

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

на тему «Застосування дрону для георозвідки на кар'єрах»

Керівник роботи

Олена Налобіна

Консультант від
бази практики

Дмитро Гончарук

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Владислав Половинкин

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Володимир ОЖЕНКО

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації' виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації', електро- та робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>133 Галузеве машинобудування</u>
ОПП	<u>Комп'ютерне конструювання мехатронних систем</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП



Світлана ГУРКОВСЬКА

«03» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Половинкину Владиславові /вановичу

1. Тема роботи **Застосування дрону для георозвідки на кар'єрах**
керівник роботи Налобіна Олена Олександрівна, професор, доктор техн. наук
затверджені наказом Університету від 29.08.2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 10.0 1.20.24...Р. - -----
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література. державні стандарти з галузевого машинобудування. методична література зі спеціальних дисциплін та дипломування. науково-дослідницькі роботи з тематики застосування безпілотних літальних апаратів у гірничій промисловості. літературні джерела. технологічні інструкції; дані гірничо-збагачувального комбінату. результати власних досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень ((3.1 Мета та методи експериментальних досліджень: 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання: 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів: висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки. додатки
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: Класифікація дронів. Аналіз моделей дронів. Структурна схема дрона як об'єкта управління. Сили, що діють на дрон. Схема вибору моделі дрону. Обрана модель дрона.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються її.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
<i>Економіки</i>	д.т.н., професор Налобіна О.О.
<i>Нормоконтроль</i>	д.т.н., професор Налобіна О.О.

7. Дата видачі завдання 03.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 - 28.12.2023
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	25.12.2023 - 28.12.2023
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	28.12.2023 - 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	03.01.2024 - 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 - 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 - 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, авторесюме	10.01.2024 - 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 - 24.01.2024

Здобувач

Половинкин В. 1.

Керівник роботи

Налобіна О.О.

АНОТАЦІЯ

Половинкин Владислав Іванович. Застосування дрону для георозвідки на кар'єрах. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Мета роботи: проведення системного дослідження, спрямованого на обґрунтування доцільності використання дронів, як засобу підвищення ефективності георозвідки на кар'єрах.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз чинних наукових досліджень за темою кваліфікаційної роботи;
- проаналізувати сучасні методи георозвідки та можливості застосування дронів;
- провести теоретичні дослідження з метою встановлення можливостей дронів у георозвідці;
- змодельовати процес управління дроном;
- провести дослідження ринку дронів із застосуванням методу експертного оцінювання з метою вибору оптимальної моделі;
- виконати економічне обґрунтування проекту.

Об'єкт дослідження: процес геологічної розвідки на кар'єрах.

Предмет дослідження: конструкції дронів і їхні характеристики.

При виконанні дослідження було використано такі **методи:** діалектичний, системний аналіз, порівняльний аналіз, метод експертного оцінювання.

Основні результати, отримані в роботі:

- обґрунтовано модель управління дроном із прийнятим основним критерієм - висота польоту;
- запропоновано використання ПІД-регулятора для системи управління дроном;
- на основі системного аналізу сформовано перелік основних вимог до дронів для георозвідки у гірничій галузі;
- виконано дослідження ринку дронів і вибір оптимальної моделі із застосуванням методу експертного оцінювання, що дозволило надати рекомендацію щодо моделі - дрон Perimeter 8+.

Виконано розрахунки вартості науково-дослідної роботи (НДР), спрямованої на доведення доцільності використання дронів на кар'єрах і наступного запровадження обраної конструкції та встановлено термін окупності проекту - 3,03 роки.

Кваліфікаційна робота має 65 сторінки, 29 ілюстрацій, 6 таблиць, 2 додатки, та 25 джерел у переліку посилань.

Ключові слова: ГЕОРОЗВІДКА, КВАДРОКОПТЕР,
ВИКОРИСТАННЯ У КАР'ЄРІ, МАРКШЕЙДЕРСЬКА РОБОТА,
АЕРОФОТОЗЙОМКА.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Аналіз предметної області	7
1.1 Літературний огляд	7
1.2 Поняття георозвідки та її значення у виробництві	10
1.3 Огляд сучасних методів георозвідки	11
1.4 Застосування дронів у геологічних дослідженнях.....	15
2 Теоретичні дослідження.....	19
2.1 Класифікація дронів.	19
2.2 Дослідження можливостей дронів у георозвідці.....	23
2.3 Аналіз існуючого програмного забезпечення для керування дронами	32
2.3.1 Моделювання керування.....	35
2.3.2 Управління з використанням ПІД-регулятора	37
2.4 Вимоги до дрону для георозвідки	38
2.5 Конструкція та вибір дрону для георозвідки на кар'єрах.....	39
2.6 Дослідження комплексу факторів, що впливають на похибку реалізації зйомки гірничих об'єктів. Стійкість та керованість.....	40
2.6.1 Стійкість та керованість.....	41
3 Програма, методика та результати експериментальних досліджень	45
3.1 Проведення досліджень ринку дронів і вибір оптимальної моделі із застосуванням методу експертного оцінювання	45
3.1.1 Методика проведення експертного оцінювання конструкцій дронів	47
3.1.2 Результати експертного оцінювання.....	48
3.2 Опис конструкції вибраного дрону	49
4 Економічне обґрунтування дослідної роботи	51
4.1 Визначення етапів технологічного процесу та загальної тривалості проведення досліджень	51
4.2 Визначення витрат на оплату праці та на соціальні відрахування	53
4.3 Розрахунок витрат на електроенергію	56
4.4 Розрахунок витрат на матеріали	56
4.5 Розрахунок амортизаційної суми.....	56
4.6 Обчислення накладних витрат.....	57
4.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР.....	57
4.8 Розрахунок ціни НДР	58
4.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	58
Висновки.....	60
Список використаних джерел	61
Додатки	

ВСТУП

Топографічна та геодезична картографія є незамінними в багатьох аспектах людської діяльності, включно з навігацією, архітектурою, та добичею мінералів. Вони є основою для дизайну та конструювання різноманітних об'єктів, тому швидке та точне створення цих планів є дуже важливим. Існують різні сучасні техніки для цього, включаючи лазерне сканування, глобальну супутникову навігаційну систему (ГСНС) і тахеометрію.

Знімання з використанням безпілотних літальних апаратів (КД) або картографічних дронів (КД) стає все більш популярним завдяки таким перевагам, як доступна ціна обладнання та ефективність польових робіт, що також включає створення тривимірних моделей і автоматизоване дешифрування зображень [5]. Ефективні передові технології є ключовими для прогресу системи картографії та спостереження які мають забезпечити швидкий, точний та надійний збір просторових даних у цифровому форматі [1]. Використання дронів для створення деталізованих карт є одним з таких інструментів. Інноваційні практики у сфері кадастру та картографії вимагають новітніх технологій для розроблення картографічної бази та впровадження сучасних методів.

Найбільш ефективним методом для створення картографічних основ є використання аерофотознімання великого масштабу за допомогою дронів. Такий метод запропоновано до використання під час зйомки бортів та уступів кар'єрних бортів. Така тенденція пояснюється потребою в оперативності, повноті і точності отримання даних для раціонального використання та охорони надр, безпечного ведення гірничих робіт.

Актуальність.

Однак, на даному етапі відсутні будь-які рекомендації, щодо використання технологій зйомок із застосуванням дронів на відкритих гірничих роботах з видобутку корисних копалин; рекомендації щодо конструкцій, систем їхнього керування.

Робота апробована на міжнародній науковій конференції «MININGMETALTECH 2023 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION» November 29–30, 2023.

Половинкин В.І. Перспективи використання дронів у гірничодобувній промисловості. Матеріали міжн. наук. конф. The mining and metals sector: integration of business, technology and education». Riga, the Republic of Latvia. November 29–30, 2023. Volume 2. PP. 49-51. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-96>.
<https://dspace.mipolytech.education/server/api/core/bitstreams/1f45545e-cda6-45a2-b8ae-b49ff2c780a9/content>

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Літературний огляд

Використання аерофотознімання території застосовувалося ще в XIX ст. Однак, лише з інтенсивним розвитком обчислювальної техніки стало можливим ефективно застосування КД у геодезії та фотограмметрії. Дослідження теоретичних аспектів та практичного застосування створення цифрової моделі місцевості, зокрема з використанням космічних знімків, представлені у працях Андрєєв С., Жилін В. метою роботи яких, стало підвищення інформативності та актуалізації геоданих за допомогою методики створення фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі інформації, отриманої по знімках з БПЛА, а також відеоматеріалів обльотів місцевості [2]. У статті [4], авторами, викладені погляди на можливість використання даних ДЗЗ від супутників «SuperView-1» для створення і оновлення картографічних основ, виходячи з існуючих в НЦУВКЗ можливостей. Викладені переваги використання технології цифрової орторектифікації на основі космічних знімків. Надані технічні характеристики супутників серії «SuperView-1» та приймальної станції с УНСПІ-8.2, що здійснює отримання даних від них. Наведено алгоритм та результати проведення практичного експерименту для створення ортофотопланів масштабу 1:10000 на базі використання космічних знімків від супутників «SuperView-1». Доведено, що в цілому дані, отримані з супутників «SuperView-1», є придатними для створення ортофотопланів масштабу 1:10000. Застосування зазначеної технології створення цифрового картографічного забезпечення територій за матеріалами космічної зйомки дозволить значно скоротити витрати на отримання планово-картографічних матеріалів, що у свою чергу забезпечить скорочення термінів та витрат на проектування інфраструктури просторових даних, підготовку відповідних документів для територіального планування. автори акцентували увагу на важливості дронів, їх цілі та функціональні проблеми. Тут представлено комплексне дослідження БПЛА, угруповань, типів, класифікації, зарядки та стандартизації. Зокрема, застосування БПЛА, проблеми та питання безпеки вивчаються у світлі недавніх досліджень та розробок. Нарешті, у цьому огляді виявляються прогалини у дослідженнях та представлені майбутні напрями досліджень у галузі БПЛА. [15].

Спеціально, Гріффітс Д., Бернінгем Х. розробили методологію, яка забезпечує підвищену точність зйомки за допомогою космічних апаратів та запропонували короткий і надійний робочий процес для побудови топографічних моделей на основі БПЛА навіть у найбільш топографічно обмежені (малоамплітудні, лінійні) середовища. Ці підходи до зменшення спотворень застосовуються у популярному програмному забезпеченні з

відкритим вихідним кодом та комерційному програмному забезпеченні. У цій статті автори фокусуються на демонстрації внутрішніх ефектів спотворення камери у SfM-аналізі, проведеному в межах невисокого прибережного солончака з малою топографічною мінливістю. Солончаки займають верхню частину вертикальної приливної зони; вони розташовані низько і відносно невиразні у ширшому масштабі, але мають чітку мікротопографію, пов'язану із системами струмків у місцевому масштабі. Точне топографічне картування цих типів довкілля важливе для моніторингу, управління та збереження, а також важливе для моделювання довкілля, результати якого чутливі до помилок у поданні морфології [13]. Автоматизований процес дешифрування, включаючи застосування методів нейромереж, був предметом дослідження у роботах: У статті [6] розкрито принципи формування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту. Окреслено сферу застосування сучасних безпілотних комплексів та особливості їх структурної

ідентифікації. Підкреслено, що автономність безпілотних літальних апаратів визначається рівнем коефіцієнту свободи від контролю та варіюється від 0 до 100%. Наголошено на значущості комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту як механізму відстеження та контролю. Запропонована комплексна система стеження, яка не вимагає наявності GSM або обов'язкового встановлення веб-сервера на базі наземної станції, що є однією з головним проблем сьогодення. Наголошено, що розроблена система займає менше часу для відстеження БПЛА та має мінімальну кількість обладнання, що позитивно впливає на кінцеву вартість системи, а за рахунок відсутності статичного Інтернет-протоколу для веб-сервера виключається залежність від порту та можливості переадресації портів. Графічно представлено структуру комплексної системи та описано принцип взаємодії окремих модулів. У математичному представленні розкрито механізм моделювання загорткової нейронної мережі, яка використовується з метою зворотного зв'язку для підвищення точності розпізнавання об'єктів. Зазначається, що модуль стеження ґрунтується на алгоритмі розпізнавання фону, що дозволяє сканувати задану область. Підкреслено, що налаштування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту здійснюється за рахунок регуляції повної частоти кадрів з камери, що дозволяє отримувати максимально можливу точність, а також попередня обробка відеовходу камери за типом віднімання поточного кадру від попереднього та отримання абсолютних значень попіксельно дозволяє отримати найбільш точне зображення поточного кадру. Результатом дослідження є комплексна система стеження сучасних БПЛА, яка дозволяє здійснювати високопродуктивний моніторинг за об'єктами, мінімізує кількісну складову

частину бази даних за рахунок зменшення розміру тренувальної вибірки та може використовуватися як на рухомих об'єктах

(літак, автомобіль, тощо) так і на наземних. В роботі [14] була розглянута проблема роботи великої кількості дронів на не великій ділянці простору, та представлена стратегія зближення БПЛА, яка може сприяти повністю автономному плануванню траєкторії кількох БПЛА, що має дві основні переваги: першою є використання стратегії в роботі при стикуванні дронів у повітрі чи їх дозаправки; другою є об'єднання дронів для їх використання в групових місіях, таких як гасіння пожеж чи використання бойових дронів у військовій справі. Точність у геодезії та землевпорядкуванні, ефективність сучасних методів дешифрування, зокрема алгоритму OBIA, були проаналізовані в Толкунова Ю. в статті, автором було наведено схему нечіткого логічного висновку. Сукупність значень нечітких вхідних лінгвістичних змінних (ЛЗ), вихідних ЛЗ утворює нечітку базу даних, сукупність правил нечітких продукцій утворює нечітку базу знань. Після аналізу даних отриманих при дослідженні, був проаналізований підхід до запобігання зіткненню БПЛА з перешкодами. Та був розроблений на основі апарату нечіткої логіки, який відрізняється від відомих аналогів способом координації БПЛА, сукупністю керуючих правил. Застосування апарату нечіткої логіки дозволило успішно вирішувати завдання формування траєкторії руху БПЛА в залежності від розташування перешкоди та відстані до неї [9]. У цій роботі [11], автори прагнули проаналізувати і дати уявлення про точність оцінки положення об'єктів на основі аерофотознімків, отриманих БПЛА, що низько летять, з метою моніторингу дорожнього руху. Аналіз зосереджений на даних, зібраних недорогою екшн-камерою, встановленої на мультикоптер БПЛА, що літає над плоскою сценою. Малось на увазі простий і зрозумілий метод оцінки положення об'єкта, заснований на зіставленні гомографії між двома 2D площинами, отриманими на основі положення зображень орієнтирів – об'єктів з відомим становищем у реальному світі. У статті [1] розглядається актуальність і важливість інтеграції геодезичних методів у технології дистанційного зондування з дронів. Основна увага приділяється вивченню можливостей дронів як інноваційного інструменту, що відкриває нові перспективи для вимірювання, картографування та моніторингу територій. Аналізуються передові геодезичні технології та їх застосування у роботі з дронами, включаючи фотограмметрію, лазерне сканування та інші методи збору даних. Мета статті. Визначення і систематизація ролі геодезії у прогресі дрон-технологій, які використовуються для точних вимірювань, картографування та моніторингу територій.

