорталами і широко застосовується у стандартизованому обміні (через бібліотеки GDAL/OGR, FME тощо).

XML є універсальним форматом, для якого існують парсери у більшості мов програмування.

Його сумісність залежить від наявності опису структури (XML-схеми). Формат DXF, попри комерційне походження, відкрито описаний і став стандартом обміну даними у САПР. Його підтримують усі популярні CAD-системи та багато ГІС-платформ.

Для довгострокового зберігання геоданих важливо обирати формати, що є відкритими, самодостатніми та добре задокументованими [28]..

GML відповідає цим вимогам: це офіційний стандарт, самодокументований, не залежить від конкретного ПЗ. Його використовують національні кадастрові служби, що забезпечує довготривалу доступність. GeoJSON є простим текстовим форматом, придатним для архівування відкритих даних. Його плюси — мінімалізм і зручність, мінуси – обмеження до системи WGS84 і підтримка лише базових об’єктів.

Таблиця 3.1 – Порівняння форматів за призначенням

Формат	Основне призначення	Переваги
GeoJSON	Веб-обмін, API, відкриті карти	Простота, легкість, швидке завантаження
GML	Офіційний обмін геоданими, INSPIRE	Повнота, підтримка складних структур
XML	Обмін супровідною інформацією	Чітка структура, відповідність шаблонам
DXF	Інтеграція креслень із CAD до ГІС	Сумісність із AutoCAD та планами

Формати доповнюють один одного**:** GeoJSON — для швидкого обміну, GML — для точного й структурованого зберігання, XML — для передачі документів, DXF — для роботи з графікою. Вибір залежить від обсягу, типу даних і потреб користувача**.**

ВПЗ

3.3 Порівняльна характеристика програмних рішень: переваги та недоліки

Для ефективної реалізації містобудівного кадастру територіальні громади використовують різноманітні програмні засоби – від універсальних ГІС до спеціалізованих кадастрових платформ (таблиця 3.2). Кожне з рішень має свої особливості, функціональні можливості, переваги та обмеження.

Таблиця 3.2 – Характеристика програмних рішень при моделюванні рельєфу на основі БПЛА знімання та лазерного сканування в Україні

Критерій	QGIS	ArcGIS	Digitals	Agisoft Metashape	Pix4D
Функціональність	Повнофункціональна ГІС (картографування, аналіз, плагіни); немає спеціалізованих кадастрових модулів.	Найбільший набір ГІС-функцій (аналіз, 3D, моделювання); надлишок можливостей для типових кадастрових задач.	Спеціалізований функціонал для землевпорядкування та планування (шаблони, координатні перетворення); обмежений набір універсальних ГІС-операцій.	Високоточні 3D-моделі та гнучкість	Автоматизація карт та геодезія
Доступність (вартість, ліцензія)	Безкоштовна, відкрита ліцензія (open-source).	Платна (висока вартість ліцензії).	Платна (помірна ціна ліцензії у порівнянні з ArcGIS; вітчизняний продукт).	Одноразова покупка (вічна ліцензія)	Підписка (місячна або річна)
Зручність використання	Сучасний інтерфейс (є українська локалізація); можливі труднощі для початківців без досвіду ГІС.	Професійний інтерфейс, але складний для освоєння (потрібне навчання); інтерфейс англомовний.	Україномовний інтерфейс, але дещо застарілий та неінтуїтивний для новачків; обмежено навчальні матеріали, потрібне навчання.	Переважно на вашому комп'ютері (офлайн)	Переважно на вашому комп'ютері (офлайн)
Технічна підтримка	Спільнота користувачів та онлайн-документація; відсутня офіційна підтримка (самостійне вирішення проблем).	Офіційна підтримка від виробника (Esri) та дилерів; якісна, але за умови платної техпідтримки.	Підтримка розробника в Україні (електронна пошта, форум); регулярні оновлення під нові вимоги.	На комп'ютері або у хмарі	Потребує ручних налаштувань для кращих результатів
Відповідність українським стандартам	Підтримує українські системи координат; відсутні готові рішення під стандарти ДСТУ (потрібне ручне налаштування).	Підтримує місцеві проєкції; не реалізовані українські нормативні вимоги без додаткової кастомізації.	Повна відповідність національним стандартам землеустрою та містобудівної документації (вбудовані шаблони ДСТУ, перевірка обмінних XML).	Відповідає вимогам законодавства у сфері геодезії, картографії та кадастру; базується на стандартах INSPIRE та ISO 19100.	

