

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій**

«На правах рукопису»
УДК 004.77:502.175

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Олександр РОЛІК
«___» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Система аналізу пошкоджень будівель на основі
машинного навчання з використанням дронів»

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІК-31мп
Гараган Олексій Михайлович _____

Керівник:
професор, д.т.н., професор кафедри ІСТ
Жураковський Богдан Юрійович _____

Рецензент:
професор, д.т.н., професор кафедри ЦТЕ
Отрох Сергій Іванович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційне забезпечення
робототехнічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Гарагану Олексію Михайловичу

1. Тема дисертації «Система аналізу пошкоджень будівель на основі машинного навчання з використанням дронів», науковий керівник дисертації Жураковський Богдан Юрійович, професор кафедри ІСТ, к.ф.-м.н., затверджені наказом по університету від «08» 11 2024 р. № 5016-с
2. Термін подання студентом дисертації «09» 12 2024 р.
3. Об'єкт дослідження: Розробка автоматизованої системи, яка використовує машинне навчання для оцінки руйнувань інфраструктури та будівель,, з використанням даних із безпілотних літальних апаратів.
4. Вихідні дані: Розробити автоматизовану систему для аналізу пошкоджень будівель, яка використовує машинне навчання і дані з дронів, із наступними технічними параметрами: роздільна здатність системи візуалізації не менше ніж 20 МП, підтримка RTK для забезпечення високоточного геопозиціонування, тривалість польоту дронів не менше 30 хвилин, використання архітектури ResNet-34 для аналізу зображень.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз існуючих підходів до оцінки пошкоджень із використанням дронів, визначення вимог до системи, визначення вимог до системи, підготовка датасету для навчання алгоритмів, розробка та тестування моделей машинного навчання,

інтеграція моделей у програмне забезпечення для аналізу.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:
Архітектура нейронної мережі для аналізу пошкоджень будівель

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікації не плануються

8. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих методів	01.09.2024 – 10.09.2024	
2	Формування вимог до системи автоматичного аналізу	11.09.2024 – 20.09.2024	
3	Проектування системи	21.09.2024 – 02.10.2024	
4	Розробка апаратної частини системи	03.10.2024 – 14.10.2024	
5	Навчання та тестування моделі машинного навчання	15.10.2024 – 02.11.2024	
6	Розробка програмної частини	03.11.2024 – 14.11.2024	
7	Тестування системи	15.11.2024 – 20.11.2024	
8	Подання дисертації на захист	09.12.2024	

Студент

Олексій ГАРАГАН

Науковий керівник

Богдан ЖУРАКОВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Система аналізу пошкоджень будівель на основі машинного навчання з використанням дронів: 112 с., 27 табл., 40 рис., 8 дод., 19 джерел.

ОЦІНКА РУЙНУВАНЬ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, БПЛА, ІНФРАСТРУКТУРА

Актуальність теми “Система аналізу пошкоджень будівель на основі машинного навчання з використанням дронів” обумовлена необхідністю оперативного реагування на наслідки військових конфліктів та інших катастроф, які спричиняють масштабні руйнування будівель та інфраструктури. Традиційні методи оцінки є часозатратними, небезпечними та залежать від людського фактора. Використання безпілотних літальних апаратів у поєднанні зі штучним інтелектом дозволяє швидко та точно визначати ступінь руйнувань, що є критично важливим для планування відновлювальних робіт та гуманітарної допомоги.

Мета дослідження полягає у розробці автоматизованої системи, яка використовує алгоритми машинного навчання для аналізу даних, отриманих із БПЛА, з метою швидкої і точної оцінки ступеня руйнувань будівель та інфраструктури.

Об’єктом дослідження є процес збору, обробки та аналізу даних, алгоритми глибокого навчання в автоматизованій системі аналізу руйнувань будівель.

Предметом дослідження є автоматизована система аналізу руйнувань будівель на основі машинного навчання з використанням дронів.

ABSTRACT

Building damage analysis system using drones and machine learning : 112 p., 27 tab., 40 draw., 8 app., 19 sources.

OBJECT DETECTION, COMPUTER VISION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, UAV, SECURITY

The relevance of the topic "Building damage analysis system using drones and machine learning" is due to the need to respond quickly to the consequences of military conflicts and other disasters that cause large-scale destruction of buildings and infrastructure. Traditional assessment methods are time-consuming, dangerous, and dependent on human error. The use of unmanned aerial vehicles in combination with artificial intelligence allows for quick and accurate determination of the extent of damage, which is critical for planning recovery efforts and humanitarian assistance.

The purpose of the study is to develop an automated system that uses machine learning algorithms to analyze data obtained from UAVs in order to quickly and accurately assess the degree of damage to buildings and infrastructure.

The object of research is the process of collecting, processing and analysing data, deep learning algorithms in an automated system for analysing building damage.

The subject of the study is an automated system for analysing building failures based on machine learning using drones.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РІШЕНЬ І ТЕХНОЛОГІЙ	11
1.1 Існуючі методи аналізу.....	11
1.1.1 Візуальне обстеження.....	11
1.1.2 Аналіз супутникових знімків.....	12
1.1.3 Геоінформаційні системи.....	13
1.1.4 Інструментальне обстеження.....	14
1.2 Використання дронів для збору даних	15
1.3 Існуючі системи	19
Висновок до розділу 1	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ БПЛА	23
2.1 Технології безпілотних літальних апаратів.....	23
2.2 Комплектація дрону.....	30
2.2.1 Рама	30
2.2.2 Польотний контролер	32
2.2.3 RTK.....	34
2.2.4 RTK-приймач	36
2.2.5 GPS модуль.....	38
2.2.6 Система руху	40
2.2.7 Система візуалізації.....	40
2.2.8 Конфігурація дрона.....	44
2.3 Програмне забезпечення	45
2.3.1 QGroundControl	46
2.3.2 Особливості QGroundControl.....	48
2.4 Налаштування компонентів	49
2.4.1 Firmware.....	49
2.4.2 Airframe.....	50
2.4.3 Sensors	51
2.4.4 Power	53

	7
2.4.5 Camera Setup	54
2.4.6 Передача даних	55
2.5 Планування місії	56
2.6 Можливості системи обслуговування дронів	59
Висновок до розділу 2	60
3 ОЦІНКА ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ	61
3.1 Сучасні технології аналізу зображень для оцінки пошкоджень	61
3.1.1 Виклики в аналізі зображень	62
3.2 Методологія оцінки пошкоджень будівель	63
3.2.1 Siamese Neural Network	65
3.2.2 Датасет	67
3.2.3 ResNet-34	73
3.2.4 U-Net.....	76
3.2.5 Модель порівняння ознак.....	79
3.2.6 Функція втрат	80
3.3 Аналіз результатів.....	82
Висновок до розділу 3	87
4 СТАРТАП-ПРОЄКТ	88
4.1 Опис ідеї проекту	88
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	90
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	91
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	104
Висновки до розділу 4	108
ВИСНОВКИ	109
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111
Додаток А	113
Додаток Б.....	114
Додаток В	115
Додаток Г	116
Додаток Д	117
Додаток Е.....	118
Додаток Ж	119
Додаток И	120

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- БПЛА – безпілотний літальний апарат;
- ІІІ (AI) – штучний інтелект (artificial intelligence);
- МН (ML) – машинне навчання (machine learning);
- CNN – Convolutional Neural Network (згорткова нейронна мережа);
- U-Net – архітектура для сегментації зображень;
- РТК – Real-Time Kinematic (кінематика в реальному часі);
- РПК – Post Processed Kinematic (постоброблена кінематика);
- РРР – Precise Point Positioning (точне точкове позиціонування);
- Albumentations – бібліотека для аугментації даних;
- ResNet – архітектура нейронної мережі для вилучення ознак;
- xBD – датасет для аналізу руйнувань будівель;
- VTOL — Vertical Take-Off and Landing (тип БПЛА);
- GSD — Ground Sample Distance (розмір одного пікселя на земній поверхні);
- ESC — регулятори швидкості двигунів.

ВСТУП

За останні роки військові конфлікти призвели до масштабних руйнувань будівель та інфраструктури в багатьох регіонах. Знищення та руйнація житлових кварталів, об'єктів соціальної інфраструктури та культурної спадщини створює серйозні гуманітарні та економічні виклики. Швидка та точна оцінка пошкоджень є критично важливою для планування відновлювальних робіт, надання допомоги постраждалим та забезпечення безпеки населення.

Актуальність теми полягає в необхідності розробки ефективних методів аналізу руйнувань, спричинених військовими діями. Традиційні способи оцінки стану будівель часто є небезпечними, затратними та потребують багато часу, особливо в умовах активних бойових дій або на мінованих територіях.

Використання безпілотних літальних апаратів, або дронів, відкриває нові можливості для безпечного та оперативного збору даних у зонах конфлікту. Дрони можуть швидко отримувати високоякісні зображення та відеоматеріали навіть у важкодоступних або небезпечних для людини районах, що є незамінним для оцінки масштабів руйнувань.

Машинне навчання та штучний інтелект пропонують потужні інструменти для автоматизованого аналізу зібраних даних. Застосування алгоритмів глибокого навчання дозволяє автоматично виявляти, класифікувати та оцінювати ступінь пошкоджень будівель з високою точністю. Це значно підвищує ефективність процесу аналізу та мінімізує людський фактор.

Метою цієї магістерської роботи є розробка та дослідження системи автоматичного виявлення та оцінки пошкоджень будівель, на основі машинного навчання з використанням даних, отриманих з дронів. Це дозволить забезпечити швидкий та точний моніторинг постраждалих територій, що сприятиме ефективнішому плануванню відновлювальних робіт та наданню гуманітарної допомоги.

Результати даного дослідження можуть мати вплив на процеси післявоєнного відновлення, сприяючи підвищенню безпеки, зниженню витрат та прискоренню

відбудови зруйнованих регіонів. Впровадження такої системи також може бути корисним для міжнародних організацій та урядів у контексті реагування на надзвичайні ситуації та управління криз.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РІШЕНЬ І ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Існуючі методи аналізу

Масові руйнування, спричинені стихійними лихами або військовими діями, вимагають швидкої та точної оцінки стану будівель і інфраструктури для забезпечення безпеки людей та ефективного планування відновлювальних заходів. У таких ситуаціях необхідно охопити великі території, швидко зібрати дані про масштаби пошкоджень і визначити пріоритетні зони для подальших дій. Для цього застосовуються різні методи, кожен з яких має свої сильні сторони та обмеження. Серед них виділяються візуальне обстеження, яке дає змогу безпосередньо оцінити стан будівель; аналіз супутникових знімків, що дозволяє отримати загальну картину руйнувань на великих територіях; геоінформаційні системи, які інтегрують дані для створення інтерактивних карт, а також інструментальне обстеження, яке забезпечує глибокий аналіз конструкцій за допомогою спеціалізованих пристроїв. Кожен із цих підходів має важливе значення для оцінки пошкоджень, але їх застосування в масштабних катастрофах стикається з низкою викликів, які потребують удосконалення для підвищення ефективності та швидкості реагування.

1.1.1 Візуальне обстеження

Візуальне обстеження є найпростішим і найбільш інтуїтивно зрозумілим методом оцінки пошкоджень будівель. Цей метод дозволяє швидко і безпосередньо оцінити стан будівель, що особливо важливо під час надзвичайних ситуацій, коли необхідно оперативно приймати рішення щодо подальших дій. Візуальне обстеження є основою для визначення пріоритетів у рятувальних операціях, таких як евакуація мешканців, обмеження доступу до небезпечних зон або проведення термінових ремонтних робіт. Крім того, цей метод дозволяє фахівцям виявляти не лише очевидні пошкодження, але й потенційні ризики, які можуть призвести до подальших руйнувань. Наприклад, невеликі тріщини в стінах можуть свідчити про

структурні проблеми, які при недостатньому контролі можуть перерости у серйозніші дефекти.

Проте в умовах масових руйнувань метод стає малоефективним через низьку швидкість і складність доступу до значної кількості об'єктів. Велика кількість пошкоджених будівель вимагає значних ресурсів та часу для проведення індивідуальних оглядів, що може затримувати прийняття важливих рішень. Додатковою проблемою є небезпека для інспекторів у нестабільних конструкціях або зонах, що перебувають під загрозою подальших руйнувань. Робота в таких умовах вимагає високого рівня підготовки та спеціального захисного обладнання, що не завжди доступне у великих масштабах катастроф.

1.1.2 Аналіз супутникових знімків

Супутникові знімки забезпечують широке охоплення територій та дозволяють оперативно отримати загальну картину масштабів руйнувань. Це дуже корисний метод для попереднього аналізу, особливо коли доступ до зони катастрофи обмежений або небезпечний для людей через небезпеку від можливих післякатастрофічних явищ, таких як падіння уламків чи хімічне забруднення. Завдяки сучасним супутникам високої роздільної здатності, які обладнані передовими сенсорами, можна виявити серйозні пошкодження, такі як повністю зруйновані будівлі, значні деформації інфраструктури або зміни ландшафту.

Сучасні супутники оснащені різними типами сенсорів, включаючи оптичні, радіолокаційні та інфрачервоні, що дозволяє отримувати дані навіть у складніших умовах. Це розширює можливості моніторингу та забезпечує більш точну та всебічну оцінку ситуації. Однак цей метод має суттєві обмеження. По-перше, хоча роздільна здатність супутникових зображень досить висока, вона часто не дозволяє розрізняти деталі стану окремих конструкцій. По-друге, погодні умови, такі як густі хмари, дим або туман, можуть суттєво погіршити якість отриманих знімків, ускладнюючи аналіз ситуації та вимагаючи використання альтернативних методів збору даних, наприклад, радіолокаційних технологій, які менш чутливі до

атмосферних явищ. Нарешті, часові затримки між зйомкою супутника та доступом до даних можуть стати критичними у випадках, коли необхідно швидко приймати рішення для координації рятувальних заходів, особливо під час екстрених ситуацій, коли кожна хвилина має велике значення.

1.1.3 Геоінформаційні системи

Геоінформаційні системи є потужним інструментом для інтеграції, обробки та візуалізації даних про руйнування. Вони дозволяють поєднувати інформацію з різних джерел, включаючи супутникові знімки, результати наземних обстежень, дані, зібрані безпілотними літальними апаратами, а також інформацію від сенсорів інтернету речей. Завдяки цьому ГІС створюють інтерактивні карти, на яких можна чітко бачити масштаби руйнувань, рівень пошкоджень окремих будівель, а також отримувати аналітику щодо доступності доріг, комунікацій та іншої інфраструктури. Ці карти можуть включати різні шари інформації, що дозволяє користувачам легко орієнтуватися в ситуації та приймати обґрунтовані рішення.

ГІС особливо корисні для планування відновлювальних робіт та координації дій рятувальних служб. Наприклад, вони можуть допомогти визначити пріоритетні зони для евакуації, оптимізувати маршрути доставки допомоги та ресурсів, а також моніторити прогрес відновлювальних робіт у режимі реального часу. Крім того, ГІС можуть інтегруватися з системами управління кризовими ситуаціями, що забезпечує більш ефективну комунікацію між різними службами та організаціями, залученими до рятувальних операцій.

Додатково, ГІС дозволяють проводити просторовий аналіз даних, що допомагає виявляти закономірності та тенденції у поширенні руйнувань. Це може бути корисно для прогнозування можливих майбутніх катастроф або для розробки стратегій запобігання подібним подіям у майбутньому. Використання ГІС також сприяє збереженню історичних даних про катастрофи, що може бути цінним ресурсом для наукових досліджень та освітніх програм.

Однак цей метод має свої обмеження. ГІС залежить від якості та актуальності вхідних даних, які можуть бути недостатньо точними або застарілими у швидкозмінних умовах. Інтеграція та обробка даних, особливо в умовах масштабної катастрофи, потребує значних людських ресурсів та часу, що може уповільнювати процес реагування. Для ефективної роботи ГІС необхідно мати кваліфікований персонал, який здатний швидко обробляти великі обсяги інформації та забезпечувати її коректність. Крім того, технічна інфраструктура, така як потужні сервери та швидкі інтернет-з'єднання, є критично важливою для забезпечення безперебійної роботи системи під час кризи.

1.1.4 Інструментальне обстеження

Інструментальне обстеження передбачає використання спеціалізованих пристроїв для детального аналізу стану конструкцій, забезпечуючи високу точність та виявлення пошкоджень, невидимих неозброєним оком. Наприклад, ультразвукові дефектоскопи дозволяють виявити приховані тріщини або порожнини у стінах, а лазерні сканери створюють тривимірні моделі будівель для оцінки деформацій або зсувів. Тепловізори ефективно виявляють теплові аномалії, що можуть свідчити про ушкодження ізоляційних матеріалів або приховані дефекти.

Цей метод забезпечує детальну інформацію про структуру та цілісність конструкцій, що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень щодо ремонту та безпеки будівель. Інструментальне обстеження також може включати використання інфрачервоних камер для проведення інспекцій в умовах поганої видимості.

Однак цей підхід має певні обмеження. Він потребує фізичного доступу до кожної будівлі, що може займати значний час. Крім того, для проведення інструментального обстеження необхідні спеціалізоване обладнання та кваліфіковані оператори, що може ускладнювати його застосування в великих

масштабах. Також необхідне регулярне технічне обслуговування обладнання для забезпечення його точної роботи. Порівняння методів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів аналізу руйнацій

Метод	Застосування	Вартість	Тривалість виконання	Залежність від погодних умов
Візуальне обстеження	Екстрені ситуації, евакуація, виявлення пріоритетних об'єктів	Низька	Коротка	Незалежний
Аналіз супутникових знімків	Попередній аналіз, моніторинг у важкодоступних зонах	Середня	Середня	Залежний
Геоінформаційні системи	Планування відновлювальних робіт, координація дій служб, аналіз тенденцій	Середня	Середня	Частково залежний
Інструментальне обстеження	Детальний аналіз конструкцій, оцінка безпеки, підготовка до ремонту	Висока	Довга	Незалежний

1.2 Використання дронів для збору даних

Дрони стали невід'ємною частиною сучасних систем моніторингу та аналізу, забезпечуючи швидке, безпечне і точне отримання даних, що є критично важливим у зонах, де доступ обмежений або небезпечний для людей. Їх використання особливо актуальне у випадках природних катастроф, техногенних аварій або

військових дій, коли необхідно оперативно оцінити рівень пошкоджень інфраструктури.

Для виконання цих завдань дрони обладнуються різноманітними сенсорами, серед яких високоякісні камери, тепловізори, лідари та багатоспектральні камери. Ці технології дозволяють отримувати детальні зображення високої роздільної здатності, тривимірні моделі поверхонь, теплові карти та спектральні дані, що значно розширює можливості аналізу. Наприклад, компанія Kespry використовує дрони для створення 3D-моделей для кар'єрів і подальшого аналізу (рисунок 1.1). Дані, зібрані за допомогою дронів, інтегруються в системи машинного навчання для автоматизованого визначення зон ризику та ступеня руйнувань [1].

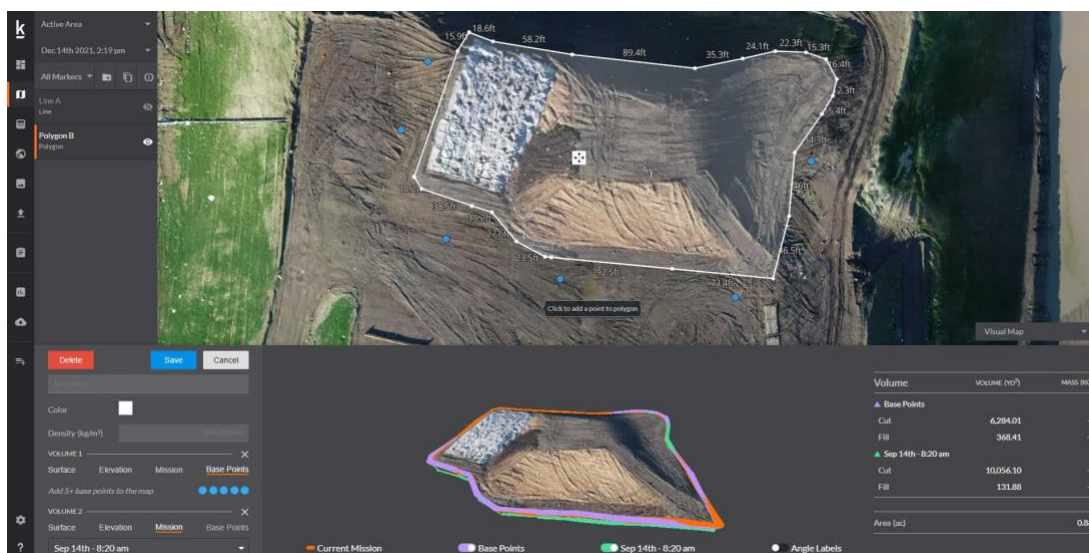


Рисунок 1.1 — 3D-модель в програмі Kespry Cloud

Однією з важливих можливостей дронів є створення ортофотопланів — високоточних геоприв'язаних зображень поверхні, які використовуються для аналізу великих територій. Процес створення ортофотопланів починається зі збору аерофотознімків за допомогою дронів, оснащених високоякісними камерами та системами глобального позиціонування. Дрони виконують польоти по попереку місцевості з певним перекриттям знімків, що забезпечує високу деталізацію та точність отриманих даних. Отримані зображення потім проходять через процес орторектифікації, який виправляє спотворення, спричинені рельєфом місцевості та

нахилом камери, перетворюючи їх у геоприв'язані карти з єдиною масштабною системою. Це дозволяє створювати детальні та точні зображення, які відображають реальний стан поверхні землі без викривлень. Приклад ортофотоплану зображений на рисунку 1.2.



Orthophoto

True Orthophoto

Рисунок 1.2 — Порівняння звичайного фото з дрону та ортофотоплану

Ортофотоплани забезпечують можливість детальної візуалізації будівель, інфраструктури та природних об'єктів, що є необхідним для подальшого моделювання або оцінки пошкоджень. Висока роздільна здатність ортофотопланів дозволяє аналізувати навіть найдрібніші деталі, що значно підвищує точність оцінки стану територій. Завдяки геоприв'язці, ортофотоплани можуть бути легко інтегровані з ГІС, що сприяє комплексному аналізу та прийняттю обґрунтованих рішень у різних сферах діяльності.

Крім того, ортофотоплани, створені за допомогою дронів, мають високу оперативність отримання даних, що дозволяє швидко реагувати на зміни в стані територій. Це особливо важливо в умовах, коли необхідно оперативно оцінити ситуацію після надзвичайних подій або для моніторингу динамічних процесів, таких як будівництво, розширення інфраструктури чи зміни в природних ландшафтах. Гнучкість використання дронів дозволяє проводити регулярне

оновлення ортофотопланів, що забезпечує актуальність даних та їх відповідність поточним умовам.

Окрім створення ортофотопланів, дрони активно використовуються для формування великих датасетів, що слугують основою для тренування моделей машинного навчання. Наприклад, датасет, створений проектом RebuildUA (рисунок 1.3), є одним із найбільших зібраних за допомогою дронів у реальних умовах [2]. Він містить детальні зображення зруйнованих будівель після воєнних дій, зняті з високою точністю. Цей датасет використовується для розробки алгоритмів автоматизованого аналізу пошкоджень та оцінки стану інфраструктури. Завдяки таким даним дослідники можуть удосконалювати методи ідентифікації пошкоджень і значно прискорювати процес планування відновлення постраждалих районів.



Рисунок 1.3 — Зображення до і після воєнних дій з RebuildUA

Практичне застосування цих технологій проявилось після урагану “Марія” у 2017 році, який завдав значної шкоди Пуерто-Рико. Дрони використовувалися для збору даних про пошкодження інфраструктури, створення ортофотопланів місцевості та виявлення зруйнованих будівель. Команда дослідників з МІТ у співпраці з місцевими організаціями збрала ці дані для створення моделей, які допомогли ефективно розподіляти гуманітарну допомогу [3]. Зібрані дронами дані

також стали основою для оцінки вартості відновлювальних робіт, що дозволило значно прискорити відновлення регіону.

1.3 Існуючі системи

Існуючі системи, які поєднують аерофотозйомку з інтелектуальними алгоритмами аналізу даних, значно розширюють можливості кризового менеджменту під час надзвичайних ситуацій. Вони дозволяють підрозділам рятувальників, урядовим агенціям та приватним компаніям отримувати точні, оперативні та деталізовані візуальні дані про зруйновані споруди, пошкоджену інфраструктуру або недоступні для наземного обстеження ділянки. Проте сьогоденний ринок подібних рішень розподілений між вузькоспеціалізованими інструментами, кожен із яких оптимізований під певні завдання: одні системи ефективні у створенні масштабних карт для оперативного орієнтування та планування рятувальних операцій, інші – у детальному аналізі конкретного об'єкта, але не завжди здатні працювати із сотнями будівель одночасно або інтегруватися у складніші інформаційні системи. Тенденція розвитку цих технологій вказує на необхідність пошуку більш комплексних рішень, які здатні поєднати високу точність аналізу, швидкість обробки та адаптивність до динамічних умов реального світу.

