НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет землевпорядкування

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
управління земельними ресурсами
д.е.н,проф_____ **Ольга ДОРОШ**
«___» _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Створення ортофотоплану населеного пункту масштабу 1:2000 (на частину території м. Боярка)»

Спеціальність «193 Геодезія та землеустрій»

Гарант освітньої програми
доктор географічних наук, професор_____ Іван КОВАЛЬЧУК

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
кандидат економічних наук, доцент _____ Євген БУТЕНКО

Виконав _____ Руслан БІЛОШИЦЬКИЙ

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет землевпорядкування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
управління земельними ресурсами
д.е.н,проф_____ **Ольга ДОРОШ**

«____»_____2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Білошицькому Руслану Сергійовичу

Спеціальність «193» Геодезія та землеустрій»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи **«Створення ортофотоплану населеного пункту масштабу 1:2000 (на частину території м. Боярка)»** затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 18 ” листопадая 2024 р. № 2063 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру *за десять днів до захисту бакалаврської кваліфікаційної роботи*.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи є матеріали геодезичних вишукувань та цифрові знімки території об’єкта дослідження.

Перелік питань, які потрібно дослідити, а саме:

1. Населений пункт як основа територіального устрою України;
2. Фотограмметричні методи створення ортофотопланів;
3. Етапи створення ортофотоплану населеного пункту масштабу 1:2000

Дата видачі завдання « 19 » листопада 2024 року

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи _____ **Євген БУТЕНКО**

Завдання прийняв до виконання _____Руслан БІЛОШИЦЬКИЙ

Зміст

Реферат бакалаврської кваліфікаційної роботи 5
Перелік умовних позначень 7
Вступ 8
Завдання: 8
Розділ 1. Населений пункт як основа територіального устрою України. 10
1.1 Існуюча система адміністративно-територіального устрою 12
1.2 Нормативно-правове забезпечення формування населених пунктів 13
1.3 Види землекористувань в межах населених пунктів та особливості їх функціонування 14
Висновки до першого розділу 15
Розділ 2. Фотограмметричні методи створення ортофотопланів 18
2.1. Знімальні роботи та їх суть 20
2.2. Фотограмметричні програми обробки та їх застосування 22
2.3. Ортофотоплан та методика його створення 25
Висновки другого розділу. 28
Розділ 3. Створення ортофотоплану населеного пункту масштабу 1:2000 (на частину території м. Боярка 30
3.1. Технічні характеристики БПЛА при виконанні знімальних робіт 30
3.2. Топографо-геодезичні роботи при зйомці населеного пункта 34
3.3. Обробка матеріалів у програмі PIX4D 39
3.4. Особливості виконання робіт та оцінка точності при створенні ортофотоплана 44
Висновки третього розділу 48
Висновок до кваліфікаційної бакалаврської роботи 50
Список використаних джерел 53
Додатки 56

Реферат бакалаврської кваліфікаційної роботи

Дана робота має таку структуру: вступ, 3 розділи, список використаних 30 джерел, 4 додатки.

У роботі даній буде розглянуто наукові засади створення ортофотоплану масштабу 1:2000 на основі частини території м.Боярка. Та подальшої обробки за допомогою спеціального ПЗ.

У першому розділі я розглянув основи територіального устрою України.

Нормативно-правове забезпечення. Види землекористування в межах населених пунктів.

У другому розділі я розглянув Фотограмметричні методи створення ортофотопланів. Фотограмметричні програми обробки та їх застосування. Ортофотоплан та методика його створення.

У третьому розділі я розглянув технічні характеристики БПЛА при виконанні знімальних робіт. Топографо-геодезичні роботи при зйомці населеного пункта. Обробка матеріалів у програмі PIX4D. Особливості виконання робіт та оцінка точності при створенні ортофотоплана. Оформлення матеріалів та приведення донеобхідного масштабу у визначеній системі координат.

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи є надзвичайно актуальною. Вона відповідає сучасним вимогам розвитку технологій та наукових досліджень у галузі геодезії та картографії, а також має практичне значення для вдосконалення методів управління земельними ресурсами в Україні.

Дана робота також має необхідні таблиці, та рисунки що наглядно ілюструють зйомку та обробку отриманих результатів.

У висновках наведено основні заходи щодо покращення та вдосконалення застосування безпілотних літальних апаратів. Додатки містять основні допоміжні матеріали, необхідні для кращого розуміння розрахункових частин.

Перелік умовних позначень

АФА – Аерофотоапарат

АФЗ – Аерофотознімання

БПЛА – Безпілотний літальний апарат

ГІС – Геоінформаційні системи

ДЗЗ – Дистанційне зондування землі

ОРТО – Ортофотоплан

ФГ – Фотограметрія

ЦММ – Цифрова модель місцевості

ЦМП – Цифрова модель поверхні

ЦМР – Цифрова модель рельєфу

3D – Тривимірне модель

Вступ

Постанова проблеми.

У сучасному світі де геодезія, інженерія та архітектура потребують все більшої точності та деталізації, ортофотоплан дозволяє створити цифрову копію місцевості, та підвищити якість аналізу місцевості.

Ця бакалаврська робота присвячена створенню ортофотоплану частини території м. Боярка. Ми розгянемо програмні забезпечення для обробки знімків та різновити БпЛа для створення вихідних даних для ортофотоплану. В ході виконання робти буде розглянуто основи адміністративно - териториального устрою України,методи створення ортофотопланів та створено ортофотоплан чстини території м. Боярка.

Актуальність роботи.

Популярінсть ортофоотопланів зумовлена:

- точність – показує актуальну, дуже детальну інформацію про стан земної поверхні на ділянці, відведеній під забудову
- наочність – ортофотоплан легко читати. Він дає більш наочне уявлення про рельєф місцевості, ніж звичайна топографічна карта.
- зручність – інформація з ортофотоплану легко переноситься на топографічний план підоснови, який використовується проектувальниками.

Мета бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Мета роботи полягає у опрацюванні цифрових знімків території населеного пункта у спеціальному програмному забезпеченні та створення ортофоплану місцевості масштабу 1:2000.

Завдання:

- Аналіз системи адміністративно-територіального устрою країни;
- Дослідження видів землекористувань в межах населених пунктів та їх особливостей;
- Знайомство із видами робіт при зйомці території з БПЛА;
- Обробка матеріалів у програмі PIX4D

- Оцінка точності виконаних робіт
- Оформлення матеріалів та приведення до необхідного масштабу у визначеній системі координат.

Методи дослідження.

Візуалізація: Знімки було завантажено в Pix4d для перегляду вихідних даних.

Аналіз: Знімки проаналізовано, щоб виявити закономірності та особливості частини міста, виміряти відстані, кути та площі, а також створити розрізи та перерізи.

Створення ортофотоплану: Pix4d дозволяє створювати плани місцевості Це може бути корисно для планування будівлі нових приміщень,виявлення потенційних проблем та спілкування стосовно ідей з іншими людьми.

Проектування: Pix4d можна використовувати для створення креслень та специфікацій для будівельних проектів. Це може допомогти вам заощадити час та гроші, а також забезпечити точність та послідовність проекту.

Структурний аналіз: Ви можете використовувати Pix4d для моделювання та аналізу великих площ, таких як міста, села, поля та ферми. Це може допомогти вам оцінити якісно та інформативно план місцевості.

Об’єкт дослідження.

Частина території міста Боярка.

Структура і обсяг роботи.

Кваліфікаційної бакалаврська робота складається зі вступу, 3 розділів та 9 підрозділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Практична цінність .

Полягає в підвищенні якості освіти, оптимізації дослідницької діяльності, зниженні витрат та оперативності отримання актуальних даних. Використання БпЛА дозволяє студентам здобувати практичні навички роботи з сучасними технологіями, підвищує ефективність досліджень і робить геодезичні роботи більш економічно вигідними та безпечними.

Розділ 1. Населений пункт як основа територіального устрою України.

Територаільний устрій України являє собою велику складну систему організації держави, де основні ланки це адміністративно-територіальної структури. Дослідження особливостей населених пунктів дозволяє розкрити ключеві механізми територаільної організації влади та місцевого самоврядування.

Поняття населеного пункту в українському законодавстві пояснюється як поселення людей, що має унікальні характеристики розташування в просторі, постійного населення, сформованої соціально-економічної інфраструктури та адміністративно-правового статусу Класифікація населених пунктів передбачає поділ на села, селища, міста республіканського, обласного та районного значення, що дозволяє побачити різницю їхньої внутрішньої структури та функціональної спроможності.

Рис. 1.1 Територіальний поділ

Конституційно-правове забезпечення статусу населених пунктів реалізується через систему нормативно-правових актів, які визначають

основоположні принципи місцевого самоврядування. Зокрема, важливими факторами є гарантування прав територіальних громад, встановлення адміністративно-територіальних меж та регулювання повноважень органів місцевого управління.

Функціонал населених пунктів у територіальному устрої має загальний характер та охоплює декілька взаємопов'язаних напрямків. В адміністративній сфері вони забезпечують реалізацію місцевого самоврядування, управління територіальними ресурсами та надання соціальних послуг населенню. Економічна функція передбачає забезпечення робочих місць, формування місцевих бюджетів та розвиток інфраструктури виробничих підприємств. Соціольнокультурний аспект включає збереження культурної спадщини, забезпечення комунікаційв соціумі та відтворення локальних традицій.

Сучасний стан територіального устрою України пояснюється великою кількості складних викликів, серед яких демографічна криза, нерівномірність розвитку територій, потреба в децентралізації та оптимізації адміністративно-територіальних одиниць.

Варто звернути увагу на процес формування спроможних територіальних громад, який передбачає збільшення адміністративних одиниць на початках економічної доцільності та соціальної ефективності. Цей процес супроводжується значними інституційними перетвореннями, що вимагають спеціального підходу до повноважень та ресурсів між різними рівнями управління.

Дослідження які проводили дозволяє стверджувати, що населені пункти є основою територіального устрою України, забезпечуючи просторову організацію держави, реалізацію місцевого самоврядування та комплексний розвиток територій. Подальше покращення системи територіальної організації потребує послідовних законодавчих та управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності місцевого врядування.

1.1 Існуюча система адміністративно-територіального устрою

Адміністративно-територіальний устрій (адміністративний поділ) — це розподіл території країни на окремі частини такі як адміністративно-територіальними одиницями (губернії, провінції, області, округи, повіти), що визначає створення та функціонування органів державної влади й місцевого самоврядування.

Форма організаційна держави, яка описує територіальний устрій та правові взаємини між державою та її складовими частинами. Вона проявляється в особливості правового статусу адміністративних одиниць і розподілі повноважень між центральними та місцевими органами.

Організація держави на законному рівні , спрямована на ефективне виконання функцій, що стоять перед суспільством і державою. Зазвичай це виконується шляхом поділу території на одиниці, що служать фундаментом для створення органів державної влади та місцевого самоврядування. На сьогоднішній день адміністративно-територіальний устрій України включає 24 області, 136 районів та 1469 територіальних громад. Такий вид організації має як свої переваги, так і недоліки. До переваг можна віднести чітку ієрархію управління та розподіл повноважень між різними рівнями влади. Проте існують і проблеми, зокрема нерівномірний розподіл ресурсів між територіальними одиницями та складнощі у координації їх діяльності. Цікавим факт є те, що нова система адміністративно-територіального устрою має вагомий вплив на економічний розвиток регіонів. Об'єднані територіальні громади отримали більше можливостей для розвитку, але не всі змогли ефективно скористатися цими можливостями через брак досвіду та ресурсів.

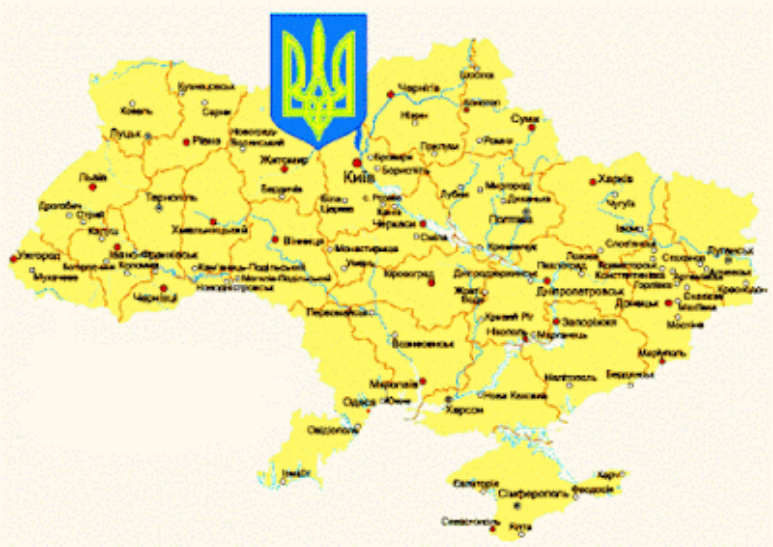


Рис. 1.2 Територіальні громади України, 2022 рік

1.2 Нормативно-правове забезпечення формування населених пунктів

Законодавча основа процесу формування населених пунктів є важливим елементом територіальної організації держави. Це загальне поняття включає в себе різноманітні правові документи, законодавчі норми та юридичні механізми, що виявляють правила заснування, зміни статусу чи припинення існування поселень.

Правовий акт у цій сфері являє собою Закон України, який формує засади просторової організації території та типи населених пунктів. Важливе значення має також нормативний акт щодо місцевого самоврядування, котрий регламентує базові засади керування населеними пунктами.