Критерій	QGIS	ArcGIS	Digitals	Agisoft Metashape	Pix4D
Інтеграція	Сумісність із багатьма форматами та СУБД (Shapefile, GeoJSON, PostGIS, WMS/WFS тощо); легко інтегрується у різні робочі процеси.	Підтримує імпорт/експорт даних (shapefile, геобаза); підтримує OGC-сервіси; інтеграція зорієнтована на екосистему Esri.	Підтримує мультикористувацьку роботуге через SQL-сервер; імпортує та експортує різні формати; завантажує зовнішні геодані (кадастрова карта, знімки).	Дозволяє об'єднувати потужну фотограмметричну обробку зображень з іншими системами для створення 3D-моделей, ортофотопланів та хмар точок. Програма має широкі можливості обміну даними та автоматизації для геодезії, ГІС (геоінформаційних систем) та VFX Відкрита архітектура на PostgreSQL/PostGIS – дозволяє підключати зовнішні ГІС (QGIS, ArcGIS,); є веб-сервіси (геопортал) для обміну даними.	
Перспективність (цифровізація та відновлення)	Перспективний завдяки відкритості та нульовій вартості – може масово застосовуватися у проєктах відбудови без ліцензійних обмежень.	Залишатиметься стандартом для складних ГІС-завдань, проте масове впровадження обмежене ціною; використовується в окремих проєктах відновлення при наявності фінансування	Продовжує розвиватися та використовуватися фахівцями (оновлення під нові вимоги тривають); з упровадженням державних ГІС-рішень його роль може поступово зменшитися.	Дає повний контроль над процесом і створює чистіші 3D-моделі	Пропонує кращу автоматизацію, роботу в хмарі та ідеально підходить для швидких геодезичних звітів

ВПЗ

4. Застосування даних лазерних знімальних систем та БПЛА для побудови ЦМР

Лазерні знімальні системи застосовують для побудови профілів рельєфу на територіях, закритих лісами, та створення цифрової моделі рельєфу місцевості. Їх застосування ефективне при обмеженні лінії електропередач, батиметричній зйомці внутрішніх водойм і шельфу, інвентаризації та моніторингу земельних ділянок, великих інженерних об'єктів.

При зйомці міст і населених пунктів отримане тривимірне зображення дозволяє успішніше проводити роботи з організації територій, оптимізувати розміщення приймально–передавальних станцій мобільного телефонного зв'язку для досягнення впевненого прийому сигналів.

Окрім лазерних сканерів, що використовуються з повітряних і космічних носіїв, існують наземні лазерні сканери. Принцип роботи цих знімальних систем аналогічний розглянутим сканером. Зображення, отримані ними, застосовуються для вивчення деформації будівель і промислових споруд, складання фронтальних планів складних архітектурних споруд тощо.

Обробку даних лазерного сканування здійснюють у спеціалізованих програмних комплексах .

Широке застосування отримала аерофотозйомка з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) цифровими напівпрофесійними фотоапаратами. У разі необхідності термінового оновлення електронних карт, а також моніторингу змін на невеликих розрізнених у просторі територіях застосування БПЛА є ефективнішим порівняно з використанням пілотованих літальних апаратів. Застосування пілотованої, нехай навіть і малої авіації, призведе до невиправданих економічних витрат.

Використання легко доставляємої до об'єкта зйомки, дистанційно керованої авіамоделі, обладнаний необхідною знімальною апаратурою, дозволяє оперативно виконувати аерофотознімальні роботи навіть за відсутності стабільних погодних умов, необхідних для виконання традиційної АФЗ. Для застосування БПЛА

ВПЗ

достатня короткочасного «вікна» гарної погоди. Крім цього, можливість зйомки з малих висот дозволяє її проведення при низькій суцільній хмарності.

Цифрова модель рельєфу – це математична модель, яка для кожної точки місцевості X, Y, Z дозволяє обрахувати координати точки Z:

$$Z = F(X, Y). \tag{4.1}$$

Для отримання цифрової моделі рельєфу необхідно зібрати вихідну інформацію, тобто виміряти для деяких точок X, Y їхні висоти Z.