PIX4Dreact відзначається високою швидкістю обробки аерофотознімків та здатністю створювати двовимірні мапи великих територій буквально за лічені хвилини. Цей інструмент став особливо популярним серед рятувальних служб та гуманітарних організацій, що реагують на наслідки землетрусів, повеней чи ураганів, адже він дозволяє швидко зрозуміти масштаб ураження, спланувати маршрути евакуації або доставки допомоги. Проте PIX4Dreact більше орієнтований на базову візуалізацію, а отже не забезпечує автоматизованої класифікації чи глибинного аналізу пошкоджень. Як результат, користувачі можуть отримати оперативне уявлення про ситуацію, але детальна оцінка стану кожної споруди або складних елементів інфраструктури все ще залишається поза фокусом цієї системи.

Safety AI від DroneDeploy пропонує підхід, сфокусований на внутрішніх конструкціях будівель. Це рішення інтегрує алгоритми машинного навчання для аналізу світлин, отриманих дронами, які пролітають усередині великих споруд чи промислових об'єктів. Особлива цінність такого підходу полягає у здатності системи виявляти тріщини, просідання стельових перекриттів, корозію сталевих конструкцій та інші внутрішні дефекти, які можуть спричинити подальші обвали чи ускладнити ремонт. Водночас залежність від внутрішніх зйомок робить Safety AI менш практичним інструментом при масовій оцінці наслідків зовнішніх руйнувань у масштабних сценаріях, наприклад після проходження урагану по житловому району, де критично необхідно швидко оцінити стан фасадів та покрівель десятків або сотень будівель.

НЗ Zoom.AI зосереджена переважно на аналізі фасадів окремих споруд. Її інтелектуальні модулі можуть точно ідентифікувати незначні тріщини, ділянки корозії, деформації або просідання стінових панелей, оцінюючи тим самим стан об'єкта на мікрорівні. Цей точковий підхід ідеально підходить для глибокої інспекції окремих житлових будинків, історичних пам'яток або комерційних будівель, де важлива максимально детальна інформація про пошкодження. Проте коли необхідно швидко отримати картину стану цілої низки споруд у масштабних катастрофах — наприклад, після землетрусу у великому місті — НЗ Zoom.AI стає менш ефективною через свою орієнтацію на глибинний аналіз одного об'єкта за раз.

Skydio 3D Scan спеціалізується на високоточному 3D-моделюванні, що дає змогу створювати реалістичні цифрові копії пошкоджених будівель. Система характеризується автоматизованим плануванням польотів дрона, завдяки чому забезпечується повне покриття об'єкта без необхідності вручну задавати маршрути чи ракурси зйомки. Це особливо корисно для оцінки складної геометрії будівель, аналізу покрівельних конструкцій чи пошкоджень у важкодоступних місцях, які важко інспектувати з землі. Однак основний наголос тут все ж зроблено на створенні високодетальних віртуальних моделей, а не на миттєвому аналізі та класифікації руйнувань. Без додаткових модулів чи зовнішніх інструментів для

розпізнавання пошкоджень Skydio 3D Scan не надає оперативної оцінки стану цілих районів під час кризової ситуації.

Таким чином, кожна з розглянутих популярних систем може бути надзвичайно корисною у своїй нішевій сфері, та поки жодна не становить собою інструменту для масштабного та оперативного аналізу руйнувань зовнішніх конструкцій численних будівель. PIX4Dreact пропонує швидке картографування великих площ, але без глибокої аналітики; Safety AI ефективний у внутрішніх інспекціях, але не підходить для зовнішньої оцінки у широких масштабах; H3 Zoom.AI гарантує точний аналіз одного фасаду, але не пристосований для обробки великих обсягів даних одночасно; Skydio 3D Scan формує деталізовані 3D-моделі, та не має вбудованих можливостей миттєвого аналізу пошкоджень. Цей розрив у функціоналі ще більше актуалізує потребу в універсальній платформі, яка б могла об'єднати швидку обробку, точний аналіз і масштабованість, забезпечуючи при цьому гнучку адаптацію до різноманітних кризових умов, від точкового інспектування однієї будівлі до суцільної оцінки руйнувань у масштабах цілого міста.

Висновок до розділу 1

Зараз існують та використовуються різні методи аналізу пошкоджень та руйнувань. Традиційні методи аналізу, такі як візуальне обстеження, аналіз супутникових знімків, геоінформаційні системи та інструментальне обстеження, мають свої переваги, але стикаються з численними обмеженнями в умовах масштабних катастроф. Вони можуть бути повільними, небезпечними для персоналу, залежати від погодних умов або вимагати значних ресурсів і часу.

Використання дронів для збору даних представляє собою сучасне та ефективне рішення, яке долає більшість цих обмежень. Дрони забезпечують швидкий, безпечний та детальний збір інформації навіть у важкодоступних або небезпечних зонах. Вони можуть створювати ортофотоплани, тривимірні моделі та збирати високоякісні зображення, які інтегруються в геоінформаційні системи та

використовуються для навчання моделей машинного навчання. Це дозволяє автоматизувати процеси аналізу та прийняття рішень, підвищуючи точність та швидкість реагування. Однак наразі жодна з систем не поєднує всі ці можливості одночасно, що підкреслює потребу у створенні комплексних рішень для більш ефективного аналізу пошкоджень у масштабних сценаріях.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ БПЛА

2.1 Технології безпілотних літальних апаратів

Сьогодні технології безпілотних літальних апаратів продовжують швидко розвиватися. З'являються нові моделі з покращеними характеристиками, такими як більша тривалість польоту, збільшена вантажопідйомність та вдосконалені сенсорні системи, що відкриває нові можливості для їх застосування у різних сферах. Основні компоненти сучасних дронів включають високоточні GPS/GNSS модулі, інерціальні навігаційні системи, різноманітні датчики та камери високої роздільної здатності, а також програмне забезпечення для обробки та аналізу зібраних даних.

У контексті картографії та збору геопросторових даних існують три основні типи безпілотних літальних апаратів: мультикоптери, крилаті дрони та гібридні моделі з вертикальним зльотом та посадкою. Кожен з них має свої переваги та недоліки, що визначають їхнє застосування залежно від типу місцевості, масштабу задачі та необхідної точності.

Мультикоптери відзначаються високою маневреністю та здатністю зависати у повітрі, що робить їх незамінними у важкодоступних районах, таких як міські забудови або густі ліси. Вони забезпечують високу точність зйомки та можуть створювати детальні 3D-моделі об'єктів. Наприклад, DJI Phantom 4 Pro, завдяки камері з роздільною здатністю 20 МП, використовується для створення ортофотопланів та 3D-моделей невеликих територій [4].

Мультикоптери ідеально підходять для картографування локальних об'єктів (десятки гектарів), наприклад, інспекції будівель чи моніторингу міських інфраструктур. Однак їхнім основним обмеженням є обмежений час польоту, зазвичай близько 30 хвилин, що зумовлено високим енергоспоживанням моторів. Приклад моделі мультикоптера наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Мультикоптер DJI Mavic 3

На противагу, крилаті БПЛА здатні літати значно довше та охоплювати більші території завдяки аеродинамічній підйомній силі крил, що робить їх більш енергоефективними. Професійні фіксованокрилі дрони, такі як WingtraOne та Quantum-Systems Trinity F90+, можуть покривати площі до 400–700 гектарів (4–7 км²) за один політ і забезпечують високу точність до 1–2 см завдяки використанню GNSS-модулів RTK/PPK [5]. Це робить їх незамінними для масштабних проєктів, таких як сільськогосподарське картографування або екологічний моніторинг. Проте висока вартість таких дронів, часто перевищуюча 20 000 доларів США, та необхідність спеціалізованого обладнання для зльоту й посадки (катапульты або злітно-посадкові смуги) можуть стати перешкодою для їх широкого використання. Приклад моделі крилатого БПЛА зображений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 — Безпілотник з фіксованим крилом WingtraOne

Гібридні моделі БПЛА поєднують у собі переваги мультикоптерів та крилатих дронів. Вони можуть злітати та приземлятися вертикально, як мультикоптери, але в польоті використовують крила для аеродинамічного підйому, що забезпечує більшу тривалість польоту та дальність. Це робить їх універсальними для різних задач, проте складність конструкції та висока вартість можуть обмежувати їх застосування. Приклад гібридної моделі БПЛА зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 — VTOL-безпілотник Quantum Systems Trinity F90

Одним із ключових параметрів для дронів є максимальне покриття площі одним рейсом, оскільки це дозволяє оптимізувати маршрути польотів, зменшити кількість необхідних рейсів та ефективніше використовувати ресурси, такі як акумулятори. Крім того, знання цього показника допомагає оцінити витрати на проект та забезпечити високу якість зібраних даних за рахунок правильного налаштування перекриття між знімками.

Обчислимо максимальне покриття одним рейсом за формулою 2.1 для трьох популярних моделей дронів зазначених вище: WingtraOne, DJI Mavic 3 та Quantum Systems Trinity F90+.

$$\text{Площа (га)} = \frac{V \times T \times (GSD \times N)}{10\,000} \quad (2.1)$$

де, V — швидкість дрона в м/с;

T — час польоту в секундах;

GSD — Ground Sampling Distance в метрах/піксель;

N — кількість пікселів у ширину зображення камери;

10,000 — коефіцієнт для переведення квадратних метрів у гектари (1 га = 10,000 м²).

Для прикладу, візьмемо наступні характеристики дрона WingtraOne:

Час польоту (T): До 59 хвилин (3540 секунд).

Швидкість (V): Приблизно 8 м/с.

Відстань між точками наземного зразка (GSD): 2.7 см/піксель.

Камера: Припустимо, що використовується камера з роздільною здатністю 6000 пікселів у ширину ($N = 6000$ px).

Розрахунок площі покриття:

а) Переведення GSD у метри:

$$GSD = 2.7 \text{ см/піксель} = 0.027 \text{ м/піксель}$$

б) Обчислення ширини знімка на землі:

$$W = GSD \times N = 0.027 \text{ м/піксель} \times 6000 \text{ пікселей} = 162 \text{ метри}$$

в) Обчислення площі покриття:

$$\text{Площа (га)} = \frac{8 \text{ м/с} \times 3540 \text{ с} \times 162 \text{ м}}{10\,000} = \frac{4\,600\,320}{10\,000} = 460.03 \text{ га}$$

Отже, за однієї рейсу WingtraOne можна покрити приблизно 460 гектар.

Для забезпечення якості та точності даних часто необхідно застосовувати перекриття між знімками. Перекриття може бути переднім (в напрямку польоту) та бічним (перпендикулярно до напрямку польоту). Розглянемо площу з перекриттям в формулі 2.2:

$$\text{Площа з перекриттям (га)} = \frac{V \times T \times (GSD \times N) \times (1 - O_f)}{10000}, \quad (2.2)$$

де V — Швидкість БПЛА по землі (м/с);

T — Час польоту (секунд);

GSD — Ground Sampling Distance в метрах/піксель;

N — кількість пікселів у ширину зображення камер;

O_f — Переднє перекриття (у десятковій формі, наприклад, 60% = 0.6);

10,000 — Коефіцієнт для переведення квадратних метрів у гектари (1 га = 10,000 м²).

При 60% передньому перекритті, ефективний час польоту для покриття нової площі зменшується на 60%. Тобто:

а) Обчислення ефективного часу:

$$\text{Ефективний час} = T \times (1 - \text{Перекриття}) = 3540 \text{ с} \times 0.4 = 1416 \text{ с}$$

б) Обчислення площі з перекриттям:

$$\text{Площа з перекриттям (га)} = \frac{8 \times 1416 \times 162}{10\,000} = \frac{1\,841\,856}{10\,000} = 184.19 \text{ га}$$

Таким чином, з урахуванням 60% переднього перекриття, максимальне покриття зменшується приблизно до 184 гектар за один рейс.

Варто зауважити, що зміна висоти польоту або параметрів камери, таких як роздільна здатність, впливає на Ground Sampling Distance [6] та, відповідно, на площу покриття. Наприклад, підвищення висоти польоту або зменшення

роздільної здатності камери призведе до збільшення GSD, що зменшить площу покриття за один рейс Крім того, реальний час польоту може бути меншим через маневри, повернення на стартову точку та інші фактори. Тому завжди слід враховувати запас часу для безпечного повернення дрона, щоб уникнути непередбачених обставин та забезпечити надійність виконання місії [7].

Обчисливши значення площ для кожного з зазначених дронів, маємо наступні результати представлені на рисунку 2.4.

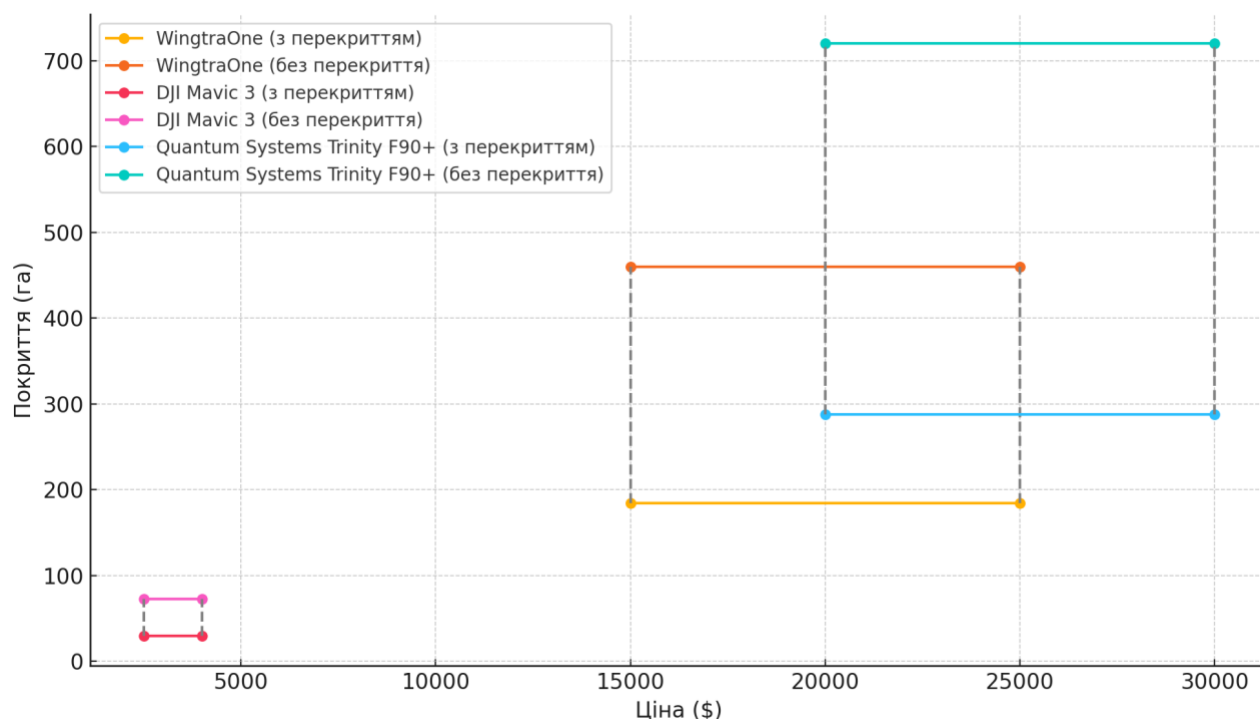


Рисунок 2.4 — Порівняння покриття та діапазонів цін для БПЛА

Як можемо побачити з графіку, покриття та діапазон цін для різних БПЛА суттєво відрізняються залежно від моделі. WingtraOne демонструє середнє покриття серед представлених моделей як із перекриттям, так і без нього, і має більш високу ціну в порівнянні з DJI Mavic 3. Останній, у свою чергу, має найменше покриття серед усіх, що логічно для дронів компактного класу, але його ціна є значно нижчою, що робить його доступним для широкого кола користувачів. Quantum Systems Trinity F90+ показує найбільше покриття як із перекриттям, так і без нього, що робить його ідеальним для масштабних задач, однак він також має

найвищий діапазон цін, що обмежує його використання більш вимогливими проектами або професійними користувачами.

На основі проведеного аналізу можна дійти до висновку, що дрони з фіксованим крилом є найбільш оптимальним вибором для реалізації задач картографування. Дрони цього типу мають суттєві переваги, які забезпечують їхню ефективність, зокрема здатність здійснювати тривалі польоти та покривати значні території за один рейс. Їхня конструкція базується на принципі аеродинамічного підйому, що дозволяє значно зменшити енергоспоживання в порівнянні з мультикоптерами, які потребують постійної роботи двигунів для підтримання стабільності в повітрі. Це робить дрони з фіксованим крилом незамінними для картографування великих площ або виконання моніторингових завдань на значних відстанях.

Ще однією перевагою дронів цього типу є їхня відносно проста конструкція, яка зменшує витрати на обслуговування і підвищує надійність у польоті. Завдяки меншій кількості рухомих частин, вони рідше виходять з ладу, що також знижує ризики в довготривалих проектах. Крім того, дрони з фіксованим крилом забезпечують високу якість збору даних завдяки стабільному польоту навіть у несприятливих погодних умовах, таких як помірний вітер [8].

Однак необхідно враховувати і певні обмеження цього типу дронів. Їм потрібні відкриті простори для зльоту та посадки, що може ускладнити їхнє використання в урбанізованих або сильно пересічених місцевостях. Також їхня маневреність є меншою в порівнянні з мультикоптерами, що може обмежувати їхнє застосування в задачах, де потрібна висока точність польоту в умовах обмеженого простору. Але навіть з урахуванням цих факторів, дрони з фіксованим крилом є гарним вибором, якщо потрібно покривати великі території з максимальною ефективністю.

Якщо бюджет проекту дозволяє, то придбання дрона з фіксованим крилом є найбільш виправданим рішенням. Незважаючи на їхню вищу вартість у порівнянні з мультикоптерами, цей тип дронів забезпечує оптимальне співвідношення між вартістю та продуктивністю, особливо для проектів, які вимагають тривалих

польотів та високої продуктивності. Та наступним кроком є проектування саме власного дрона з фіксованим крилом, який буде адаптований під задачі проекту і матиме менший бюджет на створення. Основна увага буде приділена підбору конструкції, яка забезпечить ефективність використання, високу якість зібраних даних і мінімізацію експлуатаційних витрат. Проектування власного дрона дозволить врахувати всі нюанси поставлених задач і створити оптимальне рішення, яке відповідає конкретним вимогам проекту.

2.2 Комплектація дрону

Комплектація дрону має передбачати використання компонентів, які забезпечать ефективне виконання завдань моніторингу та картографування. Основна увага буде приділена вибору елементів, що гарантують стабільний політ, тривалу автономність, високу якість зібраних даних і точність геоприв'язки. Конструкція дрону має бути оптимізована для зменшення ваги, підвищення надійності й адаптації до умов експлуатації, включаючи використання в складних середовищах. Кожен компонент, від рами та системи живлення до навігаційного обладнання та візуалізації даних, буде ретельно обраний і протестований для забезпечення повної відповідності проекту.

2.2.1 Рама

Skywalker X8 (рис. 2.5) представляє собою широко використовувану раму з фіксованим крилом, яка призначена для тривалих польотів та картографічних завдань завдяки високим показникам безпеки, аеродинамічної стабільності, вантажопідйомності та тривалого часу перебування в повітрі. Розмах крил Skywalker X8 становить приблизно 2,1 метра, що забезпечує ефективне транспортування додаткового обладнання, необхідного для високоточного картографування. Рама виготовлена зі спіненого поліолефіну – легкого та міцного матеріалу, який характеризується високою ударостійкістю, сприяє безпечній

експлуатації в публічних зонах та знижує ймовірність пошкоджень під час аварійних посадок.



Рисунок 2.5 — Рама Skywalker X8

Розміщення пропульсивної системи в задній частині конструкції підвищує рівень безпеки, знижуючи ризик контакту з пропелерами під час посадки. Висока стабільність Skywalker X8 при низьких швидкостях робить його оптимальним для виконання картографічних операцій, забезпечуючи отримання високоточних та деталізованих зображень під час польоту. Аеродинамічна конструкція крила сприяє більш ефективному політному режиму у порівнянні з мультироторними дронами, що дозволяє збільшити тривалість польоту та радіус дії. Незважаючи на наявність лише двох контрольних поверхонь для регулювання крену, тангажу та ролу, велике крило та конструктивні рішення забезпечують необхідну стабільність польоту, що робить Skywalker X8 надійним вибором для тривалих картографічних місій з мінімальною складністю управління. Основна специфікація рами представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Специфікація рами Skywalker X8

Характеристика	Значення
Тип рами	Фіксована
Розмах крил	2,1 м
Швидкість польоту	65–70 км/год
Вантажопідйомність	До 3 кг

Максимальна висота польоту	200 м
Тип зльоту (Takeoff)	Ручний запуск, катапультний запуск

2.2.2 Польотний контролер

CUAV V5+ Autopilot (рис. 2.6) є високоточним автопілотом професійного рівня, розробленим для роботи з безпілотними літальними апаратами різного типу. Він побудований на основі високопродуктивного 32-бітного мікроконтролера STM32F765 з тактовою частотою 216 МГц, що забезпечує швидку обробку даних та стабільну роботу навіть у складних умовах. Крім основного процесора, пристрій оснащений додатковим процесором STM32F100, який виконує функції допоміжного обчислення, моніторингу та управління енергоспоживанням. Підсистема зберігання включає вбудовану пам'ять на 2 МБ та додаткову SD-карту для запису журналів польотів.

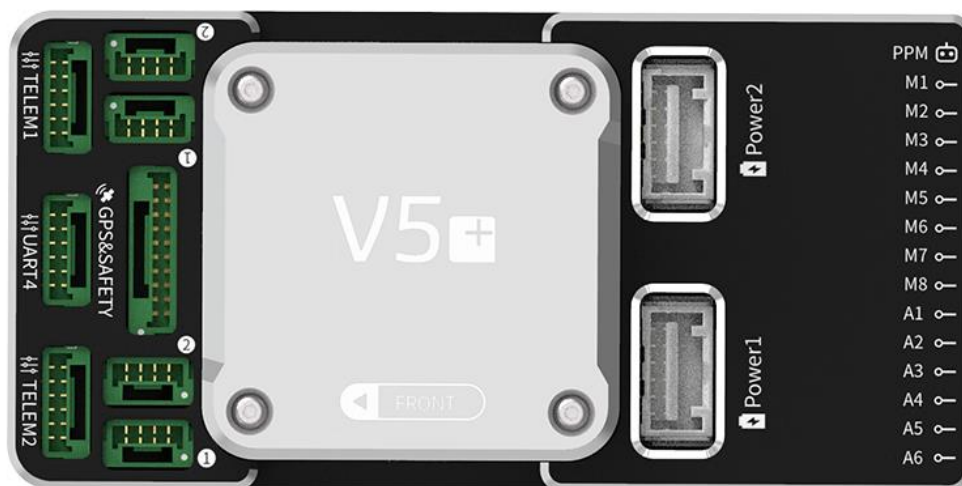


Рисунок 2.6 — Польотний контролер CUAV V5+ Autopilot

Конструкція автопілота включає два незалежні гіроскопи (BMI088 і ICM-20602) і два акселерометри, що забезпечує високу точність і надійність вимірювань завдяки можливостям резервування. Барометр MS5611 виконує вимірювання висоти з точністю, необхідною для стабільного польоту. Інтерфейси включають 14

PWM-виходів, CAN-шину з підтримкою стандарту UAVCAN, порти UART, I2C та SPI, що дозволяє підключати широкий спектр периферійних пристроїв, таких як RTK-GPS, дальноміри, камери та інші сенсори. Пристрій також підтримує протокол MAVLink для обміну даними в реальному часі з наземними станціями.