У роботі [18] автором проаналізовано технології застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їх застосування в гірничодобувній промисловості. Автором проаналізовано класифікацію БПЛА, їх основні застосування в кожній галузі, характеристики датчиків

БПЛА. Було розглянуто деякі приклади використання технології БПЛА для планування, управління роботами, управління об'єктами, управління безпекою та інших робіт у гірничодобувній промисловості. Очікується, що завдяки впровадженню технології БПЛА на гірничому ділянці підвищиться ефективність роботи, пов'язаної з гірничими роботами. Таким чином, застосування технології БПЛА в гірничодобувній промисловості буде розширено.

Використанню БПЛА у гірничодобувній промисловості також присвячено статті [19, 20].

Так Patil, S. та ін. [19] відмічають, що БПЛА — це чудовий винахід, який можна дуже ефективно використовувати в багатьох областях, зокрема гірничий і інших галузей промисловості, які мають проблеми з небезпечними газами, які не повинні контактувати з людьми.

Авторами проаналізовано складові квадрокоптера та яким чином вони впливають на характеристики польоту. Так автори відмічають, що на характеристики польоту значний вплив має рама. Її конструкція визначає

аеродинаміку, розподіл ваги, жорсткість, тощо.

Marin Silviu Nan та ін. [20] відмічають, що стрімкий розвиток науки і техніки, а також реструктуризація добувної промисловості, призвели до масштабних змін у структурі та складності гірничого обладнання. Гірничі підрозділи повинні забезпечувати високий рівень механізації і автоматизації, що забезпечує підвищення продуктивності та безпеки.

БПЛА, на думку авторів, є чудовим методом відкриття нових сфер інтересу та незамінний інструмент у процесі видобутку. У гірничодобувній промисловості безпілотні літальні апарати можуть відвідувати важкодоступні та небезпечні зони та збирати важливі для безпеки дані, такі як геологічні

та топографічні дані, погодні умови, тепловізори та відбір проб. Вони також можуть робити фотографії під різними кутами, дозволяючи розробити з них 3D-модель фотографії.

1.2 Поняття георозвідки та її значення у виробництві

В сучасному світі, де технології зростають експоненційно, розуміння та застосування георозвідки стає все більш важливим аспектом виробництва та розвитку інфраструктури. Георозвідка, як галузь геодезії, відіграє ключову роль у зборі та обробці геодезичних даних, що є необхідними для різних галузей виробництва та планування.

Георозвідка – це галузь геодезії, яка займається збором, обробкою та аналізом геодезичних даних для отримання інформації про земельний простір та природні об'єкти. Вона використовує різноманітні методи та технічні засоби, такі як глобальні навігаційні системи, супутникове зондування, лазерне відсканування та аерофотозйомка, для отримання точних та вичерпних геопросторових даних.

1.3 Огляд сучасних методів георозвідки

Методи проведення георозвідки включають в себе різноманітні технічні та наукові підходи для збору, обробки та аналізу геопросторових даних. Ось деякі з основних методів, що використовуються в георозвідці:

Глобальні навігаційні системи (GNSS):

GPS (Global Positioning System): Використовує супутникові сигнали для визначення точного місцезнаходження на землі.

GLONASS (Global Navigation Satellite System): Російська система глобальної навігації, аналогічна GPS.

Аерофотозйомка:

Використовує фотографії, отримані з повітря, для створення детальних карт та зображень місцевості.

Лазерне сканування (Lidar):

Лідар (транслітерація LIDAR англ. Light Identification, Detection and Ranging) — технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Лідар як прилад являє собою, як мінімум, активний далекомір оптичного діапазону. Скануючі лідари в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору. «Атмосферні» лідари здатні не тільки визначати відстані до непрозорих цілей, що відбивають світло, а й аналізувати властивості прозорого середовища, що розсіює світло. Різновидом атмосферних лідарів є доплерівські лідари, що визначають напрямок і швидкість переміщення повітряних потоків в різних шарах атмосфери.

Усталений переклад LIDAR як «лазерний радар» не цілком коректний, тому що в системах ближнього радіуса дії (наприклад, призначених для роботи в приміщеннях), головні властивості лазера: когерентність, висока щільність і миттєва потужність випромінювання — не затребувані, випромінювачами світла в таких системах можуть служити звичайні світлодіоди. Однак, в основних сферах застосування технології (дослідження атмосфери, геодезія та картографія) з радіусами дії від сотень метрів до сотень кілометрів, застосування лазерів неминуче.[3] Приклад зйомки рельєфу за допомогою лідару Рисунок 1.1.

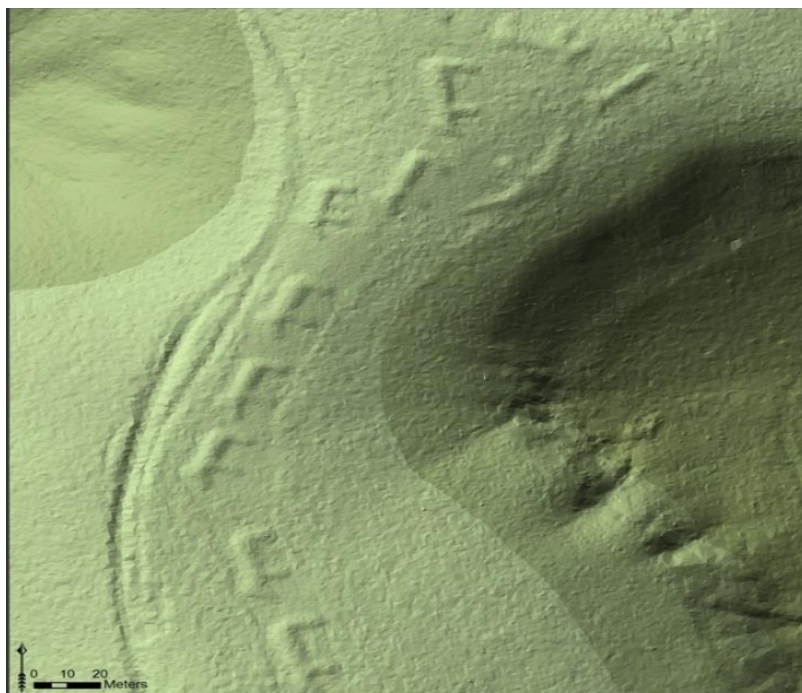


Рисунок 1.1 Зображення курганів у формі ведмедів, що крокують, отримане за допомогою лідару, Еффіджі-Маундз

Супутникове зондування:

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — спостереження поверхні Землі авіаційними і космічними засобами, спорядженими різноманітними видами знімальної апаратури.

На кінець 2012 року у світі нараховувалося понад два десятки космічних апаратів віддаленого зондування Землі, а в безпосередньому впровадженні програм супутникових спостережень, беруть участь 25 країн. Космічні апарати дистанційного зондування можуть використовуватись для цивільних завдань і для здійснення розвідки.

Космічні технології знімання земної поверхні дозволяють суттєво підвищити ефективність досліджень у різних галузях геології: геологічному зніманні та пошуку корисних копалин, неотектонічних дослідженнях, геоєкології тощо. Сучасні зображення космічних знімачів, мають роздільну здатність на місцевості від десятків кілометрів до десятків сантиметрів. Отримувати такі дані зараз набагато простіше, ніж кілька років тому. Кількість спектральних діапазонів, в яких може здійснюватися знімання з космічних апаратів, постійно зростає. Зараз існують знімальні системи, які здійснюють фільмування у 7, 20, 220 діапазонах.

Стрімке зростання науково-технічного космічно-знімального арсеналу, впровадження технологій гіперспектральних знімачів з високим рівнем розрізнення, вимагає відповідних технологій їхньої інтерпретації для потреб української геології.

Основою сучасних дистанційних досліджень є цифрова обробка, дешифрування та геологічна інтерпретація матеріалів космічних зйомок

(МКЗ) залежно від особливостей знімальної апаратури, ландшафтних та геологічних умов територій, що вивчаються [7]. Долина смерті знята із космосу та забарвлена за допомогою поляриметрії Рисунок 1.2

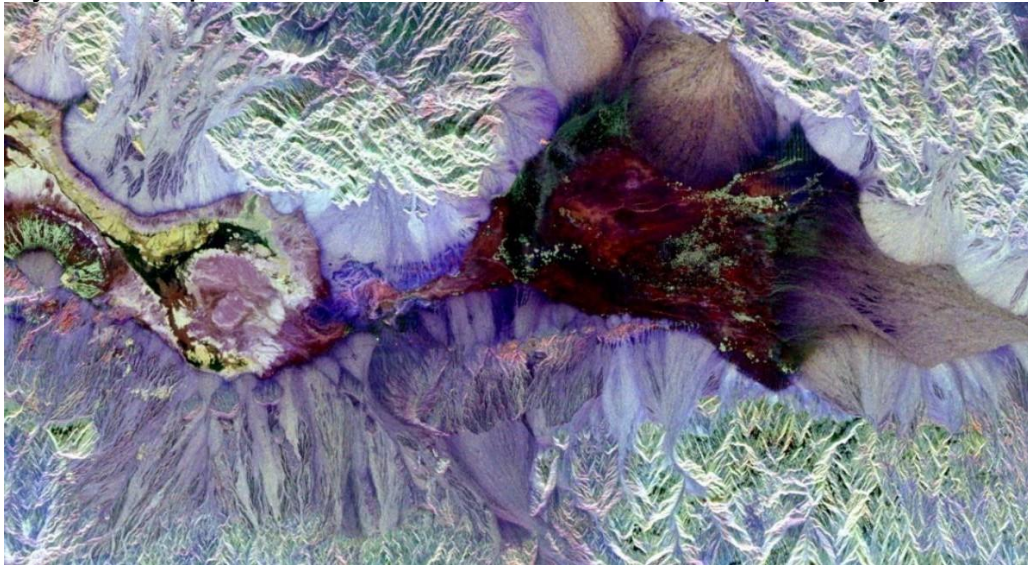


Рисунок 1.2 Долина смерті

Геоінформаційні системи (ГІС):

Геоінформаційна система (абр. ГІС) — сучасна комп'ютерна технологія, що дозволяє поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, космо-, аерозображень земної поверхні) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо). Також, під геоінформаційною системою розуміють систему управління просторовими даними та асоційованими з ними атрибутами. Конкретніше, це комп'ютерна система, що забезпечує можливість використання, збереження, редагування, аналізу та відображення географічних даних.

Геоінформаційні технології, ГІС-технології — технологічна основа створення географічних інформаційних систем, що дозволяють реалізувати їхні функціональні можливості.

ГІС — інформаційно-обчислювальна система, призначена для фіксації, збереження, модифікації, керування, аналізу і відображення усіх форм географічної інформації. ГІС використовується багатьма дослідниками в галузі вивчення проблем довкілля, для визначення різних показників на географічній сітці.

Застосування ГІС є ефективним в різноманітних предметних областях, де важливі знання про взаємне розташування та форму об'єктів у просторі. Сфери застосування ГІС:

Земельний кадастр і землекористування.

Сільське господарство.

Екологія і природокористування.

Геоурбаністика, містобудування, ландшафтна архітектура.

Транспорт і комунікації.

Керування регіонами і регіоналістика.

Соціологія і політологія.

Оперативне керування і планування за надзвичайних ситуацій.

Криміналістика. Широкого застосування ГІС зазнали у правоохоронних органах, які за допомогою кримінальної картографії візуалізують в зручному вигляді великі масиви даних щодо скоєних правопорушень для подальшого глибинного аналізу і пошуку шляхів попередження в майбутньому потенційних злочинів.

Демографія [8]. Приклад використання геоінформаційної системи
Рисунок 1.3.

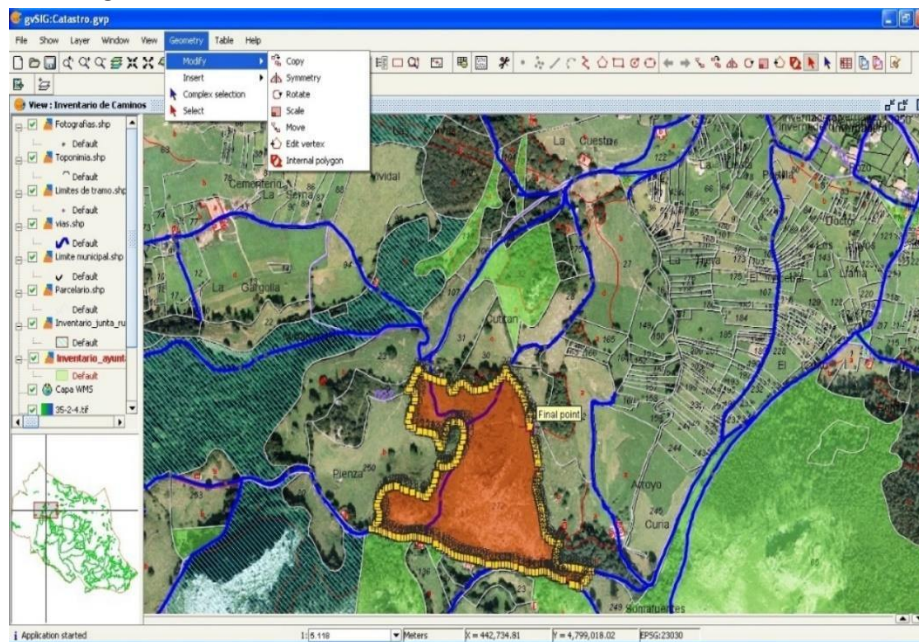


Рисунок 1.3 Карта земельних володінь

Інтерферометрія — це сімейство методів, у яких хвилі (як правило електромагнітні) використовують для, наприклад, контролю якості оптичних компонентів та систем.

Інтерферометрія використовує вимірювання інтерференції хвиль для визначення висот і змін рельєфу. Ці методи, як правило використовуються для вимірювання поля зміщення та форми предметів, але завдяки інформації, яку було отримано від польових вимірювань зміщень за допомогою чисельного диференціювання, легко визначити деформацію об'єкта.

Забезпечують можливість отримання знімків та відеоматеріалів з повітря, що дозволяє проводити швидку та доступну георозвідку в областях, які можуть бути важкодоступними для людини.[10]

Сейсмічна розвідка (рос. сейсмическая разведка, англ. seismic survey, seismic prospecting; нім. seismisches Prospektieren, Seismik) — сукупність геофізичних методів розвідки (дослідження земної кори), що базуються на збудженні і реєстрації сейсмічних хвиль різних типів з метою вивчення будови, речовинного складу і напруженого стану земних

надр. В основному при сейсмічній розвідці використовуються поздовжні хвилі, рідше — поперечні і обмінні хвилі. Найбільше поширення отримав метод відбитих хвиль [12].