Зібрати інформацію можна різними способами: геодезичним, картографічним, стереофотограметричним, лазерним скануванням. З точки зору структурних даних, тобто розташування точок з виміряними координатами по об'єкту ЦМР, можна розподілити:

– на вимірювання, виконані по регулярній сітці;

– на вимірювання, виконані в характерних точках рельєфу;

– на вимірювання, виконані в довільному порядку (хаотично);

– на комбіновані вимірювання – сукупність вимірювань, виконаних за регулярною сіткою, та вимірювань, виконаних у характерних точках рельєфу (за структурними лініями рельєфу).

Для побудови - ЦМР, крім вихідних вимірювань, потрібна обрати математичну модель F(x, y), що описує рельєф і забезпечує обчислення висот Z_i і для будь-якої точки моделі з координатами X_i, Y_i. Тому такі моделі виконують інтерполяцію або апроксимацію вихідних даних.

Розглянуто декілька широко відомих інтерполяційних моделей [29].

Інтерполяція може бути виконана на основі вже визначених висотних точок (рисунок 4.1).

ВГЗ

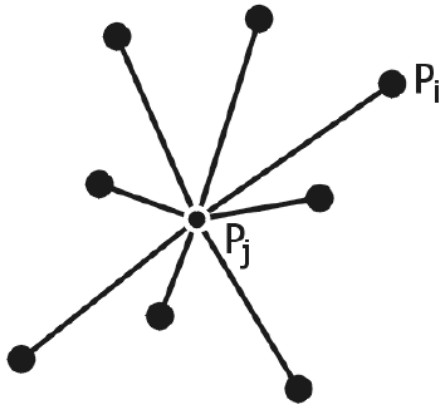


Рисунок 4.1 – Інтерполяція висотних точок

Нехай P_i – будь-яка точка множини з відомою висотою Z_i. Усередині множини знаходиться точка P_j , для якої потрібно шляхом інтерполяції отримати висоту Zj. інтерполяція здійснюється з усіх точок, що оточують Pj, з урахуванням вагових функцій f_{ij}. Такі функції залежать від відстаней між точками P_i та P_j, наприклад:

$$p_{ij} = \frac{1}{\sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}},$$

$$Z_j = \frac{\sum f_{ij} Z_i}{\sum f_{ij}}.$$

Вагову ж функцію можна виразити через квадрат відстані:

$$f_{ij} = \frac{1}{\sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}}$$

ВГТЗ

Для врахування характеру рельєфу висота Z_j можа розраховувати виходячи з припущення, що точка, яка визначається, лежить у похилій площині, тобто

$$Z_j = a_o + a_1 X_j + a_2 Y_j.$$

Коефіцієнти a_0, a_1, a_2 можна отримати як результат зрівнювання, що охоплює найближчі точки P_i з вагами f_{ij}. Можлива також інтерполяція висот за – TIN (рисунок 4.2) [6].

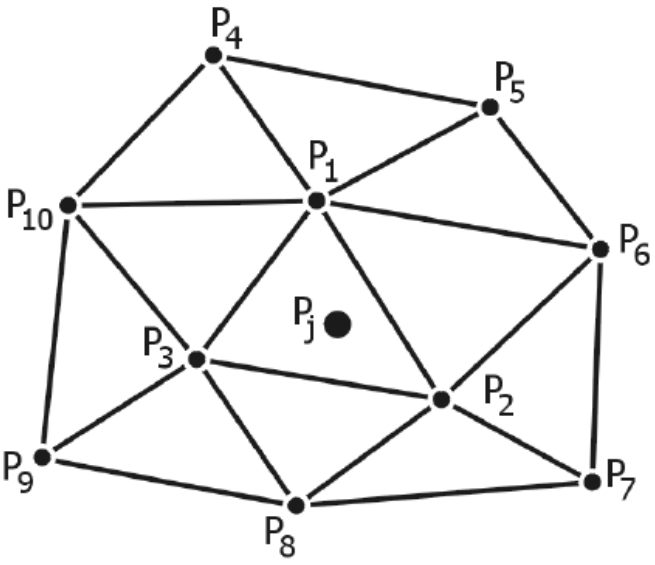


Рисунок 4.2 – Інтерполяція висот за нерегулярною мережею трикутників – TIN

У побудові мережі беруть участь точки, для яких на основі фотограмметричних вимірювань отримано висоту. при цьому обчислюється відстані між кожною точкою та сусідніми точками. Три близько розташовані точки множини можна об'єднати в певний трикутник. трикутник з найменшою площею додається в мережу TIN, яка представляє сукупність усіх найменших трикутників, побудованих для точок множини.