Отже, правове регулювання являє собою основний чинник, що встановлює законні підстави та процедури утворення населених пунктів, одночасно гарантуючи дотримання рівноцінного балансу між локальними потребами громад та інтересами держави в цілому [2].

1.3 Види землекористувань в межах населених пунктів та особливості їх функціонування

Насамперед слід зазначити, що території в межах населених пунктів поділяються на кілька основних функціональних зон, кожна з яких має свої особливості використання та правове регулювання.

Житлова зона є однією з ключових категорій землекористування. Вона охоплює території багатоквартирної та частної забудови, для яких встановлюються вимоги щодо щільності забудови, озеленення та інфраструктурного забезпечення. Важливим аспектом є дотримання санітарних норм, включаючи рівень шуму та щільність житлових приміщень.[3]

Громадська зона призначена для розміщення соціальної інфраструктури, зокрема закладів освіти, охорони здоров’я, культури, торгівлі та адміністративних установ. Її функціонування передбачає забезпечення зручної транспортної доступності та комфортного середовища для відвідувачів.

Виробнича зона включає території промислових підприємств, складів та комунальних об'єктів. При її використанні особливу увагу приділяють дотриманню екологічних норм, створенню санітарно-захисних зон і раціональному розміщенню щодо житлової забудови з урахуванням основних напрямків вітрів.

Рекреаційна зона охоплює парки, сквери, набережні та інші території, призначені для відпочинку населення. Її функціонування спрямоване на підтримання екологічного балансу та створення сприятливого мікроклімату в населеному пункті, що вимагає постійного догляду за зеленими насадженнями та благоустроєм.[2]

Транспортна зона включає дороги, вулиці, площі, автостоянки та інші об’єкти транспортної інфраструктури. Їх особливість полягає в забезпеченні безперебійного руху транспорту і пішоходів, а також у регулярному обслуговуванні та ремонті.

Забезпечення комплексного розвитку територій вимагає узгодження різних видів землекористування та врахування інтересів усіх землекористувачів.

Важливу роль відіграє дотримання екологічних стандартів, контроль рівня забруднення та рівня шуму, а також підтримання належного рівня озеленення для створення комфортного середовища для життя.

Висновки до першого розділу

Дослідження особливостей населених пунктів як основи територіального устрою України дозволяє зробити ряд важливих висновків щодо їх ролі, структури та функціонування в системі державної організації. Населені пункти виступають фундаментальними елементами територіальної організації держави, забезпечуючи просторову структуризацію та ефективне функціонування системи місцевого самоврядування. Кожен населений пункт характеризується своїм унікальним географічним розташуванням, наявністю постійного населення, сформованою соціально-економічною інфраструктурою та відповідним адміністративно-правовим статусом, що визначає його місце в загальній системі територіального устрою.

Сучасна система адміністративно-територіального устрою України, що включає 24 області, 136 районів та 1469 територіальних громад, формує ієрархічну структуру управління, яка має свої переваги та недоліки. З одного боку, така організація забезпечує чіткий розподіл повноважень між різними рівнями влади, а з іншого - стикається з проблемами нерівномірного розподілу ресурсів між територіальними одиницями та складнощами у координації їхньої діяльності. Особливо актуальним у цьому контексті є процес формування спроможних територіальних громад, спрямований на підвищення економічної ефективності та соціальної спроможності адміністративних одиниць шляхом їх укрупнення та оптимізації [8].

Нормативно-правове забезпечення формування населених пунктів ґрунтується на комплексній системі законодавчих актів, що регламентують процеси утворення, зміни статусу та функціонування поселень. Ця правова база є визначальною для встановлення законних підстав та процедур утворення населених пунктів, одночасно забезпечуючи дотримання балансу між

локальними потребами громад та загальнодержавними інтересами. Законодавче регулювання охоплює питання просторової організації території, визначення типів населених пунктів та засад місцевого самоврядування.

Важливою характеристикою населених пунктів є їх функціональне зонування, що передбачає поділ території на житлову, громадську, виробничу, рекреаційну та транспортну зони. Кожна з цих зон має свої специфічні вимоги щодо використання та правового регулювання. Так, для житлової зони встановлюються норми щодо щільності забудови та озеленення; громадська зона призначена для розміщення об'єктів соціальної інфраструктури; виробнича зона вимагає дотримання екологічних стандартів та створення санітарно-захисних зон; рекреаційна зона спрямована на підтримання екологічного балансу; а транспортна зона забезпечує функціонування об'єктів транспортної інфраструктури.[4]

Ефективне функціонування населених пунктів неможливе без врахування їх багатофункціональності. В адміністративній сфері вони забезпечують реалізацію місцевого самоврядування, управління територіальними ресурсами та надання соціальних послуг населенню. Економічна функція передбачає забезпечення робочих місць, формування місцевих бюджетів та розвиток інфраструктури виробничих підприємств. Соціокультурний аспект включає збереження культурної спадщини, забезпечення комунікації в соціумі та відтворення локальних традицій.

Особливої уваги в контексті розвитку населених пунктів заслуговує питання забезпечення екологічних стандартів при землекористуванні. Це включає дотримання санітарних норм у житлових зонах, контроль рівня забруднення та шуму, створення санітарно-захисних зон біля виробничих об'єктів та підтримання належного рівня озеленення в рекреаційних зонах. Комплексний розвиток територій вимагає узгодження різних видів землекористування та врахування інтересів усіх землекористувачів для створення комфортного середовища для життя.

Варто зазначити, що сучасний стан територіального устрою України характеризується наявністю значних викликів, серед яких демографічна криза, нерівномірність розвитку територій, потреба в децентралізації та оптимізації адміністративно-територіальних одиниць. Процес формування спроможних територіальних громад, хоча і спрямований на подолання цих викликів, супроводжується значними інституційними перетвореннями, що вимагають спеціального підходу до перерозподілу повноважень та ресурсів між різними рівнями управління.

Таким чином, населені пункти є фундаментальною основою територіального устрою України, забезпечуючи просторову організацію держави, реалізацію місцевого самоврядування та комплексний розвиток територій. Подальше вдосконалення системи територіальної організації потребує послідовних законодавчих та управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності місцевого врядування та забезпечення сталого розвитку населених пунктів з урахуванням їх просторових, економічних, соціальних та екологічних особливостей.

Розділ 2. Фотограмметричні методи створення ортофотопланів

Створення ортофотопланів є важливим аспектом у сучасній геодезії та картографії, що дозволяє отримувати точні зображення земної поверхні. Процес створення ортофотопланів ґрунтується на використанні аерофотознімків та їх обробці з метою усунення спотворень, викликаних рельєфом місцевості та особливостями групою камер. Ця технологія набула особливого значення з розвитком цифрових методів обробки даних та впровадженням БпЛА у виконанні геодезичних робіт.

Основою створення ортофотопланів є перетворення аерофотознімків з центральної проекції в ортогональну. Цей процес передбачає використання ЦМР для врахування впливу топографії місцевості на геометрію знімків. Важливим аспектом є також забезпечення точної прив'язки знімків до системи координат місцевості, що досягається шляхом використання опорних точок з відомими координатами або застосуванням високоточних приладів GNSS під час виконання аерофотозйомки.[8]

Процес створення ортофотоплану включає декілька послідовних етапів. Першим є планування та виконання аерофотозйомки, що передбачає визначення оптимальних параметрів знімання: висоти польоту, фокусної відстані камери, перекриття між сусідніми знімками. Потрібно приділити увагу забезпеченню достатнього поздовжнього та поперечного перекриття знімків для можливості їх подальшої стереофотограмметричної обробки. На цьому етапі також враховуються погодні умови, освітленість місцевості та технічні характеристики знімальної апаратури.

Наступним етапом є фотограмметрична обробка отриманих знімків, яка включає створення цифрової моделі рельєфу на основі стереопар знімків. Цей процес може виконуватися як автоматично з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, так і в напівавтоматичному режимі з участю оператора. Важливим аспектом є контроль якості створеної ЦМР, оскільки її точність безпосередньо впливає на якість кінцевого ортофотоплану.

Процес ортотрансформування передбачає перерахунок положення кожного пікселя вихідного знімка з урахуванням рельєфу місцевості та параметрів знімальної камери. При цьому враховуються елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімків, що визначаються в процесі калібрування камери та фотограмметричної обробки. Важливим аспектом є вибір методу інтерполяції значень яскравості пікселів, який впливає на візуальну якість кінцевого продукту.

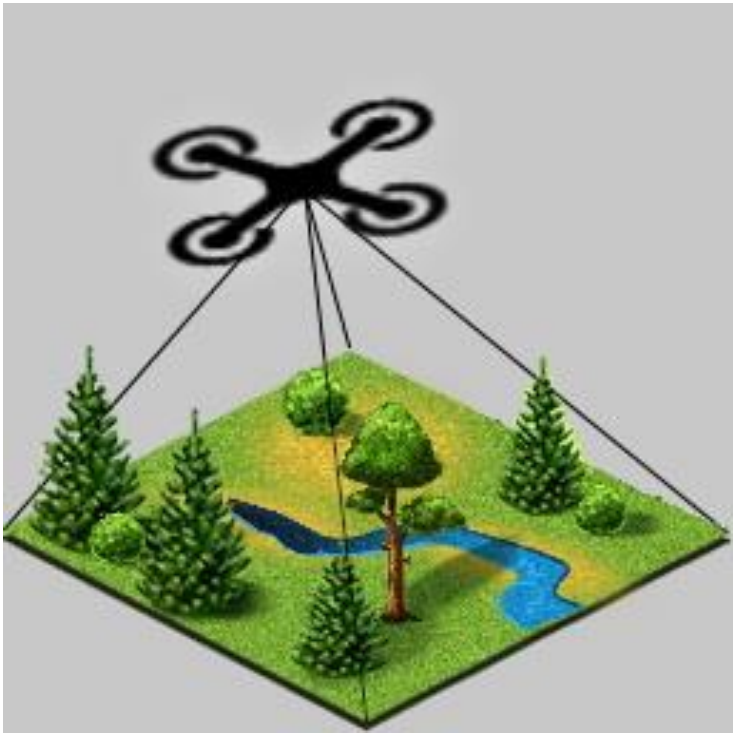


Рис. 2.1 Принцип зйомки місцевості з БПЛА

Сучасні технології дозволяють автоматизувати більшість етапів створення ортофотопланів, однак важливим залишається контроль якості на кожному етапі роботи. Особлива увага приділяється перевірці геометричної точності отриманого ортофотоплану шляхом порівняння координат контрольних точок. Також важливим є візуальний контроль якості зшивання сусідніх знімків та відсутності геометричних спотворень на межах фрагментів.

Використання безпілотних літальних апаратів значно розширило можливості створення ортофотопланів, особливо для невеликих територій та об'єктів зі складною конфігурацією. БПЛА дозволяють отримувати знімки з

високою роздільною здатністю та виконувати зйомку в умовах, недоступних для традиційної аерофотозйомки. При цьому важливим є дотримання вимог щодо стабільності польоту та забезпечення необхідної точності позиціонування.

Сучасні методи створення ортофотопланів також передбачають можливість інтеграції даних з різних джерел, включаючи матеріали лазерного сканування та супутникові знімки. Це дозволяє підвищити точність та інформативність кінцевого продукту, особливо в складних умовах місцевості або при наявності щільної забудови. Важливим аспектом є також можливість створення тривимірних моделей місцевості на основі фотограмметричних даних.[5]

2.1. Знімальні роботи та їх суть

Знімальні роботи являють собою комплекс польових та камеральних робіт, спрямованих на отримання просторової інформації про місцевість та об'єкти на ній. Сучасні методи знімання мають як традиційні наземні способи, так і передові технології аерофотознімання з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

При підготовці до знімальних робіт в першу чергу визначається їх мета та необхідна точність результатів. Важливим етапом є рекогностування місцевості попереднє обстеження території для визначення оптимальних методів знімання, виявлення перешкод та особливостей рельєфу. На основі цієї інформації розробляється проект виконання робіт, який включає технічне завдання, календарний план та кошторис.

Для забезпечення необхідної точності знімальних робіт створюється планово-висотна геодезична основа. Вона включає пункти державної геодезичної мережі та точки знімальної мережі.

При виконанні аерофотознімання з БПЛА особлива увага приділяється плануванню польотних місій. Визначаються оптимальні маршрути, висота польоту, перекриття знімків та інші параметри, які забезпечать отримання

якісних матеріалів. Сучасні БПЛА обладнані високоточними системами позиціонування та стабілізації, що дозволяє отримувати знімки відмінної якості навіть в складних умовах.

Важливим фактом знімальних робіт є погодні умови. Для аерофотознімання критичними факторами є швидкість вітру, освітленість, хмарність та опади. Наземні роботи також значною мірою залежать від погодних умов, особливо при використанні оптичних приладів.

Процес наземного знімання включає визначення координат характерних точок місцевості та об'єктів за допомогою електронних тахеометрів, GNSS-приймачів або інших геодезичних приладів. При цьому ведеться польовий журнал, де фіксуються всі виміри та додаткова інформація про об'єкти знімання. Сучасні геодезичні прилади дозволяють автоматизувати процес збору даних та їх попередньої обробки безпосередньо в полі.

Особлива увага приділяється контролю якості польових вимірювань. Виконуються контрольні виміри, перевірки прив'язки до опорних пунктів, оцінюється точність визначення координат точок. Це дозволяє своєчасно виявити та усунути можливі помилки у вимірюваннях.