Магнітотелуричні методи розвідки, магнітотелурична розвідка (рос. магнитотеллурические методы разведки (магнитотеллурическая разведка), англ. magnetotelluric methods of prospecting; нім. magnetotellurische Explorationsverfahren n pl, Tellurik f) — комплекс методів електричної розвідки, що базується на вивченні варіацій природного електромагнітного (магнітотелуричного) поля Землі, зумовлених різними явищами в йоносфері й магнітосфері планети.

Магнітотелуричні методи розвідки застосовуються в основному при пошуках і розвідці родовищ нафти і газу і глибинних дослідженнях земної кори і верхньої мантії, при пошуках і розвідці рудних родовищ і термальних вод. Переваги методу в порівнянні з іншими методами електророзвідки полягають у більшій глибинності, а також у відсутності штучних джерел поля, що робить ці методи більш мобільними, особливо у важкодоступних районах [16].

Ці методи часто використовуються в поєднанні для отримання комплексного набору геодезичних даних, які дозволяють отримати повний образ земельного простору та його особливостей.

1.4 Застосування дронів у геологічних дослідженнях

Значення георозвідки у виробництві не обмежується однією сферою застосування, найбільш поширені галузі застосування наведені нижче.

- Планування та проектування об'єктів

Георозвідка є ключовим етапом у точному плануванні та проектуванні інфраструктурних об'єктів. Вона надає необхідні геодезичні дані для оптимального розташування та геометричних параметрів будівель, доріг та інших об'єктів.

- Картографування та земельне управління

Георозвідка використовується для створення детальних карт та планів земельних ділянок, що допомагає управляти земельними ресурсами, виконувати кадастровий облік та вирішувати питання земельного управління.

- Архітектурне та інженерне проектування

Георозвідка надає необхідні геодезичні дані для проектування та будівництва будівель. Це дозволяє точно визначати координати та висоти для правильного розташування елементів споруд.

- Екологічні дослідження

Георозвідка використовується для проведення екологічних досліджень, оцінюючи вплив господарської діяльності на природне середовище та контролюючи використання земель.

- Геологічні та гірничі дослідження

У геологічних та гірничих роботах георозвідка визначає розташування корисних копалин та розробляє геологічні карти, що є важливим у виробництві.

- Аграрне господарювання

Георозвідка допомагає планувати сільськогосподарські ділянки, оптимізувати полив, визначати рельєф земель та інші аспекти аграрного виробництва.

- Надзвичайні ситуації та рятувальні операції

У випадках надзвичайних ситуацій георозвідка допомагає управляти рятувальними операціями, визначаючи потрібні шляхи евакуації та оцінюючи шкоду.

- Використання дронів у георозвідці

Застосування дронів у георозвідці дозволяє отримувати високоякісні аерофотознімки, виконувати лазерне сканування територій та точне мапування, що робить процес георозвідки більш ефективним та точним.

Дрони виявилися невід'ємним інструментом у геологічних дослідженнях, де їх використання дозволяє отримувати велику кількість даних точно та ефективно. Ось кілька прикладів застосування дронів у геологічних дослідженнях:

Аерофотозйомка. Дрони використовуються для виконання високоякісної аерофотозйомки з повітря, рисунок 1.5. Це дозволяє геологам отримувати детальні знімки місцевості, визначати структури гірських формацій, виявляти сліди мінералів та оцінювати загальний геологічний контекст.



Рисунок 1.5 Зйомка ландшафту з повітря.

Магнітні та радіолокаційні дослідження. Дрони можуть переносити спеціальні сенсори для вимірювання магнітного та радіоактивного випромінювання. Це дозволяє геологам виявляти магнітні та радіоактивні аномалії в гірських породах, що може бути пов'язано з наявністю корисних мінералів чи інших геологічних особливостей.

Визначення геологічних об'єктів. За допомогою дронів можна проводити детальне вивчення геологічних об'єктів, таких як кар'єри, гірські вершини чи глибокі водойми рисунок 1.6. Дрони дозволяють отримувати доступ до важкодоступних місць та збирати дані безпечно та швидко.



Рисунок 1.6 Накладення геологічних міток на ландшафтну зйомку.

Моніторинг змін в геологічних об'єктах. Дрони можуть регулярно відвідувати та фіксувати зміни в геологічних об'єктах, таких як схил гірської породи, річкові русла чи піщані дюни. Це дозволяє вченим вивчати динаміку змін та виявляти можливі загрози.

Виявлення потенційних рудних зон. Дрони з сенсорами, які виявляють хімічний склад ґрунту та вапнякових відкладів, можуть допомагати виявляти потенційні рудні зони та корисні мінерали рисунок 1.7.

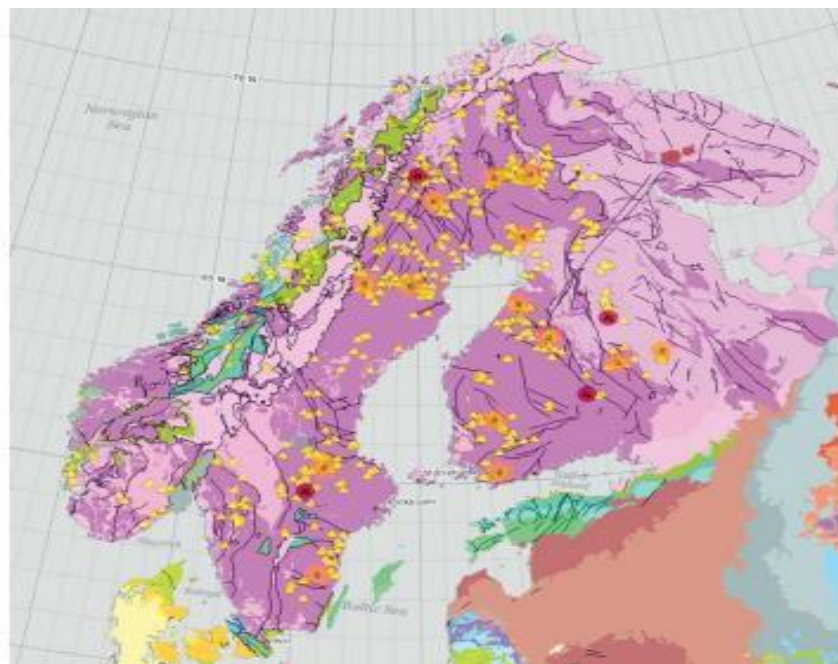


Рисунок 1.7. Прояви золота Феноскандії.

Екологічні Дослідження. Дрони використовуються для екологічного моніторингу геологічних об'єктів. Вони можуть допомагати виявляти ерозію, забруднення води та інші екологічні проблеми Рисунок 1.8.



Рисунок 1.8. Виявлення потенційно небезпечного впливу на навколишнє середовище при видобутку корисних копалин.

Загалом, використання дронів у геологічних дослідженнях дозволяє збирати дані більш швидко, ефективно та безпечно, сприяючи точнішому розумінню геологічних утворень та структур.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Класифікація дронів.

За розмірами

Безпілотні літальні апарати складно класифікувати, оскільки вони мають дуже різні характеристики. Ця різноманітність походить від великої кількості змін та компонентів БПЛА. Виробники поки що не обмежені жодними стандартами. В результаті сьогодні відсутні вимоги з боку авіаційних регуляторів щодо того, як БПЛА має бути оснащений.

Безпілотники нагадують вертоліт із 4 лопатями. Вони відрізняються габаритами, функціональністю, дальністю польотів, рівнем автономності та іншими характеристиками.

Умовно всі дрони можна поділити на 4 групи:

Мікро. Такі БПЛА важать менше 10 кг, максимальний час перебування у повітрі – 60 хвилин. Висота польоту – 1 км рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 Квадрокоптер KY905

Міні. Вага цих апаратів сягає 50 кг, час перебування у повітрі сягає 5 годин. Висота польоту варіюється від 3 до 5 км рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 Октокоптер DJI S1000 Plus

Міді. Безпілотні літальні апарати вагою до 1 тони розраховані на 15 годин польоту. Такі БПЛА піднімаються на висоту до 10 км рисунок 2.3.



Рисунок 2.3 вантажний дрон від DJI FlyCart 30

Важкі безпілотники. Їхня вага перевищує тону, розроблені апарати для далеких польотів тривалістю більше доби. Можуть рухатись на висоті 20 кілометрів рисунок 2.4.



Рисунок 2.4 Вантажний дрон Volocopter

За характеристиками – класифікація J'son & Partners Consulting

У конструкції безпілотного апарату є супутниковий навігатор та прогамований модуль. Якщо БПЛА використовується для отримання, збереження та передачі інформації на пульт оператора, в ньому додатково встановлюються картка пам'яті та передавач.

Конструкція та функціональність змінюються залежно від призначення апарата. Є моделі дронів, які вмюють приймати команди людини та реагувати на них. У таких пристроях встановлені спеціальні модулі-приймачі команд.

J'son & Partners Consulting класифікує дрони (БПЛА) за такими основними характеристиками:

- по дизайну/конфігурації;
- за типом зльоту;
- за цільовим призначенням;
- за технічними характеристиками;
- за типом живлення силової установки;
- по корисному навантаженню;
- за типом системи автоматизації;
- за системою запобігання зіткненням;
- за типом навігації;
- за типами захисту від глушіння сигналів;
- за пропускнуою спроможністю радіочастотного спектра;
- з бортової обробки даних;
- за спеціалізацією програмного забезпечення.

Також є класифікація інформаційної небезпеки

Помірний рівень небезпеки. До цього класу відносяться дрони, що продаються в будь-якому магазині електроніки. Вони не модифіковані: на них стоїть заводська прошивка, використовують звичайний, не посилений режим радіозв'язку. Найчастіше ці пристрої працюють на частоті 2,4 ГГц. У дронах цього типу є Remote ID — технологія, завдяки якій в радіоефірі публікуються серійний номер, а також координати розташування та точки зльоту безпілотної. Такі пристрої порівняно легко виявити, від них просто захиститись, а потенційний ризик невисокий.

Середній рівень небезпеки. Такі дрони також можна купити в магазинах побутової електроніки, але вони відрізняються програмно-модифікованим радіоканалом: це не один, а як мінімум два діапазони частот, можливість двоканальної роботи. Часто подібні дрони дозволяють відключити Remote ID - вони не публікують свої координати, не позначають, де знаходиться пілот.

Високий рівень небезпеки. У таких дронів більше двох діапазонів частот, вони можуть працювати у багатоканальному режимі. Найчастіше у них відключено систему Remote ID. Такі безпілотної можуть бути обладнані апаратно-посиленими передавачами зв'язку, що робить їх більш захищеними. Однак часто таку мету легше запеленгувати (зрозуміти, в якій галузі щодо системи виявлення знаходиться дрон), оскільки її випромінювання в ефірі сильніше ніж слабкий сигнал помірної типу.

Критичний рівень небезпеки. До цієї категорії насамперед відносяться дрони літакового типу, які летять без використання радіоканалу управління за заздалегідь запрограмованими координатами. Також до критичного рівня загрози відносяться FPV-дрони; дрони, керовані по мобільному зв'язку LTE; а також так звані «самосбори»[21].

Дрони або безпілотні літальні апарати (БЛА) стали невід'ємною частиною сучасної технології, знаходячи застосування в різних галузях від георозвідки до фото- та відеозйомки, транспортування та досліджень.

Важливою характеристикою є якість камери та наявність додаткових сенсорів, таких як GPS, акселерометр, гіроскоп, термальні та інші рисунк 2.5,2.6.



Рисунок 2.5 Квадрокоптер з лідаром



Рисунок 2.6 Гексокоптер з високоточною фотокамерою.

Можливості дронів:

- Фото- та відеозйомка: Дрони використовуються для отримання знімків та відеозапису з повітря. Вони можуть знімати високоякісні зображення та відео з різних кутів.

- Георозвідка: Дрони забезпечують можливість проведення аерофотозйомки для створення точних карт, вивчення топографії території та визначення екологічних параметрів.

- Транспортування: У деяких випадках дрони використовуються для транспортування легких вантажів на короткі відстані.

- Наукові дослідження: Дрони дозволяють здійснювати дослідження в труднодоступних місцях, вивчати природні явища та моніторити середовище.

Аналіз технічних характеристик та можливостей дронів свідчить про їхню значущість у різних галузях. Рознообразність розмірів та функцій дозволяє використовувати їх для різноманітних завдань, роблячи дрони потужним інструментом для вирішення різних завдань, починаючи від георозвідки та закінчуючи науковими дослідженнями та розвагами.

Використання дронів у георозвідці відкриває безліч можливостей для удосконалення розвідки в різних галузях. Технічні можливості дронів, їх переваги та застосування роблять їх важливим інструментом для отримання важливих даних та забезпечення безпеки під час георозвідки.

2.2 Дослідження можливостей дронів у георозвідці

Дрони в останні роки стали надзвичайно важливим інструментом для георозвідки. Вони забезпечують можливість отримати високоякісне зображення території з висоти, що дозволяє швидко і ефективно проводити розвідку різних об'єктів або територій. Дрони можуть бути використані для визначення інженерної структури території, виявлення прихованих об'єктів, контролю над природними ресурсами тощо. Використання дронів у георозвідці також дозволяє зменшити ризик для людей на військових або дослідницьких місцях. Таким чином, дрони відкривають безліч можливостей для удосконалення георозвідки в різних сферах, включаючи наукові дослідження, військові операції, екологічний моніторинг та інші цільові області.

Головною перевагою БПЛА по між інших способів аерофотозйомки є те, що вони маневрені, мобільні та несуть набагато менші фінансові витрати. Тож, припустимо, що для виконання зйомки відвалів потрібно пролетіти вздовж них. Якщо це буде виконувати екіпаж з літака то ця процедура може зайняти декілька днів, які підуть на погодження всіх дозволів та налаштування обладнання. Зйомку з дрона можливо виконати за декілька годин, при сприятливих погодних умов (без дощу, снігу, чи шквального вітру).

Цільові дрони оснащені високоякісними камерами з великою матрицею і центральним затвором на гідростабілізованій платформі, яка забезпечує стабільне положення камери незалежно від зовнішніх умов, що дозволяє отримувати деталізовані зображення об'єктів та територій з висоти. Такий підхід дозволяє ефективно проводити розвідку та отримувати важливі дані без необхідності великого обсягу людських

ресурсів. А в об'ємах кар'єру людський ресурс може вимірюватися в декілька десятків людей для виконання цих робіт.

Традиційні методи маркшейдерської зйомки та їх недоліки

Як зазначалося, маркшейдеринг займає важливе місце у виробничій діяльності гірничодобувних підприємств. Грамотна маркшейдерська служба – це одна з ключових складових успішної діяльності та відмінних результатів роботи компанії. Які основні завдання виконує маркшейдерська служба?

- виконує розробку креслень;
- будує переважно підземні споруди, тунелі, метрополітени;
- контролює процес будівництва;
- спостерігає за деформацією споруд;
- роздає вказівки щодо ремонту, якщо були виявлені

деформації.

Робота маркшейдерів дуже трудомістка та складна. Щоб успішно виконувати поставлені завдання, фахівцям потрібно досить дороге обладнання та спеціальні комп'ютерні програми. На фахівців – маркшейдерів покладається величезна відповідальність. Вони повинні дотримуватися всіх проектних параметрів систем розробки та видобутку корисних копалин, параметрів різних будівель та споруд у районі шахти, включаючи поверхню.