Металевий корпус забезпечує екранування від електромагнітних завад, що мінімізує вплив зовнішніх факторів на точність сенсорів і стабільність роботи. Підтримка широкого діапазону вхідної напруги (4,5-5,5 В) і подвійного резервування живлення робить пристрій надійним навіть у випадку відмови одного джерела живлення. Крім того, пристрій обладнаний системою виявлення і компенсації вібрацій, що є критично важливим для збору даних з високою точністю. Основні характеристики представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика польотного контролера CUAV V5+ Autopilot

Параметр	Характеристика
Процесор FMU	STM32F765 (32-бітний Arm® Cortex®-M7, 216 МГц, 2 МБ флеш-пам'яті, 512 КБ ОЗП)
Процесор ІО	STM32F100 (32-бітний Arm® Cortex®-M3, 24 МГц, 8 КБ SRAM)
Сенсори	Акселерометр/Гіроскоп: ICM-20689 Акселерометр/Гіроскоп: BMI055 Магнітометр: IST8310 Барометр: MS5611
Інтерфейси	8–14 PWM виходів, 3 спеціалізовані PWM/Capture входи 5 універсальних послідовних портів, 4 порти I2C, 4 шини SPI, 2 шини CAN
Система живлення	Основне живлення: 4,3–5,4 В USB вхід: 4,75–5,25 В
Розміри та вага	Розміри: 85,5 × 42 × 33 мм Вага: 90 г

2.2.3 RTK

Технологія кінематики в реальному часі є методом високоточного визначення координат, що базується на обробці фазових вимірювань сигналів глобальних навігаційних супутникових систем. На відміну від традиційних методів, які використовують лише кодові вимірювання, RTK застосовує фазові вимірювання несучої частоти сигналу, що дозволяє досягти сантиметрової точності в реальному часі.

Основний принцип RTK полягає у використанні двох приймачів: базової станції з відомими координатами та рухомого приймача (ровер). Базова станція безперервно приймає GNSS-сигнали та обчислює поправки, які враховують помилки, спричинені атмосферними явищами, багатопроменевістю та іншими факторами. Ці поправки передаються на ровер у режимі реального часу через радіозв'язок або інші канали передачі даних. Ровер, отримуючи ці поправки, коригує власні вимірювання, що дозволяє визначити його положення з високою точністю [9]. Схема роботи RTK представлена на рисунку 2.7.

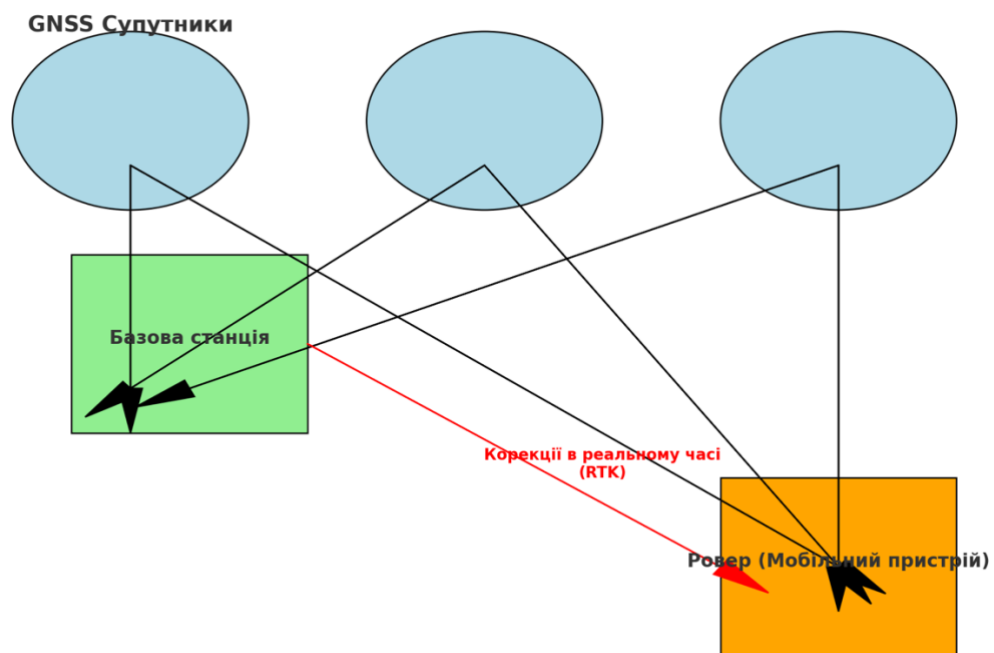


Рисунок 2.7 — Схема роботи RTK

Технологія RTK знаходить широке застосування в геодезії, будівництві, сільському господарстві та інших галузях, де необхідна висока точність позиціонування. Зокрема, у сільському господарстві RTK використовується для точного водіння техніки, що дозволяє оптимізувати процеси посіву, обприскування та збирання врожаю, зменшуючи витрати ресурсів та підвищуючи ефективність виробництва.

Зокрема, використання RTK у процесі створення ортофотопланів забезпечує високу точність геоприв'язки аерофотознімків. Дрони, оснащені RTK-приймачами, отримують корекційні дані від базових станцій у режимі реального часу, що дозволяє визначати координати з точністю до кількох сантиметрів. Це особливо важливо для забезпечення точності ортофотопланів, оскільки навіть незначні похибки в координатах можуть призвести до спотворень при зшиванні знімків та побудові моделі місцевості. Крім того, RTK-технологія дозволяє зменшити кількість наземних контрольних точок, необхідних для калібрування та корекції знімків. Традиційно для забезпечення точності ортофотопланів використовуються наземні контрольні точки з відомими координатами, які слугують орієнтирами при обробці знімків. Завдяки RTK-приймачам на дронах, координати кожного знімка визначаються з високою точністю безпосередньо під час польоту, що зменшує потребу в додаткових наземних вимірюваннях та прискорює процес створення ортофотоплан.

Технологія RTK, хоча й забезпечує високоточне позиціонування, має певні обмеження, які слід враховувати при її використанні у створенні ортофотопланів та інших задачах. Основним обмеженням RTK є залежність від якісного зв'язку між базовою станцією і ровером. Перешкоди в передачі сигналу, такі як складний рельєф, густий ліс або міська забудова, можуть знизити точність і надійність системи. Крім того, ефективність RTK знижується зі збільшенням відстані між базовою станцією і ровером, оскільки атмосферні ефекти, зокрема іоносферні та тропосферні затримки, стають більш помітними. Максимальна відстань зазвичай обмежується 10–20 км для забезпечення оптимальної точності.

Іншим обмеженням є вартість інфраструктури, що включає базові станції, RTK-приймачі та канали зв'язку. Для великих територій або важкодоступних районів це може бути економічно не вигідним. В умовах обмеженого бюджету це може стати значною перешкодою для впровадження RTK у геодезичні або картографічні проекти.

Як альтернатива RTK можуть використовуватися інші методи високоточного позиціонування. Один з найпоширеніших — це постобробна кінематика, яка базується на обробці GNSS-даних після завершення зйомки. РРК менш залежить від якості зв'язку під час збору даних, оскільки всі корекції застосовуються вже після отримання записів з приймачів. Цей метод зручний для використання в районах із поганим зв'язком або при складних умовах середовища.

Іншою альтернативою є використання глобальних диференційних систем, таких як Precise Point Positioning. PPP не вимагає базової станції, оскільки корекції надаються через супутники або інтернет. Хоча точність PPP зазвичай нижча (сантиметрова точність може бути досягнута лише за тривалого часу спостережень), метод забезпечує більш гнучке та незалежне рішення, особливо для віддалених регіонів [10].

2.2.4 RTK-приймач

CUAV C-RTK 9Ps (рис. 2.8) є високоточним GNSS-модулем, розробленим для забезпечення сантиметрової точності позиціонування в режимі реального часу. Модуль оснащений 184-канальним приймачем u-blox ZED-F9P, який підтримує одночасний прийом сигналів від чотирьох глобальних навігаційних супутникових систем: GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou. Це забезпечує високу надійність та точність визначення координат навіть у складних умовах навігації.



Рисунок 2.8 — RTK-приймач CUAUV C-RTK 9Ps

Модуль підтримує багаточастотний прийом, включаючи діапазони L1 та L2 для систем GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou, що дозволяє досягти точності позиціонування до 0,01 м + 1 ppm CEP у режимі RTK. Частота оновлення даних становить до 20 Гц для RTK, 25 Гц для сирих даних та 25 Гц для PVT, забезпечуючи оперативне та точне оновлення інформації про місцезнаходження.

Вбудований компас IST8310 дозволяє визначати орієнтацію апарата. Підтримка подвійного RTK для визначення курсу (yaw) дозволяє замінити магнітний компас, що є корисним у середовищах з магнітними завадами, таких як поблизу ліній електропередач. Модуль обладнаний двома UART-портами та одним USB-портом для підключення до автопілотів або інших пристроїв. Робоча напруга модуля знаходиться в діапазоні від 4,5 В до 6 В, а робочий температурний діапазон – від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що забезпечує експлуатацію в різних кліматичних умовах.

Габаритні розміри модуля складають 47 мм x 32 мм x 12,2 мм, а маса – 30 г, що забезпечує компактність та легкість інтеграції в різні платформи. Підтримка протоколів NMEA, UBX binary та RTCM 3.x забезпечує сумісність з широким спектром автопілотів, включаючи системи PX4 та ArduPilot.

Для завдань картографування CUAV C-RTK 9Ps забезпечує високу точність позиціонування та швидкий час зближення (менше 60 секунд у режимі RTK). Це дозволяє отримувати детальні та точні геоприв'язані зображення, необхідні для створення ортофотопланів та 3D-моделей місцевості. Підтримка подвійного RTK для визначення курсу забезпечує стабільність та точність орієнтації без використання магнітного компаса, що є важливим при роботі в умовах магнітних завод. Компактні розміри та низька вага модуля дозволяють інтегрувати його в безпілотні літальні апарати різних розмірів, зберігаючи високу точність та надійність позиціонування.

2.2.5 GPS модуль

Holybro Micro M8N GPS Module (рис. 2.9) є модулем глобальної навігаційної системи, заснованим на чіпсеті u-blox Neo-M8N, який забезпечує високу точність та швидкість визначення координат. Чіпсет підтримує мультисистемний прийом сигналів від кількох глобальних навігаційних систем, включаючи GPS (США), Galileo (Європа) та BeiDou (Китай), що значно підвищує точність позиціонування навіть у складних навігаційних умовах. Вбудована керамічна патч-антена розміром 25 x 25 мм з високою чутливістю забезпечує стабільний прийом сигналів, а малошумний підсилювач (LNA) MAX2659ELT+ покращує якість обробки слабких сигналів.



Рисунок 2.9 — GPS модуль Holybro Micro M8N GPS Module

Модуль обладнаний цифровим компасом IST8310, який забезпечує точне визначення орієнтації. Ця функціональність є критичною для безпілотних літальних апаратів, що виконують завдання з картографування, де точність просторового положення є важливою. Конструкція включає перезаряджуваний конденсатор для підтримки енергозалежної пам'яті, що дозволяє модулю швидко відновлювати зв'язок із супутниками після перезавантаження. Holybro Micro M8N GPS Module оснащений інтерфейсом UART з логічним рівнем 3,3 В, що забезпечує сумісність з більшістю популярних автопілотів, таких як Pixhawk або CUAV.

Корпус модуля має габарити 38 x 38 x 11 мм і виготовлений з пластику, що мінімізує вагу (приблизно 20,6 г) та захищає внутрішні компоненти від механічних пошкоджень. На платі встановлені світлодіодні індикатори, які відображають статус роботи модуля, включаючи живлення та фіксацію супутників, що полегшує діагностику та налаштування в польових умовах.

Для задач картографування Holybro Micro M8N GPS Module забезпечує високу точність позиціонування та підтримку одночасної роботи з кількома супутниковими системами, що забезпечує стабільний зв'язок навіть у зонах з поганим сигналом, таких як урбанізовані території чи лісові масиви. Інтегрований цифровий компас дозволяє підтримувати точну орієнтацію платформи, що є важливим для отримання коректних геоприв'язаних зображень або даних під час

аерофотозйомки. Компактні розміри та низька вага модуля дозволяють інтегрувати його у невеликі безпілотні літальні апарати без втрати точності та функціональності. Стабільний прийом сигналів та низький рівень шумів сприяють створенню точних картографічних моделей та забезпечують високоякісний збір даних для подальшої обробки.

2.2.6 Система руху

Мотор T-Motor MN3110 у поєднанні з пропелером 13x8 Folding Propeller формує ефективну систему руху для фіксованокрилових безпілотних літальних апаратів, призначених для виконання тривалих картографічних місій. Ця комбінація забезпечує оптимальний баланс між потужністю та енергоспоживанням, що є критично важливим для тривалих польотів. Мотор, працюючи в діапазоні напруги 11.1 V–14.8 V (3S–4S LiPo акумулятори), забезпечує стабільну тягу, необхідну для транспортування картографічного обладнання, такого як високоякісні камери та GNSS-модулі. Використання LiPo акумуляторів з ємністю 10 000–12 000 мА·год дозволяє підтримувати тривалий час польоту, забезпечуючи високу енергоефективність системи.

Пропелер з діаметром 13 дюймів і кроком 8 дюймів генерує необхідну підйомну силу, що дозволяє стабільно утримувати дрон у повітрі навіть при додатковому навантаженні. Складноподібна конструкція пропелера забезпечує зручність транспортування та мінімізує ризик пошкодження під час посадки. Контролер швидкості T-Motor Flame 60A регулює оберти пропелера, забезпечуючи точне управління польотом, що є необхідним для виконання високоточних картографічних завдань.

2.2.7 Система візуалізації

Камера Canon PowerShot G7 X Mark II (рис. 2.10) є оптимальним рішенням для збору візуальних даних під час аерофотозйомки та картографічних місій. Вона

забезпечує високу якість зображень завдяки сенсору типу 1.0 дюйм із роздільною здатністю 20,1 МП (BSI-CMOS), що дозволяє отримувати деталізовані та насичені текстури навіть за умов низької освітленості. Сенсор характеризується широким динамічним діапазоном і високою світлочутливістю, що критично важливо для точного відтворення геоприв'язаних зображень. Камера оснащена об'єктивом із 4,2-кратним зумом (еквівалент фокусної відстані 24–100 мм) і діафрагмою $f/1.8$ – 2.8 , що забезпечує високу чіткість зображень і можливість роботи в умовах недостатнього освітлення. Це дозволяє ефективно знімати великі площі місцевості та зберігати деталізацію об'єктів, що знаходяться на значній відстані.



Рисунок 2.10 — Камера Canon PowerShot G7 X Mark II

Інтегрована 5-осьова система стабілізації зображення мінімізує вплив вібрацій, що виникають під час руху або польоту дрона, забезпечуючи чіткість і стабільність кадрів. Canon PowerShot G7 X Mark II підтримує серійну зйомку зі швидкістю до 8 кадрів за секунду, що забезпечує високу деталізацію при зйомці об'єктів у русі або великих територій. Процесор DIGIC 7 оптимізує швидкість обробки зображень і зменшує затримки, що дозволяє синхронізувати роботу камери з іншими системами безпілотного літального апарата.

Камера оснащена вбудованими інтерфейсами Wi-Fi та NFC, які значно спрощують передачу даних без необхідності використання фізичних носіїв.

Wi-Fi забезпечує швидкий і бездротовий обмін великими обсягами даних. Ця технологія дозволяє камері підключатися до локальної мережі або безпосередньо до приймального пристрою, такого як ноутбук, планшет чи сервер. Через Wi-Fi оператор може передати зображення та супутні метадані (географічні координати, висота, час зйомки) безпосередньо до системи для подальшого аналізу. Це особливо корисно, коли потрібно оперативно передати дані в реальному часі, наприклад, у разі надзвичайної ситуації або для моніторингу.

Завдяки компактному дизайну та вазі близько 319 г Canon PowerShot G7 X Mark II легко інтегрується в дрон, не створюючи значного додаткового навантаження на платформу. Оптимізоване енергоспоживання дозволяє ефективно використовувати камеру під час тривалих місій в автономних умовах. Canon PowerShot G7 X Mark II забезпечує отримання високоточних зображень, необхідних для створення ортофотопланів, 3D-моделей місцевості та інших картографічних продуктів. Її сенсор і оптична система дозволяють працювати навіть у складних умовах освітлення, а стабілізація гарантує чіткість кадрів. Поєднання портативності, енергоефективності та продуктивності робить цю камеру ефективним інструментом для аерофотозйомки, який може використовуватись у складі професійних безпілотних платформ. Основні характеристики представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика Canon PowerShot G7 X Mark II

Характеристика	Значення
Сенсор	1.0 дюйм, 20,1 МП (BSI-CMOS)
Об'єктив	4,2-кратний зум (24–100 мм), f/1.8–2.8
Стабілізація зображення	5-осьова система
Серійна зйомка	До 8 кадрів за секунду
Спусковий механізм	Seagull MAP2 Camera Trigger Unit
Ширина зображення	5472 пікселів
Висота зображення	3648 пікселів
Ширина сенсора	13,2 мм

Висота сенсора	8,8 мм
Фокусна відстань	8,8 мм

Обчислимо GSD — розмір одного пікселя на земній поверхні. GSD впливає на просторову роздільну здатність знімків і визначає деталізацію картографічної продукції. Для розрахунку GSD використовується наступна формула 2.3:

$$GSD = \frac{H \times S}{f \times R}, \quad (2.3)$$

де H — висота зйомки (100 метрів = 100 000 мм);

S — розмір сенсора;

f — фокусна відстань;

R — роздільна здатність по відповідній осі.

Розрахуємо GSD по ширині зображення:

$$GSD_{\text{ширина}} = \frac{100\,000 \text{ мм} \times 13,2 \text{ мм}}{8,8 \text{ мм} \times 5472} \approx \frac{1\,320\,000}{48\,153,6} \approx 27,38 \text{ мм/піксель}$$

Аналогічно, розрахунок по висоті дасть той самий результат:

$$GSD_{\text{висота}} = \frac{100\,000 \text{ мм} \times 8,8 \text{ мм}}{8,8 \text{ мм} \times 3648} \approx \frac{880\,000}{32\,102,4} \approx 27,38 \text{ мм/піксель}$$

Отже, Canon PowerShot G7 X Mark II має характеристики, які дозволяють отримувати результати, схожі на камери професійних дронів, таких як Wingtra QX1 (рис. 2.11) або DJI Inspire 2 (X4S). При висоті 100 метрів вона забезпечує GSD близько 27.38 мм/піксель, що практично ідентично значенням цих дронів. Це доводить, що камера здатна виконувати завдання з подібною точністю та деталізацією, як і професійні дрони, які активно використовуються для аерофотозйомки та картографії.

GSD Calculator

1 Select a preset drone or enter in specs for a custom drone

Preset Drone Custom Drone

Wingtra QX1 + 15mm Voigtland

Camera Parameters

Image Width	5456 px
Image Height	3632 px
Sensor Width	23.2 mm
Sensor Height	15.4 mm
Focal Length	15 mm

2 Enter a flight height m

3 Data validation No Errors

GSD
2.83 cm/px

Рисунок 2.11 — значення GSD для дрону Wingtra QX1

2.2.8 Конфігурація дрона

Фінальна конфігурація дрона, представлена на рисунку 2.12, включає всі основні компоненти, необхідні для його ефективної та надійної роботи. Система живлення складається з високопродуктивного акумулятора, який забезпечує тривалий автономний час польоту, а спеціальний модуль стабілізує напругу та захищає від перевантажень. Пропелерна система поєднує двигуни високої потужності та складні пропелери, що гарантує стабільність і маневреність дрона навіть у складних умовах. Сервоприводи забезпечують точне управління елементами, відповідальними за зміну напрямку та нахилу, що сприяє плавному керуванню.

Для точного позиціювання використовується система навігації, яка включає модулі глобального позиціювання, що забезпечують високу точність і стабільність маршруту навіть у складних умовах середовища. Передача даних у реальному часі

реалізується за допомогою телеметричних модулів, що дозволяють синхронізувати дрон із наземною станцією та отримувати актуальну інформацію під час польоту. Оптична система представлена високоякісною камерою, яка інтегрована через тригерний модуль для автоматизації процесу збору зображень чи відео. Уся конфігурація оптимізована для ефективного виконання завдань, забезпечуючи стабільність, точність та надійність дрона в різних умовах використання.

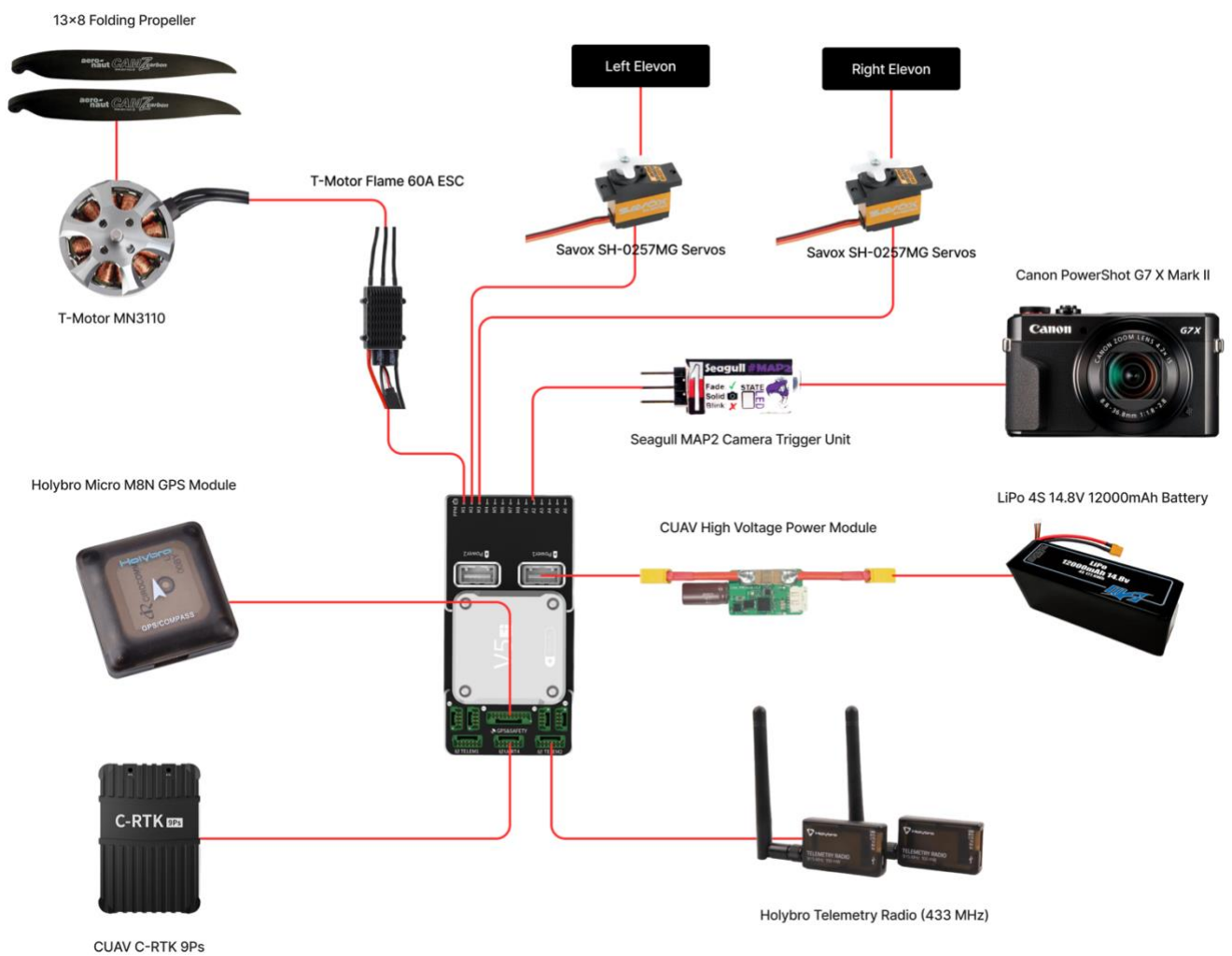


Рисунок 2.12 — Конфігурація компонентів дрона

2.3 Програмне забезпечення

Після завершення апаратного збирання безпілотного літального апарата наступним обов'язковим етапом є налаштування його програмних параметрів. Цей процес включає конфігурацію автопілота, калібрування сенсорів (акселерометрів,

гіроскопів, магнітометрів), налаштування контролерів двигунів і визначення параметрів польоту, таких як PID-регулятори, швидкість, висота та інші ключові характеристики. Крім того, необхідно підготувати апарат до виконання місій, що передбачає створення маршрутів із контрольними точками, програмування автоматичних дій і моніторинг телеметрії в реальному часі. Для виконання цих завдань використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке забезпечує інтеграцію з апаратною частиною, гнучке налаштування систем і контроль усіх етапів роботи дрона.

2.3.1 QGroundControl

QGroundControl — це універсальне програмне забезпечення з відкритим кодом для роботи з дронами, які використовують протокол MAVLink, зокрема автопілоти PX4 і ArduPilot. Воно підтримує мультиплатформенність (Windows, macOS, Linux, iOS, Android) і пропонує інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє виконувати базові та складні задачі. QGroundControl дозволяє планувати місії з Waypoints, виконувати 2D/3D-візуалізацію польотів, калібрувати сенсори, оновлювати прошивку та моніторити телеметрію в реальному часі. Завдяки відкритому коду програма може бути кастомізована під специфічні потреби. Інтерфейс програми представлений на рисунку 2.13.