Камеральна обробка результатів знімання включає математичну обробку вимірювань, урівнюваннь геодезичних мереж, створення цифрових моделей місцевості. При обробці даних аерофотознімання виконується фотограмметрична обробка знімків, створення ортофотопланів та тривимірних моделей місцевості.

Сучасне програмне забезпечення дозволяє автоматизувати більшість процесів обробки результатів знімання. Проте важливим залишається контроль з боку виконавця, перевірка достовірності отриманих результатів та їх відповідності технічному завданню.

Результати знімальних робіт є основою для створення топографічних планів, карт, цифрових моделей місцевості. Вони використовуються для вирішення різноманітних задач землеустрою, кадастру, проектування та

будівництва. Точність та повнота знімальних робіт безпосередньо впливає на якість подальших проектних рішень.

В сучасних умовах все більшого значення набуває комплексний підхід до виконання знімальних робіт, який передбачає поєднання різних методів та технологій для досягнення оптимального результату. Це дозволяє підвищити ефективність робіт, скоротити терміни їх виконання та забезпечити необхідну точність результатів.

2.2. Фотограмметричні програми обробки та їх застосування

Одним з найпопулярніших програмних продуктів є Agisoft Metashape (раніше відомий як PhotoScan), який широко використовується для обробки даних аерофотознімання. Ця програма забезпечує повний цикл фотограмметричної обробки - від вирівнювання знімків до створення ортофотопланів та тривимірних моделей.

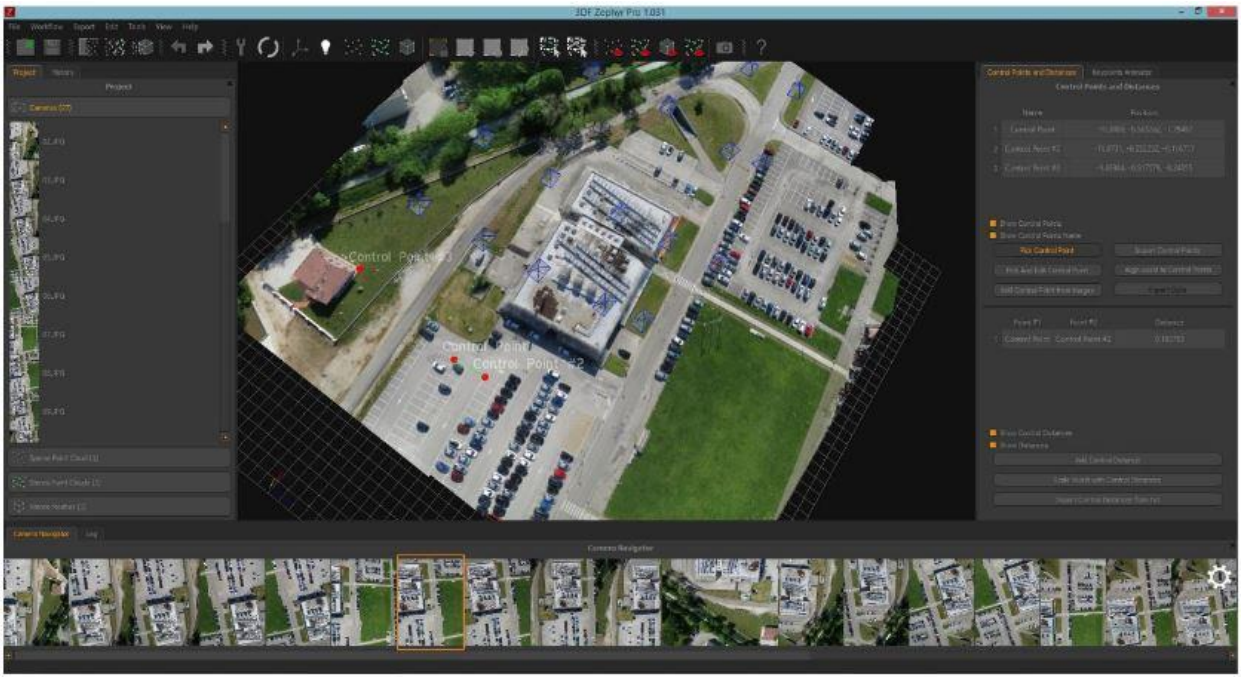


Рис. 2.2 Приклад обробки в Pix4d

Особливістю Metashape є потужний алгоритм знаходження спільних точок на знімках, що забезпечує високу якість побудови фотограмметричної моделі навіть при складних умовах знімання.

Pix4D є іншим провідним програмним забезпеченням, яке особливо ефективне при обробці даних з БпЛА. Програма відрізняється інтуїтивним інтерфейсом та високим рівнем автоматизації процесів. Важливою перевагою Pix4D є можливість обробки мультиспектральних знімків, що робить його незамінним інструментом для задач екологічного моніторингу.[14]

Trimble Business Center (TBC) представляє собою комплексне рішення для обробки геодезичних та фотограмметричних даних. Програма забезпечує високоточну обробку GNSS-вимірювань, урівнювання геодезичних мереж та фотограмметричну обробку. Особливістю TBC є тісна інтеграція з геодезичним обладнанням Trimble та можливість створення професійної картографічної документації.

ContextCapture від Bentley Systems спеціалізується на створенні високоякісних тривимірних моделей з фотознімків. Програма особливо ефективна при обробці знімків складних інженерних об'єктів та міської забудови. Важливою перевагою є можливість експорту моделей у різні формати для подальшого використання в системах автоматизованого проектування.

DroneDeploy пропонує хмарне рішення для обробки даних з БПЛА. Програма відрізняється простотою використання та можливістю онлайн-обробки даних без потужного локального обладнання. Особливо ефективна для оперативного картографування та моніторингу будівельних майданчиків.

3DF Zephyr від 3DFlow пропонує потужні інструменти для створення тривимірних моделей та ортофотопланів. Програма має гнучкі налаштування параметрів обробки та ефективні алгоритми фільтрації шумів, що особливо важливо при роботі з складними об'єктами.

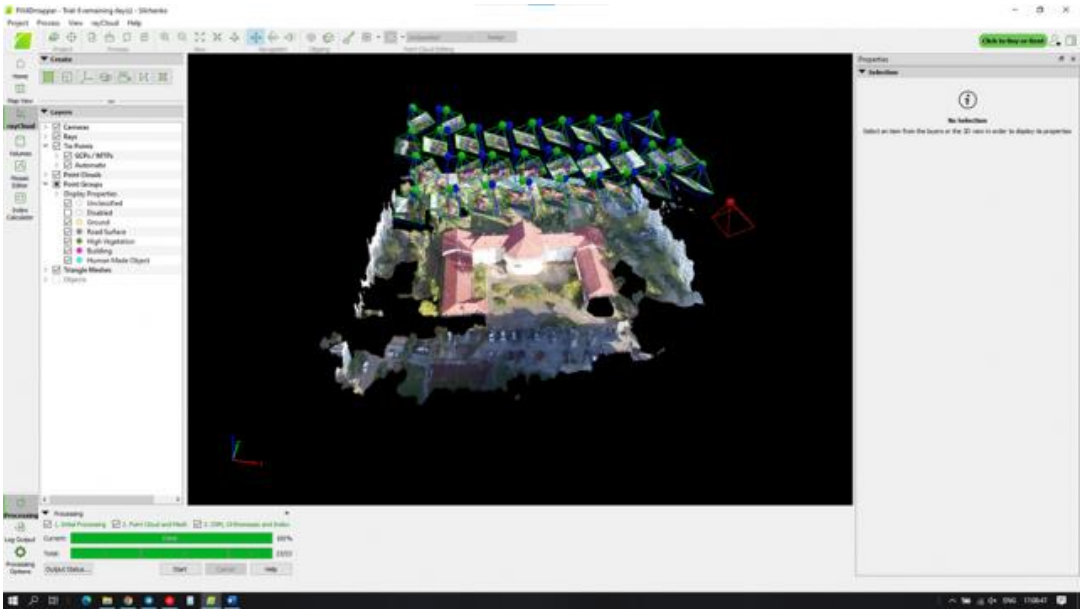


Рис. 2.3 Побудова 3D в Pix4d

При виборі програмного забезпечення важливо враховувати специфіку проекту, необхідну точність результатів та наявні обчислювальні ресурси. Більшість сучасних програм вимагають потужного комп'ютерного обладнання, особливо при обробці великих масивів даних.

Не менш важливими є формати вхідних даних та можливості експорту результатів. Новітні програмні комплекси підтримують широкий спектр форматів, що забезпечує гнучкість у роботі та можливість інтеграції з іншими системами. Особлива увага приділяється можливості експорту результатів у формати, сумісні з ГІС та САПР.[10]

Процес фотограмметричної обробки в більшості програм включає схожі етапи. Спочатку виконується завантаження та попередня обробка знімків, включаючи перевірку якості та видалення некондиційних знімків. Далі відбувається автоматичний пошук спільних точок та вирівнювання знімків.

Наступним етапом є побудова щільної хмари точок, яка потім використовується для створення полігональної моделі та цифрової моделі рельєфу. На основі цих даних виконується ортотрансформування знімків та створення ортофотоплану.

Є можливість класифікації точок хмари для відділення рельєфу від рослинності та будівель. Це дозволяє створювати більш точні цифрові моделі рельєфу та місцевості.

У професійній діяльності часто використовується комбінація різних програмних продуктів для досягнення оптимального результату. Наприклад, первинна обробка може виконуватися в одній програмі, а створення кінцевих продуктів - в іншій

2.3. Ортофотоплан та методика його створення

Ортофотоплан являє собою фотографічне зображення місцевості, отримане шляхом ортотрансформування аерофотознімків з усуненням спотворень, викликаних рельєфом місцевості та нахилом осі знімання. На відміну від звичайних аерофотознімків, ортофотоплан має постійний масштаб по всій площі зображення, що дозволяє виконувати точні вимірювання.

Першим етапом являє собою планування. На цьому етапі визначаються основні параметри знімання: висота польоту, фокусна відстань камери, поздовжнє та поперечне перекриття знімків. Велику роль грає забезпечення необхідної роздільної здатності знімків на місцевості (GSD - Ground Sample Distance), яка визначається масштабом майбутнього ортофотоплану.

Побудова маршрутів польоту здійснюється з урахуванням конфігурації ділянки та особливостей рельєфу. Для забезпечення якісного стереоскопічного покриття поздовжнє перекриття знімків має становити 60-80%, а поперечне - 30-40%. При складному рельєфі місцевості ці значення можуть бути збільшені для забезпечення якісного зв'язування знімків.

Наступним етапом є створення планово-висотної основи для прив'язки знімків. Опорні точки розміщуються по периметру ділянки та всередині неї з урахуванням особливостей місцевості. Кількість та розташування опорних точок визначається розмірами ділянки, складністю рельєфу та необхідною точністю ортофотоплану. Координати опорних точок визначаються за допомогою GNSS-приймачів у режимі RTK або статичному режимі.

Маркування опорних точок на місцевості виконується таким чином, щоб вони чітко розпізнавалися на знімках. Розміри маркерів розраховуються виходячи з висоти польоту та роздільної здатності камери. Крім штучних маркерів, можуть використовуватися чітко ідентифіковані контурні точки місцевості.

Аерофотознімання виконується при сприятливих погодних умовах: відсутності сильного вітру, хмарності та опадів. Потрібно контролювати рівномірність освітленості місцевості, яка забезпечує однорідність знімків. При використанні БПЛА необхідно контролювати стабільність польоту та дотримання заданих параметрів знімання.

Після виконання польових робіт починається етап фотограмметричної обробки знімків. Перш за все виконується контроль якості отриманих знімків: перевіряється їх різкість, контрастність, відсутність змазування та інших дефектів. Знімки які не проходять по цим характеристкам видаляються з подальшої обробки.[11]

Наступним кроком є завантаження знімків у фотограмметричне програмне забезпечення та їх первинна обробка. На цьому етапі виконується калібрування камери, яке включає визначення елементів внутрішнього орієнтування та параметрів дисторсії об'єктива.

Після цього виконується прив'язка знімків до опорних точок та оптимізація параметрів зовнішнього орієнтування. Тут важливо ретельно перевірити якість ідентифікації опорних точок на знімках та оцінити точність прив'язки за середньоквадратичними похибками.

На базі орієнтованих знімків будується щільна хмара точок, яка відображає тривимірну модель місцевості. Важливим аспектом є налаштування параметрів побудови хмари точок: щільності точок, рівня фільтрації шумів, обмежень по глибині.[19]

Наступним кроком є класифікація точок хмари для відділення точок рельєфу від рослинності, будівель та інших об'єктів. Це необхідно для створення якісної цифрової моделі рельєфу (ЦМР), яка використовується при ортотрансформуванні знімків.

Процес ортотрансформування полягає в перепроектуванні знімків на горизонтальну площину з використанням ЦМР. При цьому усуваються спотворення, викликані рельєфом місцевості та нахилом осі знімання. Важливим аспектом є вибір методу інтерполяції значень яскравості пікселів.

Після ортотрансформування окремих знімків виконується їх зшивання в єдине безшовне зображення - мозаїку. На цьому етапі важливо забезпечити радіометричну корекцію знімків для вирівнювання яскравості та контрастності сусідніх знімків. Також виконується пошук оптимальних ліній різання для мінімізації видимості швів на мозаїці.

Фінальним етапом є контроль якості створеного ортофотоплану. Перевіряється геометрична точність за контрольними точками, якість стикування знімків, відсутність розривів та спотворень. Особлива увага приділяється коректності відображення високих об'єктів (будівель, споруд), які можуть мати залишкові спотворення через недосконалість ЦМР.