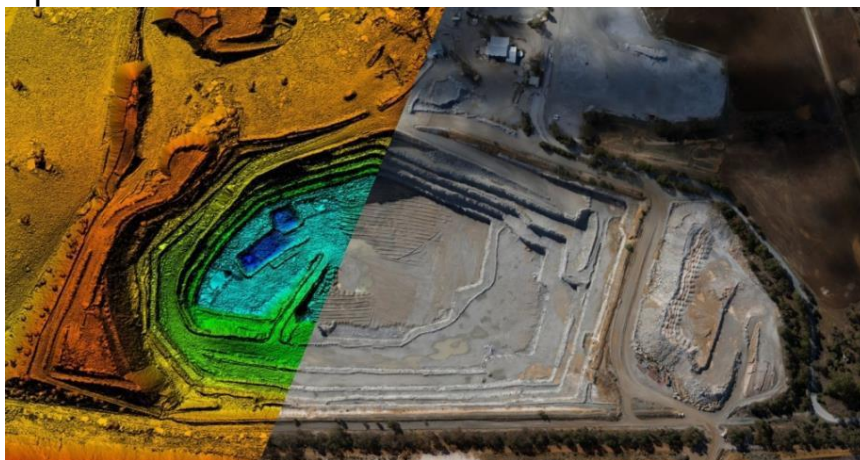


Рисунок 2.7 3D-модель родовища, створена за допомогою DJI Phantom 4 PRO RTK-PPK та високоточного геодезичного GNSS приймача

Потужні гірничодобувні підприємства стикаються зі зростаючими складнощами, якщо хочуть досягти високих показників виробництва. Просування забоїв має йти з високою швидкістю, межі відвального комплексу та хвостового господарства, а також рудні склади швидко змінюються. Нерідко на підприємстві одночасно діють від 2 та більше будівельних майданчиків.

Зрозуміло, що за таких умов здійснювати ефективне управління та контроль над такими специфічними об'єктами досить складно. Навіть за умови, що тахеометричну зйомку одного об'єкта гірничодобувного

комплексу виконують кілька висококваліфікованих фахівців, на якісне виконання цієї роботи буде потрібно пристойний період часу, як правило, близько тижня. Тому вже порівняно давно великі підприємства залучають пілотовану авіацію для виконання аерофотозйомки.

Використання БПЛА у маркшейдерській справі

Використання пілотованих літальних апаратів – процедура досить дорога і не завжди виправдана. Наприклад, якщо компанії потрібно виконувати регулярну або разову зйомку ділянки, площа якої не перевищує 10 кв. км, то для виконання багатьох операцій – від моніторингу до маркшейдерингу – є сенс залучати безпілотні літальні апарати та відповідні програмні модулі для обробки інформації. Наприклад, компанія DJI вже випускає кілька різних серій професійних портативних дронів та ПЗ для них. Практичний досвід застосування таких систем вже є успішним рисунок 2.8.

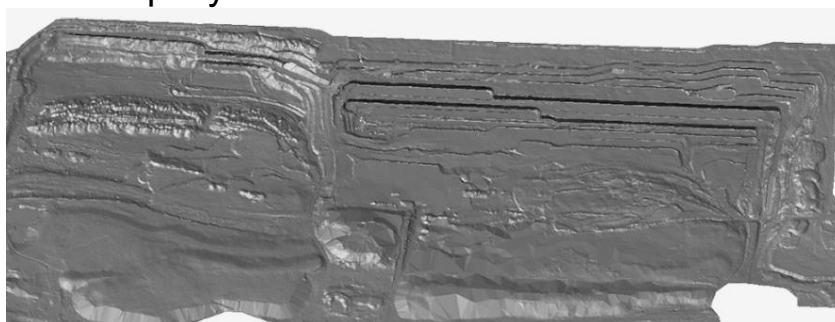


Рисунок 2.8 3D-модель вугільного розрізу, створена за допомогою безпілотників

Сьогодні багато великих гірничодобувних компаній дійшли висновку, що безпілотні системи можуть виступати ефективними та високоточними інструментами професійного рівня, які дозволяють отримувати весь необхідний обсяг деталізованої інформації. Якщо говорити саме про гірську справу, то тут безпілотники можуть застосовуватись за кількома напрямками:

- створення моделей рельєфу,
- розрахунок обсягів вироблення та складів,
- створення ортофотопланів,
- маркшейдерінг.

Якщо вам потрібна аерофотозйомка, то часто БПЛА виявляється набагато зручнішим і вигіднішим за традиційний пілотований апарат. Літак або гелікоптер будь-якого класу вимагає наявності аеродрому або спеціального майданчика для зльоту та приземлення.

Переваги легких безпілотників

Портативність та легкість розгортання. Компактні професійні безпілотники не потребують цього. Найчастіше вистачає зусиль одного пілота-оператора, щоби привезти на місце комплекс, розгорнути його і запустити в роботу. 1-2 особи можуть доставити на місце виконання

робіт і повернути назад сам літальний апарат, знімальну та навігаційну апаратуру, системи зв'язку та інше обладнання.

Можливість гнучкого використання апаратного та програмного забезпечення. Ви можете використовувати разом із безпілотниками як стандартне апаратне та програмне забезпечення, так і власні розробки. Останні можна інтегрувати через фірмовий сервіс DJI SDK до екосистеми виробника літальних апаратів та обладнання до них.

Оперативність та точність. На вашому боці також будуть оперативність під час збору, передачі та обробки даних, отриманих з безпілотника. Крім того, ці дані завжди відрізнятимуться високою точністю завдяки використанню компактних та потужних систем GNSS, що дозволяють створювати зображення з високою роздільною здатністю та точністю (аж до сантиметрового рівня). До того ж, на роботу безпілотника не впливають такі фактори, як хмарність та погане освітлення (апарати можна оснастити фірмовими системами освітлення та світловою індикацією). Дрон може (і часто так і робиться) літати на невеликій висоті, нижче за рівень хмарності, і виконувати зйомку об'єкта. До речі, низька висота - це також перевага БПЛА, що дозволяє йому створювати знімки високої точності з прив'язкою до координат конкретного об'єкта.

Не потрібно багато часу на підготовку оператора – пілота. Майбутній пілот може отримати навички керування коптером та бортовим обладнанням за дуже короткий час. Крім цього, навички пілотування можна відпрацьовувати у програмах – імітаторах польоту, що є на багатьох останніх версіях дронів DJI. Звичайно, не слід нехтувати навчанням, удосконаленням навичок та дотриманням усіх правил безпечного керування, проте наявність автоматизованих режимів керування дроном та камерою вже значно полегшує робочий процес. Крім того, високий рівень автоматизації та оптимальні технічні характеристики безпілотних систем дозволяють забезпечити високу продуктивність. Наприклад, протягом світлового дня оператор (або два оператори) під час аерофотозйомки можуть спокійно обробити до 70 і навіть більше квадратних кілометрів.[22]

Місце спектральних методів зйомки у геологорозвідці

Однією із проблем у сучасній економіці є порівняно швидке скорочення запасів природних ресурсів. Це спонукає фахівців розробляти найточніші та найнадійніші способи пошуку родовищ та оцінки запасів корисних копалин на конкретних територіях. При цьому ефективність методів геологічних досліджень вже обумовлена не тільки і не так результатами пошуку самих родовищ, скільки виявленням таких ресурсів, пошук і видобуток яких окуплять витрати на виконання всіх робіт.

Звідси розширюється використання традиційних і нових перспективних методів геологічних досліджень. При цьому на даний

момент у геологічних дослідженнях та геологорозвідці вже існує безліч методик, які з тим чи іншим ступенем успіху застосовуються фахівцями для вирішення поставлених завдань. Серед них:

Гравіметричний на дослідження погано вивчених регіонів. Він використовує надточні вимірювання тяжіння Землі виявлення глибини і форми залягання гірських порід.

- Сейсмічний. Використовує вимірювання коливань та часу їхнього пробігу від впливу сили. Це дозволяє одержати картину внутрішньої будови землі.

- Магнітний. Використовує спостереження за поведінкою геомагнітного поля для пошуку родовища.

Це далеко не все, тим більше що для пошуку корисних копалин можуть застосовувати специфічні методики відповідно до властивостей певного мінералу.

В останні роки фахівці стали все частіше використовувати для геологорозвідки безпілотники, обладнані модулями для спектральних та магнітних вимірів. Спектральну (мульти- і гіперспектральну) зйомку можна також застосовувати не тільки на етапі розвідки та розробки корисних копалин, але й використовувати дрони з такими камерами для моніторингу вироблених родовищ з метою майбутнього відновлення територій промислового вироблення та їх рекультивації, тобто для відновлення.



Рисунок 2.9 Квадрокоптер DJI Phantom 4 Multispectral

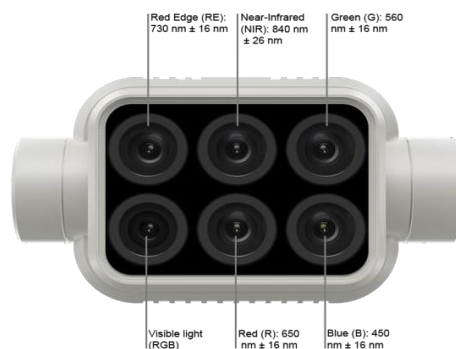


Рисунок 2.10 Мультиспектральна камера квадрокоптера DJI Phantom 4 Multispectral

Спектральна зйомка (яка також може виконуватися супутниками, що не завжди зручно і коштує великих витрат) не може виступати як така як єдиний метод. Її результати будуть набагато ціннішими і точнішими у поєднанні з іншими методами. Тобто спектральна зйомка ефективна при використанні комплексу методів (робіт). І це допомагає зрозуміти геологічну обстановку, особливо на початковому етапі пошуково-оцінних робіт.

Для отримання точних даних та зниження геологічного ризику комплекс досліджень може включати: спектральний аналіз, створення якісного та детального ортофотоплану (у тому числі із застосуванням LIDAR та зйомки з безпілотної), збір, об'єднання та аналіз усіх геолого-геофізичних даних історичного характеру та деякі інші методи.

Що дає застосування такого потужного комплексу методів? Дані, отримані зокрема за допомогою спектральних методів, дозволяють побудувати перші верстви ГІС-проекта. А на його основі вже можна робити висновки про те, чи потрібно вибракувати досліджувану ділянку або продовжувати дослідження, але наголосивши на основних виявлених аномаліях. Використання такого комплексу методів у поєднанні із застосуванням безпілотної значно скорочує вартість попередніх досліджень та забезпечує пристойний економічний ефект на наступних щаблях робіт.

Спектральна зйомка веде свою історію з 1970-х років. Тоді, як і багато інших інноваційних методів досліджень (особливо, якщо вони велися з супутників), спектральна зйомка переважно служила завданням військових. На першому етапі розвитку спектральних методів через особливості обладнання вони називалися мультиспектральними. Але збільшення спектральних каналів та удосконалення ПЗ дозволило задіяти і гіперспектральні камери.

Мультиспектральний

Гіперспектральний

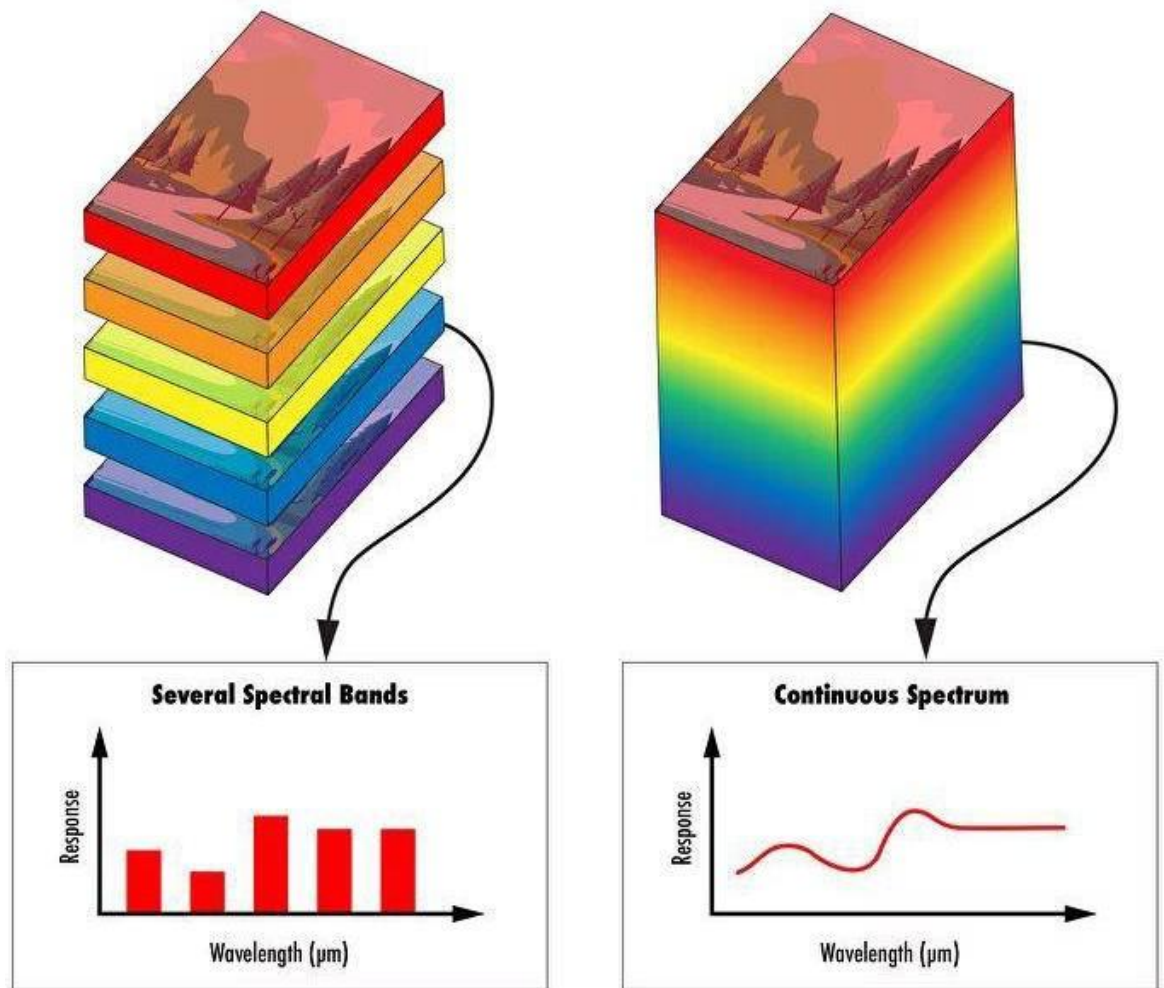


Рисунок 2.11 Порівняння параметрів мультиспектрального та гіперспектрального аналізу

Приклади застосування спектральних досліджень з БПЛА у комплексі геологорозвідувальних робіт

Хоча спектральна зйомка з безпілотників у геологорозвідці поки що застосовується не так часто, перші спроби використати цей метод у поєднанні з магнітними вимірами показали, що добрий результат виходить саме при комбінації цих двох методів.