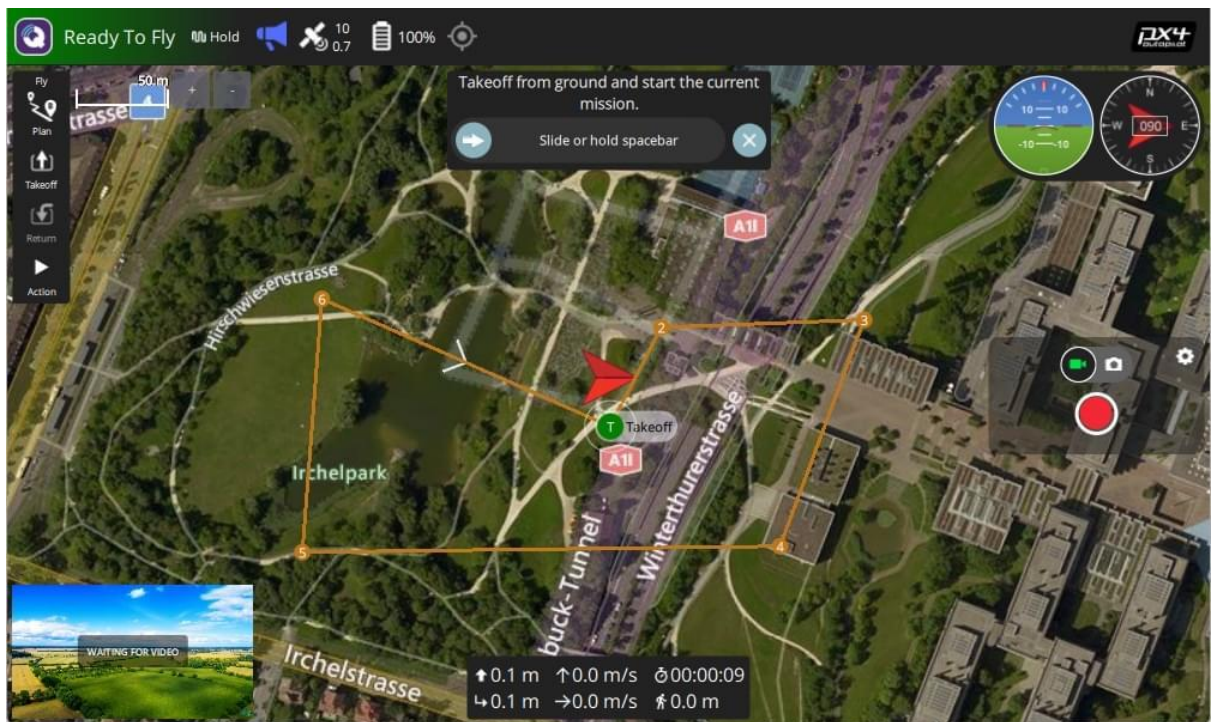


Рисунок 2.13 — Інтерфейс QGroundControl

Плюси:

- а) кросплатформенність для зручного використання на будь-яких пристроях;
- б) потужний інструмент планування місій і роботи з телеметрією;
- в) підтримка протоколу MAVLink і великої кількості дронів;
- г) ліцензія з відкритим кодом, яка дозволяє кастомізацію.

Мінуси:

- а) може вимагати досвіду для виконання складних задач;
- б) інтеграція з деякими сторонніми модулями потребує додаткової роботи.

QGroundControl є оптимальним вибором для управління безпілотними літальними апаратами. Як було сказано раніше, програма кросплатформенна і має інтуїтивний інтерфейс. Вона підтримує автопілоти PX4 та ArduPilot, протокол MAVLink, дозволяє планувати місії, калібрувати сенсори та моніторити телеметрію в реальному часі. Відкритий код дає можливість кастомізації, а безкоштовність робить її доступною для всіх. QGroundControl поєднує потужний функціонал з простотою використання, що робить її найкращим вибором серед представлених програм.

2.3.2 Особливості QGroundControl

QGroundControl — це універсальне програмне забезпечення для управління безпілотними літальними апаратами, яке підтримує автопілоти з протоколом MAVLink, зокрема PX4, ArduPilot та їх модифікації. Воно забезпечує користувачів інтуїтивним інтерфейсом для взаємодії з дроном, пропонуючи розширені можливості налаштування, планування місій і моніторингу в реальному часі. QGroundControl дозволяє використовувати управління як на стаціонарних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях.

Основні функціональні можливості програми охоплюють кілька ключових аспектів: планування місій, яке включає розробку маршрутів із використанням контрольних точок (Waypoints), додавання дій у визначених місцях (наприклад, зйомка фото, зупинка або розворот), налаштування висоти польоту та швидкості, а також можливість збереження складних місій у вигляді шаблонів для повторного використання.

QGroundControl також забезпечує моніторинг польоту в реальному часі, відображаючи на екрані дані телеметрії, включаючи позицію дрона, висоту, швидкість, рівень заряду батареї, напрямок і стан систем. Програма пропонує інтеграцію з картографічними сервісами для візуалізації маршрутів і позиції дрона на двовимірній або тривимірній карті. QGroundControl містить модулі калібрування апаратного забезпечення дрона, такі як акселерометри, гіроскопи, магнітометри, ESC, що дозволяє забезпечити точність роботи всіх систем і сенсорів. Функції конфігурації дозволяють користувачеві змінювати параметри автопілота, налаштовувати PID-регулятори, задавати режими роботи двигунів, керувати додатковими пристроями (наприклад, камерами, системами освітлення, RTK-модулями для високоточних геоданих), а також виконувати оновлення прошивки автопілота безпосередньо через інтерфейс програми. Програмне забезпечення також підтримує сценарії використання з дронами різних типів, включаючи мультикоптери, літаки, VTOL-апарати, наземні транспортні засоби та навіть човни. QGroundControl підтримує управління за допомогою RC-пультів,

джойстиків або сенсорного введення. Програма інтегрується з камерами для FPV-відео або збору геоприв'язаних зображень, що особливо корисно у місіях з картографії, інспекції чи пошуково-рятувальних операціях. Важливою перевагою QGroundControl є відкритий вихідний код, розповсюджуваний під ліцензією Apache 2.0, що дозволяє розробникам змінювати програму для власних потреб або інтегрувати її у свої системи.

2.4 Налаштування компонентів

Налаштування компонентів дрону має забезпечити їхню ефективну взаємодію та відповідність вимогам проекту. Основними етапами цього процесу будуть калібрування систем, адаптація параметрів для виконання поставлених завдань та перевірка стабільності роботи всіх елементів. Особлива увага буде приділена забезпеченню точності збору даних, надійності під час експлуатації та узгодженню роботи апаратної і програмної частин. Усі налаштування мають бути протестовані в різних умовах для досягнення максимальної продуктивності та відповідності технічним вимогам.

2.4.1 Firmware

Firmware є ключовим компонентом у налаштуванні дрону, оскільки саме прошивка визначає, як апаратна частина автопілота взаємодіє із системою керування. У QGroundControl цей процес починається із підключення автопілота, в нашому випадку, CUAV V5+, до комп'ютера через USB-кабель. Після встановлення зв'язку програма автоматично переходить до вкладки Vehicle Setup, де обирається розділ Firmware. Тут користувач має змогу оновити або перевстановити прошивку, обравши один із доступних варіантів, таких як PX4 чи ArduPilot, залежно від потреб. Під час оновлення QGroundControl завантажує останню версію прошивки, а користувачеві залишається лише підтвердити процес і уникати відключення пристрою. По завершенні оновлення автопілот автоматично

перезавантажується, після чого програма підтверджує успішність операції. У разі проблем, наприклад, якщо пристрій не розпізнається, слід перевірити драйвери USB або скористатися апаратним режимом завантаження Bootloader. Цей етап налаштування гарантує, що автопілот має найновішу та стабільну прошивку, готову до подальшої конфігурації.

2.4.2 Airframe

На етапі налаштування Airframe було виконано вибір відповідної конфігурації рами у вкладці QGroundControl (рис. 2.14). Для дрону з фіксованим крилом, як-от Skywalker X8, було обрано тип “Fixed Wing”, що забезпечило оптимізацію роботи автопілота під конкретну конструкцію. Програма автоматично завантажила конфігураційні файли, які враховували особливості польотної динаміки, такі як розташування центру ваги та налаштування пропелерів. Для багатороторних моделей могла бути обрана конфігурація, що відповідає кількості двигунів і геометрії дрону. У випадках нестандартних конструкцій була доступна можливість вручного налаштування параметрів. Після завершення вибору й автоматичного збереження змін дрон було підготовлено до наступного етапу – калібрування сенсорів.

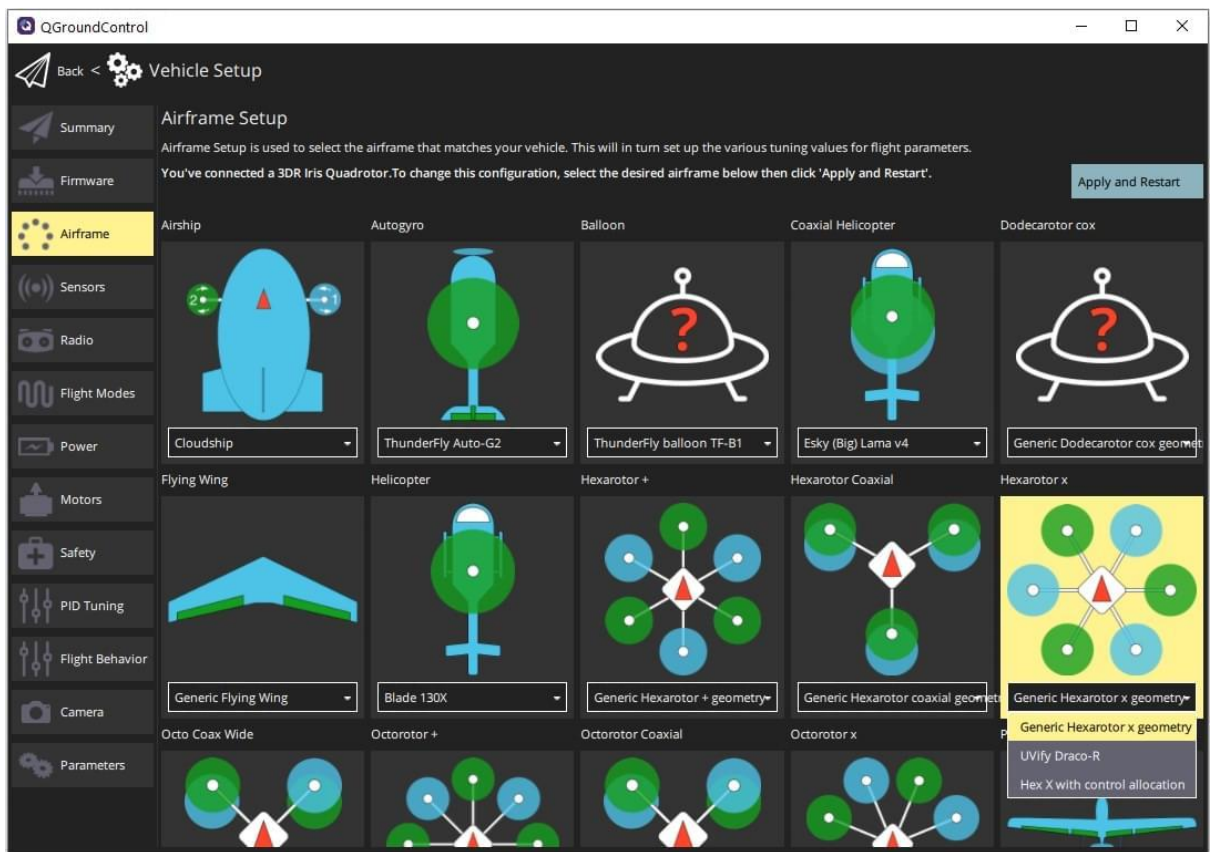


Рисунок 2.14 — Налаштування Airframe

2.4.3 Sensors

На етапі налаштування сенсорів було проведено калібрування всіх основних датчиків, які відповідають за орієнтацію, положення та стабільність дрону в польоті. У розділі Sensors у вкладці Vehicle Setup було виконано калібрування акселерометрів. Для цього дрон послідовно розміщувався у різних положеннях (рис. 2.15): горизонтально, вертикально, на боках, носом вниз і носом вгору. У кожному положенні було зчитано показники прискорення, що дозволило системі визначити, як сили діють на дрон у стані спокою, та налаштувати автопілот для правильної стабілізації.

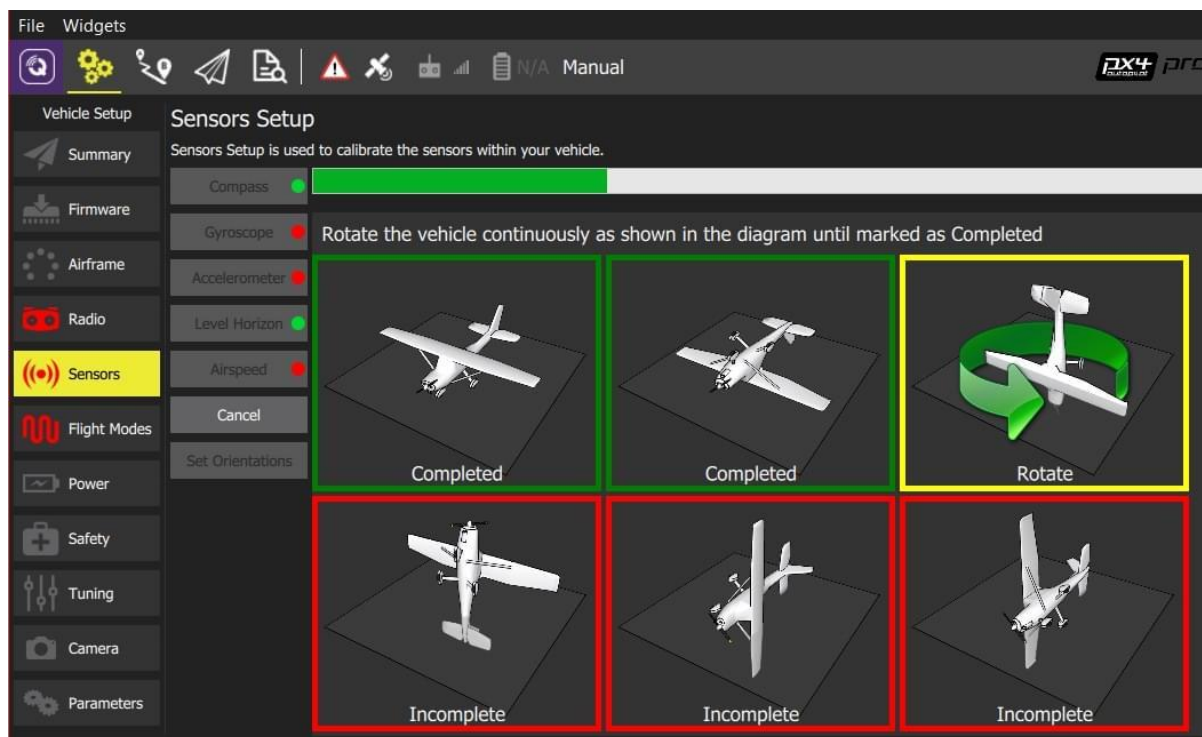


Рисунок 2.15 — Налаштування Sensors

Далі було проведено калібрування гіроскопів. У цьому випадку дрон залишався нерухомим, а система записувала базові значення, які повинні бути нульовими при відсутності руху. Ця процедура дозволила усунути дрейф сенсорів і забезпечити точне вимірювання кутових швидкостей. Наступним етапом стало калібрування компасів, яке передбачало обертання дрону навколо його осей. Програма зчитувала зміни магнітного поля Землі, що дало змогу автопілоту правильно визначати орієнтацію у просторі. У разі наявності магнітних перешкод було виконано додаткову перевірку та усунення джерел таких перешкод.

Окрім цього, було налаштовано барометр, який використовує атмосферний тиск для визначення висоти. Було перевірено стабільність його показників, і, за необхідності, внесено корективи для компенсації впливу внутрішньої температури та тиску у корпусі дрону. Усі процедури супроводжувалися індикаторами в QGroundControl, які підтверджували успішність кожного етапу. У разі виникнення помилок було виконано повторні калібрування або перевірку з'єднання сенсорів. Завершення налаштування сенсорів забезпечило точність орієнтації дрону у

просторі, стабільність польоту та готовність до виконання наступних етапів налаштування.

2.4.4 Power

На етапі Power було виконано налаштування системи живлення дрону (рис. 2.16), що забезпечило правильне функціонування усіх компонентів, які залежать від енергопостачання. Було проведено калібрування датчиків струму та напруги, які забезпечують точний моніторинг енергоспоживання дрону. Датчик струму було налаштовано таким чином, щоб відображати реальні значення споживання енергії під час різних режимів роботи, включаючи роботу на низьких і високих обертах. Аналогічно було виконано калібрування датчика напруги, що дало змогу відстежувати рівень заряду акумулятора та вчасно попереджати про необхідність заміни або підзарядки.

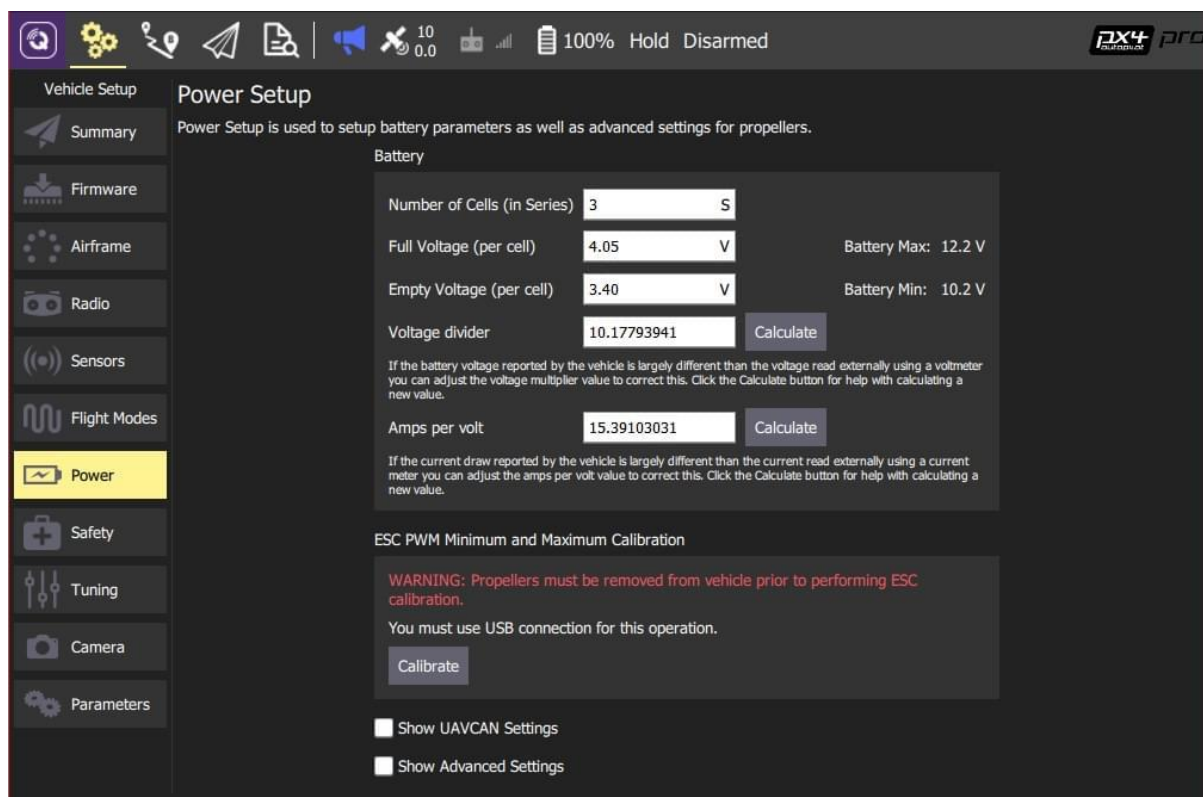


Рисунок 2.16 — Налаштування Power

Було перевірено стабільність подачі енергії, включаючи кабелі живлення та з'єднання, щоб виключити можливість втрат напруги чи несправностей під час польоту. Усі параметри було збережено для забезпечення стабільної роботи дрону у будь-яких умовах, а система живлення підготовлена до тестування на етапі налаштування моторів.

2.4.5 Camera Setup

На етапі налаштування камери було виконано конфігурацію параметрів зйомки (рис. 2.17) для інтеграції камери Canon PowerShot G7 X Mark II з автопілотом через тригер Seagull MAP2. У розділі Camera Setup було вказано модель камери та синхронізовано її з системою дрону. Для автоматичної зйомки було встановлено інтервал між кадрами та налаштовано затримку для забезпечення стабільної роботи тригера.

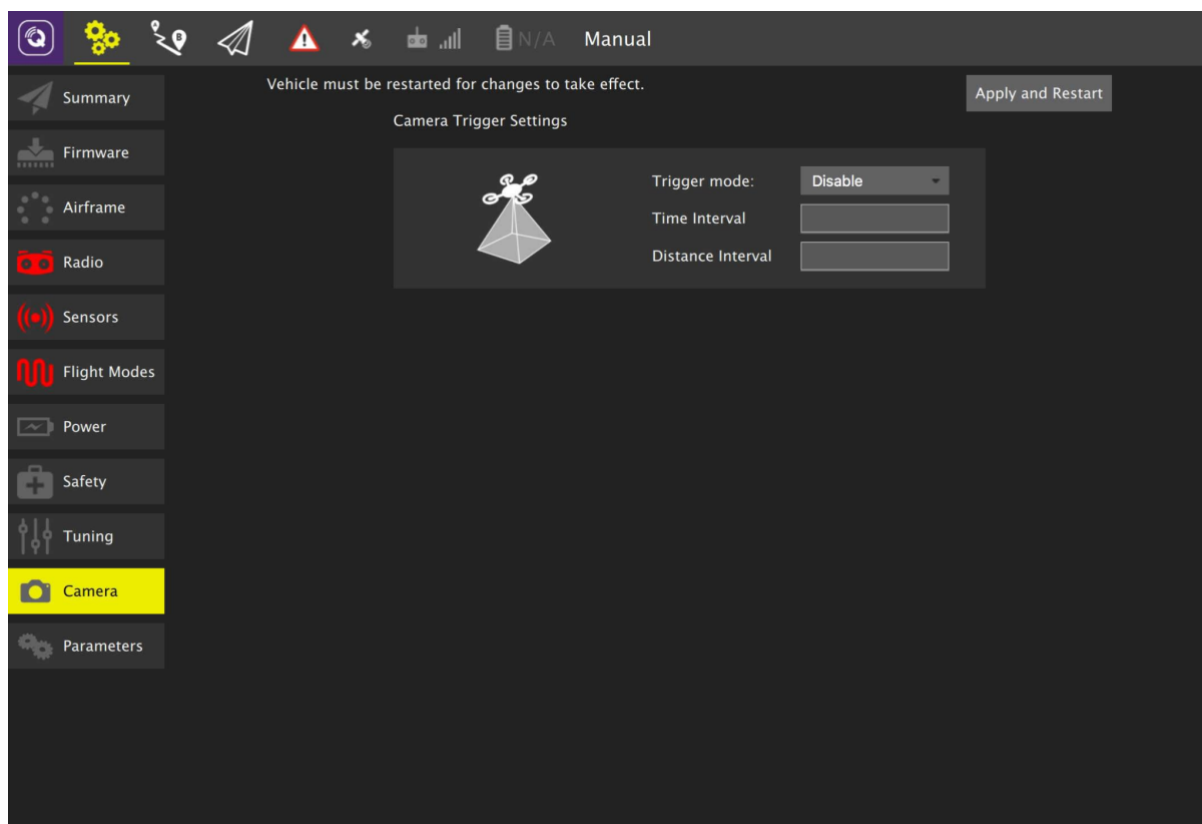


Рисунок 2.17 — Налаштування Camera

Було активовано функцію геотегування, яка дозволяє додавати до кожного знімка координати місця зйомки, що необхідно для створення ортофотопланів і 3D-моделей. Крім того, було протестовано виконання команди тригера, щоб перевірити точність активації камери та її синхронізацію з автопілотом.

Усі налаштування, включаючи режим автоматичної активації камери під час польоту за заздалегідь встановленими маршрутами, було збережено. Це забезпечило готовність камери до виконання завдань із фіксацією зображень високої точності в польотних місіях.