У трикутнику P_1 P_2 P_3 з координатами вершин(X_1Y_1, X_2Y_2, X_3 Y_3) та висотами Z_1, Z_2, Z_3 інтерпольована висота Z_i точки, яка розташована в цієї області, що обмежена сторонами, визначається наступним чином:

$$Z_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i \, .$$

Коефіцієнти a_0, a_1, a_2 знаходяться з трьох рівнянь для цього трикутника:

$$\begin{pmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 0 & X_2 & Y_2 \\ 0 & X_3 & Y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix}.$$

У космічних знімальних системах для формування зображення використовуються ПЗС- лінійки, на які за допомогою об'єктива проектується відповідно смуга місцевості. за рахунок руху космічного літального апарату (КЛА) відбувається послідовний огляд місцевості, над якою пролітає космічний літальний апарат. Таким чином, рядки зображення формуються за законом центральної проекції, а повне зображення – за рахунок додавання окремих рядків. елементами зовнішнього орієнтування знімка XS_1, YS_1, ZS_1, α, ω, k будуть постійно змінюватись, причому зміни координат S_1, S_1, S_1, X, Y, Z – це точки траєкторії польоту носія; вони можуть бути з високою точністю визначений за часом t_i формування і-го рядка зображення. Кутові коливання також можуть бути виміряні за допомогою спеціальних датчиків. Дані про елементи зовнішнього орієнтування записуються разом із космічними сканерними зображеннями.

Тому при фотогеометричної обробці космічних знімків слід враховувати такі особливості їх отримання:

– велику висоту польоту носія H=450- 800 км;

– вузьке поле зору системи;

– велику фокусну відстань f = 6- 10 м;

– можливість відхилення оптичної осі камери на кути до 45°,. що призводить до необхідності обробляти перспективні знімки, а в традиційній фотограмметрії – у більшості випадків планові знімки (кут нахилу менш 3°) [30].

ВПІЗ

Крім того, стереопари сканованих знімки формуються за рахунок поперечного перекриття знімків, і під час отримання стереопар оптичні осі зазвичай відхиляються від надира на великі кути.

Існуючі космічні знімальні системи, що використовуються для топографічних цілей, з точки зору роздільної здатності можна умовно поділити на такі системи:

– низької роздільної здатності: менш 30 м (Landsat, MODIS);

– середньої роздільної здатності: 10- 20 м (SPOT, IRS);

– високої роздільної здатності: 2,5-5 м (ALOS);

– надвисокої роздільної здатності – понад 1 м (IKONOS, QuickBird).

Також слід зауважити, що в наведеній класифікації роздільна здатність оцінюється для панхроматичного каналу, а спектральні канали мають нижчу роздільну здатність (зазвичай у1,5–2,5 рази нижчу).

При цьому строга математична модель сканерних знімків ґрунтується на відновленні зв'язки проектуючих променів, що формують рядок зображення, та на обчисленні елементів зовнішнього орієнтування: положення точки знімка кожного рядка та кутових елементів орієнтування для кожного рядка [31].

Рисунок 4.3 ілюструє геометрію формування сканерного зображення.