Фахівці добре знають, яку роль грає магнітні виміри в розвідці корисних копалин. Особливо часто такі виміри цікаві у зв'язку з пошуками магнетиту та інших мінералів заліза, які часто використовують для картування та знаходження корисних копалин. Однак її іноді недостатньо. Або є можливість скористатися альтернативою у вигляді мультиспектральної (гіперспектральної) зйомки.

Допустимо, фахівці мають справу з областями, де гірські породи добре оголені. Тоді спектральна зйомка допомагає оцінити геологічні одиниці та мінеральні склади за спектральними характеристиками електромагнітного спектру у видимому та інфрачервоному діапазонах.

Бувають і інші обставини, коли використання дрона зі спектральними датчиками (та іншими, якщо це можливо і потрібно) буде набагато виправданішим рішенням, ніж інші.

Один із прикладів такого роду – дослідження та розвідка корисних копалин у базальтовій провінції Західної Гренландії. Цей район цікавий тим, що тут знаходяться магматичні сульфідні родовища, схожі на ті, що розробляються під Норильськом. Але, крім того, що Західна Гренландія – це досить суворий край, є й інші перешкоди для розвідки корисних копалин, а також їх розробки. Тут досить складний рельєф, а геологічні утворення частково погано оголені.

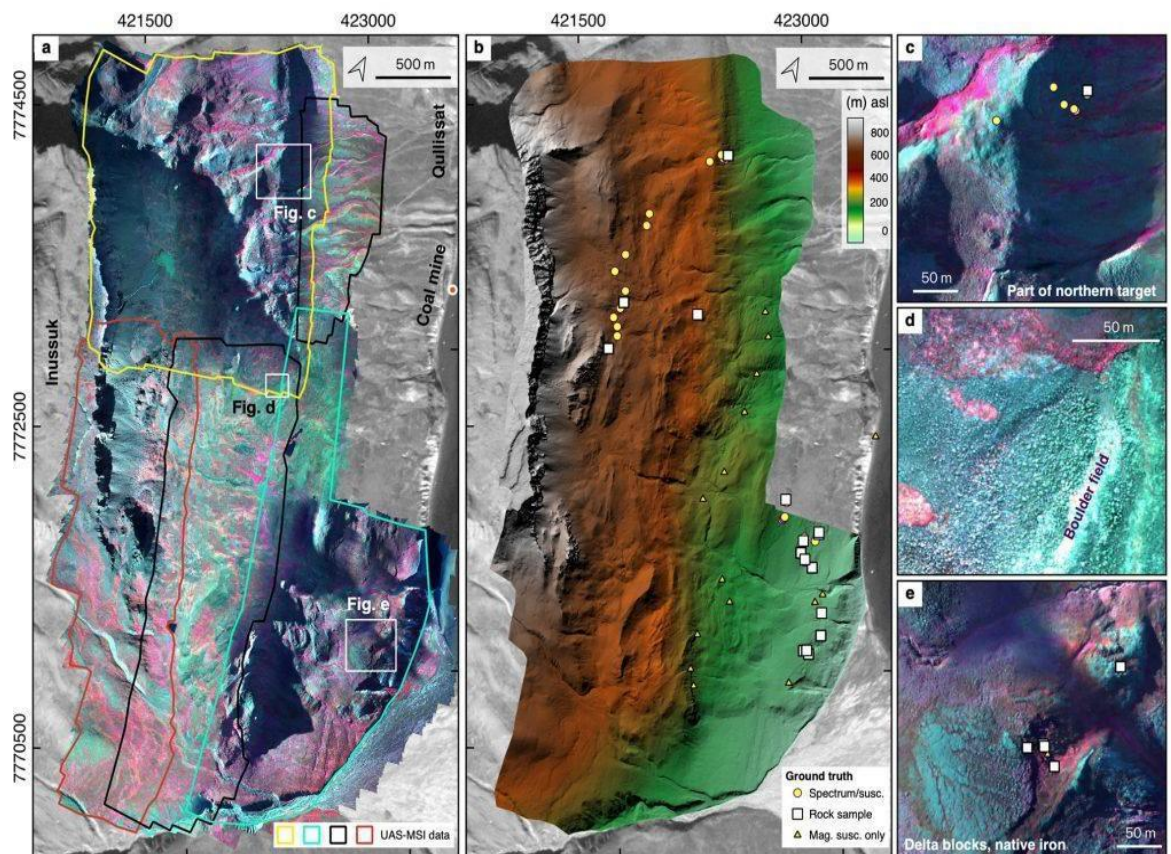


Рисунок 2.12 Карта магнітних аномалій у досліджуваних районах Західної Гренландії (зйомка з дрону)

У ході минулих розвідувальних робіт на півночі острова Дисків було виявлено рідкісні родовища самородного заліза та високий потенціал мінералізації нікелю, міді, кобальту, платини та золота. Однак у багатьох місцях на нижчих висотах четвертинні зсуви знищили оголення гірських порід. Щоб розширити геологорозвідувальні роботи в цих складних умовах, в районі Куліссату дослідники вирішили отримати дані магнітного та мультиспектрального дистанційного зондування з високою роздільною здатністю за допомогою дронів. На основі даних було створено докладну 3D-модель мінералізованої базальтової товщі.

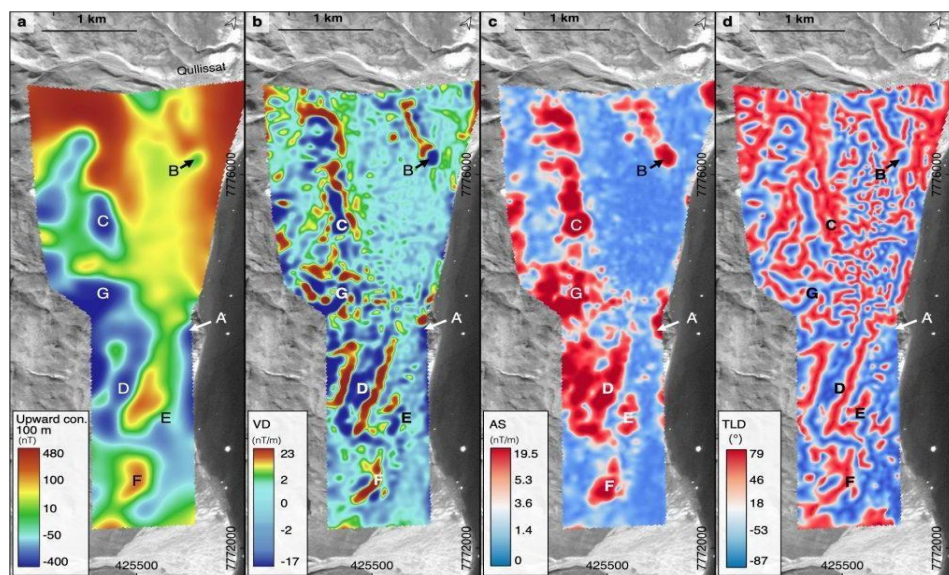


Рисунок 2.13 Початкові результати базового обстеження районів за допомогою дрону та мультиспектральної камери

Примітно, що для обробки мультиспектральних даних та створення цифрових моделей поверхні у вигляді растрових та тривимірних хмар точок, мультиспектральних ортофотопланів кожного району використовувалося російське програмне забезпечення Agisoft Metashape (версія 1.6 компанії Agisoft з Санкт-Петербурга) Всього було виконано 11 польотів у чотирьох субрайонах загальної 308 лінійних кілометрів. Лінії польоту були встановлені паралельно регіональному схилу з урахуванням місцевості та з перекриттям вперед та в сторони на 80% та 60% відповідно.

Спектральна зйомка з дрону – це відносно нове у сучасних технологіях геологічних досліджень та геологорозвідки. Бурхливий розвиток безпілотних систем після 2015 року та вдосконалення обладнання вже дозволяє суттєво знижувати витрати на проведення розвідки та більш точно прогнозувати перспективи родовищ. Це особливо важливо для російських компаній у умовах економічної діяльності.

З двох видів спектральної зйомки – мульти- та гіперспектральної – фахівці з цих питань віддають останнім часом саме гіперспектральним камерам. Вони дають повнішу інформацію. Однак застосування мультиспектральних камер повітряного базування (на безпілотниках), наприклад, на Mavic 3 Multispectral або Phantom 4 Multispectral від компанії DJI також дозволяє отримати цікаву інформацію. А якщо її комбінувати з даними інших датчиків (LiDAR, магнітними вимірюваннями тощо), то можна отримати ще більш різнобічну та повну інформацію про об'єкт, що вивчається, і знизити можливі ризики для майбутньої розробки[23].

Перевагами використання дронів для аерофотозйомок є швидкість роботи та можливість створення цифрових карт та планів регіонів з

обмеженим доступом чи невеликих за розміром територій, де економічно не обґрунтовано проводити детальне дослідження за допомогою супутникових зображень або звичайного аерофотозйомки з літака. Крім того, дрони ефективні для періодичної зйомки великих та протяжних об'єктів як трубопроводи, лінії електропередач, шляхи сполучення для моніторингу стану. Особливу цінність дрони представляють для зйомки територій, які важко зображати на аерокосмічних знімках через хмарність чи тіні, а також для роботи в зонах з надзвичайними ситуаціями, забезпечуючи безпеку людей [1].

2.3 Аналіз існуючого програмного забезпечення для керування дронами.

В сучасному світі існує безліч програмного забезпечення для управління дронами, яке охоплює різноманітні функції, від навігації та керування польотом до обробки та аналізу отриманих даних. проведемо аналіз існуючого програмного забезпечення для керування дронами, визначимо його основні характеристики та переваги, а також висвітлимо можливості подальшого розвитку.

Огляд основних функцій програмного забезпечення для керування дронами.

Однією з ключових функцій програмного забезпечення для дронів є керування польотом. Воно забезпечує можливість вказувати шлях та точки для автоматичного польоту, виконувати автопілотні завдання та управляти режимами польоту. Деякі програми дозволяють створювати 3D-моделі території та планувати оптимальний маршрут. З допомогою плати керування APM 2.6 рис 2.14, стає можливим керування дроном з більш швидким реагуванням від пульту.

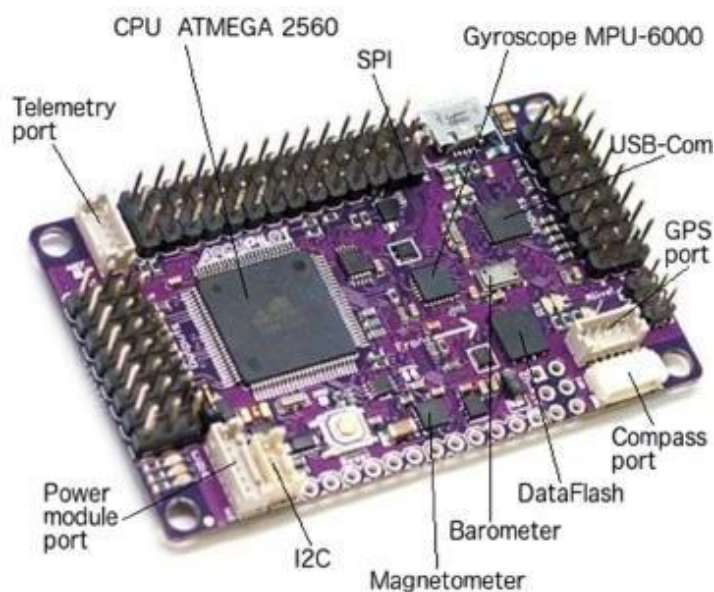


Рисунок 2.14 плати керування APM 2.6

За допомогою корегування коду управління дроном, стало можливим планування задач, що дає можливість ефективніше використовувати час дрона в повітрі Рисунок 2.15.

```

void loop()
{
  uint32_t timer = micros();
  static bool run_50hz_loop = false;
  uint16_t num_samples;
  num_samples = imu.num_samples_available();
  if (num_samples >= NUM_IMU_SAMPLES_FOR_100HZ) {
    Q_Dt = (float)(timer - fast_loopTimer) / 1000000.f;
    fast_loopTimer = timer;
    mainLoop_count++;
    // Execute the fast loop
    fast_loop();
    // run the 50hz loop 1/2 the time
    run_50hz_loop = !run_50hz_loop;
    if (run_50hz_loop) {
      #if DEBUG_MED_LOOP == ENABLED
        Log_Write_Data(50, (int32_t)(timer - fiftyhz_loopTimer));
      #endif
      // store the micros for the 50 Hz timer
      fiftyhz_loopTimer = timer;
      // port manipulation for external timing of main loops
      // reads all of the necessary trig functions for cameras, throttle, etc.
      update_trig();
      // Rotate the Nav_Icon and nav_lat vectors based on Yaw
      calc_loiter_pitch_roll();
      // check for new GPS messages
      update_GPS();
      // perform 10Hz tasks
      medium_loop();
      // Stuff to run at full 50Hz, but after the med_loops
      fifty_hz_loop();
      counter_one_hertz++;
      // trigger our 1 Hz loop
      if(counter_one_hertz >= 50) {
        super_slow_loop();
        counter_one_hertz = 0;
      }
    }
  }
}

```

```

/*
  scheduler table for fast CPUs - all regular tasks apart from the fast_loop()
  should be listed here, along with how often they should be called (in Hz)
  and the maximum time they are expected to take (in microseconds)
*/
const AP_Scheduler::Task Copter::scheduler_tasks[] = {
  SCHED_TASK(rc_loop, 100, 130),
  SCHED_TASK(throttle_loop, 50, 75),
  SCHED_TASK(update_gps, 50, 200),
  #if OPTFLOW == ENABLED
    SCHED_TASK(update_optical_flow, 200, 160),
  #endif
  SCHED_TASK(update_batt_compass, 10, 120),
  SCHED_TASK(read_aux_switches, 10, 50),
  SCHED_TASK(arm_motors_check, 10, 50),
  #if TOY_MODE_ENABLED == ENABLED
    SCHED_TASK_CLASS(ToyMode, &copter.g2.toy_mode, update
  #endif
  SCHED_TASK(auto_disarm_check, 10, 50),
  SCHED_TASK(auto_trim, 10, 75),
  #if RANGEFINDER_ENABLED == ENABLED
    SCHED_TASK(read_rangefinder, 20, 180),
  #endif
  #if PROXIMITY_ENABLED == ENABLED
    SCHED_TASK_CLASS(AP_Proximity, &copter.g2.proximity, update
  #endif
}

```

Рисунок 2.15 Розвиток коду головного контуру контролера польоту: від простих циклів із заданою частотою (ліворуч) до RT OS із завданнями планування (праворуч)