Створений ортофотоплан експортується у необхідному форматі з відповідними метаданими.

Сучасні технології дозволяють значною мірою автоматизувати процес створення ортофотопланів, проте важливим залишається контроль з боку виконавця на всіх етапах робіт. Це забезпечує отримання якісного продукту, який відповідає встановленим вимогам точності та детальності.

Рис. 2.4 Фрагмент ортофотоплан

Висновки другого розділу.

У результаті проведеного дослідження фотограмметричних методів створення ортофотопланів можна зробити ряд важливих висновків щодо сучасного стану та перспектив розвитку цього напрямку геодезії та картографії. Перш за все, варто відзначити, що технологія створення ортофотопланів є комплексним процесом, який поєднує в собі як традиційні геодезичні методи, так і сучасні цифрові технології обробки даних.

Дослідження показало, що ключовим фактором успішного створення ортофотопланів є правильна організація знімальних робіт. При цьому особливу роль відіграє попереднє планування, яке включає вибір оптимальних параметрів знімання, створення надійної планово-висотної основи та врахування природних умов. Впровадження безпілотних літальних апаратів значно розширило можливості аерофотознімання, особливо для невеликих територій та об'єктів зі складною конфігурацією.

Аналіз сучасного програмного забезпечення для фотограмметричної обробки показав наявність широкого спектру спеціалізованих програмних продуктів, кожен з яких має свої особливості та переваги. Найбільш поширеними є Agisoft Metashape, Pix4D, Trimble Business Center та ContextCapture, які забезпечують повний цикл обробки даних від вирівнювання знімків до створення кінцевих продуктів. При цьому важливим аспектом є можливість інтеграції різних програмних продуктів для досягнення оптимального результату.

Методика створення ортофотопланів передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних етапів, починаючи від планування польотів і закінчуючи контролем якості кінцевого продукту. Особливу увагу необхідно приділяти забезпеченню необхідної точності на всіх етапах робіт, включаючи створення планово-висотної основи, виконання знімальних робіт та фотограмметричну обробку даних. При цьому важливим є дотримання технологічних вимог та постійний контроль якості.

Дослідження також показало, що сучасні технології дозволяють значною мірою автоматизувати процес створення ортофотопланів, проте роль виконавця залишається критично важливою, особливо на етапах планування робіт, контролю якості та прийняття ключових технологічних рішень. Це підкреслює необхідність підготовки кваліфікованих фахівців, які володіють як традиційними геодезичними методами, так і сучасними цифровими технологіями.

В цілому, можна стверджувати, що фотограмметричні методи створення ортофотопланів є ефективним інструментом для вирішення широкого спектру задач в галузі геодезії, картографії, землеустрою та багатьох інших сферах. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний з удосконаленням технологій знімання, підвищенням автоматизації процесів обробки даних та розширенням можливостей інтеграції з іншими геоінформаційними технологіями.

Розділ 3. Створення ортофотоплану населеного пункту масштабу 1:2000 (на частину території м. Боярка

3.1. Технічні характеристики БПЛА при виконанні знімальних робіт

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною сучасних геодезичних, картографічних та фотограмметричних робіт. Серед різноманітних моделей особливе місце займає DJI Phantom 4 RTK – спеціалізований дрон, розроблений компанією DJI саме для високоточної аерофотозйомки з використанням технології RTK (Real-Time Kinematic). Даний БПЛА представляє собою оптимальне рішення для професійного картографування, інспектування будівельних майданчиків, сільськогосподарського моніторингу та інших задач, що вимагають високої точності позиціонування та якісної зйомки.

DJI Phantom 4 RTK був представлений у 2018 році як удосконалена версія популярної серії Phantom 4, спеціально адаптована для геодезичних та картографічних робіт. Основна відмінність від стандартних моделей полягає у впровадженні системи RTK, яка дозволяє досягти сантиметрової точності при геопозиціонуванні без використання наземних контрольних точок або з їх мінімальною кількістю. Це суттєво підвищує ефективність польових робіт, зменшує час обробки даних та покращує загальну якість кінцевого продукту.[60
]

Розглянемо основні технічні характеристики DJI Phantom 4 RTK, які визначають його можливості при виконанні знімальних робіт. Дрон оснащений модулем RTK, інтегрованим безпосередньо в корпус, що забезпечує високоточне визначення координат під час польоту. Цей модуль здатний отримувати поправки в реальному часі від наземної базової станції або мережі постійно діючих референцних станцій (NTRIP), досягаючи точності позиціонування до 1 см по горизонталі та 1.5 см по вертикалі. Для забезпечення надійності даних дрон

також має вбудований звичайний GNSS-приймач, який використовується як резервний у випадку втрати RTK-сигналу.

Важливим елементом системи є спеціалізована камера з 1-дюймовим CMOS-сенсором, що дозволяє отримувати зображення роздільною здатністю 20 мегапікселів. Об'єктив має фіксовану фокусну відстань 8.8 мм (еквівалент 24 мм для 35 мм формату) та поле зору 84°.

Рис. 3.1 DJI Phantom 4 RTK

Механічний затвор камери усуває ефект "желе" при зйомці рухомих об'єктів або при швидкому польоті, що є важливою перевагою для професійної аерофотозйомки. Діапазон витримок становить від 8 до 1/2000 секунди, а світлочутливість (ISO) варіюється від 100 до 12800, що дозволяє проводити зйомку в різних умовах освітлення Система стабілізації камери реалізована за допомогою 3-осьового підвісу, який забезпечує стабільне положення камери під час польоту, незважаючи на можливі вібрації та пориви вітру. Це дозволяє отримувати чіткі та якісні знімки навіть у несприятливих погодних умовах. Підвіс також дає можливість нахиляти камеру в діапазоні від -90° до +30°, що розширює можливості для зйомки під різними кутами.

Польотні характеристики DJI Phantom 4 RTK також заслуговують на увагу. Максимальна швидкість горизонтального польоту становить 50 км/год в режимі P-mode (при відсутності вітру), а максимальна швидкість підйому та спуску - 5 м/с та 3 м/с відповідно. Практична стеля польоту обмежена програмно до 120 м

над точкою зльоту, що відповідає законодавчим обмеженням багатьох країн. При цьому дрон здатний працювати при температурі від 0°C до +40°C та при швидкості вітру до 10 м/с, що забезпечує можливість використання в різних кліматичних умовах.

Живлення дрона забезпечується інтелектуальною батареєю ємністю 5870 мАг, яка дозволяє проводити польоти тривалістю до 30 хвилин у оптимальних умовах. Це достатній час для знімання території площею до 100 га при висоті польоту 120 м та перекритті знімків 75%. Слід зазначити, що реальний час польоту може зменшуватися залежно від умов експлуатації, насамперед від швидкості вітру та температури навколишнього середовища.

Особливої уваги заслуговує програмне забезпечення, що поставляється разом з DJI Phantom 4 RTK. Мобільний додаток GS RTK дозволяє планувати місії та виконувати автоматичні польоти за заданим маршрутом. В додатку можна налаштовувати параметри зйомки, такі як висота польоту, перекриття знімків, швидкість польоту, кут нахилу камери та інші. Важливою функцією є можливість завантаження картографічної підкладки для планування польотів, а також експорт даних у форматах, сумісних з фотограмметричним ПЗ, таким як Pix4D, Agisoft Metashape та інші.

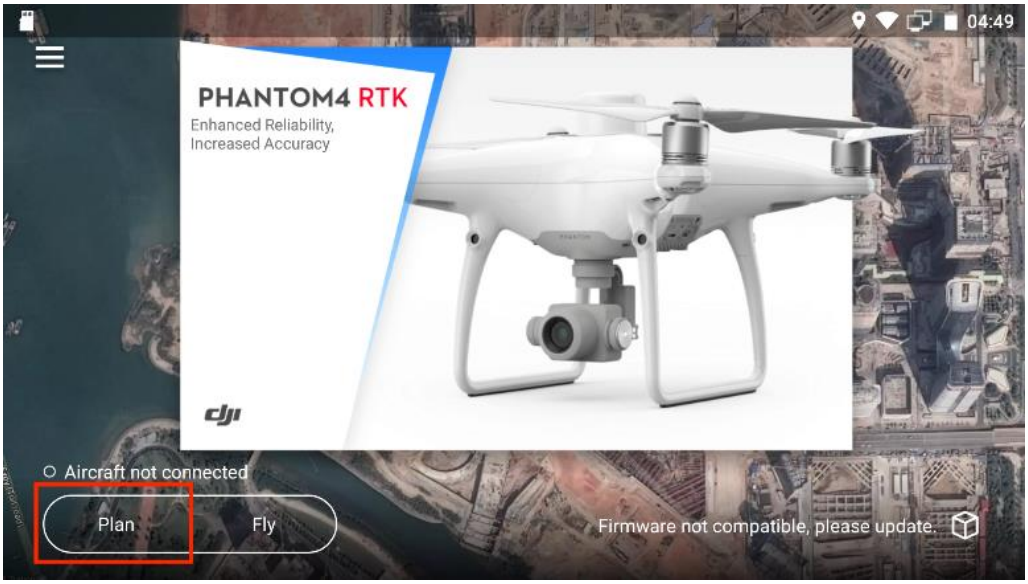


Рис. 3.2 Програмне забезпечення GS RTK

Для професійного використання DJI пропонує також наземну станцію D-RTK 2, яка може служити базовою станцією для дрона. Станція забезпечує прийом сигналів від супутникових систем GPS, GLONASS, BeiDou та Galileo, що підвищує надійність та точність позиціонування. Радіус дії станції становить до 12 км у відкритій місцевості, що дозволяє покрити значну територію при проведенні знімальних робіт.

Важливим аспектом при виконанні аерофотозйомки є точність геоприв'язки отриманих знімків. DJI Phantom 4 RTK забезпечує запис точних координат центрів фотографування у метаданих кожного знімка. При використанні RTK-режиму, коли дрон отримує поправки від базової станції або мережі NTRIP, точність геоприв'язки досягає 1-2 см, що дозволяє створювати високоточні ортофотоплани та 3D-моделі без використання наземних контрольних точок або з мінімальною їх кількістю для контролю якості.

При проведенні знімальних робіт важливим фактором є також роздільна здатність отриманих знімків на місцевості (GSD - Ground Sampling Distance). Для DJI Phantom 4 RTK при висоті польоту 100 м GSD становить приблизно 2.7 см/піксель, що є достатнім для більшості топографічних та картографічних робіт. При необхідності отримання більш детальних даних можна зменшити висоту польоту, відповідно покращивши роздільну здатність. Наприклад, при висоті 50 м GSD становитиме близько 1.35 см/піксель.[7]

Для забезпечення безпеки польотів DJI Phantom 4 RTK оснащений системою уникнення перешкод з датчиками у передній, задній та нижній частинах дрона. Ця система дозволяє дрону автоматично зупинятися при виявленні перешкод на шляху, що зменшує ризик аварій при роботі в умовах складного рельєфу або при наявності високих об'єктів на території знімання. Крім того, дрон має функцію повернення до точки зльоту при низькому заряді батареї або втраті зв'язку з пультом керування, що також підвищує безпеку експлуатації.

При виконанні знімальних робіт з використанням DJI Phantom 4 RTK важливо враховувати вплив різних факторів на якість отриманих даних. Зокрема,

для отримання якісних знімків рекомендується проводити зйомку при рівномірному освітленні, уникаючи сильних тіней та відблисків. Оптимальними умовами є зйомка при хмарній погоді або в ранкові чи вечірні години при невисокому положенні сонця. Також слід враховувати, що якість RTK-сигналу може погіршуватися при роботі поблизу високих будівель, під лініями електропередач або в умовах густої рослинності, що може вплинути на точність геоприв'язки знімків.

Обробка даних, отриманих з DJI Phantom 4 RTK, здійснюється у спеціалізованому фотограмметричному програмному забезпеченні, такому як Pix4D, Agisoft Metashape, DroneDeploy та інших. Завдяки високій точності геоприв'язки знімків, процес обробки спрощується та прискорюється, а кінцеві продукти (ортофотоплани, цифрові моделі місцевості, 3D-моделі) мають високу точність, яка задовольняє вимогам більшості інженерних та землевпорядних робіт.

3.2. Топографо-геодезичні роботи при зйомці населеного пункта

Топографо-геодезичні роботи під час зйомки населеного пункту представляють собою комплекс робіт, спрямованих на отримання достовірної інформації про просторове розташування об'єктів місцевості, рельєф та інфраструктуру населених пунктів. Дані роботи є фундаментальною основою для створення топографічних планів та карт, які, в свою чергу, слугують вихідними даними для проектування, будівництва, реконструкції інженерних споруд, прокладання комунікацій, розробки генеральних планів населених пунктів, вирішення земельно-кадастрових питань та багатьох інших практичних задач міського господарства та управління територіями.

Рис. 3.4 Маркування точок

Перед початком топографо-геодезичних робіт в населеному пункті проводиться підготовчий етап, що включає в себе збір та аналіз наявних картографічних матеріалів, даних з містобудівного та земельного кадастрів, матеріалів попередніх знімань та обстежень території. Важливим аспектом є встановлення масштабу майбутньої зйомки, який визначається згідно з вимогами до деталізації та точності відображення об'єктів місцевості та рельєфу. Для топографічних планів населених пунктів найчастіше використовуються масштаби 1:500, 1:1000, 1:2000 та 1:5000, кожен з яких має своє цільове призначення: плани масштабу 1:500 використовуються для детального проектування інженерних комунікацій та споруд, масштаб 1:1000 та 1:2000 – для розробки генеральних планів мікрорайонів та проектування вулично-дорожньої мережі, а масштаб 1:5000 – для загального планування розвитку населеного пункту.