2.4.6 Передача даних

Система передачі даних з дрона використовує протокол MAVLink для забезпечення стабільного обміну телеметричними даними між дроном та наземною станцією. MAVLink забезпечує передачу ключових параметрів, таких як координати, висота, швидкість, статус сенсорів, а також підтримує відправлення команд керування дроном. Цей протокол є легким, ефективним і добре підходить для роботи у режимі реального часу завдяки низькому рівню затримок і підтримці широкого діапазону пристроїв.

Основний обсяг даних, включаючи фотографії високої роздільної здатності, генерується камерою дрона та зберігається локально на SD-картці. Вибір локального накопичення дозволяє уникнути втрати даних у випадках перебоїв зв'язку або роботи дрона у віддалених районах без доступу до мережі. Використання SD-карт об'ємом від 64 ГБ до 1 ТБ забезпечує достатню ємність для зберігання великих обсягів даних, навіть у випадку тривалих польотів або високої частоти зйомки.

Передача даних з SD-картки на наземну станцію може бути реалізована через бездротове з'єднання, наприклад, Wi-Fi Direct, або через фізичне підключення накопичувача до наземного пристрою. Ця передача є основним етапом для подальшої обробки даних, зокрема для створення ортофотопланів. На наземній станції виконуються такі завдання, як калібрування зображень, геоприв'язка,

вирівнювання та зшивання. Використання алгоритмів фотограмметрії та геоінформаційних систем дозволяє отримувати високоточні результати, які придатні для подальшого аналізу та моделювання.

2.5 Планування місії

Планування місії у QGroundControl є ключовим аспектом для забезпечення автономних польотів безпілотних літальних апаратів і збору фотоматеріалу. Цей процес здійснюється через розділ “Plan View”, який надає зручний інтерфейс для створення маршрутів та управління місіями (рис. 2.18). Після переходу до вкладки “Plan” відкривається карта, на якій за допомогою інструмента “Add Waypoint” можна додавати точки маршруту (Waypoints), визначаючи траєкторію польоту. Кожна точка налаштовується для виконання конкретних завдань, таких як зйомка фото, відео чи інші дії, а також параметрів висоти, швидкості та поворотів. Для складних завдань, таких як обстеження територій або сканування структур, програма пропонує шаблони (Patterns), які спрощують процес планування.

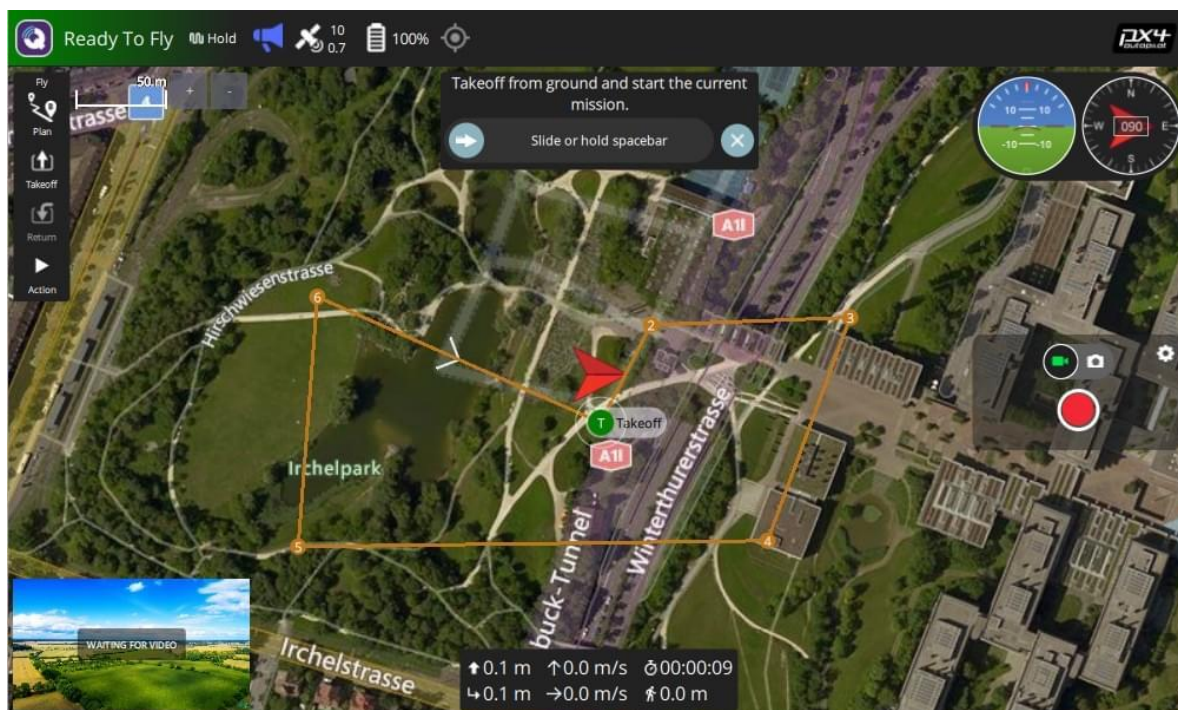


Рисунок 2.18 — Планування місії в QgroundControl

Після створення маршруту місія завантажується на бортовий комп'ютер дрона через кнопку “Upload”. Для виконання місії та моніторингу польоту в реальному часі використовується розділ “Fly View”. QGroundControl також дозволяє створювати місії без активного підключення до дрона, що є зручним для попередньої підготовки. Додаткові функції включають підтримку геозон (GeoFence) і точок збору (Rally Points), які забезпечують безпечні зони для польоту та аварійної посадки.

Місійні налаштування розташовані у верхній частині списку команд і дозволяють визначити початкові параметри місії (рис. 2.19), такі як стандартна висота для точок маршруту, швидкість польоту та опція “Return to Launch”, що повертає дрон до стартової точки після завершення місії. Тут також передбачена функція “Planned Home Position”, яка дозволяє симулювати домашню позицію дрона для візуалізації траєкторії польоту.



Рисунок 2.19 — Налаштування початку місії

У налаштуваннях камери (рис. 2.20) можна автоматизувати дії, такі як фотографування з заданою періодичністю, запис або зупинка відео, а також

керування гімбалом і вибір режиму роботи камери. Це забезпечує повний контроль над процесом збору даних або створення контенту.



Рисунок 2.20 — Налаштування дії камери

Секція “Vehicle Info” дозволяє визначити тип дрона, його прошивку та швидкість польоту (рис. 2.21). Ці параметри особливо корисні для планування місії без підключення до дрона, оскільки дають змогу оцінити загальний час виконання завдань і оптимізувати маршрут відповідно до технічних характеристик пристрою.



Рисунок 2.21 — Налаштування Vehicle Info

2.6 Можливості системи обслуговування дронів

Запропонована конфігурація оптимально розрахована на обслуговування до 5 дронів одночасно. Така кількість визначена з урахуванням кількох ключових параметрів: пропускна здатність мережі зв'язку, обчислювальні ресурси сервера та технічні характеристики самих дронів. Для забезпечення стабільного зв'язку між дронами та базовою станцією використовується протокол MAVLink. Цей протокол є легким, універсальним і дозволяє здійснювати обмін телеметричними даними, командами управління та інформацією про стан системи в реальному часі. Завдяки цьому досягається ефективна координація роботи кількох дронів, навіть на відстані до 10 км від базової станції за умови використання надійних приймачів і трансмітерів.

Телеметричні дані, такі як координати, висота, стан акумулятора та загальний статус дрона, передаються за допомогою протоколу MAVLink. Типовий розмір одного пакета MAVLink складає приблизно 20–50 байт, що забезпечує ефективну передачу навіть за обмеженої пропускної спроможності. Частота передачі даних становить до 10 Гц, що дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан дрона практично в реальному часі. У підсумку, для одного дрона пропускна спроможність, необхідна для передачі телеметричних даних, не перевищує 5 кбіт/с, що є достатньо низьким показником для підтримки стабільного зв'язку навіть у складних умовах.

Для обробки даних, отриманих від дронів, сервер системи оснащений процесором Intel Xeon E5-2630, 16 ГБ оперативної пам'яті та графічним модулем NVIDIA GTX 1650. Це обладнання дозволяє виконувати обробку відео та зображень у режимі реального часу для п'яти дронів одночасно. Крім того, як зазначалось раніше, для забезпечення високої точності позиціонування дронів у системі інтегровані RTK-модулі. Ці модулі дозволяють досягти похибки позиціонування до 2 см, що є важливим для створення ортофотопланів і тривимірних моделей пошкоджених об'єктів.

Система передбачає можливість подальшої модернізації для обслуговування більшої кількості дронів, але на поточному етапі обмеження в 5 дронів є оптимальним з точки зору технічних можливостей та економічної доцільності. Ця конфігурація дозволяє забезпечити стабільну роботу системи та високу якість даних без перевантаження обчислювальних ресурсів.

Висновок до розділу 2

У цьому розділі детально проаналізовано сучасні технології безпілотних літальних апаратів, їхні основні компоненти та програмне забезпечення, необхідне для вирішення завдань у таких сферах, як картографія, моніторинг і збір даних. Особлива увага приділяється вибору оптимального типу дрона залежно від умов експлуатації та характеру завдань. Розглянуто переваги і недоліки трьох основних категорій дронів: мультикоптерів, крилатих моделей і гібридів VTOL. Проведено порівняння їхніх технічних характеристик, таких як тривалість польоту, вантажопідйомність і точність виконання задач, а також оцінено їхню вартість та ефективність у різних сценаріях застосування.

Окрему увагу приділено фіксованокриловим дронам, які демонструють високу ефективність для масштабних завдань, таких як моніторинг великих територій або створення високоточних карт. Аналіз конструкційних особливостей фіксованокрилового дрона включає огляд вибраної рами, систем навігації, камери та додаткових компонентів, які забезпечують стабільність, точність і надійність польотів. Наведено обґрунтування вибору кожного елемента з точки зору досягнення максимальної продуктивності апарата в умовах реальної експлуатації.

Детально розглянуто налаштування апаратних і програмних параметрів дрона, зокрема калібрування сенсорів, адаптацію автопілота, інтеграцію камер для збору даних і підготовку маршруту польоту. Серед програмних рішень виділено QGroundControl — універсальну платформу, яка забезпечує розширені можливості для планування місій, моніторингу в реальному часі та налаштування параметрів дрона. Її функціонал дозволяє виконувати точні та складні завдання, адаптуючи апарат до різноманітних умов і забезпечуючи високу якість отриманих даних.

3 ОЦІНКА ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1 Сучасні технології аналізу зображень для оцінки пошкоджень

У сучасному світі аналіз зображень є ключовим інструментом у багатьох галузях, особливо для оцінки пошкоджень об'єктів та інфраструктури. Використання сучасних технологій комп'ютерного зору дозволяє автоматизувати аналіз даних, що суттєво підвищує точність і швидкість прийняття рішень у надзвичайних ситуаціях, оптимізації ресурсів та мінімізації ризиків.

Основою таких технологій є глибоке навчання, зокрема згорткові нейронні мережі, які ефективно виконують завдання класифікації та сегментації пошкоджень. Наприклад, архітектури U-Net та Mask R-CNN широко застосовуються для сегментації зображень, дозволяючи виділяти пошкоджені області, такі як тріщини, корозія чи структурні деформації [11]. Для швидкого виявлення та класифікації пошкоджень часто використовуються алгоритми YOLO та Faster R-CNN, які забезпечують високу продуктивність навіть за умов великої кількості вхідних даних. На рисунку 3.1 представлено приклад роботи алгоритму YOLO, що в режимі реального часу визначає та класифікує пошкодження на дорогах.

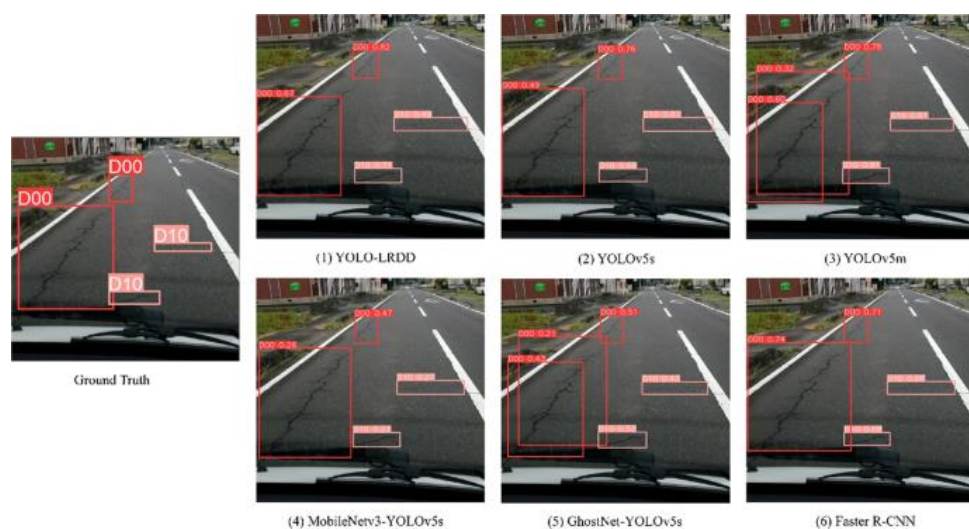


Рисунок 3.1 — Демонстрація роботи алгоритму YOLO

У галузі страхування автоматизовані алгоритми, як-от DeepLab, допомагають швидко оцінювати масштаби пошкоджень майна, зменшуючи час обробки заявок [12]. У промисловості нейромережі ResNet або EfficientNet застосовуються для виявлення дефектів на виробничих лініях, підвищуючи якість продукції [13]. У медичній сфері архітектури, такі як AlexNet або VGGNet, використовуються для аналізу зображень органів, допомагаючи виявляти аномалії з високою точністю [14].

Штучний інтелект не тільки знижує ймовірність помилок, викликаних людським фактором, але й забезпечує обробку великих обсягів даних у реальному часі. Інтеграція таких алгоритмів дозволяє створювати масштабовані рішення, які можуть адаптуватися до різних умов і завдань, забезпечуючи стабільність і надійність результатів.

Таким чином, сучасні технології аналізу зображень, інструменти глибокого навчання та автоматизовані алгоритми виявлення пошкоджень, значно підвищують ефективність процесів оцінки. Це відкриває нові можливості для їх застосування в будівництві, страхуванні, промисловості та інших критичних галузях.

3.1.1 Виклики в аналізі зображень

Аналіз зображень для оцінки пошкоджень є складним завданням, яке стикається з численними викликами як технічного, так і організаційного характеру. Одним із ключових аспектів є якість вхідних даних, яка може суттєво впливати на точність результатів. Зображення часто містять шуми, спотворення або артефакти через погодні умови, недостатню роздільну здатність або інші фактори. Це ускладнює ідентифікацію пошкоджень та знижує ефективність алгоритмів. Окрім цього, у складних сценах з багатьма об'єктами обмежені можливості моделей можуть призводити до помилок класифікації.

Іншим важливим викликом є класовий дисбаланс у даних. У більшості реальних сценаріїв пошкодження бувають рідкісними, тоді як непошкоджені об'єкти значно переважають у вибірках. Така нерівномірність ускладнює навчання

моделей, які мають тенденцію “ігнорувати” менш популярні класи. Вирішення цієї проблеми потребує використання методів компенсації, наприклад, вагомих функцій втрат або аугментації даних, проте це вимагає додаткових обчислювальних ресурсів.

Обчислювальна складність є ще одним викликом, особливо при роботі з великими зображеннями або наборами даних. Високоякісні знімки часто мають велику роздільну здатність, що робить обробку повільною та ресурсомісткою. Це обмежує можливість використання таких рішень у реальному часі.

Також важливим викликом є адаптивність моделей до нових сценаріїв. Алгоритми часто добре працюють у межах тренувальних даних, але можуть втрачати точність при застосуванні до зображень із новими типами даних. Це вимагає розробки більш універсальних і стійких підходів, які могли б узагальнювати знання для нових випадків.

Крім технічних аспектів, слід враховувати і організаційні виклики. Результати аналізу зображень повинні бути зрозумілими для кінцевих користувачів, таких як рятувальні служби чи страхові компанії. Це вимагає створення систем інтерпретації та візуалізації даних, які б не лише демонстрували результати, але й пояснювали їхній зміст.

Загалом, вирішення цих викликів потребує інтеграції передових алгоритмів, оптимізації обчислювальних процесів і вдосконалення методів обробки даних. Успішне подолання цих перешкод дозволить зробити аналіз зображень більш ефективним, точним і доступним для широкого спектру застосувань.

3.2 Методологія оцінки пошкоджень будівель

Оцінка пошкоджень будівель є важливим завданням для швидкого реагування на катастрофи. Цей процес включатиме аналіз зображень до і після руйнувань для автоматизації виявлення будівель та визначення ступеня їх пошкодження. Основним елементом запропонованого підходу в даній роботі є використання архітектури Siamese нейронних мереж, яка вже продемонструвала

свою ефективність у задачах порівняння схожих зображень. Ця архітектура дозволить одночасно аналізувати пари зображень, витягуючи ознаки із спільного енкодера для подальшої обробки.

Siamese мережа буде побудована на принципі енкодер-декодерної архітектури. На етапі енкодингу обидва зображення (до та після катастрофи) пройдуть через спільну мережу для витягування ключових ознак. Ці ознаки будуть об'єднані або відняті одна від одної для створення карти змін, яка потім подаватиметься на декодер. Декодер відповідатиме за створення семантичної карти, яка представлятиме клас кожного пікселя: від «відсутності будівлі» до «повністю зруйнованої будівлі». Такий підхід дозволить ефективно вирішувати дві ключові задачі: локалізацію будівель та класифікацію ступеня їх пошкодження.

Для покращення результатів будуть застосовані різноманітні техніки попередньої обробки даних. Зображення піддаватимуться масштабуванню, обертанням, зміні яскравості та контрастності, що дозволить моделі бути стійкою до змін умов зйомки, таких як різні кути огляду або освітлення. Особливу увагу буде приділено проблемі дисбалансу класів, адже більшість зображень належатимуть до класів «відсутність пошкоджень» або «мінімальні пошкодження». Для вирішення цієї проблеми буде використана зважена функція втрат, яка надасть більшу вагу рідкісним класам, таким як «значні пошкодження» або «зруйновані будівлі».

Одним із основних компонентів системи стане використання розширеного датасету, зображення ортофотопланів, отриманих не тільки за допомогою дронів, а й фотографії зі супутників. Використання датасету xBD, який міститиме понад 45 тисяч квадратних кілометрів зображень з 15 країн світу, що охоплюватимуть шість типів катастроф, у поєднанні із зображеннями ортофотопланів забезпечить реалістичні приклади пошкоджень. Ці дані дадуть змогу моделі ефективно узагальнювати та оцінювати масштаби руйнувань навіть у великих географічних регіонах. Зображення в наборі даних матимуть роздільну здатність 1024x1024 пікселів і супроводжуватимуться анотаціями, які точно визначатимуть ступінь пошкоджень кожної будівлі.

Важливим аспектом роботи стане використання аугментацій зображень. Наприклад, просторові трансформації, такі як обертання або зміщення, застосовуватимуться до пар зображень для імітації реальних змін перспективи. Колірні трансформації, включаючи зміну яскравості, контрастності та тонів, зроблять модель менш чутливою до відмінностей в умовах освітлення. Такі методи дозволять підвищити якість моделі та зробити її більш стійкою до різноманітності реальних даних.

Автоматизація процесу оцінки пошкоджень будівель суттєво знизить час, необхідний для аналізу катастрофічних наслідків. Це стане особливо важливим у випадках, коли потрібно швидко визначити пріоритетні зони для розподілу гуманітарної допомоги та планування відновлювальних робіт. Запропонована методологія дозволить оперативно отримувати точні дані про ступінь руйнувань, що сприятиме ефективному прийняттю рішень та раціональному використанню ресурсів, розглянемо кожен її аспект більш детально.

3.2.1 Siamese Neural Network

Siamese Neural Network є архітектурою, що використовується для задач порівняння пар об'єктів, таких як зображення, векторні представлення тексту чи інші типи даних. Основною характеристикою цієї архітектури є наявність двох однакових підмоделей із спільними вагами, які паралельно обробляють два вхідних об'єкти. Спільні ваги забезпечують однаковий процес вилучення ознак для обох входів, що дозволяє моделі зосереджуватись на різницях між ними, а не на окремих характеристиках кожного об'єкта. На рисунку 3.2 представлена схема роботи Siamese Neural Network.

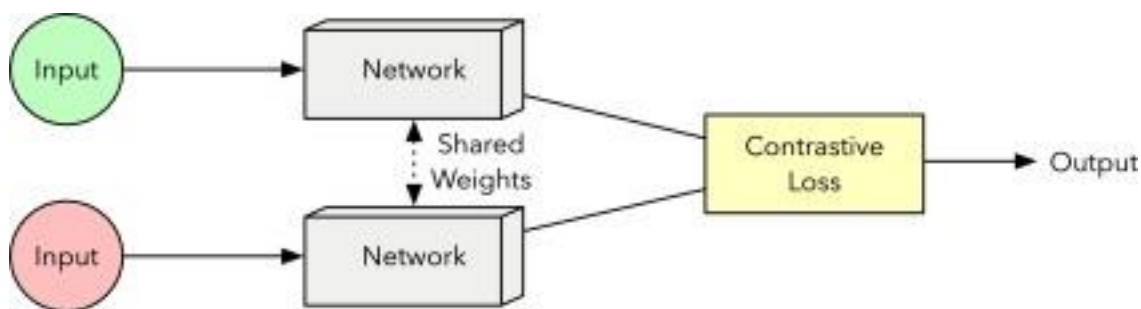


Рисунок 3.2 — Siamese Neural Network

Ця особливість робить Siamese-архітектуру ідеальним вибором для задач, де мета полягає в аналізі змін між двома станами одного і того ж об'єкта, таких як, між зображеннями “до” і “після” руйнацій. Кожне зображення проходить через ідентичну мережу, яка витягує ознаки представлені у вигляді векторів фіксованої довжини. Ці ознаки передаються на етап порівняння, де визначаються відмінності між ними. Завдяки спільним вагам модель здатна усувати вплив зовнішніх факторів, таких як різниця в освітленні чи куті зйомки, і фокусуватися виключно на змінах, пов'язаних із пошкодженнями будівель.

Технічно Siamese Neural Network побудована таким чином, щоб мінімізувати обчислювальні витрати. Оскільки дві її частини є ідентичними, обчислення ваг проводиться лише для однієї з підмоделей, а результати застосовуються до обох. Це зменшує загальну кількість параметрів моделі в порівнянні з окремими мережами, що обробляють два входи незалежно. У задачах із великим обсягом даних, як в нашому випадку із зображень з дронів та супутників, це дозволяє значно пришвидшити обробку.

Ще однією важливою перевагою Siamese Neural Network є її гнучкість у виборі функцій порівняння ознак. На виході підмоделей можуть застосовуватися різні методи, такі як обчислення різниці, конкатенація або інші операції, залежно від специфіки задачі. Для задач сегментації і класифікації пошкоджень це дозволяє адаптувати модель до порівняння як локальних, так і глобальних ознак, що є важливим для ідентифікації типів руйнувань.

3.2.2 Датасет

Для реалізації методології виявлення пошкоджень будівель використовується набір даних xBD, який є одним із найбільших і найдетальніших наборів для задач аналізу пошкоджень. Цей датасет спеціально створений для задачі класифікації будівель за рівнем пошкодження після катастроф і містить пари супутникових зображень “до” та “після” природних катастроф. На рисунку 3.3 представлений приклад зображень із датасету xBD, які ілюструють структуру даних.



Рисунок 3.3 — Приклад зображень із датасету xBD

Набір даних включає понад 18,000 високоякісних зображень із роздільною здатністю 1024x1024 пікселів, що охоплюють понад 45,000 квадратних кілометрів у 15 країнах [15]. Датасет містить різноманітні типи природних катастроф, такі як землетруси, повені, урагани, лісові пожежі, цунамі та вулканічні виверження, що дозволяє моделі враховувати різноманітні сценарії пошкоджень. Кожна пара зображень супроводжується анотаціями, які включають контури будівель і класи їхнього стану. Будівлі класифікуються на п'ять категорій, як це показано в таблиці 3.1, де описані рівні пошкоджень.

Таблиця 3.1 – Класи пошкоджень у датасеті та їх характеристики

Клас	Опис
0. Відсутня	Будівля відсутня на зображенні.
1. Непошкоджена	Будівля не зазнала видимих пошкоджень.
2. Незначні пошкодження	Легкі пошкодження, які не впливають на структурну цілісність будівлі.
3. Значні пошкодження	Суттєві пошкодження, що впливають на структурну цілісність, але будівля все ще стоїть.
4. Зруйнована	Будівля повністю зруйнована або непридатна для використання.