Також нижче наведено структурний код контролера польоту та його зв'язування з потоками та компортами в виді C-коду Рисунок 2.16, 2.17. [24]

```

system implementation ardupilot.i
subcomponents
  kernel      : processor poklib::pok kernel.demo_four_partitions;
  mem         : memory  ardupilot_platform::mem.i;
  prs_gps     : process  ardupilot_software::process_gps.i;
  prs_mgmt    : process  ardupilot_software::process_mgmt.i;
  prs_throttle : process  ardupilot_software::process_throttle.i;
  prs_yaw     : process  ardupilot_software::process_yaw.i;
connections
  c1: port prs_gps.altitude -> prs_mgmt.altitude;
  c2: port prs_gps.latitude -> prs_mgmt.latitude;
  c3: port prs_gps.longitude -> prs_mgmt.longitude;
  c4: port prs_mgmt.speed -> prs_throttle.speed;
  c5: port prs_mgmt.angle -> prs_yaw.angle;
properties
  Actual_Memory_Binding => (reference (mem.segment1)) applies to prs_gps;
  Actual_Memory_Binding => (reference (mem.segment2)) applies to prs_mgmt;
  Actual_Memory_Binding => (reference (mem.segment3)) applies to prs_throttle;
  Actual_Memory_Binding => (reference (mem.segment4)) applies to prs_yaw;

  Actual_Processor_Binding => (reference (kernel.partition1)) applies to prs_gps;
  Actual_Processor_Binding => (reference (kernel.partition2)) applies to prs_mgmt;
  Actual_Processor_Binding => (reference (kernel.partition3)) applies to prs_throttle;
  Actual_Processor_Binding => (reference (kernel.partition4)) applies to prs_yaw;

  POK::Additional_Features => (console, libc_stdio, libc_stdlib) applies to kernel.partition1;
  POK::Additional_Features => (libmath, console, libc_stdio, libc_stdlib) applies to kernel.partition2;
  POK::Additional_Features => (console, libc_stdio, libc_stdlib) applies to kernel.partition3;
  POK::Additional_Features => (console, libc_stdio, libc_stdlib) applies to kernel.partition4;
end ardupilot.i;

```

Рисунок 2.16 Вивчення структурного коду

```

process process_mgmt
features
  altitude : in data port poklib::integer;
  latitude  : in data port poklib::float;
  longitude : in data port poklib::float;
  speed     : out data port poklib::integer;
  angle     : out data port poklib::integer;
end process_mgmt;

process implementation process_mgmt.i
subcomponents
  thr : thread thr_mgmt.i;
connections
  p1: port altitude -> thr.altitude;
  p2: port latitude -> thr.latitude;
  p3: port longitude -> thr.longitude;
  p4: port thr.speed -> speed;
  p5: port thr.angle -> angle;
end process_mgmt.i;

thread thr_mgmt extends poklib::thr_periodic
features
  altitude : in data port poklib::integer;
  latitude  : in data port poklib::float;
  longitude : in data port poklib::float;
  speed     : out data port poklib::integer;
  angle     : out data port poklib::integer;
properties
  Initialize_Entrypoint => classifier (ardupilot_software::spgflt_mgmt_init);
end thr_mgmt;

thread implementation thr_mgmt.i
calls
  call1 : { pspg : subprogram spgflt_mgmt_simulation;};
connections
  c1: parameter altitude -> pspg.altitude;
  c2: parameter latitude -> pspg.latitude;
  c3: parameter longitude -> pspg.longitude;
  c4: parameter pspg.speed -> speed;
  c5: parameter pspg.angle -> angle;
end thr_mgmt.i;

subprogram spgflt_mgmt_simulation extends poklib::spg_c
features
  altitude : in parameter poklib::integer;
  latitude  : in parameter poklib::float;
  longitude : in parameter poklib::float;
  speed     : out parameter poklib::integer;
  angle     : out parameter poklib::integer;
properties
  Source_Name => "flt_mgmt_simulation";
  Source_Text => ("../../../../flt_mgmt.o");
end spgflt_mgmt_simulation;

subprogram spgflt_mgmt_init extends poklib::spg_c
properties
  Source_Name => "flt_mgmt_init";
  Source_Text => ("../../../../flt_mgmt.o");
end spgflt_mgmt_init;

```

Рисунок 2.17 Зв'язування процесу зі змінними портами з потоком і скомпільованим С-кодом.

Отже, при наявності достатнього досвіду в роботі з програмним забезпеченням, стає можливим покращення роботи дрону.

Інтерфейс та зручність використання

Ефективність програмного забезпечення також залежить від його інтерфейсу та зручності використання. Добре розроблені програми мають інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє користувачеві легко налаштовувати параметри польоту, переглядати живлення з камери та контролювати інші аспекти дрона рисунок 2.18.

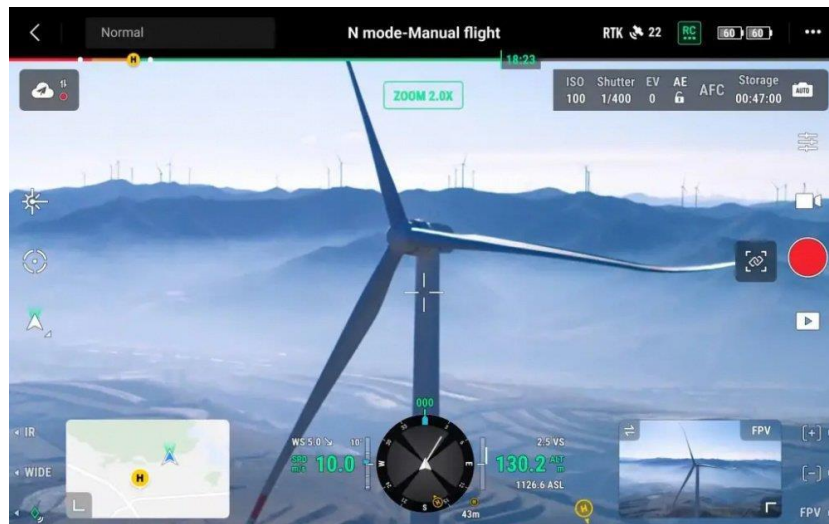


Рисунок 2.18 інтерфейс керування дроном (симуляція)

Відкритість та розширюваність

Спільнота користувачів і розробників може впливати на розвиток програмного забезпечення для дронів. Відкритість програми та наявність API (інтерфейсу програмування додатків) сприяє розширюваності та можливості внесення змін користувачами, що робить програму більш гнучкою та адаптованою до різних потреб.

Безпека та надійність

Особливу увагу слід приділити аспектам безпеки та надійності програмного забезпечення. Воно повинно забезпечувати захист від несанкціонованого доступу, стійкість до вірусів та забезпечувати безпечний політ дрона.

Перспективи розвитку програмного забезпечення для дронів

З ростом функціональності та збільшенням складності завдань, які виконують дрони, можна очікувати подальшого розвитку програмного забезпечення. Заходи з покращення безпеки, впровадження штучного інтелекту для покращення навігації та розширення можливостей аналізу даних – це лише деякі напрямки подальшого розвитку.

Аналіз існуючого програмного забезпечення для керування дронами показує, що ця галузь розвивається швидкими темпами. Важливо забезпечити високий рівень функціональності, зручності використання та безпеки, щоб забезпечити успішне використання дронів у різних галузях, таких як георозвідка, транспортування та інші. Розвиток програмного забезпечення є ключовим чинником для максимізації потенціалу цієї технології.

2.3.1 Моделювання керування

Тож розглянемо метод управління дроном та змоделюємо його. Акцент в цьому методі, був зроблений на контроль висоти польоту, так як контроль висоти є першочерговим завданням в управлінні

безпілотним літальним апаратом. Модель (1) описує диференціальні рівняння системи.

$$\begin{aligned} I_{xx}\ddot{\varphi} &= \theta\dot{\psi}(I_{yy} - I_{zz}) - J\theta\Omega_r + \tau_x \\ \{I_{yy}\dot{\theta} &= \dot{\varphi}\dot{\psi}(I_{zz} - I_{xx}) - J\dot{\varphi}\Omega_r + \tau_y \\ I_{zz}\dot{\psi} &= \dot{\varphi}\theta(I_{xx} - I_{yy}) + \tau_z \end{aligned} \quad (1)$$

де Ω_r - залишкова кутова швидкість пропелера.

Рекомендується спрощувати модель системи управління з метою відповідності обмеженням у реальному часі, що пред'являються до контуру вбудованої системи (2). Отже, можемо знехтувати моментом обертання і силою, що діє на гвинт, а коефіцієнти тяги і лобового опору приймемо постійними. Система може бути переписана у формі простору стану $X = f(X, U)$, де U вектор вхідних сигналів і X вектор стану який задається наступним чином:

Вектор стану

$$X = [\varphi \dot{\varphi} \theta \dot{\theta} \psi \dot{\psi} z \dot{z} x \dot{x} y \dot{y}]^T \quad (3)$$

$$U = [U_1 U_2 U_3 U_4]^T \quad (4)$$

Де вхідні сигнали мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} U_1 &= b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ U_2 &= b(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ U_3 &= b(\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \\ U_4 &= d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \end{aligned} \quad (5)$$

Матриця переходу між швидкістю зміни кутів орієнтації (φ, ψ, θ) і зміною кутових швидкостей тіла (p, q, r) можна розглядати як одиничну матрицю, якщо обурення від висіння. З (1), (3) і (4) висловимо після спрощення.

$$\begin{aligned} f(X, U) &= \begin{pmatrix} \dot{\varphi} \\ \theta\dot{\psi}a_1 + \theta a_z \Omega_r + b_1 U_z \\ \dot{\theta} \\ \dot{\varphi}\dot{\psi}a_3 + \dot{\varphi} a_4 \Omega_r + b_2 U_3 \\ \dot{\psi} \\ \theta\dot{\varphi}a_5 + b_3 U_4 \\ \dot{z} \\ g - (\sin \varphi \cos \theta) \frac{1}{m} U_1 \\ \dot{x} \\ u_x \frac{1}{m} U_1 \\ \dot{y} \\ u_y \frac{1}{m} U_1 \end{pmatrix} \quad (2) \\ a_1 &= (I_{yy} - I_{zz})/I_{xx} \\ a_2 &= J_r/I_{xx} \quad b_1 = l/I_{xx} \\ a_3 &= (I_{zz} - I_{xx})/I_{yy} \quad b_2 = l/I_{yy} \\ a_4 &= (J_r/I_{yy} \quad | \quad b_3 = 1/I_{zz} \\ a_5 &= (I_{xx} - I_{yy})/I_{zz} \end{aligned} \quad (6)$$

$$u_x = (\cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \varphi \cos \psi) \quad (7)$$

$$u_y = (\cos \varphi \sin \theta \cos \psi - \sin \varphi \cos \psi)$$

$$\omega_m = -A\omega_m + Bu + C \quad (8)$$

Варто відзначити, що кути та їх тимчасові виробничі не залежать від перетворюючих компонентів. З іншого боку, перехідна система залежить від кутів. Наступний рисунок може ідеально описати повну систему, як взаємодію двох підсистем, підсистему кутового обертання та підсистему лінійного переміщення рисунок 2.19.

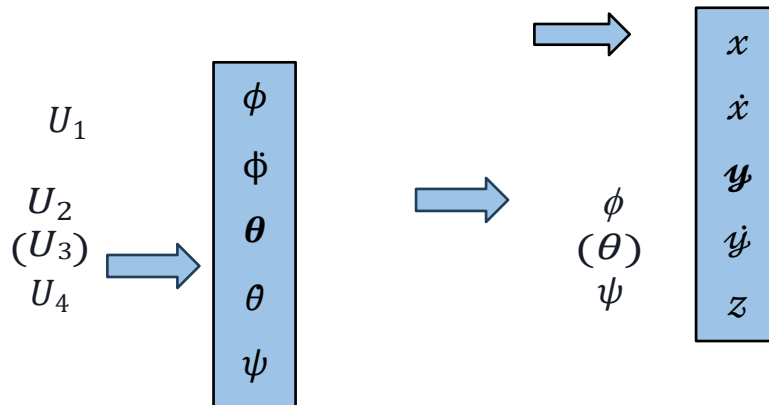


Рисунок 2.19 - З'єднання підсистеми кутів повороту і лінійного переміщення.

2.3.2 Управління з використанням ПІД-регулятора

ПІД – регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор) був винайдений ще в 1910 році; Пізніше, в 1942 р., Зіглер і Нікольс розробили методику настроювання ПІД - регулятора, а появи мікропроцесорів в 80-х роках, сприяло розвитку ПІД - регулятор. ПІД - регулятор відноситься до найпоширенішого типу регуляторів. Близько 90-95% регуляторів, що знаходяться в даний час в експлуатації, ґрунтуються на ПІД алгоритмі. Причиною стільки високої популярності є простота будівництва та промислового застосування, зрозумілість функціонування, придатність для вирішення більшості практичних завдань і низька вартість.

Динамічна модель, представлена в (1) містить два гіроскопічні ефекти. Вплив цих ефектів, загалом, на систему в нашому випадку менш важливе, ніж обертальні властивості двигуна. Особливо якщо фокусувати увагу на режимі зависання безпілотної літальної апарату на певній висоті. Для того, щоб зробити можливим створення кількох ПІД - регуляторів для досліджуваної системи, можна знехтувати цими гіроскопічними ефектами і тим самим усунути перехресний зв'язок в системі управління. Таким чином, модель (1) можна переписати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 l_{xx}\ddot{\varphi} &= lU_2 \\
 \{l_{yy}\theta &= lU_3 \\
 l_{zz}\ddot{\psi} &= lU_4
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Якщо в (9) додати, динаміку роторів і переписати модель в Лапласовом образі, то отримаємо:

$$\begin{aligned}
 \varphi(s) &= \frac{B^2bl}{s^2(s+A)^2l_{xx}} (u_4^2(s) - u_2^2(s)) \\
 \theta(s) &= \frac{B^2bl}{s^2(s+A)^2l_{yy}} (u_3^2(s) - u_1^2(s)) \\
 \psi(s) &= \frac{B^2d}{s^2(s+A)^2l_{zz}} (-1)^{i+1} \sum_{i=1}^4 u_i^2(s)
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Де А і У це коефіцієнти лінеаризованої за допомогою ряду Тейлора динаміки ротора, як описано в (8), тоді як коефіцієнт С, занадто малий в порівнянні з В, і їм можна знехтувати. Використовуючи керуючі впливу замість вхідних сигналів моторів, (10) отримуємо:

$$\begin{aligned}
 \varphi(s) &= \frac{B^2bl}{s^2(s+A)^2l_{xx}} U_2 \\
 \theta(s) &= \frac{B^2bl}{s^2(s+A)^2l_{yy}} U_3 \\
 \psi(s) &= \frac{B^2d}{s^2(s+A)^2l_{zz}} U_4
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

2.4 Вимоги до дрону для георозвідки

Георозвідка вимагає високоточних та ефективних засобів для отримання точних географічних даних. Для досягнення успішних результатів у цій галузі, дрон повинен відповідати конкретним вимогам. Нижче наведено ключові технічні та функціональні вимоги до дронів для георозвідки:

- Геодезична точність, GPS та інерціальна навігація:

Дрон повинен бути оснащений високоточною системою GPS та інерціальною навігацією для отримання точних координат та визначення орієнтації в просторі.

- Високоякісна камера:

Для георозвідки важлива висока роздільна здатність камери для отримання деталізованих зображень з великою кількістю пікселів на квадратний сантиметр. Стандартом прийнято брати 5 сантиметрів на 1 піксель.