Першочерговим етапом топографо-геодезичних робіт є створення або відновлення геодезичної мережі населеного пункту. Геодезична мережа представляє собою сукупність закріплених на місцевості пунктів з визначеними з високою точністю координатами та висотами, які слугують вихідною основою

для подальших вимірювань. Сучасні геодезичні мережі створюються з використанням супутникових технологій визначення місцеположення – GNSS (Global Navigation Satellite System), що включає GPS, ГЛОНАСС, Galileo та інші навігаційні системи. Для цього виконуються GNSS-спостереження на пунктах державної геодезичної мережі та створюються нові пункти на території населеного пункту. Важливим елементом геодезичної основи є також нівелірна мережа, що забезпечує високоточне визначення висот.

Рис. 3.5 GNSS приймач

В умовах щільної забудови та обмеженої видимості супутників часто застосовується комбінований метод створення геодезичної мережі, коли GNSS-технології доповнюються традиційними геодезичними методами – полігонометрією, тріангуляцією та трилатерацією. Полігонометричні ходи прокладаються вздовж вулиць населеного пункту з використанням сучасних електронних тахеометрів, які забезпечують високу точність кутових та лінійних вимірювань. Для висотної основи проводиться геометричне або тригонометричне нівелювання, що дозволяє визначити висоти пунктів геодезичної мережі та створити висотну основу для топографічної зйомки.

Наступним етапом після створення геодезичної основи є безпосередньо топографічна зйомка території населеного пункту. Сучасні методи топографічної зйомки включають: наземну тахеометричну зйомку з використанням електронних тахеометрів та GNSS-приймачів, наземне лазерне сканування, аерофотозйомку з пілотованих літальних апаратів або безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а також повітряне лазерне сканування (LIDAR). Вибір методу зйомки залежить від площі населеного пункту, наявного обладнання, вимог до точності та деталізації, особливостей забудови та рельєфу місцевості, а також економічних факторів.

Традиційна тахеометрична зйомка полягає у визначенні просторових координат характерних точок місцевості (кутів будівель, меж доріг, комунікацій, перегинів рельєфу) за допомогою електронного тахеометра з пунктів знімальної основи. Сучасні тахеометри дозволяють автоматично обчислювати координати та висоти точок місцевості, а також здійснювати кодування об'єктів, що значно прискорює процес зйомки та подальшої камеральної обробки. При використанні GNSS-приймачів в RTK-режимі (Real-Time Kinematic) для визначення координат точок, можливе отримання сантиметрової точності в реальному часі, що суттєво підвищує продуктивність робіт.[17]

Значні переваги при зйомці населених пунктів має аерофотозйомка, особливо з використанням БПЛА, які дозволяють оперативно отримувати високоточні дані про великі території. Сучасні БПЛА оснащуються високоякісними фотокамерами та GNSS-приймачами з RTK-підтримкою, що забезпечує високу точність геоприв'язки знімків. Отримані аерофотознімки обробляються з використанням фотограмметричних методів та технологій комп'ютерного зору, що дозволяє створювати ортофотоплани, цифрові моделі місцевості та 3D-моделі забудови. Аерофотозйомка з БПЛА особливо ефективна для середніх та малих населених пунктів, де забезпечується оптимальне співвідношення точності, продуктивності та вартості робіт.

Для великих міст та населених пунктів зі складною структурою забудови часто застосовується повітряне лазерне сканування (LIDAR), яке дозволяє

отримувати високоточні тривимірні дані про місцевість навіть при наявності рослинності. Технологія LIDAR базується на вимірюванні часу проходження лазерного променя від сканера до об'єкта та назад, що дозволяє визначати відстані до об'єктів з високою точністю. Результатом повітряного лазерного сканування є щільна "хмара точок", яка відображає всі об'єкти місцевості в тривимірному просторі. Після класифікації точок за типами об'єктів (земля, будівлі, рослинність, інфраструктура) створюються цифрові моделі рельєфу та місцевості, які використовуються для подальшого картографування.

В умовах щільної міської забудови для детального відображення фасадів будівель, підземних споруд та комунікацій застосовується наземне лазерне сканування, яке дозволяє створювати високодеталізовані 3D-моделі об'єктів міської інфраструктури. Ця технологія доповнює аерофотозйомку та повітряне лазерне сканування, забезпечуючи повноту відображення об'єктів місцевості у тривимірному просторі.[25]

Важливим аспектом топографо-геодезичних робіт в населених пунктах є зйомка підземних комунікацій – водопроводу, каналізації, газопроводу, теплотрас, електричних та телекомунікаційних мереж. Для цього використовуються спеціальні пошукові прилади – трасошукачі, георадари, які дозволяють визначати положення підземних комунікацій без розкопок. Комплексне використання цих приладів дає можливість визначити не лише планове положення, але й глибину залягання підземних мереж. Отримані дані доповнюються інформацією з технічної документації експлуатуючих організацій, що забезпечує повноту відображення підземних комунікацій на топографічних планах.

Після завершення польових робіт виконується камеральна обробка отриманих даних, яка включає обчислення координат та висот точок, створення цифрової моделі рельєфу та місцевості, складання топографічних планів. Сучасні камеральні роботи виконуються з використанням спеціалізованого програмного забезпечення – геоінформаційних систем (ГІС), систем автоматизованого проектування (САПР), фотограмметричних програмних комплексів. Результатом

камеральної обробки є цифрові топографічні плани, які відображають ситуацію, рельєф, інженерні комунікації та інші об'єкти місцевості відповідно до прийнятих умовних знаків для топографічних планів масштабів 1:500 – 1:5000.

3.3. Обробка матеріалів у програмі PIX4D

Обробка матеріалів у PIX4D базується на принципах фотограмметрії — науки, що досліджує методи визначення форми, розмірів і положення об'єктів за їхніми фотографічними зображеннями. Процес обробки в PIX4D можна розділити на кілька послідовних етапів, кожен з яких має критичне значення для отримання якісного кінцевого результату.

Першим етапом є імпорт та початкова обробка зображень. PIX4D підтримує різноманітні формати фотографій, включаючи RAW, JPEG та TIFF.

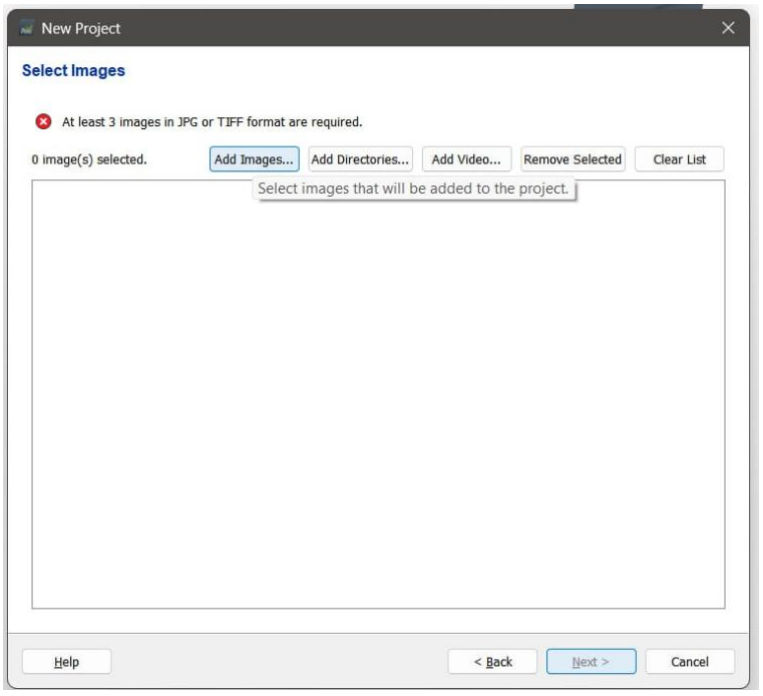


Рис. 3.6 Вибираємо Add Images

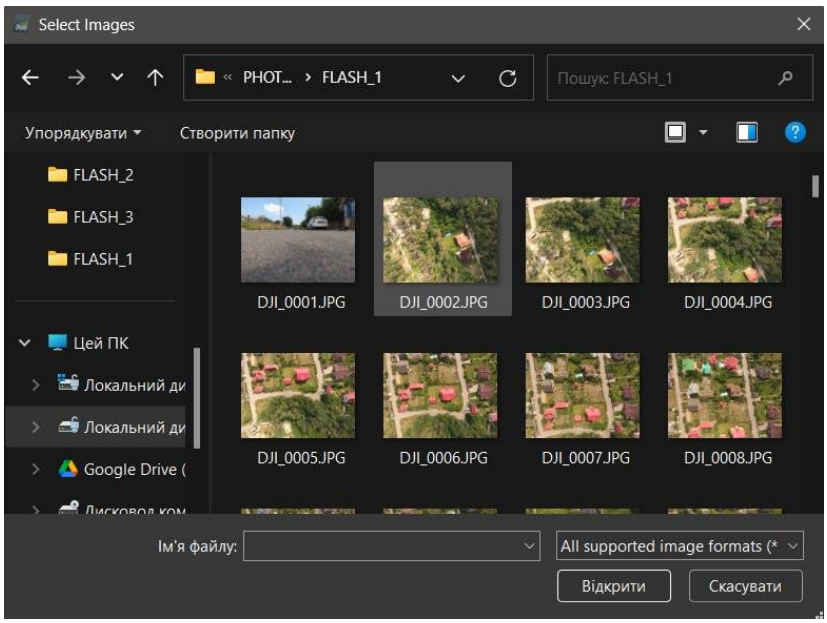


Рис. 3.7 Завантажуємо фото в Pix4d

При імпорті зображень програма автоматично зчитує метадані, такі як GPS-координати та параметри камери. Ця інформація використовується для початкової геоприв'язки знімків.

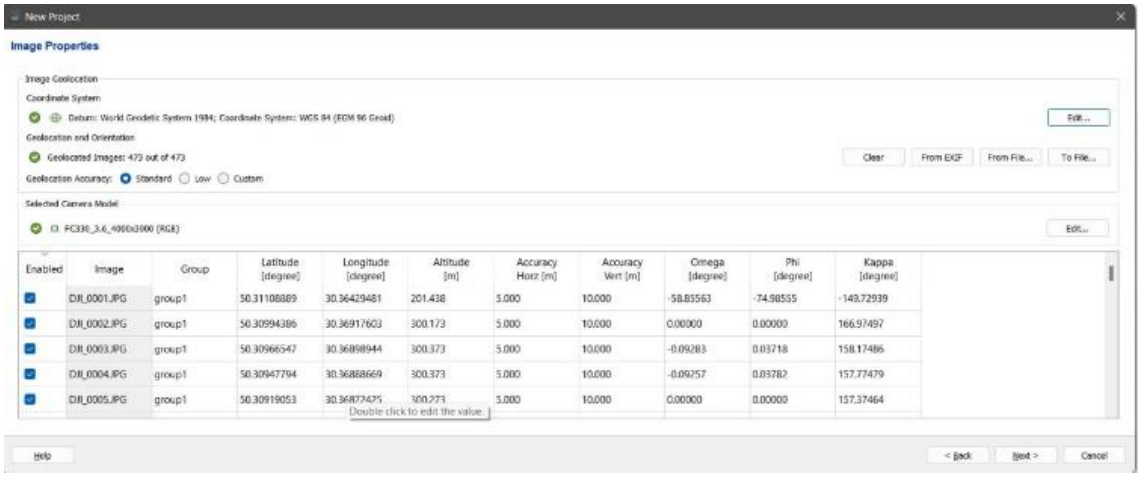


Рис. 3.8 Введення опорних точок

Особливо важливим на цьому етапі є забезпечення достатнього перекриття між зображеннями — рекомендується щонайменше 60% бокового та 80% фронтального перекриття для забезпечення надійної реконструкції.

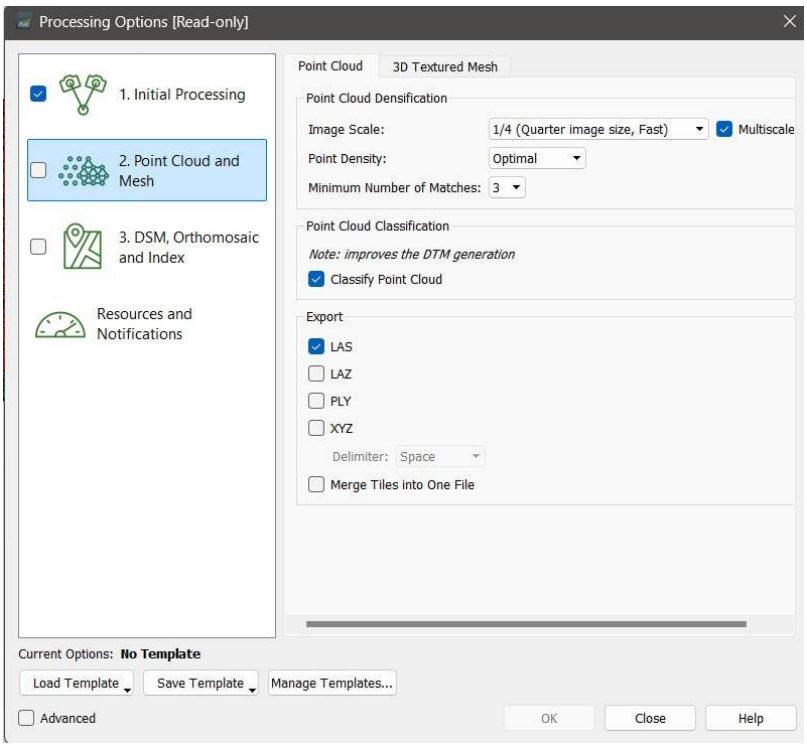


Рис. 3.9 Формування щільної хмари

Ключовим аспектом початкової обробки є калібрування камери. PIX4D використовує параметри з EXIF-даних зображень для визначення фокусної відстані, розміру сенсора та оптичних спотворень. Для підвищення точності користувач може надати власні параметри калібрування або дозволити програмі оптимізувати їх під час процесу обробки.