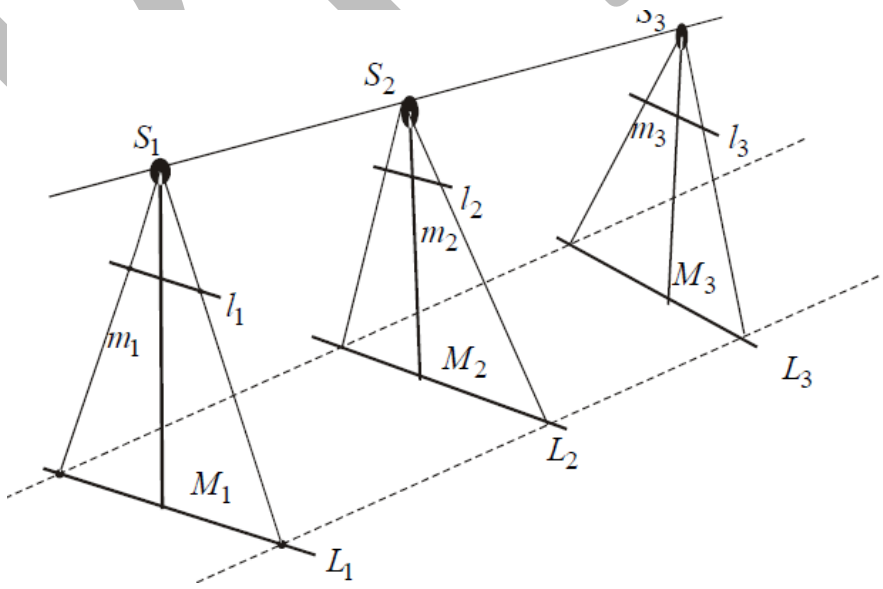


Рисунок 4.3 – Геометрія формування сканерного зображення

Тому всі елементи зовнішнього орієнтування можна отримати з вимірювань траєкторії:

– для літакових сканерів - за допомогою GPS;

– для супутників з розрахунку положення носія за часом формування рядка t_i, використовуючи опис траєкторії даного супутника.

Однак більшість фірм, що постачають космічні знімки, не супроводжують їх даними про елементи зовнішнього орієнтування, і тому практично неможливо використовувати строгу модель. Трансформування з використанням строгої моделі зазвичай виконують фірми виробники космічної зйомки, які потім передають користувачам вже готові трансформовані або ортотрансформовані знімки.

4.1 Алгоритм побудови цифрової моделі моделі рельєфа за даними наземного лазерного сканування та БПЛА лазерного сканування

Типова технологія створення ЦМР заснована на цифровуванні горизонталей як її основної складової, а також висотних позначок та інших картографічних елементів, що використовуються для відображення рельєфу, із залученням даних щодо інших об'єктів карти. Розглянемо загальний алгоритм фільтрації недостовірних точок [28,32,33].

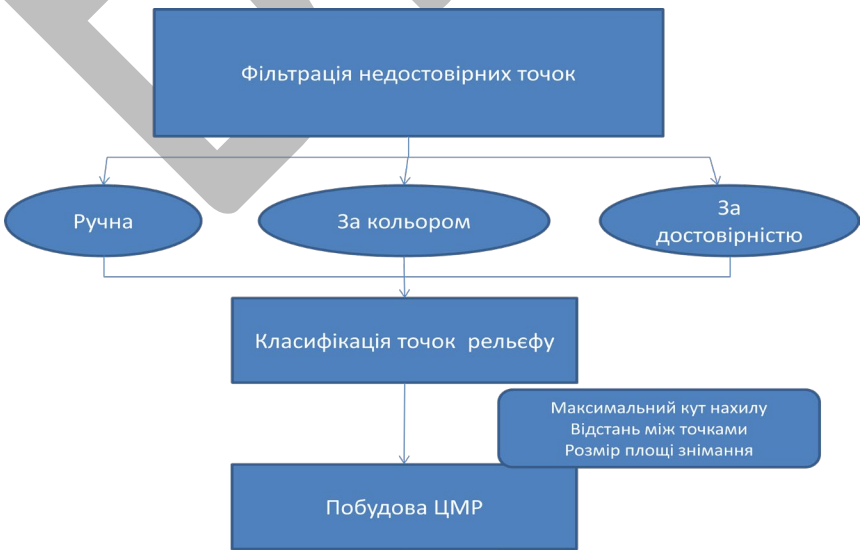


Рисунок 4.4 – Алгоритм виділення та побудову цифрової моделі рельєфу

4.1.1 Побудова цифрової моделі рельєфу за даними наземного лазерного сканування

Розглянемо рівнинну відкриту територію місцевості за розмірами 200 на 100м.

Як бачимо на хмарі точок присутні рослинність паркани невелике забудови яке потрапили лазерні сканери разом з приладами рисунок 4.5.



Рисунок 4.5 – Некласифіковані хмари точок

Наступним етапом є отримання цифрової моделі з цієї хмари точок рисунок 4.6.