Однією з ключових особливостей xBD є його анотації, виконані вручну, що забезпечує високу якість даних для навчання моделі. Полігони, що позначають будівлі, точно відповідають їхнім контурам на зображеннях. Це дозволяє моделі ефективно навчатися на основі точних і надійних міток. Однак важливим викликом роботи з цим набором є значний дисбаланс між класами, адже більшість будівель належать до категорії “непошкоджені”.

Для підвищення точності аналізу та адаптації моделі до роботи в різних умовах у дослідженні також використовуються ортофотоплани, створені на основі знімків, отриманих за допомогою дронів. Ці знімки забезпечують високу деталізацію і точність, дозволяючи моделі працювати з зображеннями, що мають значно більшу роздільну здатність, ніж стандартні супутникові знімки. Ортофотоплани відображають реальний стан території, забезпечуючи можливість детального аналізу кожної будівлі, включаючи малі об’єкти, які можуть бути непомітними на супутникових зображеннях.

Для обробки та анотації цих знімків використовується платформа Roboflow, яка надає інструменти для автоматизованого і напівавтоматичного створення полігональних анотацій. На рисунку 3.4 продемонстровано процес створення анотацій у Roboflow, що підкреслює точність і деталізацію, необхідну для роботи з

ортофотопланами. З її допомогою кожна будівля на ортофотопланах позначається полігоном, а також класифікується за рівнем пошкодження. Робота з Roboflow дозволяє не лише прискорити процес анотації, але й забезпечує високу якість міток завдяки інструментам контролю якості та підтримці колаборативної роботи.

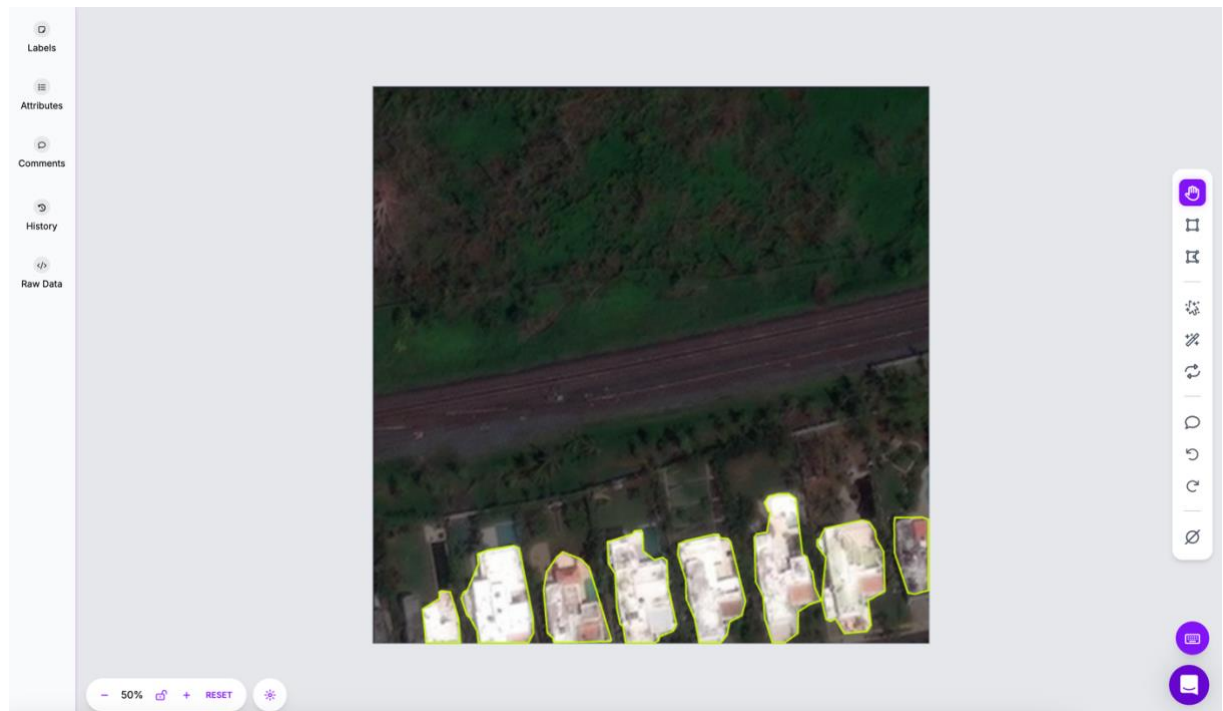


Рисунок 3.4 — Створення анотацій в Roboflow

Використання ортофотопланів із дронів дає змогу працювати з більш точними даними в порівнянні з супутниковими знімками, особливо для зон із високою щільністю забудови або важкодоступних регіонів. Це особливо важливо в умовах урбанізованого середовища, де навіть невеликі пошкодження можуть мати серйозні наслідки для безпеки. Крім того, дрони можуть оперативно забезпечувати нові дані про стан території, що робить їх цінним джерелом інформації в реальному часі.

Процес інтеграції цих даних у модель включає їх масштабування до потрібного розміру, вирівнювання, а також нормалізацію інтенсивності пікселів. Для підвищення різноманітності і стійкості моделі до змін умов зйомки використовуються ті самі аугментації, що й для супутникових зображень: обертання, перевероти, масштабування та регулювання яскравості. Крім того,

використання анотацій із Roboflow дозволяє легко експортувати дані в різні формати, що підтримуються сучасними фреймворками для глибокого навчання.

Завдяки поєднанню ортофотопланів і супутникових зображень модель отримує багатий і різноманітний тренувальний матеріал. Це забезпечує її адаптацію до роботи в різних умовах та дозволяє досягти більш високої точності в задачах локалізації будівель та оцінки ступеня їх пошкоджень.

Як було сказано раніше, в процесі навчання моделі для аналізу пошкоджень будівель застосовувалися різноманітні аугментації, які дозволили підвищити стійкість моделі до змін умов зйомки та забезпечити краще узагальнення результатів. Геометричні аугментації включали обертання зображень на випадкові кути в діапазоні від -15° до 15° , горизонтальне та вертикальне відображення, а також масштабування у межах 80-120% від початкового розміру (рисунок 3.5). Це дозволило моделі адаптуватися до різних орієнтацій будівель та змін перспективи. Фотометричні аугментації включали зміну яскравості, контрасту, насиченості та відтінків кольорів, що імітувало різні умови освітлення та спектральні варіації, які можуть виникати через відмінності у сенсорах або атмосферних умовах.



Рисунок 3.5 — Приклад аугментації

Для підвищення стійкості до артефактів супутникових сенсорів додавалися випадкові шуми, а також застосовувалося випадкове обрізання зображень до фіксованого розміру 512x512, що дозволяло моделі навчатися аналізувати різні частини зображення. Крім того, для кожного зображення комбінувалися кілька трансформацій, наприклад, обертання, зміна яскравості та масштабування, щоб імітувати складні сценарії зйомки. Ці заходи суттєво покращили узагальнюючі властивості моделі, зробивши її здатною ефективно працювати в реальних умовах із різноманітними супутниковими та аерофотознімками.

Для роботи з датасетом створено клас `DisasterDataset`. Він дозволяє завантажувати парні зображення "до" і "після" катастрофи разом із семантичними масками. Цей клас підтримує як кольорові, так і просторові аугментації, що, як зазначалось, значно підвищує стійкість моделі до змін у даних. Код класу наведено на рисунку 3.6.

```

class DisasterDataset(Dataset):
    def __init__(self, pre_event_images, post_event_images, segmentation_masks, spatial_augmentations=None, color_augmentations=None):
        self.pre_event_images = pre_event_images
        self.post_event_images = post_event_images
        self.segmentation_masks = segmentation_masks
        self.spatial_augmentations = spatial_augmentations
        self.color_augmentations = color_augmentations

    def __len__(self):
        return len(self.pre_event_images)

    def __getitem__(self, index):
        pre_image = load_image(self.pre_event_images[index])
        post_image = load_image(self.post_event_images[index])
        mask = load_mask(self.segmentation_masks[index])

        if self.color_augmentations:
            pre_image = self.color_augmentations(image=pre_image)["image"]
            post_image = self.color_augmentations(image=post_image)["image"]

        data = {"image": np.dstack([pre_image, post_image]), "mask": mask}
        if self.spatial_augmentations:
            data = self.spatial_augmentations(**data)

        return data["image"], data["mask"]

```

Рисунок 3.6 — Клас DisasterDataset для підготовки даних

Сам процес навчання моделі реалізовано у функції `main`, яка координує всі етапи, від підготовки даних до визначення архітектури моделі, налаштування оптимізатора і розкладу навчання. У цій функції також враховується підтримка GPU для пришвидшення процесу. Код функції наведено на рисунку 3.7.

```

def main():
    dataset_path = "./data"
    model_architecture = "resnet34_fpncat128"
    initial_learning_rate = 1e-3
    training_batch_size = 8
    total_epochs = 10
    image_resolution = (512, 512)

    training_dataset, validation_dataset, _ = get_datasets(data_dir=dataset_path, image_size=image_resolution)
    training_loader = DataLoader(training_dataset, batch_size=training_batch_size, shuffle=True, num_workers=4)
    validation_loader = DataLoader(validation_dataset, batch_size=training_batch_size, shuffle=False, num_workers=4)

    neural_network = get_model(model_architecture)
    if torch.cuda.is_available():
        neural_network = neural_network.cuda()

    model_optimizer = get_optimizer("RAdam", neural_network.parameters(), learning_rate=initial_learning_rate)
    learning_rate_scheduler = get_scheduler(
        "multistep", model_optimizer, num_epochs=total_epochs, batches_in_epoch=len(training_loader)
    )

    training_callbacks = [
        AccuracyCallback(input_key="targets", output_key="logits"),
        CriterionAggregatorCallback(prefix="loss", loss_keys=["loss"]),
        OptimizerCallback(),
    ]

```

Рисунок 3.7 — Функція main для організації процесу навчання

3.2.3 ResNet-34

ResNet-34 обрано як енкодер у складі Siamese Neural Network для вилучення ознак із вхідних зображень “до” і “після” катастрофи. ResNet-34 — це згорткова нейронна мережа, яка складається з 34 шарів, організованих у вигляді резидуальних блоків. Головною особливістю ResNet-34 є використання скіп-з'єднань (skip connections), які дозволяють передавати інформацію з попереднього шару безпосередньо на наступний через пропускні з'єднання [16]. Це усуває проблему зникнення градієнтів (vanishing gradients), що часто виникає в глибоких нейронних мережах, і робить навчання більш стабільним і швидким. Завдяки такій структурі модель може навчатися більш ефективно, зберігаючи базові ознаки навіть на глибоких шарах.

Архітектура ResNet-34 побудована з п'яти основних етапів обробки. Початковий блок складається зі згорткової операції (7x7), яка виділяє базові характеристики зображення, такі як контури чи текстурні риси, за якою слідує max-pooling (3x3), що зменшує просторову роздільну здатність вхідного зображення. Після цього зображення проходить через чотири блоки резидуальних шарів, кожен із яких включає кілька згорткових шарів (3x3) із скіп-з'єднаннями. На кожному рівні кількість каналів збільшується (наприклад, з 64 до 128, потім до 256 і 512), що дозволяє моделі захоплювати більш складні ознаки, зокрема високорівневі характеристики, такі як структура будівель чи характерні пошкодження. Архітектуру ResNet-34 можна побачити на рисунку 3.8.

34-layer residual

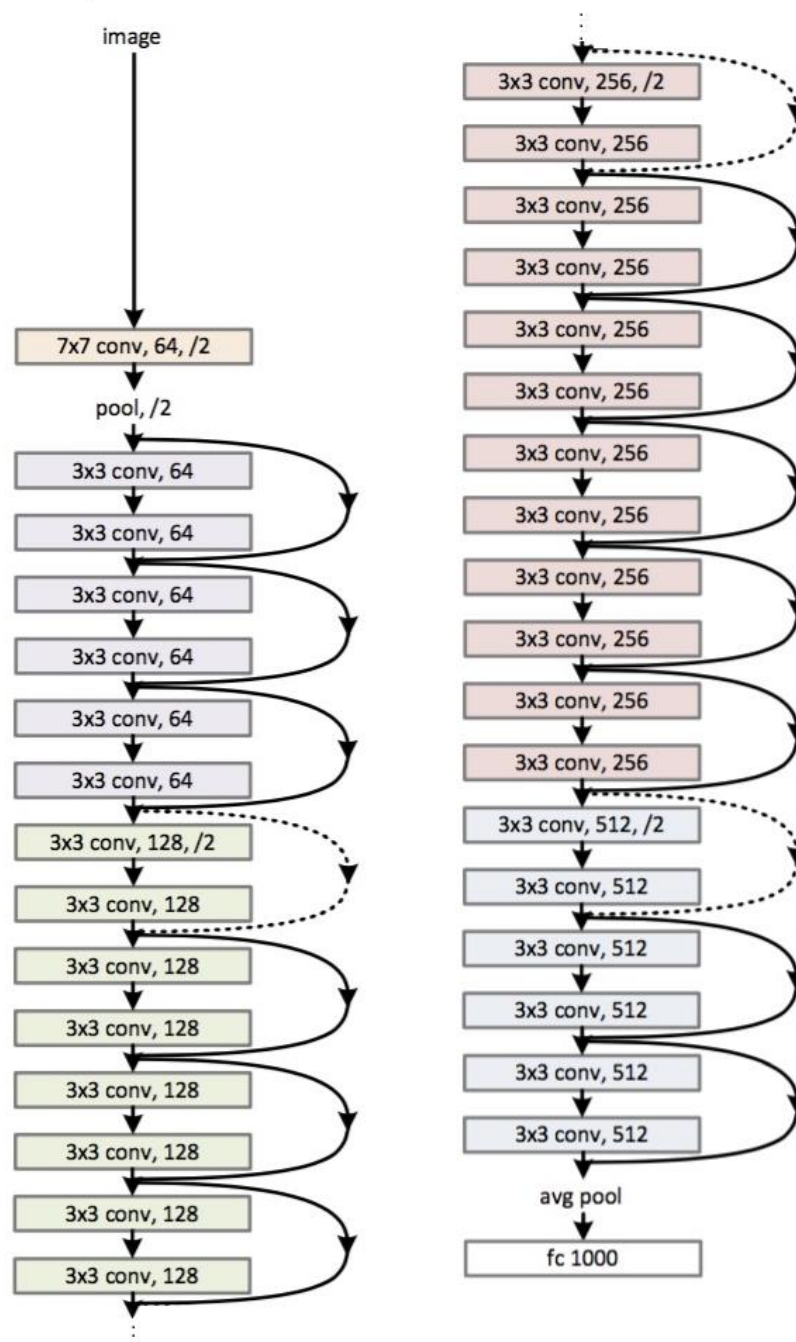


Рисунок 3.8 — Схема архітектури ResNet-34

Розмір вхідного зображення поступово зменшується за рахунок згорткових операцій із кроком (stride) 2. Наприклад, для вхідного зображення розміром 512x512 вихідні фіч-мапи можуть мати розмір 16x16 або 32x32 залежно від конфігурації, що дозволяє моделі зосередитися на суттєвих характеристиках, зменшуючи при цьому обчислювальні витрати. Глобальний середній пулінг (Global

Average Pooling) використовується для агрегації інформації з фіч-мапів, формуючи компактний вектор ознак, який є представленням об'єкта.

Як було сказано раніше, ResNet-34 використовується як енкодер у паралельних гілках Siamese Neural Network, де кожна гілка обробляє одне зображення — “до” або “після”. Спільні ваги між гілками забезпечують узгодженість вилучення ознак, що критично важливо для порівняння двох станів одного й того самого об'єкта. Фіч-мапи, отримані на виході ResNet-34, передаються на наступний етап моделі, де вони порівнюються для виявлення змін.

Резидуальна структура ResNet-34 забезпечує кілька важливих переваг. По-перше, скіп-з'єднання дозволяють моделі зберігати низькорівневі ознаки (наприклад, контури), навіть коли обробка переходить до глибших шарів, що є важливим для точного визначення меж будівель. По-друге, глибокі шари моделі дозволяють виявляти високорівневі характеристики, такі як складні геометричні форми чи характерні патерни пошкоджень. Це робить ResNet-34 здатною обробляти як локальні, так і глобальні ознаки, що є критичним для задач сегментації та класифікації.

Обрання ResNet-34 було зумовлено її збалансованою продуктивністю. Порівняно з глибшими моделями, такими як ResNet-50 чи ResNet-101, ResNet-34 має меншу кількість параметрів, що зменшує обчислювальні витрати. Порівняння моделей ResNet можемо бачити на рисунку 3.9.

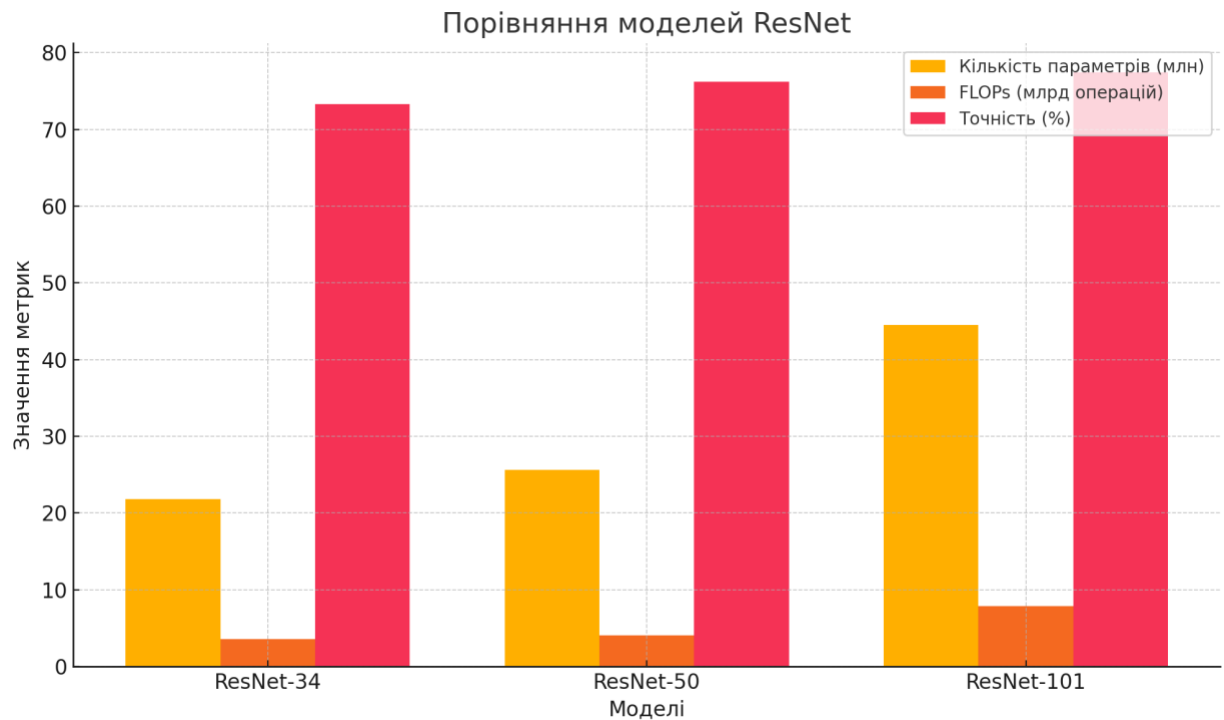


Рисунок 3.9 — Моделі ResNet

Однак, незважаючи на це, вона забезпечує достатню глибину для ефективного вилучення ознак у складних умовах, таких як зміна освітлення, текстури чи часткове перекриття об'єктів. Завдяки цьому ResNet-34 є ідеальним вибором для задач, де потрібна висока точність із помірними обчислювальними ресурсами.

3.2.4 U-Net

U-Net обрано як декодер у складі моделі для відновлення просторової роздільної здатності з компактного представлення, створеного енкодером, і побудови семантичної маски для сегментації зображень. Архітектура U-Net складається з двох симетричних частин: контракуючої (encoder path) та розширювальної (decoder path), які з'єднані за допомогою скіп-з'єднань [17]. Ця симетрія дозволяє ефективно використовувати інформацію з усіх рівнів обробки, комбінуючи глобальний контекст із локальними деталями. Скіп-з'єднання забезпечують передачу низькорівневих ознак із шарів енкодера до відповідних

шарів декодера, що покращує точність відновлення меж об'єктів і зменшує втрату інформації, що виникає під час зменшення розмірів фіч-мапів. Архітектура U-Net із її симетричною структурою представлена на рисунку 3.10, що ілюструє взаємодію контракуючої та розширювальної частин через скіп-з'єднання.

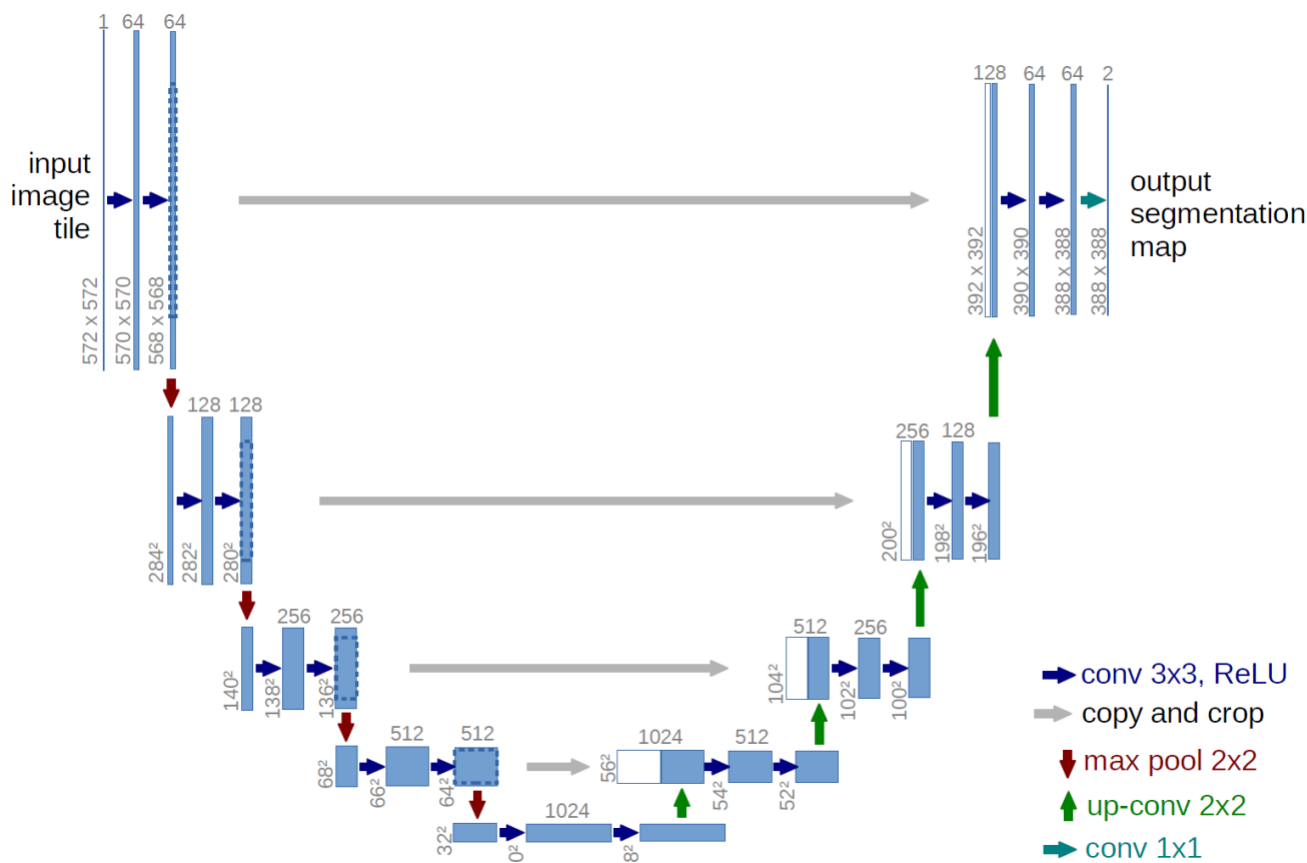


Рисунок 3.10 — Схема архітектури U-Net

Декодер починає свою роботу з компактного представлення, отриманого від енкодера, яке має зменшений розмір і збільшену кількість каналів. Головною метою декодера є поступове збільшення просторової роздільної здатності та побудова сегментаційної маски, яка точно відображає розташування і класифікацію об'єктів на зображенні. Це досягається за допомогою серії операцій:

а) деконволюції: ці операції використовуються для збільшення розміру фіч-мапів, виконуючи функцію зворотної згортки. Кожна деконволюція відновлює просторову інформацію, яка була втрачена під час обробки енкодером.