Другий етап — вирівнювання зображень та створення розрідженої хмари точок. PIX4D використовує алгоритми комп'ютерного зору для виявлення та зіставлення спільних точок між зображеннями. Програма ідентифікує тисячі ключових точок на кожному зображенні та знаходить відповідності між ними на різних знімках. На основі цих відповідностей PIX4D обчислює точне положення та орієнтацію кожної камери в момент зйомки, а також створює

початкову тривимірну модель у вигляді розрідженої хмари точок.

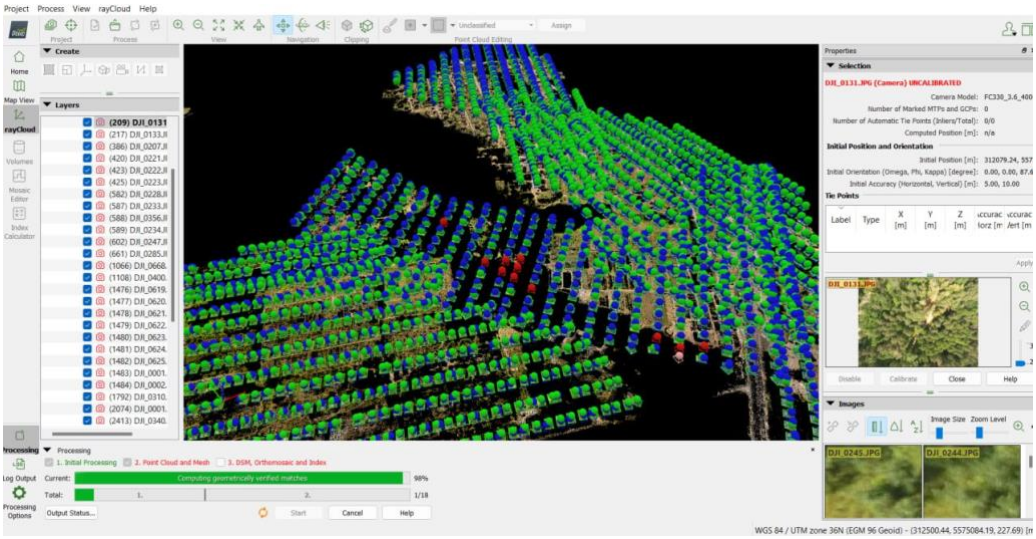


Рис. 3.10 Розріджена хмара фото

Якість вирівнювання залежить від багатьох факторів, включаючи текстуру об'єкта зйомки, освітлення, перекриття зображень та наявність контрольних точок. PIX4D дозволяє користувачу контролювати процес вирівнювання через налаштування таких параметрів як мінімальна кількість відповідних точок, точність пошуку та методи калібрування. Після завершення вирівнювання програма генерує звіт про якість, що містить інформацію про середню похибку репроекції, кількість відкаліброваних зображень та оцінку точності геоприв'язки.

Третій етап полягає у створенні щільної хмари точок. На цьому етапі PIX4D використовує вже відомі положення камер для генерації детальної тривимірної репрезентації об'єкта. Програма аналізує пікселі на кожному зображенні, визначаючи їхнє положення у тривимірному просторі. Результатом є щільна хмара точок, що може містити мільйони або навіть мільярди точок, кожна з яких має просторові координати та кольорову інформацію.

Створення щільної хмари точок є обчислювально інтенсивним процесом, тому PIX4D пропонує різні налаштування щільності та якості, які дозволяють балансувати між детальністю моделі та часом обробки. Користувач може обмежити область інтересу, встановити фільтри для видалення шумів та налаштувати параметри, що впливають на щільність та якість точок.

Четвертий етап включає генерацію тривимірної полігональної моделі (меша) на основі щільної хмари точок. PIX4D використовує алгоритми тріангуляції для створення поверхні, що найкраще апроксимує хмару точок. Отримана модель може бути експортована у різних форматах, включаючи OBJ, PLY та 3D PDF, для подальшого використання в інших програмах.

Для покращення візуальної якості моделі PIX4D дозволяє створювати текстуру, проектуючи оригінальні зображення на полігональну модель. Користувач може налаштувати розмір та якість текстури, методи блендингу та кольорову корекцію для отримання реалістичного представлення об'єкта.

П'ятий етап — створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) та цифрової моделі поверхні (ЦМП). ЦММ представляє голу землю без рослинності та будівель, тоді як ЦМП включає всі об'єкти на поверхні. PIX4D пропонує різні методи класифікації точок для автоматичного розділення землі від інших об'єктів. Користувач може вручну редагувати класифікацію для підвищення точності. [15]

На основі ЦММ та ЦМП програма може створювати різноманітні продукти, такі як карти висот, карти нахилів, карти експозиції та карти видимості. Ці продукти мають широке застосування в гідрологічному моделюванні, аналізі ерозії, плануванні інфраструктури та оцінці ризиків.

Шостий етап — створення ортофотоплану. Ортофотоплан — це геометрично коректне зображення території, що поєднує детальність фотографії з точністю карти. PIX4D використовує ЦМП для ортотрансформації кожного вхідного зображення, усуваючи перспективні спотворення та створюючи вигляд згори. Потім трансформовані зображення зшиваються разом для створення безшовного ортофотоплану всієї області. Користувач може налаштувати методи зшивання, колірну корекцію та роздільну здатність кінцевого продукту.

Ортофотоплани з PIX4D мають високу просторову точність і можуть використовуватися для вимірювання відстаней, площ та об'ємів. Вони особливо цінні в сільському господарстві для моніторингу посівів, у будівництві для відстеження прогресу, та в геодезії для оновлення топографічних карт.

Сьомий етап включає аналіз та експорт результатів. PIX4D пропонує різноманітні інструменти аналізу, такі як вимірювання об'ємів, профілювання поверхні та виявлення змін між різночасовими наборами даних. Програма підтримує експорт у широкий спектр форматів, включаючи GeoTIFF для растрових даних, SHP для векторних даних та різні формати хмар точок як LAS та LAZ.

Особливою перевагою PIX4D є можливість автоматизації робочих процесів через сценарії та пакетну обробку. Це дозволяє обробляти множинні набори даних з однаковими параметрами, що є особливо корисним для моніторингових проектів, де дані збираються регулярно для відстеження змін з часом.

У порівнянні з іншими фотограмметричними рішеннями, PIX4D відрізняється збалансованістю між точністю, простотою використання та швидкістю обробки. Програма постійно вдосконалюється, з регулярними оновленнями, що додають нові функції та покращують існуючі алгоритми. Останні версії включають розширені можливості машинного навчання для автоматичної класифікації об'єктів, покращену підтримку мультиспектральних та теплових зображень, та оптимізовані алгоритми для обробки надвеликих наборів даних.[23]

Підсумовуючи, обробка матеріалів у програмі PIX4D — це комплексний процес, що перетворює набори зображень у цінні просторові дані та візуальні продукти. Розуміння принципів та етапів цього процесу є критичним для отримання високоякісних результатів у різноманітних прикладних сферах, від архітектури та будівництва до екологічного моніторингу та збереження культурної спадщини.

3.4. Особливості виконання робіт та оцінка точності при створенні ортофотоплана

У сучасній геодезичній та картографічній практиці ортофотоплан є одним із найбільш інформативних та точних просторових документів, що надає детальне зображення земної поверхні з урахуванням топографічних

особливостей місцевості. Процес створення ортофотоплана включає низку складних технологічних етапів, кожен з яких вимагає високої професійної майстерності та точності виконання.

Підготовчий етап розпочинається зретельного планування аерозйомки або космічної зйомки території. На цьому етапі важливо визначити оптимальні параметри зйомки, враховуючи особливості рельєфу місцевості, наявність рослинності, забудови та інших просторових об'єктів. Вибір технічних засобів – від типу літального апарата до характеристик знімальної апаратури – має принципове значення для забезпечення високої якості вихідних даних.

Процес створення ортофотоплана передбачає послідовне виконання декількох ключових операцій. Передусім здійснюється геодезична прив'язка знімків, що включає визначення просторових координат центрів фотографування та встановлення опорних точок на місцевості. Цей етап забезпечує розположеня в просторі зображень, тобто прив'язку кожного пікселя знімка до реальних географічних координат. Для підвищення точності використовуються спеціалізовані геодезичні прилади, такі як диференціальні GPS-приймачі, електронні тахеометри та інші високоточні інструменти.[18]

Наступним критичним етапом є орторектифікація знімків. На цьому етапі відбувається математична корекція зображень з урахуванням рельєфу місцевості та параметрів оптичної системи знімальної апаратури. Використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР) дозволяє компенсувати геометричні спотворення, що виникають через нерівності земної поверхні та нахил оптичної осі під час зйомки. Сучасне спеціалізоване програмне забезпечення, зокрема PhotoScan, ERDAS IMAGINE та ArcGIS, надає потужні інструменти для високоточної орторектифікації.

Важливим аспектом створення ортофотоплана є оцінка його точності. Для цього використовується низка статистичних методів та критеріїв. Зокрема, визначаються середні квадратичні похибки планового та висотного положення точок, коефіцієнти просторової кореляції, середні квадратичні відхилення. Точність ортофотоплана залежить від багатьох факторів: роздільної здатності

вихідних знімків, точності GPS-координат, якості цифрової моделі рельєфу, методів математичної обробки.

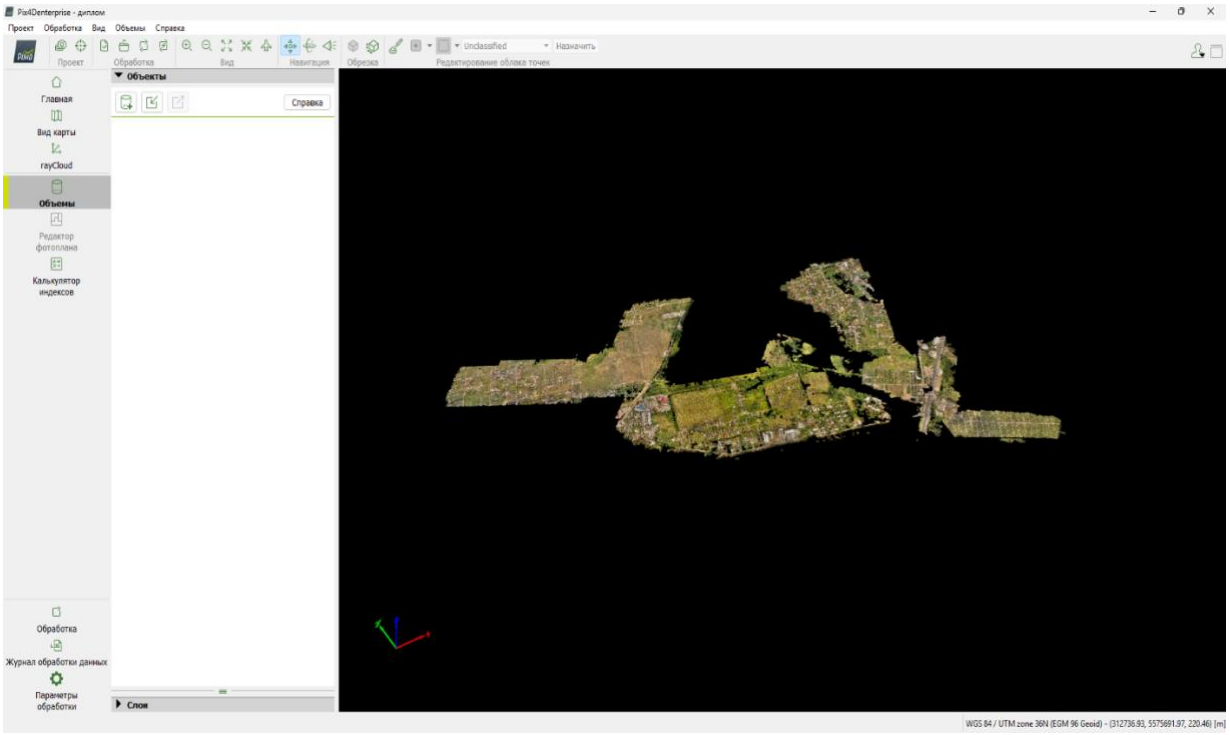


Рис. 3.11 Загальний вид ортофотоплану частини м.Боярки

Сучасні технології дозволяють досягати високої точності ортофотопланів. Для великомасштабних зйомок (1:500 – 1:2000) середня квадратична похибка може становити 5-10 см, що робить такі просторові документи надзвичайно цінними для картографування, планування територій, містобудування, земельного кадастру. Особливо актуальними є ортофотоплани при проектуванні інженерних комунікацій, моніторингу змін земної поверхні, оцінці ландшафтних трансформацій.