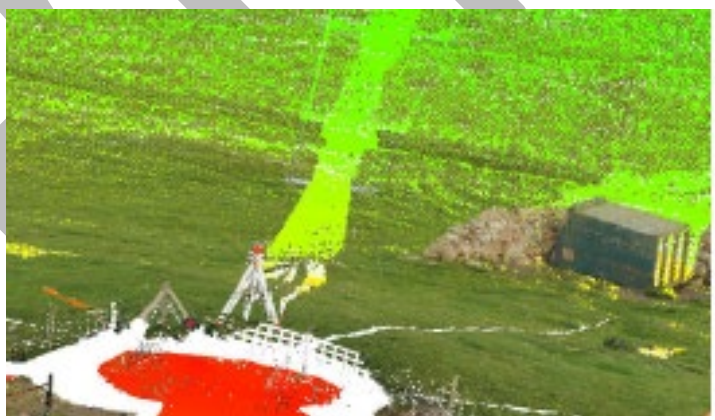


Рисунок 4.6 – Розділена хмара точок

Після виокремлення точок рельєфу від точок ситуації можна одразу побудувати поверхню та прокреслити горизонталі, але ці горизонталі будуть дуже зашумлені за рахунок неоднорідної поверхні Землі рисунок 4.7.



Рисунок 4.7 – Ділянка з зашумленими горизонталями

Тому для побудови горизонталей поверхню необхідно згладити або спростити. найкраще це зробити це згладжування Лапласа тому розглядаючи класифікацію яка була виконана ваєсофт меташип, так само для початку необхідно розподілити об'єкти ситуації від поверхні Землі рисунок 4.8, 4.9.

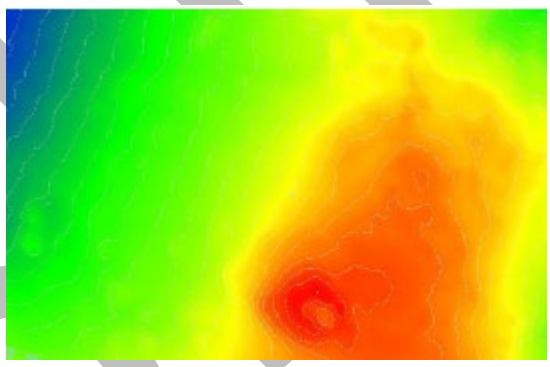


Рисунок 4.8 – Поверхня після спрощення



Рисунок 4.9 – Горизонталі після спрощення

ВГЗ

Як можемо побачити алгоритми чудово виконали свою задачу і більшість точок об'єктів ситуації забарвлені білим кольором, що вказує на віднесення їх до іншого класу ніж точки землі.

4.1.2 Побудова цифрової моделі рельєфу за даними БПЛА лазерного сканування

Для цього дослідження розглянемо іншу місцевість рисунок 4.10. Цифрова модель рельєфу будується за даними БПЛА лідар системи у якої заявлена точність за висотою 5 см і 10 см у плані при відносній висоті польоту 50 м.

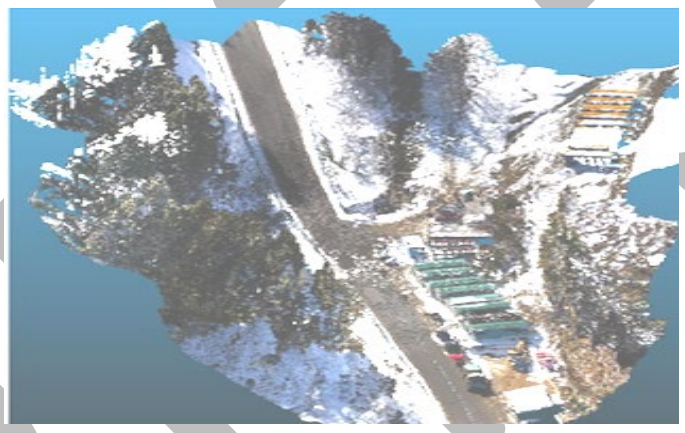


Рисунок 4.10 – Територія зйомки системою лідар

Під час огляду хмари точок помічено точки нижче поверхні.



Рисунок 4.11 – Шумові точки під рівнем землі.

Класифікація частини лісової смуги вагисофт меташап зображено з великої кількості шумових точок які належать лісовим насадженням, а не поверхні Землі рисунок 4.12.