- Автономність та дальність польоту:

Дрон повинен мати достатній час польоту для покриття великих площ географічного об'єкта без необхідності повторного заряджання.

- Можливість виносу додаткового обладнання:

Здатність переносити різноманітні сенсори, такі як термальні камери, газоаналізатори, лазерні дальноміри, є важливою для розширення функціональності дрона.

- Стійкість до атмосферних впливів:

Дрон повинен бути стійким до впливу погодних умов, таких як вітер, який в кар'єрі може досягати 30-35 м/с, дощ, сніг, щоб забезпечити безперервну роботу в різних кліматичних умовах.

- Засоби передавання даних:

Наявність надійних систем телеметрії та зв'язку для безперервного контролю та передачі даних між дроном та оператором. Для цього може бути використана як переносна станція так і стаціонарна.

- Забезпечення безпеки та конфіденційності:

Наявність систем уникнення зіткнень, системи аварійного приземлення та захисту від несанкціонованого доступу для забезпечення безпеки та конфіденційності.

- Програмне забезпечення для маршрутизації:

Наявність програмного забезпечення, яке дозволяє автоматично планувати оптимальні маршрути для георозвідки та враховує особливості об'єкта.

- Спрощена інтеграція та налаштування:

Інструменти для швидкої інтеграції та простоти використання дрона без необхідності високих технічних навичок.

Вимоги до дронів для георозвідки визначаються потребами у точних та високоточних географічних даних. Основні характеристики повинні враховувати високу якість зображень, довгий час польоту, стійкість до різних погодних умов та можливість роботи з різноманітним обладнанням. Такі вимоги дозволяють забезпечити ефективність та надійність дрона у георозвідкових завданнях.

2.5 Конструкція та вибір дрону для георозвідки на кар'єрах

Головними характеристиками дрону для його успішного використання в роботі на кар'єрі:

- Конфігурація корпусу стандартна мультикоптерна на 4 чи більше двигунів, більша кількість двигунів дає стабільність, опір вітру та вантажопідйомність при роботі у кар'єрі.

Матеріал корпусу та рама повинен бути легким, але міцним, наприклад, з алюмінію або вуглецевого волокна, щоб забезпечити маневреність та витривалість дрона. Що в свою чергу може стати в нагоді при непередбачуваних ситуаціях, де дрон може отримати пошкодження через падіння чи зіткнення з об'єктами.

Двигуни та силова установка дрона повинні відповідати вимогам роботи у кар'єрі. При виконанні робіт дроном в безпосередній близькості до бортів кар'єру на дрон буде діяти додаткова сила висходячих потоків, які можуть набирати силу до 35 метрів на секунду. Тож стандартний гексакоптер з роторними двигунами та АКБ на 15-25 кВт/год протримається в повітрі не більше 20 хвилин. Для таких робіт потрібен дрон з гібридною силовою установкою, яка завдяки бензиново-електричному вузлу живлення зможе втримати дрон в повітрі до 3 годин.

Навісне обладнання таке як камери, сенсори, вбудовані GPS, альтиметри, далекоміри, гіроскопи та сканери перешкод також невід'ємна частина сучасного дрона.

Вибір дрону для георозвідки на кар'єрах вимагає ретельного розгляду технічних характеристик, адаптованих до конкретних завдань та умов експлуатації. Необхідно також враховувати фактори, такі як технічна підтримка, наявність апаратного та програмного забезпечення, а також вартість експлуатації та обслуговування.

2.6 Дослідження комплексу факторів, що впливають на похибку реалізації зйомки гірничих об'єктів. Стійкість та керованість

Гірнича промисловість вимагає високоточної геодезичної зйомки для ефективного управління та планування. Однак низька похибка вимірювань є ключовим завданням при зйомці гірничих об'єктів. У цьому дослідженні розглядається комплекс факторів, які можуть впливати на похибку реалізації зйомки гірничих об'єктів.

1. Технічні фактори

1.1. Точність геодезичних інструментів:

Різні геодезичні інструменти мають різну точність. Важливо вибрати інструмент, який відповідає вимогам гірничого зйомку.

1.2. Калібрування та перевірка інструментів:

Часте калібрування та перевірка інструментів допомагають уникнути похибок, пов'язаних із зносом або неправильною калібруванням.

2. Екологічні фактори

2.1. Погодні умови:

Атмосферні явища, такі як туман, дощ або сильний вітер, можуть впливати на якість зйомки.

2.2. Сезонні зміни:

Різні сезони можуть впливати на видимість та доступність території для зйомки.

3. Територіальні фактори

3.1. Ландшафт та рельєф:

Рельєф має великий вплив на точність зйомки, особливо в гірських регіонах.

3.2. Доступність точок контролю:

Важливо визначити оптимальне розташування контрольних точок для забезпечення високої точності вимірювань.

4. Організаційні фактори

4.1. Кваліфікація геодезистів:

Кваліфікація геодезистів і їхні навички можуть суттєво впливати на точність вимірювань.

4.2. Планування та координація робіт:

Важливо ефективно планувати та координувати роботу команди для забезпечення системної та точної зйомки.

5. Технологічні фактори

5.1. Використання дронів та сучасних технологій:

Впровадження дронів та сучасних технологій може покращити точність та ефективність зйомки.

Ефективність геодезичної зйомки гірничих об'єктів залежить від багатьох факторів. Комплексне вивчення технічних, екологічних, територіальних, організаційних та технологічних аспектів є важливим для забезпечення високої точності та надійності вимірювань. Інтеграція нових технологій, таких як дрони, може покращити якість зйомки та зробити процес більш ефективним.

2.6.1 Стійкість та керованість

Під статичною стійкістю руху розуміється тенденція до відновлення вихідного (рівноважного) руху при його порушенні стороннім впливом. Зазвичай прийнято розглядати цю властивість щодо тих чи інших властивостей руху. У поздовжньому русі найбільший інтерес представляє статична стійкість по перевантаженню та швидкості польоту (зі збереженням постійної швидкості). Наявність тенденції повертатися до вихідного рівноважного значення параметра руху звичайно ще не означає безумовне його відновлення. Однак статична стійкість є необхідною, хоча і недостатньою умовою динамічної стійкості.

Стійкість по перевантаженню

Під вихідним рівноважним поздовжнім рухом дрону розуміють такий його політ, при якому сума моментів усіх сил, що діють на дрон, що дорівнює нулю, тобто $m_z=0$. Нехай дрон, що рухається з постійною швидкістю горизонтально, увійшов у вертикальний висхідний потік повітря, що рухається зі швидкістю W_y . Очевидно, що в цьому випадку дрон отримає збільшення кута зустрічі $\Delta\alpha = \frac{W_y}{V}$, а це призведе до порушення рівноваги сил та моментів, з'явиться невірноважена сила $\Delta Y(\alpha)$ з точкою програми у фокусі дрона.

Залежно від взаємного розташування фокусу та центру тяжіння приріст кута зустрічі викличе появу моментів: пікіруючого (фокусу за центром тяжіння), що кабріює (фокус перед центром тяжіння) і нульового

(фокус та центр тяжіння збігаються). Для того щоб дрон володів тенденцією до відновлення вихідного кута атаки (цей кут атаки називається балансувальним), необхідно

при позитивному збільшенні $\Delta\alpha$ виникнення негативного поздовжнього моменту (моменту пікірування) та навпаки. Отже, тенденцією до відновлення вихідного кута зустрічі,

тобто статичною стійкістю по куту зустрічі, має той дрон, у котрого фокус розташовується за центром ваги. Вказана умова наявності статичної стійкості по куту атаки (критерій статичної стійкості) може бути записано у вигляді

$$\left. \frac{\partial m_z}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha_\sigma} = m_z \left. \frac{\partial \alpha}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha_\sigma} < 0 \text{ або } x_T - x_F < 0. \quad (12)$$

Оскільки зміна кута атаки за постійної швидкості призводить до зміни нормального навантаження на величину

$\Delta n_y = \frac{\Delta Y(\alpha)}{G}$, пропорціональну куту $\Delta\alpha$, то статична стійкість по куту зустрічі рівноцінна статичній стійкості перевантаження.

Стійкість літального апарату за швидкістю

Тенденція дрону до збереження постійної швидкості руху без втручання пілота або будь-якої системи управління називається статиною стійкістю дрона за швидкістю. Зміна швидкості польоту ΔV , обумовлене зовнішніми випадковими обурюючими факторами, викликає порушення рівноваги сил і моментів. Очевидно, що дрона буде статично стійким за швидкістю, якщо збільшення сил і моментів спрямовані відновлення початкової швидкості польоту.

Нехай статично стійкий до перевантаження дрон, увійшов у смугу зустрічного вітру, що рухається зі швидкістю W_x , внаслідок чого його повітряна швидкість дорівнювала $V + W_x$. Оскільки дрон одразу не може знизити свою швидкість до вихідної, оскільки зі збільшенням швидкості збільшується як підйомна сила дрону, так і його опір

$$Y = \frac{1}{2} C_y \rho (V + \Delta V)^2 S; X = \frac{1}{2} C_x \rho (V + \Delta V)^2 S \quad (13)$$

Поняття про поздовжню статичну керованість.

Установленим рухом дрона називається такий рух, при якому кінематичні параметри ($\alpha, \beta, \gamma, \Psi, \vartheta, \omega_x, \omega_y, \omega_z$) залишаються незмінними з часом. Взагалі кажучи, поняття встановленого руху дрона є умовним, так як при прямолінійному польоті дрона із постійною швидкістю зміна маси дрона за рахунок витрати палива змінює кут зустрічі. Однак якщо розглядати рух за короткий проміжок часу, то можна з деякими припущеннями вважати рух сталим. Для руху, що встановився характерна рівновага моментів сил, які діють на дрон. Такому рухові відповідає певне поєднання значень параметрів V, α, ω_z та певне положення органів управління. Рух дрона при рівновазі моментів діючих

сил називається балансувальним. Відповідно до цього режими такого польоту також називаються балансувальними. При подовжньому русі дрона, що встановився $\alpha = \delta = 0$. Отже, умовою поздовжнього балансування є рівність.

$$m_z = m_{z_0} + m_z^\alpha \alpha + m_z^{\delta B} \delta + m_z^{\omega z} \omega_z = 0 \quad (14)$$

Поняття про шляхову статичну стійкість

Виникнення кута ковзання β викликає появу на дроні моменту $M_{y\beta} = Z_{\beta x\beta}$. Очевидно, що цей момент розвертає дрон у бік зменшення кута ковзання, отже, дрон має тенденцію до відновлення режиму польоту без кута ковзання. Критерієм шляхової статичної стійкості вважатимуться похідна m_y^β :

$m_y^\beta < 0$ - дрон володіє шляховою статичною стійкістю;

$m_y^\beta = 0$ - дрон володіє нейтральною стійкістю;

$m_y^\beta > 0$ - дрон не має дорожньої статичної стійкості.

Шляхова стійкість дрону забезпечується, в основному, вертикальним оперенням. дрон без вертикального оперення, як правило, не має шляхову стійкість. Тому зі зростанням кута зустрічі зменшується і шляхова стійкість дрону, так що при досить великому значенні кута зустрічі дрон взагалі може втратити шляхову стійкість.

Стійкість дрону надається гіроскопами, що дозволяє йому стабільно утримуватися в повітрі та уникати непередбачуваних рухів. Акселерометрами, які вимірюють прискорення і взаємодіють з гіроскопами для забезпечення точного визначення положення дрона. Інерціальною навігацією яка використовує інформацію від інерціальних датчиків (гіроскопів, акселерометрів) та магнітоскопів для точного визначення руху дрона. Глобальними навігаційними системами, що використовують GPS та GLONASS для визначення свого місцезнаходження та утримання на визначеній траєкторії. Барометричними та ультразвуковими датчиками, які дозволяють визначати висоту дрона над поверхнею, що важливо для стійкості під час польоту на різних висотах.

Керованість дрону визначається через швидкість реакції на команди при керуванні за допомогою радіофіксованого пульта або мобільного додатку, що дає швидку та точну реакцію на команди оператора та дозволяє ефективно керувати дроном. Автономність та програмування польоту за допомогою функції GPS-Based Waypoints [17], яка надає можливість програмування маршрутів та автономність польоту на основі GPS координат та значно, розширює можливості з точки зору точності дрона. Також для ефективного керування дроном необхідні система виявлення та уникнення перешкод, яка є найважливішою частиною, для забезпечення безпечного польоту та уникнення зіткнень з перешкодами. Забезпечення точного позиціонування та керування,

особливо в умовах обмеженої GPS сигналізації завдяки гібридним системам керування, яка комбінує в собі GPS та відомі точки.

Для покращення стійкості та керованості дрону в останній час стали використовувати штучний інтелект який допомагає в машинному навчанні. Використання алгоритмів розпізнавання образів, дозволяє дрону більш ефективно реагувати на навколишнє середовище та уникати непередбачуваних ситуацій. Система комп'ютерного зору дозволяє дронам розпізнавати об'єкти та забезпечувати точну локалізацію навіть у зоні обмеженої сигналізації GPS.

Голосове керування та звукові сигнали, забезпечують додаткові засоби взаємодії з оператором та покращують контроль над дроном.

Стійкість та керованість дрону визначають його здатність виконувати завдання точно та ефективно. Використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект, системи комп'ютерного зору та комп'ютерні алгоритми, дозволяє значно покращити якість стійкості та керованості дрона. Важливо також регулярно вдосконалювати апаратні та програмні компоненти для забезпечення оптимальної продуктивності.

3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Проведення досліджень ринку дронів і вибір оптимальної моделі із застосуванням методу експертного оцінювання

Ринок дронів, або безпілотних літальних апаратів (БЛА), в останні роки пройшов значні трансформації, ставши важливою складовою багатьох сфер, включаючи промисловість, сільське господарство, транспорт, медицину та розваги. Швидкий технологічний прогрес у цій галузі призвів до появи нових можливостей, а також викликів для виробників, споживачів та законодавців.

Однією з ключових тенденцій на ринку дронів є поширення їх застосувань в промисловості. Дрони використовуються для моніторингу інфраструктури, контролю якості та підтримки виробничих процесів. Це дозволяє підприємствам збільшити ефективність та знизити витрати.

Ще однією важливою рисою є ріст зацікавленості сільського господарства в безпілотних технологіях. Дрони забезпечують можливість точного землеробства, моніторингу стану посівів і рослинності, що дозволяє сільгоспвиробникам оптимізувати процеси та збільшувати врожайність.

З іншого боку, ринок розваг і споживчих дронів також розширюється. Дрони для аерофотозйомки, гонок та інших розважальних застосувань набувають популярності серед споживачів. Такі дрони стають доступнішими і функціональнішими завдяки технологічним інноваціям.

Проте, наріжним каменем ринку дронів залишається питання безпеки та регулювання. Зростаюча кількість дронів у повітрі вимагає суворого контролю та розробки відповідних нормативів, щоб уникнути можливих конфліктів та загроз.