б) конкатенація зі скіп-з'єднаннями: на кожному етапі декодер отримує ознаки з відповідних шарів енкодера через скіп-з'єднання. Це дозволяє комбінувати деталі, вилучені на ранніх рівнях (наприклад, контури об'єктів), із більш складними ознаками з глибоких шарів (наприклад, загальна форма будівлі чи текстура поверхні).

в) згорткові шари (3x3 convolutions): після об'єднання фіч-мапів із деконволюцією і скіп-з'єднаннями застосовуються згорткові шари для уточнення деталей і виділення чітких меж об'єктів.

U-Net забезпечує сегментацію на рівні пікселів, що є критично важливим для задачі класифікації пошкоджень будівель. У цій роботі декодер створює багатоканальну семантичну маску, де кожен піксель зображення класифікується в один із класів. Такий підхід дозволяє локалізувати будівлі та оцінити їхній стан із високою точністю. Однією з переваг U-Net є її здатність працювати з багатшаровими фіч-мапами, отриманими від енкодера, на різних масштабах. Це означає, що модель враховує як дрібні деталі, так і широкий контекст сцени, що є важливим для коректного визначення ступеня пошкодження.

U-Net також забезпечує гнучкість у використанні різних енкодерів. У нашому випадку інтеграція з ResNet-34 як енкодера дозволяє використовувати високоінформативні фіч-мапи, що покращує точність сегментації. Крім того, завдяки своїй симетричній структурі, U-Net легко масштабувати для роботи з більшими або меншими вхідними розмірами, що робить її універсальною для різних сценаріїв.

Ще однією важливою особливістю є стабільність моделі до варіацій у даних, таких як зміни умов освітлення, шум чи перекриття об'єктів. Це досягається через багаторівневий аналіз ознак і можливість обробляти складні сцени.

Таким чином, U-Net як декодер забезпечує потужний механізм відновлення просторової структури та створення точних семантичних масок. Її здатність комбінувати глобальні та локальні ознаки через скіп-з'єднання робить її ідеальним вибором для задач аналізу пошкоджень будівель, дозволяючи досягти високої точності в сегментації та класифікації навіть у складних умовах

3.2.5 Модель порівняння ознак

Для порівняння ознак між двома зображеннями в задачах аналізу змін існує кілька основних методів. Ці методи забезпечують різні способи комбінування або обчислення відмінностей між фіч-мапами, отриманими з енкoderів. Основні методи порівняння включають:

а) віднімання: цей підхід фокусується виключно на відмінностях між двома наборами ознак. Він корисний для задач, де зміни є головним об'єктом аналізу. Однак інформація про початкові абсолютні значення ознак може бути втрачена;

б) множення: використовується для підсилення спільних ознак між двома входами. Цей метод дозволяє фокусуватися на тому, що є спільним для обох зображень, але може проігнорувати унікальні аспекти кожного входу;

в) конкатенація: поєднує фіч-мапи з обох зображень уздовж додаткового виміру, створюючи єдиний тензор, який містить усю інформацію з обох джерел. Це зберігає як індивідуальні, так і спільні ознаки, надаючи моделі повний контекст для аналізу;

г) інші підходи: серед них, наприклад, обчислення косинусної подібності або використання функцій відстані, таких як євклідова чи мангеттенська. Ці методи зазвичай застосовуються для задач класифікації, але менш ефективні для глибоких моделей сегментації.

У моделі було обрано операцію конкатенації оскільки вона забезпечує збереження всієї інформації з фіч-мапів двох вхідних зображень — “до” і “після” катастрофи — для подальшого аналізу. Конкатенація є простою і ефективною операцією, яка об'єднує два набори фіч-мапів уздовж додаткового виміру, створюючи один спільний тензор ознак. Це дозволяє моделі отримати багатий контекст для виявлення змін між двома станами будівлі та їх аналізу.

Процес конкатенації працює наступним чином: кожен набір фіч-мапів, отриманий від енкodера ResNet-34 для зображень “до” і “після”, має однаковий розмір (C, H, W) , де C — кількість каналів, H і W — висота і ширина. Після операції конкатенації результат має розмір $(2C, H, W)$, що означає, що фіч-мапи обох

зображень об'єднуються в один спільний тензор. Такий підхід дозволяє зберігати як абсолютні ознаки кожного зображення, так і потенційно їхні відносні зміни, що створює базу для подальшого аналізу декодером.

Загалом, конкатенація була обрана з кількох причин. По-перше, вона зберігає всю інформацію з обох зображень, не виконуючи жодних математичних трансформацій, які могли б призвести до втрати даних. Це дозволяє моделі використовувати як абсолютні значення ознак, так і їхні відносні зміни, що важливо для задачі класифікації пошкоджень будівель. По-друге, конкатенація є обчислювально простою операцією, яка не додає значного навантаження на модель, залишаючи обчислювальні ресурси для більш складних задач, таких як сегментація в декодері. По-третє, вона ідеально інтегрується в архітектуру U-Net, де декодер працює з великим обсягом фіч-мапів. Завдяки конкатенації декодер отримує багатий набір вхідних даних, що покращує якість відновлення деталей і точність сегментації.

Конкатенація також має перевагу перед іншими методами порівняння ознак. Наприклад, віднімання (subtraction) вилучає лише різниці між фіч-мапами, але втрачає інформацію про абсолютні ознаки кожного зображення, що може бути важливим для розпізнавання стану будівель. Множення (element-wise multiplication) підкреслює спільні ознаки, але не враховує унікальні характеристики обох входів. Конкатенація ж поєднує всі ознаки, зберігаючи і спільну, і індивідуальну інформацію, що дозволяє моделі працювати зі складними залежностями та контекстами.

3.2.6 Функція втрат

У задачах сегментації пошкоджень будівель функція втрат визначає, наскільки точно модель передбачає клас кожного пікселя, і враховує особливості набору даних. Однією з ключових проблем у таких задачах є дисбаланс між класами. Так, більшість пікселів може належати до класу “немає будівлі”, тоді як менш поширені класи, такі як “значні пошкодження” або “зруйнована будівля”,

зустрічаються значно рідше. Якщо не враховувати цей дисбаланс, модель може недостатньо добре працювати з рідкісними класами, що вплине на якість аналізу.

Крос-ентропія використовується для порівняння передбачених і реальних ймовірностей кожного пікселя зображення належати певному класу [18]. Для кожного пікселя модель обчислює ймовірність того, що він належить до кожного з можливих класів (наприклад, “немає будівлі”, “незначні пошкодження”, “значні пошкодження” тощо). Крос-ентропія визначає, наскільки передбачені ймовірності відхиляються від істинних, і виражається в формулі 3.1:

$$\text{Loss} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C y_{i,c} \cdot \log(p_{i,c}), \quad (3.1)$$

де N — кількість пікселів у зображенні,

C — кількість класів;

$y_{i,c}$ — істинна ймовірність для пікселя i належати класу c (зазвичай 1 для правильного класу і 0 для інших);

$p_{i,c}$ — передбачена ймовірність для пікселя i належати класу c .

У задачах, де класи представлені нерівномірно (наприклад, більшість пікселів можуть відповідати класу “немає будівлі”, тоді як класи “значні пошкодження” чи “зруйнована будівля” зустрічаються рідко), стандартна крос-ентропія може призводити до того, що модель ігнорує менш поширені класи. Щоб вирішити цю проблему, використовується зважена крос-ентропія, яка вводить ваги для кожного класу, формула 3.2:

$$\text{Weighted Loss} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C w_c \cdot y_{i,c} \cdot \log(p_{i,c}), \quad (3.2)$$

де w_c — вага для класу c , яка визначає його важливість. Ці ваги зазвичай обчислюються як обернено пропорційні до частоти класу в наборі даних.

Використання ваг у функції втрат дозволяє моделі зосереджуватися на рідкісних класах, що підвищує загальну точність і збалансованість класифікації. Зважена крос-ентропія забезпечує гнучкість, оскільки ваги можна динамічно налаштовувати залежно від розподілу класів у наборі даних, що робить метод універсальним і придатним для різних сценаріїв.

У нашій моделі зважена крос-ентропія використовується для навчання декодера U-Net, який відповідає за піксельну класифікацію. На кожному етапі навчання модель оцінює свої передбачення за допомогою цієї функції втрат і коригує свої ваги за допомогою зворотного поширення помилки. Це дозволяє моделі поступово покращувати свої результати для всіх класів, навіть тих, які представлені рідше в даних, забезпечуючи баланс між усіма категоріями.

Окрім зваженої крос-ентропії, у задачі могли б бути використані й інші функції втрат. Наприклад, Dice Loss застосовується для досягнення балансу між точністю і повнотою в задачах сегментації, а Focal Loss дозволяє зменшити вплив легко класифікованих прикладів, спрямовуючи модель на складніші випадки. Також можливе використання комбінацій функцій втрат, таких як поєднання крос-ентропії з Dice Loss, для досягнення оптимального балансу між класифікацією і сегментацією. Проте зважена крос-ентропія була обрана через її простоту, ефективність і здатність забезпечувати точність моделі в умовах дисбалансу класів.

3.3 Аналіз результатів

Метрики продуктивності є важливим інструментом для аналізу роботи моделей машинного навчання. Вони дозволяють оцінити, наскільки точно модель виконує свої завдання, зокрема класифікацію чи сегментацію об'єктів. Ці показники допомагають зрозуміти, як модель справляється з різними типами помилок, ідентифікуючи сильні та слабкі сторони підходу. Аналіз таких метрик є ключовим етапом в оптимізації та вдосконаленні моделей для забезпечення їхньої ефективності в реальних умовах.

На рисунку 3.11 представлено зміну втрат для навчання і тестування моделі з використанням технік аугментації даних. Динаміка демонструє, що аугментація даних, включаючи обертання, масштабування та додавання шуму, забезпечила підвищену стійкість моделі до варіацій у вхідних даних, зменшивши ризик переобладнання (overfitting). Графік також показує, що тестові втрати наближаються до навчальних, що вказує на гармонійний процес навчання і здатність моделі узагальнювати результати на нових даних.

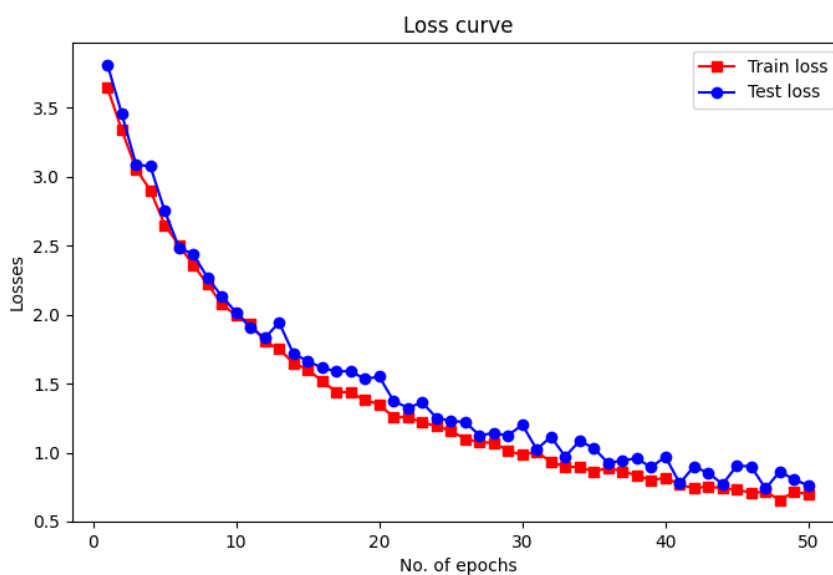


Рисунок 3.11 — Графік Loss Curve

На рисунку 3.12 представлена метрика F1loc, яка відповідає за оцінку точності моделі в завданні локалізації, максимальна точність у становить 0.8712. З класичною архітектурою ResNet-34, яка використовує підхід об'єднання вхідних зображень у декілька каналів та їх обробку через енкодер-декодер, було отримано результати в 0.8461 на валідаційному наборі даних. F1 Score є гармонійним середнім між точністю (precision) і повнотою (recall), зосередженим на тому, наскільки добре модель здатна правильно визначати місцезнаходження об'єктів у межах відповідного класу. Ця метрика враховує як помилкові позитивні, так і помилкові негативні локалізації, забезпечуючи збалансовану оцінку продуктивності.

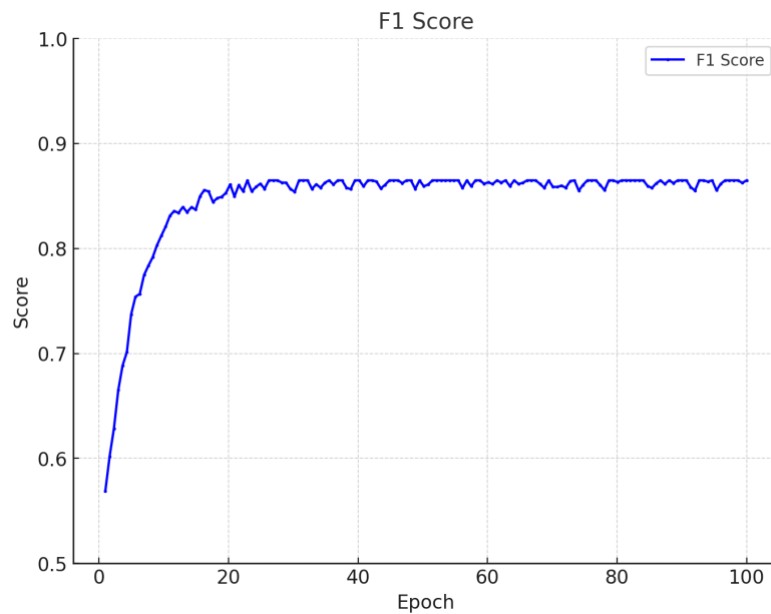


Рисунок 3.12 — Графік F1 Score

На графіку видно, що в перші епохи навчання метрика F1 Score стрімко зростає, демонструючи, що модель швидко засвоює базові закономірності для правильного визначення позиції об'єктів. У середній фазі навчання зростання уповільнюється, що є ознакою того, що модель починає досягати свого оптимального рівня продуктивності в локалізації. На фінальних етапах навчання значення метрики стабілізується, досягаючи плато, що вказує на завершення основного процесу навчання. На рисунку 3.13 представлена робота моделі з виявлення локалізацій будівель.



Рисунок 3.13 — Модель виявлення будівель

Графік F1class (рис 3.14) демонструє зміну продуктивності моделі в завданні класифікації об'єктів протягом навчання. Максимальне значення F1class становить 0.7231, що свідчить про здатність моделі досить точно визначати класи пошкоджень. Зокрема з класичною архітектурою ResNet-34, було отримано результати в 0.6087 на валідаційному наборі даних. Цей показник демонструє рівень точності класифікації пошкоджень будівель, однак виявився нижчим у порівнянні з результатами моделей, що використовують сіамські нейронні мережі.

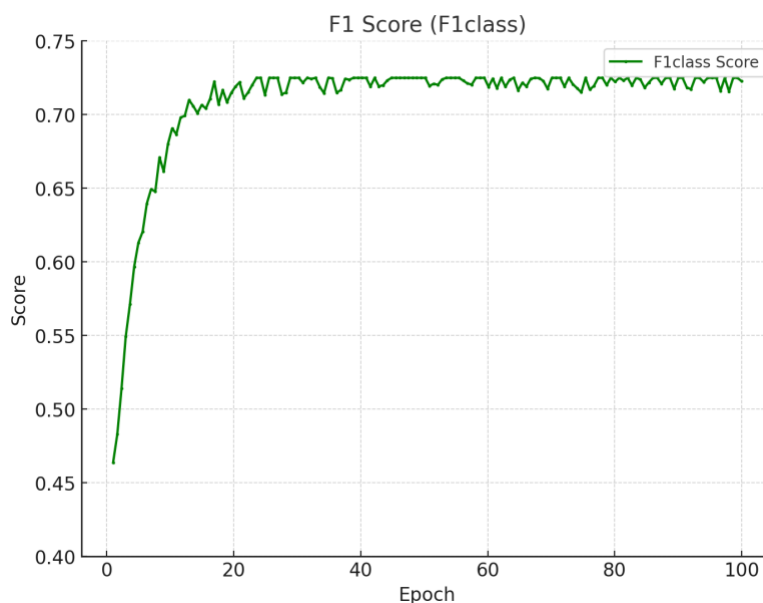


Рисунок 3.14 — Модель класифікації

Стабільне навчання моделі з виходом на плато свідчить про те, що її можливості добре адаптовані до даних. Оптимізація архітектури, наприклад, через багаторівневий аналіз ознак або використання ансамблевих моделей, може покращити загальну продуктивність класифікації. На рисунку 3.15 представлена робота моделі з визначення ступеню пошкоджень будівель.

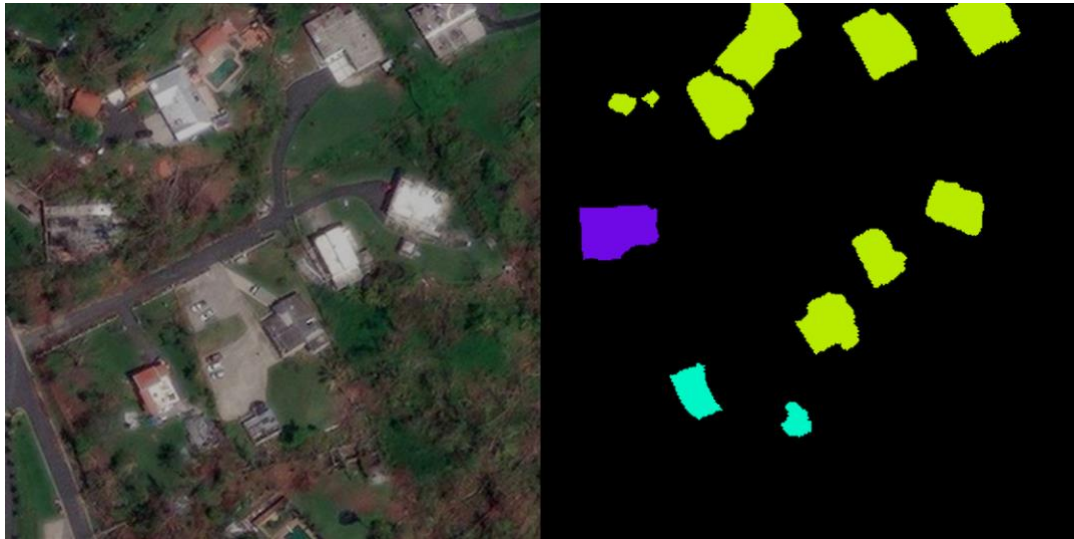


Рисунок 3.15 — Модель визначення ступеню руйнацій

На основі проведеного аналізу існуючих підходів до збору даних та оцінки руйнувань, описаних у попередніх розділах, було сформовано структурну схему системи аналізу пошкоджень будівель, що зображена на рисунку 3.16.

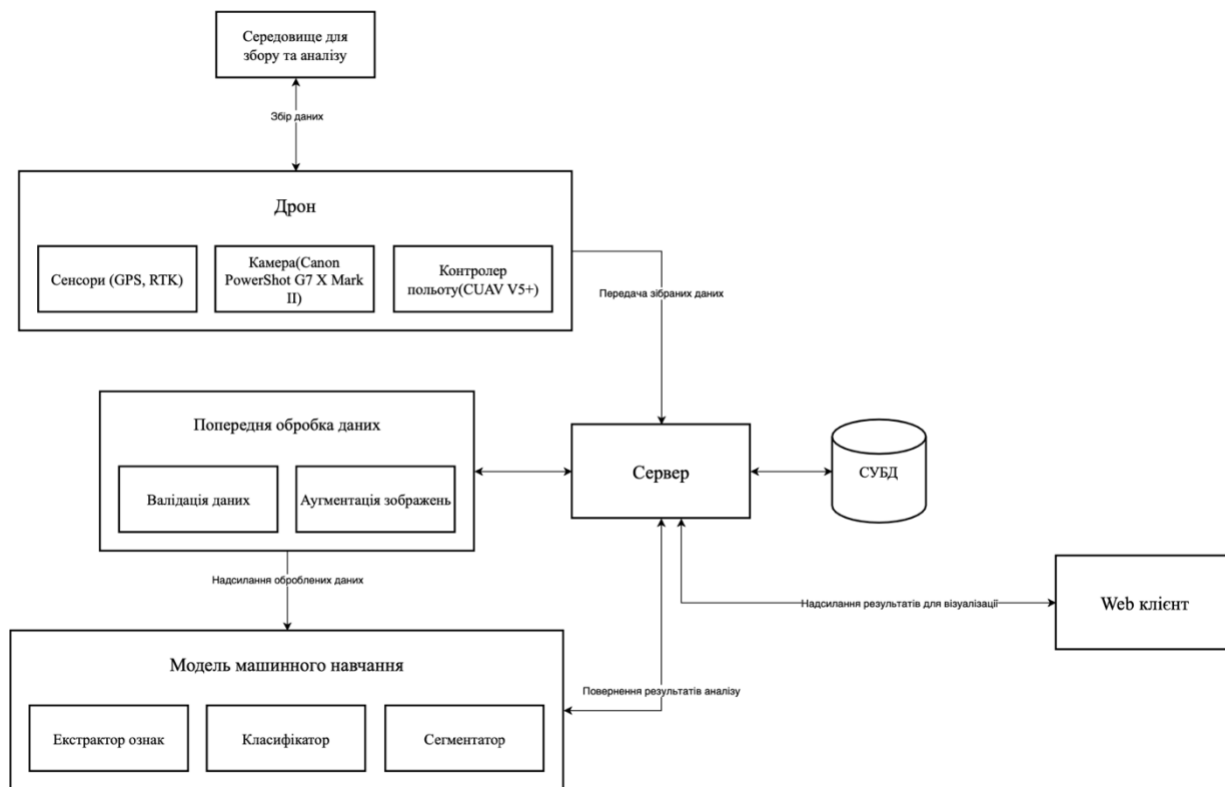


Рисунок 3.16 — Структурна схема системи

Схема відображає послідовність дій і взаємодію ключових компонентів системи, починаючи від збору даних у зоні руйнувань до їх обробки та представлення результатів оператору. Ця схема узагальнює логіку роботи системи, демонструючи її здатність забезпечувати оцінку пошкоджень за допомогою наведених раніше методів.

Висновок до розділу 3

У цьому розділі розглянуто сучасні технології аналізу зображень для оцінки пошкоджень будівель із використанням інструментів глибокого навчання. Основна увага приділена застосуванню нейронних мереж архітектур типу енкодер-декодер, таких як U-Net та Siamese Neural Network, з енкодером ResNet-34. Ці підходи дозволяють ефективно аналізувати пари зображень «до» і «після» катастрофічних подій для створення детальних семантичних карт пошкоджень. Вказані методи

забезпечують високий рівень деталізації та адаптивність до різних сценаріїв зйомки, що робить їх незамінними в умовах масштабних руйнувань.

Особливу увагу приділено попередній обробці даних, яка включає нормалізацію, видалення шумів і вирішення проблеми дисбалансу класів. Для підвищення точності навчання було використано різноманітні техніки аугментації, такі як зміна масштабу, обертання, додавання шуму, а також корекція освітлення. Це дозволило підвищити стійкість моделі (у 1.13–1.16 разів) до варіативності зображень, отриманих за різних умов освітлення, кута зйомки та якості сенсорів.

Для тренування моделі застосовувався датасет xBD, який включає зображення зон катастроф до та після подій, а також метадані про ступінь пошкоджень. Використання ортофотопланів у поєднанні з цим датасетом дозволило отримати точні геоприв'язані дані, що значно підвищило точність локалізації пошкоджень. Завдяки використанню ResNet-34 як базового енкодера модель досягає F1loc 0.8712 у локалізації та F1score 0.7231 у класифікації, що демонструє її здатність ефективно виконувати обидва завдання.

4 СТАРТАП-ПРОЄКТ

В даному розділі буде описано майбутній стартап-проект [19].