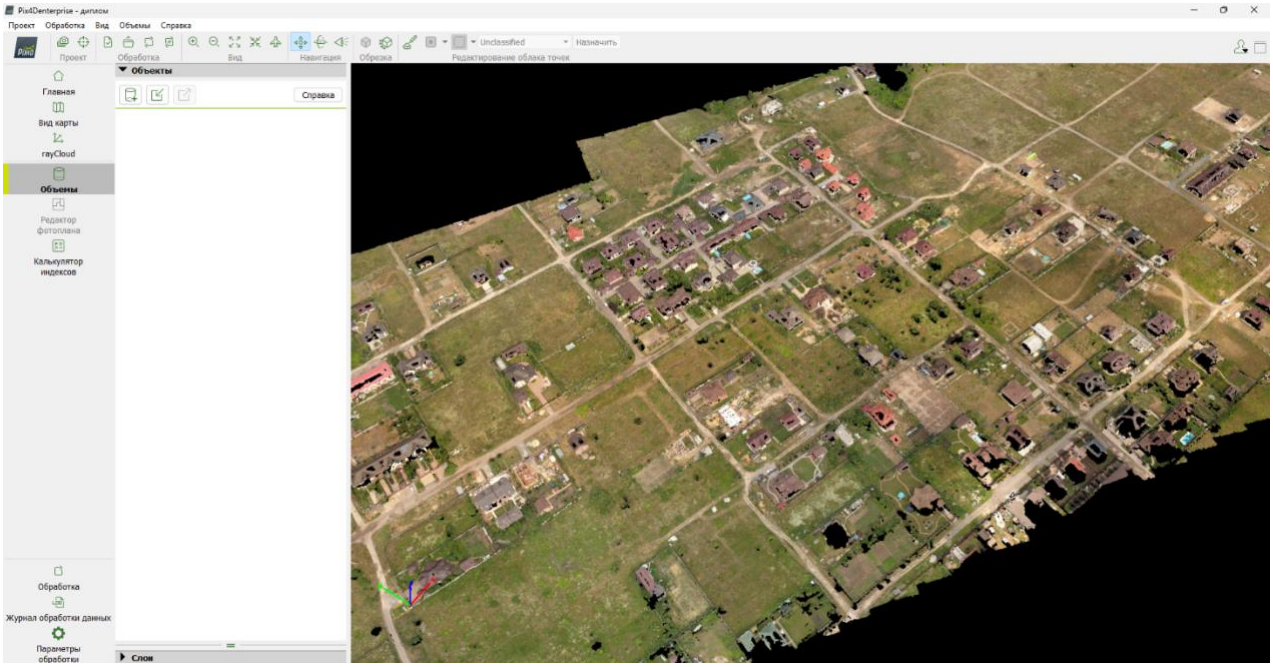


Рис. 3.12 Поверхня, створена з хмари точок

Технологія створення ортофотоплана постійно вдосконалюється. Якщо раніше основним методом була аерофотозйомка з пілотованих літаків, то сьогодні широко використовуються безпілотні авіаційні системи (БПЛА), які значно здешевлюють та спрощують процес зйомки. Поява надвисокороздільних космічних знімків дозволяє отримувати ортофотоплани великих територій з високою деталізацією.

Важливим є також правильний вибір технічних параметрів зйомки. Поздовжнє та поперечне перекриття знімків має становити 60-80%, що забезпечує redundancy даних та можливість їх взаємного суміщення. Висота польоту, фокусна відстань об'єктиву, світлочутливість сенсора – всі ці параметри впливають на підсумкову якість ортофотоплана.

Підсумовуючи, створення ортофотоплана є складним багатоетапним процесом, що вимагає глибоких знань у сфері геодезії, фотограмметрії, картографії та сучасних інформаційних технологій. Постійний технологічний розвиток та вдосконалення апаратних і програмних засобів відкривають нові можливості для підвищення точності та інформативності просторових даних.

Висновки третього розділу

Дослідження процесів топографо-геодезичних робіт в населених пунктах демонструє надзвичайно складну та багатогранну систему просторового картографування, яка базується на поєднанні сучасних технологічних рішень, високоточних вимірювальних приладів та спеціалізованого програмного забезпечення.

Ключовою особливістю сучасних топографо-геодезичних робіт є комплексне використання різноманітних методів та технологій. Якщо раніше домінували традиційні наземні методи зйомки, то сьогодні на перший план виходять високотехнологічні підходи: супутникова навігація GNSS, аерофотозйомка з безпілотних літальних апаратів, наземне та повітряне лазерне сканування. Кожен з цих методів має свої унікальні переваги та дозволяє отримувати просторові дані з надзвичайно високою точністю та детальністю.

Принципово важливим є створення геодезичної основи, яка включає мережу пунктів з високоточно визначеними координатами та висотами. Сучасні технології, зокрема GNSS-спостереження, дозволяють не лише підвищити точність геодезичних вимірювань, але й значно прискорити процеси просторової прив'язки даних. Комбінування супутникових технологій з класичними геодезичними методами – полігонометрією, тріангуляцією – забезпечує максимальну надійність та репрезентативність просторових даних.

Особливої уваги заслуговує технологічна еволюція методів топографічної зйомки. Впровадження безпілотних авіаційних систем та лазерного сканування revolutionized процеси картографування, дозволивши отримувати тривимірні моделі місцевості з надзвичайно високою деталізацією. Технології LIDAR, зокрема, дають змогу створювати щільні "хмари точок", які відображають просторову структуру місцевості з урахуванням рослинності, забудови та інших об'єктів.

Важливим аспектом топографо-геодезичних робіт є комплексне картографування, яке включає не лише зйомку наземних об'єктів, але й детальне

визначення підземних комунікацій. Використання спеціалізованих пошукових приладів – трасошукачів, георадарів – дозволяє отримувати повну інформацію про інженерні мережі без проведення руйнівних розкопок.

Камеральна обробка даних сьогодні здійснюється з використанням потужних геоінформаційних систем та фотограмметричних програмних комплексів. Це дозволяє не лише створювати високоточні цифрові топографічні плани, але й виконувати складні просторові аналізи, генерувати тривимірні моделі місцевості, здійснювати математичну корекцію та оброблення просторових даних.

Перспективи розвитку топографо-геодезичних технологій пов'язані з подальшою автоматизацією процесів, впровадженням штучного інтелекту для класифікації об'єктів, підвищенням роздільної здатності знімальної апаратури та вдосконаленням алгоритмів просторової обробки даних. Постійне технологічне вдосконалення відкриває нові можливості для точного та детального картографування урбанізованих територій.

Таким чином, топографо-геодезичні роботи є складним наукоємним процесом, що інтегрує досягнення геодезії, картографії, фотограмметрії та інформаційних технологій, забезпечуючи створення високоточних просторових моделей місцевості.

Висновок до кваліфікаційної бакалаврської роботи

1.У ході виконання бакалаврської роботи було проведено комплексний аналіз адміністративно-територіального устрою України, що дозволило отримати розгорнуте уявлення про структуру територіального поділу та особливості управління земельними ресурсами. Аналіз існуючої системи показав, що адміністративно-територіальний поділ країни безпосередньо впливає на формування земельних відносин, систему управління ресурсами та розвиток населених пунктів. Було досліджено принципи організації територій, нормативно-правову базу, яка регулює земельні відносини, та визначено основні тенденції змін у цій сфері. Розгляд різних підходів до адміністративно-територіального поділу дозволив оцінити ефективність існуючих рішень та визначити можливі шляхи оптимізації управління територіями.

2.Окрім цього, було проведено дослідження видів землекористувань у межах населених пунктів, що дало змогу систематизувати інформацію про особливості використання земель у різних категоріях територій. Було визначено основні функціональні зони, їх правовий статус, особливості регулювання та можливі перспективи використання. У процесі аналізу розглянуто сучасні тенденції землекористування, що базуються на принципах сталого розвитку, ефективного використання ресурсів та екологічної безпеки. Це дозволило зробити висновки щодо необхідності вдосконалення існуючих підходів до планування та управління територіями в межах населених пунктів.

3.Одним із ключових аспектів дослідження було ознайомлення з методами аерофотозйомки територій за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Використання БПЛА у сучасній геодезії та картографії дає змогу значно підвищити точність знімальних робіт, зменшити часові та фінансові витрати, а також отримати детальну інформацію про досліджувані території. Було розглянуто основні види БПЛА, їх технічні характеристики та можливості

застосування в різних умовах. Аналіз методології проведення зйомки дозволив визначити ключові етапи отримання даних, починаючи від планування польоту, проведення зйомки, обробки отриманих даних та завершуючи оцінкою їх точності.

4.Отримані матеріали оброблялися в програмному комплексі PIX4D, що є одним із провідних інструментів для аналізу аерофотознімків та створення тривимірних моделей місцевості. Було виконано обробку зображень, побудову цифрових моделей рельєфу та оцінку точності отриманих результатів. Аналіз точності результатів продемонстрував, що використання БПЛА у поєднанні з сучасними програмними засобами дозволяє отримати високоточні дані, що можуть бути застосовані у сфері геодезії, землеустрою, картографії та містобудування.

5.Окрему увагу приділено оцінці точності виконаних робіт, оскільки якість отриманих даних має визначальне значення для подальшого використання матеріалів у наукових та практичних цілях. Проведене порівняння отриманих даних із контрольними точками та нормативними вимогами показало, що точність виконаних робіт відповідає встановленим стандартам та може бути використана для подальших досліджень.

6.Завершальним етапом дослідження стало оформлення отриманих матеріалів та приведення їх до необхідного масштабу у визначеній системі координат. Виконані роботи дозволили сформувати матеріали у відповідності до вимог нормативної документації, що робить їх придатними для подальшого використання у професійній діяльності. Це також дозволяє інтегрувати отримані результати у загальну систему геоінформаційного аналізу, що значно розширює можливості їх застосування.

7.Проведене дослідження підтвердило ефективність використання сучасних технологій для аналізу адміністративно-територіального устрою, оцінки землекористування та виконання геодезичних робіт. Використання БПЛА у поєднанні з сучасними програмними засобами, такими як PIX4D, дозволяє отримувати високоточні дані, що можуть бути використані для різних цілей, включаючи просторове планування, управління земельними ресурсами, містобудівне проектування та екологічний моніторинг. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень та удосконалення методів управління територіями.

Таким чином, виконана бакалаврська робота дозволила комплексно дослідити особливості адміністративно-територіального устрою, землекористування та застосування сучасних методів аерофотозйомки. При створенні планово-картографічної основи, масштабу 1:2000 для ефективного планування території Боярської міської громади та поліпшенням управління земельними ресурсами . Оцінка точності та ефективності отриманих результатів підтвердила доцільність використання запропонованих методів для вирішення геодезичних та картографічних завдань. Отримані результати мають практичну цінність і можуть бути використані у подальших дослідженнях, а також у професійній діяльності фахівців у сфері геодезії, картографії та землеустрою.

Список використаних джерел

1.Закон України "Про геодезію, картографію та топографію" (URL:https://zakon.rada.gov.ua/go/353-14)

2.Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Правил виконання геодезичних і картографічних робіт" (URL:https://www.kmu.gov.ua/storage/app/uploads/public/65a/e8c/bd2/65ae8cbd2d550035554439.pdf)

3. Абакумов О.С., Анісімов О.В., Ващенко О.В. Застосування БПЛА для створення топографічних планів та 3D-моделей місцевості // Інформаційні технології та геодезія. – 2021. – № 1. – С. 10-17.

4. Білоус В.В., Бойченко В.В., Ковальчук В.М. Використання безпілотних літальних апаратів для топографо-геодезичних робіт // Збірник наукових праць Національного університету оборони України імені Івана Черняховського. – 2020. – № 2. – С. 90-95.

5.Ковальчук В.М., Слюсаренко В.І., Цюпа А.В. Використання БПЛА для картографування лісових масивів // Вісник Національного університету оборони України імені Івана Черняховського. – 2022. – № 3. – С. 102-107.

6.Мазуренко В.В., Ковальчук В.М., Гайдайчук О.В. Застосування БПЛА для моніторингу стану водних об'єктів // Вісник Національного технічного університету України

7. Дорош Ольга; Бутенко Євген; Колісник Григорій; Дорош Андрій; Купріянчик Ірина; Використання бпла: розвиток, перспективи та застосування / Agrolife – 2021 - 10(2) - ст. 64-71

8.Бутенко Є.В. Купріянчик І.П. Фотограмметрія та дистанційне зондування: навч. пос. для студ. вищ. навч. закл./ / МВЦ "Медінформ" – 2015

9. Є. Бутенко; О. Кулаковський, Використання безпілотних літальних апаратів для землеустрою / Землеустрій, кадастр і моніторинг землі – 2018

10. Андреєв, Ю. А. (2015). Використання безпілотних літальних апаратів у геодезії. Геодезія та картографія, 10(2), 34-39.

11.Бєляєв, А. В. (2018). Методи обробки даних аерофотозйомки з використанням БПЛА. Наукові вісті НУБІП України, 5(3), 45-52

12.Черненко, Р. А. (2015). Застосування аерофотозйомки в геодезії: методи та технології. Геодезичні дослідження, 9(2), 48-55.