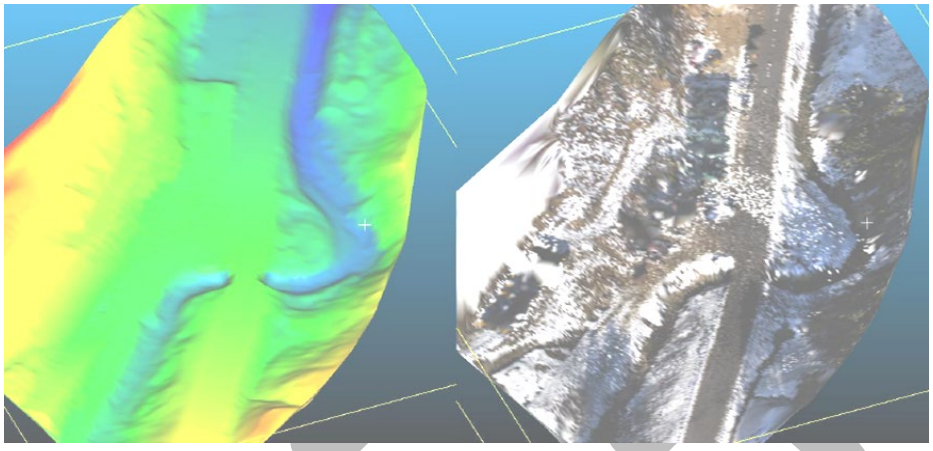


Рисунок 4.12 – Хмара точок лісових насаджень після класифікації

При цьому класифікація хмари точок над проїзною частиною більш проявлена і зайвих точок майже немає рисунок 4.13.

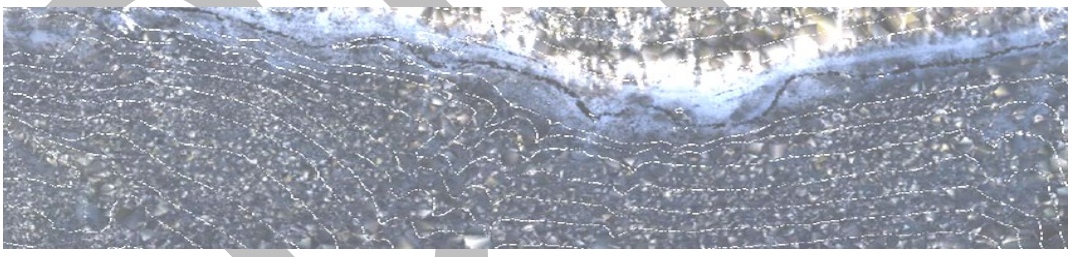


Рисунок 4.13 – Хмара точок проїзної частини після класифікації та побудова горизонталей

ВИСНОВКИ

Досліджено особливості методик аерогеодезичних робіт в землевпорядкуванні з використанням сучасних наземних методів збирання геопросторових даних приладами лазерного сканування та збирання геопросторових даних лазерними сканувальними системами повітряного базування. Досліджено приладову базу, технічні характеристики, програмне забезпечення та комп'ютерне оброблення даних для побудови ЦМР.

Побудова цифрової моделі рельєфу за даними повітряного лазерного сканування в процесі класифікації найчастіше непридатна для подальшого використання і має такі недоліки:

1. наявність надлишкової інформації. Це пов'язано з тим що сучасні лазерні сканери дозволяють отримати дуже високу щільність точок і така детальність зазвичай буває зайвою. горизонталі, побудовані по поверхні у форматі TIN без якої-небудь обробки уе відтворюються адекватна моделі.

2. Похибки класифікації найпотужніше алгоритми класифікації засновані на застосуванні ряду методів, таких як геометричні методи.

3. Похибки лазерного сканування .

Для створення цифрової моделі рельєфу, придатної до використання слід застосовувати алгоритми оптимізації та усунення шумів при цьому необхідно дотримуватись вимог керівних документів які допускають коректування отриманих даних в достатньо вузькому діапазоні зокрема для великомасштабної картографічної продукції.

ВГЗ

Список використаних джерел

1. Особливості регулювання земельних відносин в умовах воєнного часу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://jurliga.ligazakon.net/analitycs/211625_osoblivost-regulyuvannya-zemelnikh-vdnosin-v-umovakh-vonnogo-stanu, вільний. – Назва з екрана.

2. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо діяльності нотаріусів та функціонування єдиних та державних реєстрів, держателем яких є Міністерство юстиції, в умовах воєнного стану [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 19 квітня 2022 р. № 480. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/480-2022-%D0%BF#Text, вільний. – Назва з екрана.

3. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання ведення та функціонування Державного земельного кадастру в умовах воєнного стану» від 07.05.2022 № 564-п [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/go/564-2022-%D0%BF, вільний – Назва з екрана.

4. Деякі питання регулювання земельних відносин [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 10 травня 2022 р. № 563. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/563-2022-%D0%BF#Text , вільний. – Назва з екрана.