4.1 Опис ідеї проекту

В таблиці 4.1 було проаналізовано ідею проекту, напрямки застосування та потенційні вигоди для користувача.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Розробка автоматизованої системи виявлення пошкоджень будівель на основі даних з дронів та ШІ	Військові конфлікти, природні катастрофи	Швидка оцінка руйнувань, мінімізація людського втручання, зменшення часу на планування відновлювальних робіт

В наступній таблиці 4.2 було виконано порівняльний аналіза техніко-економічними характеристиками з іншими системами.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, нейтральних та слабких характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проєкт	Kespry	DroneDeploy	Aerialarmor			
1.	Точність виявлення пошкоджень	+	+	+	+			+

2.	Використання штучного інтелекту	+	-	+	+			+
3.	Збір даних у реальному часу	+	+	+	-	+		
4.	Доступність системи для малого бізнесу	+	-	+	-		+	
5.	Інтеграція з геоінформаційними системами	+	+	+	-			+
6.	Використання додаткових пристроїв	+	-	-	-	+		

З цієї таблиці можна зробити висновок, що запропонований проєкт є економічно вигідним рішенням, яке орієнтоване на оперативну оцінку пошкоджень будівель за допомогою дронів. Основною перевагою є доступність технології для широкого кола користувачів, включаючи малі бізнеси та організації, що працюють у сфері відновлення інфраструктури. У той час як конкурентні рішення часто потребують дорогого обладнання, додаткових пристроїв або спеціалізованих ресурсів (наприклад, радарів, тепловізорів чи радіочастотного виявлення), запропонований сервіс надає можливість інтеграції з існуючими геоінформаційними системами, зберігаючи при цьому високу точність виявлення. Таке рішення краще підходить для швидкого аналізу та планування відновлювальних робіт у зонах катастроф або надзвичайних ситуацій.

4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Далі було виконано аналіз можливості реалізації автоматизованої системи для виявлення БПЛА в небі в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Мова програмування	Python	Наявна	Доступна
		C++	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації проєкту: Python				
2.	Нейромережний підхід	Siamese Network (ResNet-34)	Наявна	Доступна
		SE-ResNext-50	Наявна	Доступна
		DenseNet-169	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації проєкту: Siamese Network (ResNet-34)				
3.	Модель обробки	U-Net (з енкодером)	Наявна	Доступна
		FPN	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації проєкту: U-Net				
4.	Аугментація	Albumentations	Наявна	Доступна
		Custom pipeline	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації проєкту: Albumentations				

Виходячи з представленої таблиці, можна зробити висновок, що реалізація ідеї проєкту є технологічно здійсненною, оскільки всі необхідні технології для її впровадження є доступними, наявними та широко підтримуються. Це забезпечує можливість ефективного реалізації задуму із застосуванням сучасних інструментів та методів.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Далі потрібно визначити основні загрози та можливості, що можуть бути при реалізації проєкту. Це дасть правильне прогнозування майбутніх напрямів розвитку проєкту.

В наступній таблиці 4.4 було проведено аналіз попиту на проєкт.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5-7 ключових компаній, які працюють з комп'ютерним зором для аналізу супутникових зображень
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Потрібно провести додаткові дослідження
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає – високий попит через збільшення частоти природних катастроф
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі початкові витрати, складність отримання доступу до супутникових даних
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність міжнародним стандартам геоінформаційних

		систем та якості супутникових даних
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20-30% – середня норма рентабельності для рішень у сфері аналітики супутникових зображень

На ринку присутня значна кількість ключових гравців, які забезпечують суттєві обсяги доходу завдяки впровадженню автоматизованих систем аналізу супутникових даних. З огляду на високий рівень прибутковості у межах 20-30% і зростаючий попит на такі рішення, можна зробити висновок, що цей ринок є привабливим для інвесторів. Постійна поява нових продуктів у цій сфері лише підтверджує його перспективність. Водночас, враховуючи важливість питань безпеки та точності в аналізі даних, необхідно приділяти особливу увагу відповідності міжнародним стандартам і сертифікаційним вимогам, щоб забезпечити довіру клієнтів і конкурентоспроможність продукту.

Далі потрібно зробити огляд потенційних клієнтів у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Автоматизація оцінки пошкоджень після катастроф	Рятувальні служби, гуманітарні	Пріоритет оперативності оцінки,	Точність аналізу; Надійність

		організації, урядові установи, страхові компанії	необхідність високої точності та мінімізації людського фактора	роботи; Інтеграція з існуючими системами;
2.	Швидкий доступ до геоінформаційних даних	Геоаналітичні компанії, будівельні фірми, інженерні компанії	Використання результатів для стратегічного планування та відновлення інфраструктури	Висока роздільна здатність даних; Підтримка стандартів геоінформацій них систем
3.	Покращення ефективності аналізу супутникових зображень	Приватні компанії, що займаються моніторингом інфраструктури або сільськогосподар ських угідь	Використання даних для внутрішніх цілей і комерційних звітів	Простота використання; Доступність аналітичних звітів; Мінімальні вимоги до обладнання

На основі представлених даних можна зробити висновок, що основними користувачами автоматизованої системи для оцінки пошкоджень після катастроф є рятувальні служби, гуманітарні організації та урядові установи, які зацікавлені в оперативності, точності та мінімізації людського втручання. Їхні ключові вимоги – це надійність роботи системи, інтеграція з існуючими інфраструктурними рішеннями та підтримка високої роздільної здатності даних.

Після визначення потенційних клієнтів необхідно провести глибший аналіз ринкового середовища, який включатиме оцінку факторів ризиків (таблиця 4.6) та можливостей для розвитку (таблиця 4.7).

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ n/n	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Висока конкуренція на ринку	Наявність великих гравців, які пропонують подібні рішення	Розробка інноваційних функцій та диференціація продукту
2.	Залежність від точності супутникових даних	Неточність або обмеженість доступу до супутникових зображень	Впровадження перевірки даних та інтеграція з різними джерелами зображень
3.	Високі витрати на розробку	Необхідність залучення значних фінансових ресурсів для старту	Пошук інвесторів та участь у грантових програмах
4.	Технічні бар'єри	Складність реалізації інтеграції з існуючими системами	Залучення досвідчених фахівців та тестування системи перед впровадженням
5.	Ризик невідповідності стандартам	Вимоги сертифікації та міжнародних стандартів	Проведення сертифікації та консультації з міжнародними експертами

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Зростання попиту на автоматизацію	Підвищення інтересу до технологій автоматизованого аналізу супутникових даних через зростання кількості катастроф	Активна маркетингова кампанія та розширення пропозицій послуг
2.	Інтеграція з геоінформаційними системами	Зростаючий попит на інтегровані рішення для швидкого прийняття рішень в урбаністиці та будівництві	Розробка API для інтеграції з популярними геоінформаційними платформами
3.	Розширення міжнародного ринку	Можливість залучення клієнтів із регіонів, де частіше трапляються природні катастрофи	Участь у міжнародних виставках і форумах, партнерство з локальними компаніями
4.	Технологічні інновації	Використання сучасних технологій для підвищення точності та швидкості аналізу	Впровадження новітніх алгоритмів та регулярне оновлення продукту
5.	Фінансова підтримка	Можливість отримання грантів або інвестицій для розвитку стартапу	Підготовка бізнес-презентацій для інвесторів та участь у стартап-програмах

Далі було описано загальні риси конкуренції на ринку і представлено їх в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: монополія/олігополія/монополістична/чиста	Конкуренція наближена до олігополії, є декілька великих компаній на ринку.	Інвестування в унікальні функції продукту для виділення серед конкурентів.
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальний/національний/міжнародний	Основні конкуренти працюють на міжнародному рівні.	Вихід на міжнародні ринки через партнерства, участь у виставках і конференціях.
3. За галузевою ознакою: міжгалузева/внутрішньогалузева	Галузь автоматизації аналізу супутникових зображень з перетином із геоаналітикою.	Розширення функціоналу продукту для залучення клієнтів із суміжних галузей.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова/товарно-видова/між бажаннями	Конкуренція товарно-видова, схожі системи аналітики пропонуються іншими компаніями.	Підвищення точності та швидкості аналізу для покращення користувацького досвіду.
5. За характером конкурентних переваг: цінова/нецінова	Нецінова, основна боротьба йде за якість і швидкість обробки даних.	Впровадження нових алгоритмів і модернізація програмного забезпечення.

6. За інтенсивністю: марочна/немарочна	Марочна, компанії-конкуренти активно просувають свій бренд через маркетингові кампанії.	Створення впізнаваного бренду через ефективний маркетинг і взаємодію з клієнтами.
---	---	---

Наступним етапом є проведення аналізу конкурентного середовища за моделлю 5 сил М. Портера. Цей аналіз включає оцінку основних складових: існуючих конкурентів, потенційних нових гравців на ринку, впливу постачальників, ролі клієнтів, а також загроз з боку альтернативних рішень у галузі. На основі результатів аналізу будуть зроблені висновки щодо інтенсивності конкуренції, можливостей виходу на ринок, впливу постачальників і клієнтів на формування ринку, а також потенційних обмежень, які можуть виникати через наявність заміників. Результати аналізу представлені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналіз	DroneDeploy, Orbital Insight, xView2	Нові стартапи з використанням відкритого коду та дешевших альтернатив	Постачальники супутникових даних, такі як Maxar Technologies, Planet Labs	Рятувальні служби, гуманітарні організації, геоаналітичні компанії	Інші програмні інструменти для аналізу зображень

Висновки	Конкуренція висока через наявність великих гравців	Ризик появи нових гравців, які можуть запропонувати дешевші чи швидші рішення	Диктують умови ціноутворення, що може призводити до зростання вартості послуг	Клієнти очікують високої точності, швидкості аналізу та гнучкості у роботі	Ризик заміщення рішення компанії альтернативними технологіями
----------	--	---	---	--	---

Після проведеного аналізу було встановлено, що в галузі спостерігається висока конкуренція з боку прямих гравців та потенційна загроза з боку товарів-замінників, що можуть запропонувати альтернативні рішення із нижчою вартістю або більшою швидкістю.

Далі розглянуто фактори конкурентоспроможності у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Точність аналізу	Точність є ключовою вимогою клієнтів, особливо для рятувальних служб і гуманітарних організацій, які працюють у кризових умовах.
2	Швидкість обробки даних	Висока швидкість аналізу дозволяє приймати рішення оперативно, що критично для ефективності роботи клієнтів.

3	Інтеграція з геоінформаційними системами	Інтеграція забезпечує сумісність із існуючими платформами та підвищує зручність використання продукту.
4	Вартість реалізації	Конкурентна ціна дозволяє залучити більше клієнтів, особливо серед організацій із обмеженими бюджетами.
5	Інноваційність рішень	Використання сучасних технологій, таких як Siamese Network, забезпечує конкурентну перевагу на ринку.

Після визначення факторів конкурентоспроможності доцільно провести аналіз сильних і слабких сторін проекту, порівнявши його характеристики з продуктами конкурентів. Результати цього аналізу подано в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з розроблюваною системою						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Точність аналізу	18							+
2	Швидкість обробки даних	16						+	
3	Інтеграція з геоінформаційними системами	15					+		
4	Вартість реалізації	12				+			

Далі, на основі проведеного порівняльного аналізу, необхідно виконати SWOT-аналіз проекту. У наступній таблиці 4.12 буде наведено результати цього аналізу.

Таблиця 4.12 – SWOT – аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: Висока точність аналізу; Використання інноваційних технологій (Siamese Network);	Слабкі сторони: Високі початкові витрати на розробку; Високі технічні вимоги до обладнання;
Можливості: Зростаючий попит на автоматизацію аналізу супутникових даних; Розширення ринку через інтеграцію з міжнародними партнерами	Загрози: Висока конкуренція з боку великих гравців ринку; Ризик невідповідності продукту новим стандартам чи регламентам

Також доцільно розглянути можливі альтернативні підходи до ринкової реалізації проєкту, які можуть сприяти залученню додаткових інвестицій або розширенню клієнтської бази. Варіанти реалізації представлені в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Партнерство з міжнародними організаціями, що займаються моніторингом катастроф	Висока	6–12 місяців
2.	Участь у міжнародних виставках і форумах для залучення інвесторів	Середня	3–6 місяців
3.	Розробка додаткових модулів для інтеграції з популярними ГІС платформами	Висока	12–18 місяців
4.	Залучення грантових програм для фінансування досліджень	Висока	6–12 місяців

5.	Вихід на нові ринки через локалізацію продукту та адаптацію до місцевих умов	Середня	12–24 місяців
----	--	---------	---------------

Оптимальним варіантом для старту є участь у міжнародних виставках та тематичних форумах, де можна презентувати стартап-проект. Такий підхід дозволяє мінімізувати початкові фінансові витрати та водночас привернути увагу потенційних інвесторів. У разі успішної презентації це дасть змогу залучити фінансування, яке можна використати для подальшого вдосконалення продукту та розширення ринку.

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Технологічно прогресивні користувачі	висока	високий	середня	висока
Які цільові групи обрано: технологічно прогресивні користувачі					

Далі в таблиці 4.15, сформовано базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. – Базова стратегія розвитку стартап-проекту

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Розробити	Презентувати	Отримання	Стратегія

	прототип продукту та протестувати його на невеликій групі користувачів	продукт на спеціалізованих заходах і демонстраціях	зворотного зв'язку від вибраної групи користувачів для оптимізації	спеціалізації
2.	Розгорнути обмежений запуск продукту в одному регіоні	Охопити локальний ринок з метою тестування попиту	Залучення ранніх користувачів і збір даних для масштабування	Стратегія концентрованого розвитку

Стратегія розвитку проєкту була визначена на основі стратегії спеціалізації, що передбачає запуск тестової версії продукту для обмеженої групи користувачів. Це дозволяє глибше проаналізувати реальні потреби цільової аудиторії та вдосконалити продукт відповідно до їхніх очікувань.

Визначення конкурентних стратегій поведінки наведено в таблиці. 4.16

Таблиця 4.16. – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Проєкт не є	Компанія буде шукати нових	Будуть копіюватись деякі	Стратегія зайняття

	«першопрохідцем»	споживачів та намагатиметься забирати існуючих у конкурентів	характеристики, наприклад, інтерфейс та базові функції	конкурентної ніші
--	------------------	--	--	-------------------

Необхідно сформулювати стратегію позиціонування, яка визначатиме сукупність атрибутів, за якими користувачі зможуть ідентифікувати та оцінювати продукт. Така стратегія позиціонування представлена у таблиці 5.17.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Швидкість обробки даних, висока точність	Стратегія спеціалізації	Забезпечення швидкого аналізу та точності даних у реальному часі	Швидкість, точність, надійність
2.	Безпечність використання в небезпечних зонах	Стратегія інновацій	Використання дронів для роботи у важкодоступних чи небезпечних місцях	Безпечність, інноваційність, ефективність
3.	Автоматизація процесів,	Стратегія технологічного	Інтеграція штучного	Автоматизація, технологічність,

мінімізація ручної роботи	лідерства	інтелекту для автоматизованого аналізу та виявлення ризиків	точність
------------------------------	-----------	--	----------

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

У наступній таблиці 4.18 буде наведено ключові переваги концепції потенційного товару. А у таблиці 4.19 - опис трьох рівнів моделі товару.

Таблиця 4.18 – Ключові переваги концепцій потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Потреба у швидкій оцінці руйнувань	Забезпечує швидке отримання точних даних про пошкодження	Швидкість збору інформації та обробки результатів
2.	Потреба у точності аналізу	Створення високоякісних ортофотопланів та 3D-моделей	Точність даних та мінімізація людського фактору
3.	Потреба у безпеці	Використання дронів у небезпечних зонах	Безпека для персоналу завдяки віддаленій роботі
4.	Потреба у автоматизації	Інтеграція алгоритмів штучного інтелекту для аналізу даних	Автоматизація процесу, зменшення часу обробки

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Автоматизована система оцінки пошкоджень будівель, отриманих унаслідок катастроф або конфліктів.
II. Товар у реальному виконанні	Сервіс повинен забезпечувати швидке, точне та безпечне виявлення пошкоджень будівель
	Марка: "DroneAssess AI"
III. Товар із підкріпленням	До продажу: основні функції системи: аналіз руйнувань, створення ортофотопланів, генерація звітів.
	Після продажу: технічна підтримка, оновлення алгоритмів, інтеграція з геоінформаційними системами.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: використання патентів, ліцензування алгоритмів штучного інтелекту.	

Наступним кроком є визначення меж встановлення ціни, виконаний опис наведено у таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товаризамінники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Від 20%	Від 50%	Високий	Нижня: 20% Верхня: 80%

Щоб далі зрозуміти реалізацію концепції, необхідно визначитися систему продажів, як показано в таблиці 4.21.

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівлі здійснюються великими партіями через тендери або прямі договори.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забезпечення постачання високотехнологічних рішень. 2. Налагодження логістики доставки обладнання в складні умови (зони бойових дій або віддалені регіони). 3. Навчання персоналу замовника роботі із системою. 	<p>Прямий збут через офіційних партнерів або безпосередньо замовникам.</p> <p>Мінімізація кількості проміжних ланок для зменшення витрат.</p>	<p>Комбінація прямого продажу через тендери, інтеграція в державні програми, партнерство з міжнародними організаціями.</p> <p>Створення онлайн-платформи для подачі заявок та обслуговування клієнтів.</p>

Також важливо визначити концепції маркетингових комунікацій, що наведено в таблиці 4.22.

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтованість на безпеку і конфіденційність	Соціальні мережі, інтернет, локальні конференції	Легкість використання, функціональність, доступність	Інформувати про переваги швидкості та точності продукту	Демонстрація реальної роботи продукту у вигляді відео або тестових кейсів
Цінність економії часу та ресурсів	Вебінари, блоги, партнерські програми	Надійність, точність виявлення, мінімальні витрати на інтеграцію	Показати потенційні економічні вигоди від використання	Сучасний, простий візуальний стиль з акцентом на технології
Середній та високий рівень доходів	Прямий контакт, email-розсилки, технічні демонстрації	Відповідність стандартам безпеки, інтеграція з існуючими системами	Викликати довіру через підкреслення експертності	Використання реальних відгуків клієнтів, які використовують продукт

Висновки до розділу 4

У цьому розділі було описано концепцію стартап-проєкту, що передбачає створення автоматизованої системи оцінки пошкоджень будівель за допомогою дронів і штучного інтелекту. Основна мета проєкту полягає в забезпеченні оперативної, точної та безпечної оцінки руйнувань у випадках природних катастроф або військових конфліктів.

Проведений аналіз свідчить, що запропонований проєкт є економічно доцільним і має високий потенціал для реалізації завдяки доступності сучасних технологій. Ринок стартапу демонструє зростаючий інтерес до автоматизованих рішень, що створює сприятливі умови для його подальшого розвитку.

Потенційними клієнтами системи є урядові установи, рятувальні служби, гуманітарні організації, страхові компанії та геоаналітичні фірми. Основні переваги продукту включають високу точність аналізу, швидкість обробки даних, інтеграцію з геоінформаційними системами та доступність для малого бізнесу.

Аналіз ринкових умов та конкурентного середовища свідчить про наявність значної кількості ключових гравців, але також підкреслює можливості для диференціації через впровадження інноваційних технологій та орієнтацію на специфічні потреби цільових сегментів.

Стратегія розвитку стартапу передбачає поступове масштабування: початковий запуск тестової версії продукту на локальному ринку з подальшим розширенням через партнерства, участь у міжнародних виставках, інтеграцію з популярними платформами та адаптацію продукту до нових ринків. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити сталий розвиток проєкту, враховуючи специфіку ринку і вимоги клієнтів.

Таким чином, запропонований стартап має високий потенціал для успішної реалізації та масштабування завдяки збалансованій стратегії, конкурентним перевагам та інноваційному підходу.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено автоматизовану систему для аналізу пошкоджень будівель на основі даних, отриманих із дронів, із використанням алгоритмів машинного навчання. Актуальність теми визначається зростаючою потребою у швидких, точних та безпечних методах оцінки руйнувань, спричинених військовими конфліктами, природними катастрофами та іншими надзвичайними подіями. Традиційні підходи до оцінки стану будівель є часозатратними, небезпечними та залежать від людського фактора, тоді як запропонована система дозволяє автоматизувати цей процес і мінімізувати ризики.

В роботі проведено аналіз існуючих систем і методів оцінки пошкоджень будівель, включаючи візуальне обстеження, аналіз супутникових знімків, використання геоінформаційних систем та інструментальних методів. Виявлено основні обмеження цих підходів, такі як висока вартість, тривалість виконання, залежність від погодних умов, що обґрунтовує доцільність використання дронів для збору даних.

Удосконалено процес оцінки пошкоджень будівель за рахунок впровадження алгоритмів машинного навчання для сегментації зображень і виявлення пошкоджень. Обґрунтовано вибір архітектури нейронних мереж U-Net та Siamese Network, які на 18.8% мають кращу ефективність у виділенні ключових ознак із зображень, забезпечуючи точнішу класифікацію та на 9.58% кращі результати сумарно в порівнянні з класичною архітектурою енкодер-декодер.

Вперше запропоновано використання комбінованої архітектури енкодер-декодер з ResNet-34 як базовим енкодером, що дозволяє ефективно обробляти багатошарові вхідні дані та виконувати детальний аналіз змін між парними зображеннями. Розроблено прототип автоматизованої системи, яка інтегрує компоненти збору даних за допомогою дронів, алгоритми машинного навчання для обробки зображень і програмне забезпечення для візуалізації результатів. Це рішення дозволяє значно зменшити час і ресурси на оцінку пошкоджень, знижуючи вплив людського фактора.

Проведено техніко-економічний аналіз, який підтвердив перспективність проєкту для впровадження в таких галузях, як відновлення інфраструктури, страхування та гуманітарна допомога. Проаналізовано ринок застосування, що показав зростаючий попит на автоматизовані рішення, зокрема в галузях, пов'язаних із відновленням інфраструктури. Це відкриває широкі можливості для подальшого розвитку системи.

Таким чином, у роботі запропоновано комплексну автоматизовану систему, яка базується на сучасних методах машинного навчання і дозволяє підвищити точність оцінки пошкоджень, зменшити витрати ресурсів та часу і забезпечити ефективне планування відновлювальних робіт. Ця система закладає основу для подальших досліджень і вдосконалення автоматизованих технологій у сфері аналізу пошкоджень.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wending Quarries Transforms Inventory Management, Mine Planning, and Production with Kespry's Industrial Drone-Based Aerial Intelligence Platform. URL: <https://kespry.com/press/wending-quarries-transforms-inventory-management-mine-planning-and-production-with-kesprys-industrial-drone-based-aerial-intelligence-platform/>
2. Digitalization of Infrastructure Losses: How Volunteers Use Drones to Document Destruction in Ukraine. URL: <https://dou.ua/lenta/interviews/digitalization-of-infrastructure-losses/>
3. Using lidar to assess destruction in Puerto Rico. URL: <https://news.mit.edu/2018/mit-lincoln-laboratory-team-uses-lidar-assess-damage-puerto-rico-0830>
4. Phantom 4 Pro V2.0. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2>
5. WingtraOne Technical Specifications. URL: <https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/technical-specifications/>
6. Ground resolution / Luxcarta. URL: <https://www.luxcarta.com/blog/gis/ground-resolution>
7. Flight Time and Duty Time. URL: http://ualpa.org.ua/flight_time_duty_time.html
8. A review on control and maneuvering of cooperative fixed-wing drones / Thato Elijah, Rodrigo Jamisola, Zeundjua Tjiparuro, Molaletsa Namoshe. – ResearchGate, 2020.
9. Real Time Kinematics. URL: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Real_Time_Kinematics
10. Детекція та класифікація об'єктів на основі мультисенсорних даних. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/21/8874>
11. Segmentation: U-Net, Mask R-CNN, and Medical Applications. URL: <https://glassboxmedicine.com/2020/01/21/segmentation-u-net-mask-r-cnn-and-medical-applications/>

12. Вплив технологій штучного інтелекту на розвиток страхування. Приклади застосування AI. URL: <https://bcp.org.ua/novosti/strahovanie/vplyv-tehnologij-shtuchnogo-intelektu-na-rozvytok-strahuvannya-prykklady-zastosuvannya-ai>
13. Досягнення виробничої досконалості за допомогою моделей розпізнавання зображень для виявлення поверхневих дефектів. URL: <https://www.unite.ai/uk/досягнення-виробничої-досконалості-за-допомогою-моделей-розпізнавання-зображень-для-виявлення-поверхневих-дефектів/>
14. Вплив інновацій у штучному інтелекті на ефективність діагностичних процедур в онкології. URL: <https://umj.com.ua/uk/publikatsia-260483-vplyv-innovatsij-u-shtuchnomu-intelekti-na-efektivnist-diagnostichnih-protsedur-v-onkologi>
15. xView: Обширний набір анотованих супутникових зображень для розпізнавання об'єктів. URL: <https://arxiv.org/abs/1802.07856>
16. Building Resnet-34 model using Pytorch – A Guide for Beginners. URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/09/building-resnet-34-model-using-pytorch-a-guide-for-beginners/>
17. U-Net Architecture Explained. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/u-net-architecture-explained/>
18. Узагальнення перехресної ентропії як функції втрат у задачах класифікації зображень. URL: <https://mmj.ukma.edu.ua/article/view/225419>
19. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016.