13.Іванов, П. В. (2017). Аерофотозйомка територій з використанням безпілотних літальних апаратів. Топографія та геодезія, 11(3), 19-25

14.Eisenbeiss, H. (2017). UAV Photogrammetry. Dissertation, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, 273 pages.28.Nex, F., & Remondino, F. (2017). UAV for 3D mapping applications: A review. Applied Geomatics, 6(1), 1-15

15. Olha DOROSH, Yevhen BUTENKO, Hryhorii KOLISNYK, Andriy DOROSH, Iryna KUPRIIANCHYK (2021). THE USE OF UAVS: DEVELOPMENT, PERSPECTIVES AND APPLICATION

16. ЄВ Бутенко, ОВ Кулаковський (2018). ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ЦІЛЕЙ ТА ГІС

17. ЄВ Бутенко (2010). Земельні ресурси як складова частина та об'єкт оцінки природного капіталу держави

18. Pajares, G. (2015). Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(4), 281-329.

19. Черненко, Р. А. (2015). Застосування аерофотозйомки в геодезії: методи та технології. Геодезичні дослідження, 9(2), 48-55.

20. Ібатуллін Ш., Дорош Ю., Деркульський Р. , Бутенко Є. , Стецюк М. Виявлення небезпечних територій України під час збройної агресії за допомогою ГІС / Міжнародна конференція молодих професіоналів «GeoTerrac 2023», 2023

21 Гайдайчук О.В., Ковальчук В.М., Слюсаренко В.І. Застосування БПЛА для створення цифрової моделі рельєфу місцевості // Землевпорядкування та кадастр. – 2022. – № 1. – С. 34-39.

22. Петров, О. Г. (2019). Інноваційні підходи до топографо-геодезичних робіт з використанням БПЛА. Науковий вісник НУБІП України, 16(2), 54-60.

23. .Eisenbeiss, H. (2017). UAV Photogrammetry. Dissertation, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, 273 pages.28.Nex, F., & Remondino, F. (2017). UAV for 3D mapping applications: A review. Applied Geomatics, 6(1), 1-15

24. Мазуренко В.В., Ковальчук В.М., Гайдайчук О.В. Застосування БПЛА для моніторингу стану водних об'єктів // Вісник Національного технічного університету України

25. Іванов В.В., Ковальчук В.М., Петренко А.В. Застосування БПЛА для інвентаризації земельних ресурсів // Землевпорядкування та кадастр. – 2020. – № 6. – С. 42-47.

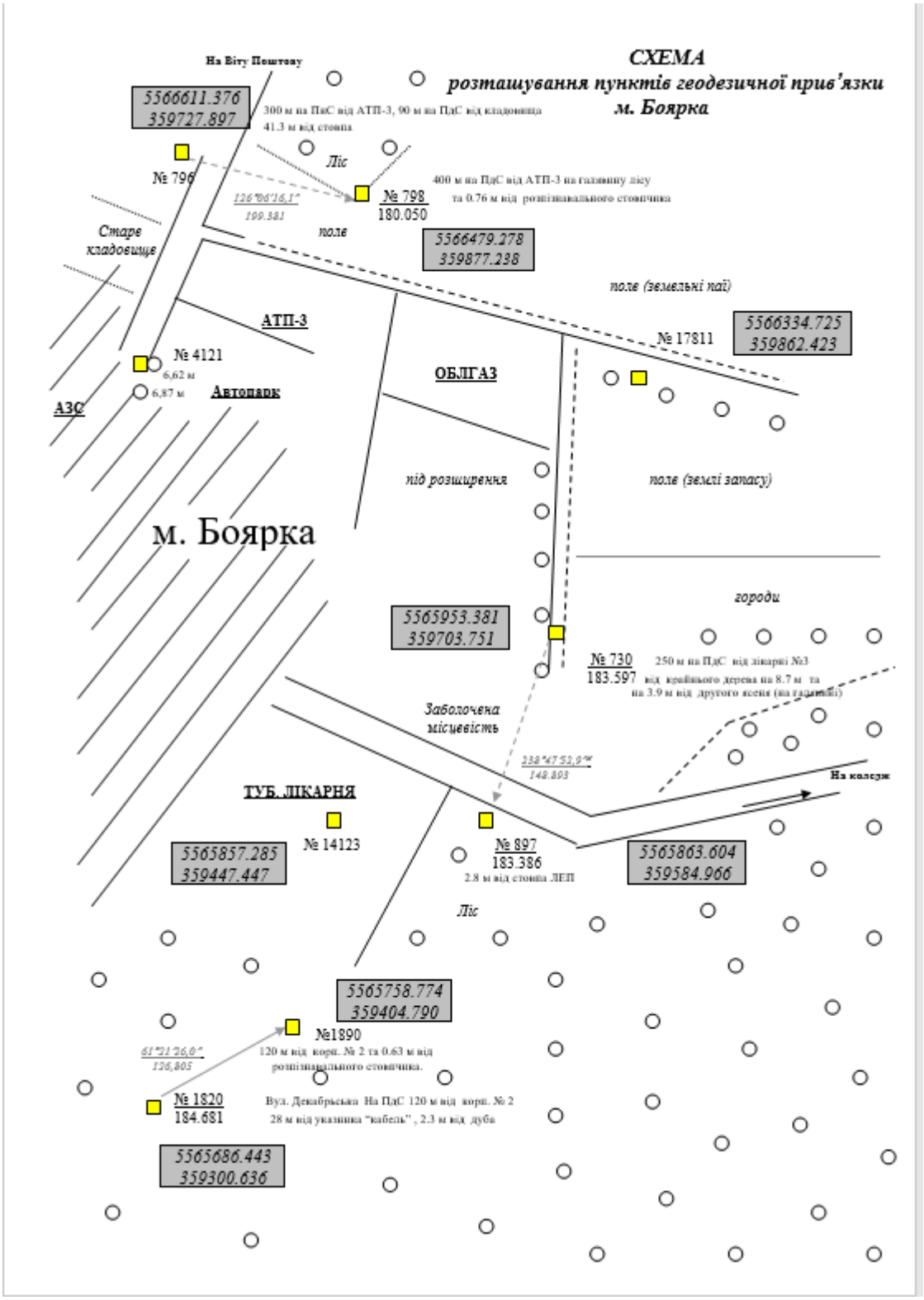
26. Білоус В.В., Бойченко В.В., Ковальчук В.М. Використання безпілотних літальних апаратів для топографо-геодезичних робіт // Збірник наукових праць Національного університету оборони України імені Івана Черняховського. – 2020. – № 2. – С. 90-95.

27. Гайдайчук О.В., Ковальчук В.М., Слюсаренко В.І. Застосування БПЛА для створення цифрової моделі рельєфу місцевості // Землевпорядкування та кадастр. – 2022. – № 1. – С. 34-39.

Додатки

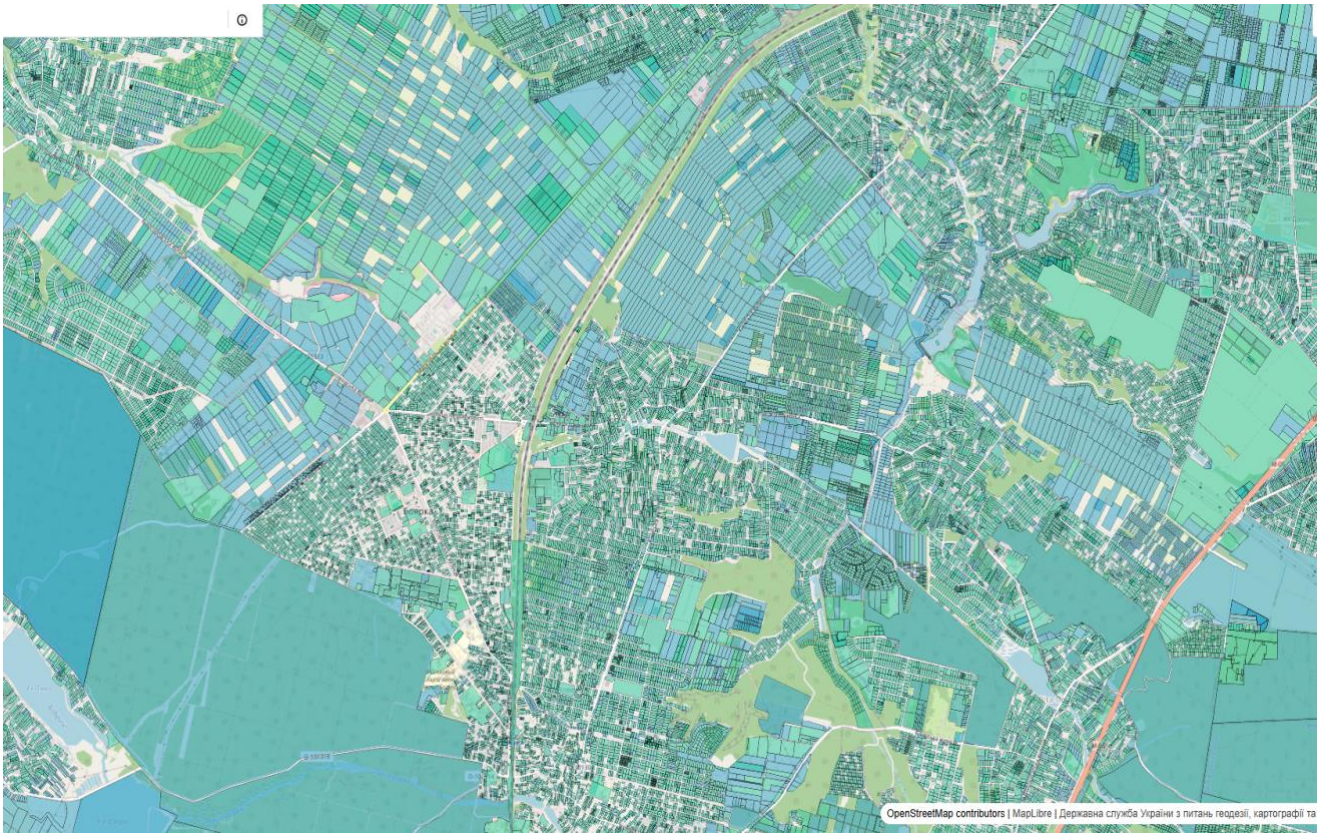
Додаток В. 1.

Розташування пунктів геодезичної привязки



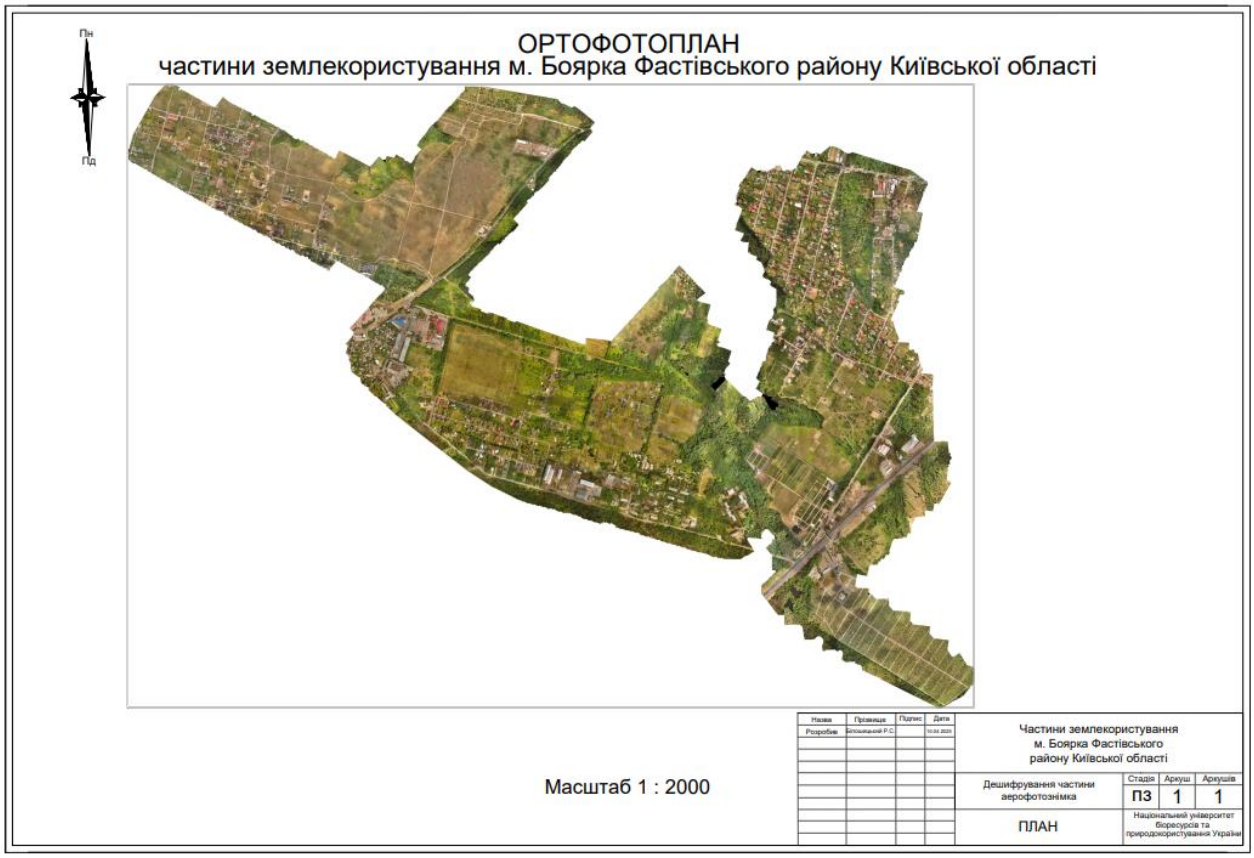
Додаток В. 2.

Частина Боярської міської громади на Kadastr.live



Додаток В. 3

Оформлений ортофотоплан



Додаток В. 4

Ортофотоплан накладений на Google Maps