5. Деякі питання ведення та функціонування Державного земельного кадастру в умовах воєнного стану [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 07 травня 2022 р. № 564. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/npas/deyaki-pitannya-vedennya-ta-funkcionuvannya-derzhavnogo-zemelnogo-kadastru-v-umovah-voyennogo-s564-070522 , вільний. – Назва з екрана.

6. Проєкти цифрової трансформації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://plan2.diia.gov.ua/projects , вільний. – Назва з екрана.

7. Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність [Електронний ресурс] : Закон України від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV. – Електронні текстові

ВПЗ

дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text , вільний. – Назва з екрана.

8. Про національну інфраструктуру геопросторових даних [Електронний ресурс] : Закон України від 13 квітня 2020 р. № 554-IX. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text , вільний. – Назва з екрана.

9. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#n11 , вільний. – Назва з екрана.

10. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою [Електронний ресурс]: Наказ Мінагрополітики України від 02.12.2016 № 509. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text , вільний. – Назва з екрана.

11. А.М. Козуб, Н.О. Суворова, В.М. Чернявський. Аналіз засобів збору інформації для географічних даних інформаційних систем. Системи озброєння і військова техніка, 2011, № 3(27).С.42-47.

12. Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text, вільний. – Назва з екрана.

13. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532 . – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#Text, вільний. – Назва з екрана.

14. Барановський В.Д., Карпінський Ю.О., Кучер О.В., Ляшенко А.А. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення державного

земельного кадастру. Системи координат і картографічні проекції / За заг. ред. Ю.О.Карпінського. – К.; НДІГК, 2009 р.

15. Купріянчик І.П. Фотограмметрія та дистанційне зондування: навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закл. // І.П. Купріянчик, Є.В. Бутенко. К.: МВЦ «Медінформ», 2013. 392 с.

16. Геодезія. Топографія [Текст]: навч. посібник / А.Л. Островський, О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, І.Ф. Гарасимчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 440 с.

17. Білокриницький С.М. Геодезія [Текст]: навч. посібник / С.М. Білокриницький. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. – 576 с.

18. Наземне лазерне сканування [Електронний ресурс] : Режим доступу: https://geotop.com.ua/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie_ua.php, вільний– Назва з екрану.

19. Гребеніков А. Г., Мялиця А. К., Парфенюк В. В. Загальні види і характеристики безпілотних літальних апаратів: справ, посібник. Харків. 2008. 377с.

20. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів органами та підрозділами поліції: метод. рек. / А. А. Саковський, С. М. Науменко, С. І. Кравченко, І. М. Єфіменко та ін. Київ: Нац. акад. внутр. справ. 2022. 72 с.

21. БПЛА - гексакоптер Leica Aibot [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://ngc.com.ua/shop/bpla/f-41_144_drony/ , вільний. – Назва з екрана.

22. Leica Infinity Surveying Software [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://leica-geosystems.com/en-gb/products/gnss-systems/software/leica-infinity , вільний (дата звернення: 16.06.2023). – Назва з екрана.

23. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. – Кн. 2 / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.

24. QGIS Desktop [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://qgis.org/, вільний – Назва з екрана.

25. ArcGIS Online / ArcGIS Pro [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.arcgis.com/ та https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-

pro/overview, вільний – Назва з екрана.

26. Digitals – Analytica (Digitals mapping software) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.vingeo.com/podigitals.html, вільний – Назва з екрана.

27. SoftPro GIS / SoftPro Standard [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://softpro.ua/en/creation_geoportalov_the_cadastral_portals_support_and_support та https://www.softprocorp.com/real-estate-software-solutions/softpro-standard, вільний – Назва з екрана.

28. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник /В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.

29. Зацерковний В. І., Демидов В. К., Цюпа І. В., Малік Т.М. Моделювання в ГІС – 2024. – 420 с.

30. Фотограмметрія: Навчальний посібник / Ю.Г. Кордуба, Є.І. Смірнов. – К., 2007. – 256 с.

31. Купріянчик І.П. Фотограмметрія та дистанційне зондування: навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закл. // І.П. Купріянчик, Є.В. Бутенко. К.: МВЦ «Медінформ», 2013. 392 с.

32. Часковський О. Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання / О. Часковський, С. Гаврилюк, В. Костишин. // Geodesy, architecture and construction. – 2009. – С. 150–151.

33. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії: Книга 1. Підручник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2019. - 332 с.

ВГЗ