Тож для порівняння дронів підходящих за своїми параметрами до потреб в умовах кар'єру були обрані три дрони. Два з яких представлені моделями Matrice 300 RTK та Matrice 600 Pro від всесвітньо відомого виробника DJI, та одного представника американського ринку від фірми Skyfront гексокоптер Perimeter 8+.

По технічним характеристикам всі три дрони задовольняють потреби, але є один надзвичайно важливий критерій який впливає на вибір моделі літального апарату. Максимальний час у польоті є найважливішим параметром який нівелює інші переваги. Так як частина роботи у кар'єрі, на приму залежить від можливості дрону за один виліт виконати всі поставлені задачі без необхідності його підзарядки чи заміни акумуляторних батарей.



Рисунок 3.1 Дрон Matrice 300 RTK



Рисунок 3.2 Дрон Matrice 600 Pro



Рисунок 3.3 Дрон Perimeter 8+

3.1.1 Методика проведення експертного оцінювання конструкцій дронів

Метод експертних оцінок (ЕО) – це вирішення задачі експертами, їх аргументація, формування кількісних оцінок та обробка останніх формальними методами. Методи ЕО дозволяють, опираючись на досвід, знання та вміння спеціалістів в даній галузі, прийняти найбільш доцільне та обґрунтоване рішення. Експерти (від латинського "expertus" – досвідчений) – це особи, які володіють на високому професійному рівні знаннями та вміннями із даної галузі та здатні висловити аргументовану думку з досліджуваного явища. Процедура отримання оцінок від експертів називається експертизою. Методи ЕО – методи організації роботи з фахівцями-експертами і обробки думок експертів. Ці думки зазвичай виражені частково в кількісній, частково в якісній формі. Експертні дослідження проводять з метою підготовки інформації для прийняття рішень особою, яка приймає рішення (ОПР). Для проведення роботи за методом ЕО створюють робочу групу (РГ) [25].

Експертиза проводилась за наступними етапами:

1. Вибираємо об'єкт для експертної оцінки;
2. Вибираємо параметри для порівняння;
3. Визначаємо вагу кожного параметра;
4. Задаємо порівняльну шкалу;
5. Порівнюємо.

3.1.2 Результати експертного оцінювання.

У якості об'єктів для експертної оцінки обрано наступні моделі:

- Perimeter 8+,
- Matrice 300 RTK,
- Matrice 600 Pro

Вибираємо параметри для порівняння:

- Максимальний час польоту
- Максимальне навантаження
- Максимальна швидкість
- Максимальний опір вітру
- Дальність зв'язку
- Система живлення

Визначаємо вагу кожного параметра в табл. 3.1

Таблиця 3.1

№	Параметр	Вага	А (DJI Matrice 300 RTK)	Б (Perimeter 8+)	В (DJI Matrice 600 Pro)
1	Максимальний час польоту	0,25	$7 \cdot 0,25 = 1,75$	$10 \cdot 0,25 = 2,5$	$5 \cdot 0,25 = 1,25$
2	Максимальне навантаження	0,25	$8 \cdot 0,25 = 2$	$10 \cdot 0,25 = 2,5$	$6 \cdot 0,25 = 1,5$
3	Максимальна швидкість	0,15	$5 \cdot 0,15 = 0,75$	$4 \cdot 0,15 = 0,6$	$3 \cdot 0,15 = 0,45$
4	Максимальний опір вітру	0,2	$9 \cdot 0,2 = 1,8$	$10 \cdot 0,2 = 2$	$8 \cdot 0,2 = 1,6$
5	Дальність зв'язку	0,15	$4 \cdot 0,15 = 0,6$	$5 \cdot 0,15 = 0,75$	$2 \cdot 0,15 = 0,3$
Сума		1	6,9	8,35	5,1

Задаємо порівняльну шкалу

Максимальний час польоту є самим важливим параметром для дрону тому оцінювання проводиться по шкалі від 1 до 10 середній час польоту дрона становить від 30 до 90 хвилин, якщо цей показник буде перевищено то це є максимумом – 10 балів.

Максимальне навантаження є наступним по вазі параметром який теж має свої показники, середній з яких від 5 до 8 кілограмів, цей показник можна оцінити до 10 балів, якщо цей показник буде перевищено то це є максимумом – 10 балів.

Максимальна швидкість для дрону в кар'єрі відіграє другорядне значення але в нього також є свої показники від 50 до 90 кілометрів, це можна вважати гарним показником та оцінювати до 5 балів.

Максимальний опір вітру ряду з часом польоту та навантаженням також є вагомим показником тож його оцінювання має максимум в 10 балів

Дальність зв'язку в межах роботи в кар'єрі є не дуже важливою але її якість несе свою вагу та оцінюється в 5 балів.

Отже після експертного оцінювання критеріїв експертами, яке проводилось окремо кожним експертом. Кожен з яких оцінював дрони по 1 вибраному критерію проаналізувавши технічні характеристики, зібрані в порівняльній таблиці (додаток 1). Найбільше балів набрав дрон Perimeter 8+, так як його ключові параметри тривалість польоту, супротив вітру та вагопідйомність отримали найвищі бали експертів. Тож надалі будемо розглядати дрон Perimeter 8+.

3.2 Опис конструкції вибраного дрону

Skyfront — робототехнічна компанія з Кремнієвої долини, яка спеціалізується на дронах великої витривалості та супутніх технологій для оборонного та комерційного застосування. Від місій зі спостереження до виявлення боєприпасів, що не розірвалися, — дрони Skyfront літають годинами і оснащені великими датчиками для моніторингу, виявлення та дослідження за невелику частину вартості традиційних літаків.

Ще у 2013 році прості картографічні та геодезичні завдання вимагали від операторів виконання кількох польотів протягом кількох днів через обмежений термін служби дронів. Операторам доводилося постійно транспортувати, заряджати та замінювати акумулятори, часто у віддалених та важкодоступних районах. Найчастіше економічно вигідніше використовувати пілотований літак замість безпілотнока.

У 2014 році ми заснували Skyfront, щоб вирішити проблему обмеження часу польоту та розкрити справжній економічний потенціал безпілотних літальних апаратів. Постачальникам послуг потрібна була система, яка:

- Мав ту ж дальність польоту, витривалість та функції, що й пілотований вертоліт.
- Вартість аерофотозйомки знижена в 10 разів.
- І підтримував ті ж стандарти безпеки, що і в авіації, що пілотується.

Інженери компанії провели місяці досліджень і прийшли до гібридно-електричної силової установки яка стала основою для такої системи.

Після багатьох ітерацій та десятків тисяч годин досліджень та розробок було створено Perimeter. Він є неофіційним світовим рекордсменом із витривалості серед наявних у продажу мультикоптерів. У готовому вигляді він може літати 5 годин і нести до 10 кілограмів корисного навантаження, зберігаючи при цьому ту саму простоту та зручність використання, які зробили мультикоптер популярним.

За допомогою «Perimeter» місії, які раніше займали кілька днів, тепер можуть бути виконані за один політ, що дозволяє цілим галузям легко масштабувати операції з дронами.

Дрон має облегшену раму з алюмінію для можливості надійно утримувати гібридну бензиново-електричну силову установку потужністю 2 кіловата, яка дозволяє перебувати у повітрі до 5 годин на одній заправці. Ця установка забезпечує потужність для 8 безколекторних двигунів, розміщених на розкладних стійках по 2 штуки на стійку по типу рогачика. Також запас потужності дозволяє спорядити дрон усілякими сканерами, датчиками, радарамі корисною масою до 10 кілограмів. Система телеметрії дозволяє працювати в умовах підвищеного магнітного поля та радіоперешкод на відстані до 20 кілометрів з прямим каналом телеметрійного зв'язку або ж до 106 кілометрів на керуванні через супутник. Розмах дрону у робочому стані становить 2 метри діаметрі на заввишки до 80 сантиметрів, в транспортувальному положенні дрон займає в двічі менше місця завдяки складаючимся стійкам та опорним ногам.

Ринок дронів пережив значний розвиток, ставши ключовим елементом в різних сферах, таких як промисловість, сільське господарство, транспорт, медицина та розваги. Швидкий технологічний прогрес в цій галузі привів до появи безлічі нових можливостей, але також висунув виклики для виробників, споживачів та законодавців.

У розділі обрано порівняння трьох дронів - Matrice 300 RTK та Matrice 600 Pro від DJI і Perimeter 8+ від Skyfront - визначено, що, не зважаючи на технічні характеристики, які майже не відрізняються, ключовим параметром, для роботи в кар'єрі, є максимальний час у польоті, супротив вітру та вагопідйомність. Ці критерії визначають можливість дрону виконувати геодезичні завдання, без необхідності підзарядки або заміни акумуляторів, можливості підлітати дроном близько до бортів кар'єру та уступів, без остраху за дрон який може знести висхідними потоками вітру, можливістю розмістити на дроні все потрібне обладнання, без необхідності його міняти в залежності від потреби в конкретній ситуації. Це все є важливим фактором для ефективного використання дрону в умовах кар'єру.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Метою даного розділу є економічне обґрунтування магістерської кваліфікаційної роботи. Цей розділ дозволяє визначити доцільність проведення науково-дослідних робіт і економічно обґрунтувати застосування конкретних засобів.

Відомо, що розробка надійної та ефективної інформаційної системи вимагає значних витрат часу. Важливо відмітити, що ці витрати залежать від кваліфікації розробника та його можливостей. Розробник повинен володіти навиками програмування, вміти адекватно застосовувати математичний апарат та бути добре ознайомленим із предметом дослідження.

Метою даного розділу є виконання розрахунку вартості науково-дослідної роботи (НДР), спрямованої на доведення доцільності використання дронів на кар'єрах і наступного запровадження обраної конструкції:

- Опис технологічного процесу розробки з вказівкою трудомісткості кожної окремої операції.
- Визначення суми витрат на оплату праці основного і допоміжного персоналу, включаючи відрахування на соціальні заходи.
- Визначення суми матеріальних витрат.
- Обчислення витрат на електроенергію для науково-виробничих потреб.
- Розрахунок суми амортизаційних відрахувань.
- Визначення суми накладних витрат.
- Складання кошторису та визначення собівартості НДР.
- Розрахунок ціни НДР.
- Визначення економічної ефективності та терміну окупності продукту.

На підставі отриманих розрахунків будуть розроблені техніко-економічні показники запропонованого виробництва

4.1 Визначення етапів технологічного процесу та загальної тривалості проведення досліджень

Розробку даної інформаційної системи можна розподілити на наступні етапи:

- Формулювання постановки задачі.
- Збір інформації за тематикою роботи.
- Проведення огляду публікацій авторів, які займались питанням використання квадрокоптера в геодезичній справі.
- Прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі.
- Аналіз математичної моделі інформаційної системи.
- Проектування архітектури системи.

- Розробка системи опрацювання відміток в кар'єрі квадрокоптером.
- Написання програмного забезпечення для квадрокоптера.
- Налаштування середовища розробки і роботи з вже готовою програмою.
- Тестування розробленого програмного забезпечення.
- Доопрацювання розробленого програмного забезпечення і проведення додаткових тестів.
- Написання і оформлення документації.

Для визначення тривалості окремих робіт використовуються нормативи часу або попередній досвід. До таких нормативів входить тривалість написання операцій (команд), які на деяких підприємствах становлять: для однієї операції - від 0,6 до 2 годин, та 8 годин для п'яти операцій (тривалість зміни). У випадку відсутності таких нормативів застосовують експертні оцінки для визначення тривалості кожного етапу (стадії):

при двох оцінках:
$$T_{bc} = \frac{(3t_{min} + 2t_{max})}{5} \quad (4.1)$$

При трьох оцінках:
$$T_{bc} = \frac{(t_{min} + 4t_{нй} + t_{max})}{6} \quad (4.2)$$

де T_{bc} – очікуване (середнє) значення тривалості виконання етапу (стадії);

t_{min} , $t_{нй}$, t_{max} – відповідно мінімальна, найбільш імовірна і максимальна оцінки тривалості виконання етапу (стадії).

Для зручного подання та визначення загальної тривалості проведення НДР рекомендовано узагальнити витрати часу на окремі операції технологічного процесу у таблиці 4.1.

У випадку обмеженої кількості інформації щодо витрат часу наукового керівника на виконання окремих стадій (етапів), доцільно припускати, що ці витрати становлять не більше 5% від загальних витрат часу інженерів на виконання цих стадій (етапів).

Таблиця 4.1 Основні етапи та час на їх виконання у НДР

№ п/п	Етап	Середній час виконання етапу, год	
		інженер	керівник
1	2	3	4
1	Формулювання постановки задачі.	3	2
2	Збір інформації за тематикою роботи.	12	4

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
3	Проведення огляду публікацій авторів, які займались питанням використання квадрокоптера в геодезичній справі.	16	4
4	Прийняття рішень щодо вибору оптимального шляху розв'язання поставленої задачі.	8	1
5	Аналіз математичної моделі інформаційної системи	8	6
6	Проектування архітектури системи	8	2
7	Розробка системи опрацювання відміток в кар'єрі квадрокоптером.	8	6
8	Написання програмного забезпечення для квадрокоптера	40	6
9	Налаштування середовища розробки і роботи з вже готовою програмою.	6	3
10	Тестування розробленого програмного забезпечення	14	6
11	Доопрацювання розробленого програмного забезпечення і проведення додаткових тестів	12	10
12	Написання і оформлення документації	36	12
Разом		174	70

Отже, сумарний час виконання операцій інженером становить 174 години, а керівником 70 годину.

4.2 Визначення витрат на оплату праці та на соціальні відрахування

Винагорода працівника, незалежно від типу підприємства, визначається його особистим внеском у трудову діяльність, є результатом його внеску у кінцеві результати підприємства та піддається оподаткуванню, але не обмежується максимальними розмірами. Розміри, порядок нарахування і виплати заробітної плати регулюються чинним законодавством України, відповідними указами і постановами, а також галузевими інструкціями. Величина заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійних якостей працівника, результатів його трудової діяльності та економічної ефективності підприємства. Заробітна плата включає як основну, так і

додаткову компенсацію за трудову діяльність.

Основна заробітна плата визначається на підставі виконаної роботи з використанням тарифних ставок, відрядних розцінок або посадових окладів і не залежить від економічних результатів діяльності підприємства.

Додаткова заробітна плата є складовою частиною оплати праці працівників і включає витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час. Вона нараховується в залежності від досягнутих та запланованих показників, умов виробництва та кваліфікації виконавців. Джерелом додаткової оплати праці є фонд матеріального стимулювання, створений за рахунок прибутку.

Основна заробітна плата складається з прямої заробітної плати та доплати, яка при загальних розрахунках становить від 20% до 25% від прямої заробітної плати. При розрахунках заробітної плати приймається кількість робочих днів у місяці - 24 дні/міс., що відповідає 192 год./міс. Розмір місячних окладів для керівника та інженерів визначається відповідно до поточних норм. Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = T_c * K_r, \quad (4.3)$$

де T_c – тарифна ставка, грн.;

K_r - кількість відпрацьованих годин.

Посадові оклади або тарифні ставки для різних розрядів Єдиної тарифної сітки встановлюються шляхом перемноження окладу (ставки) працівника 1 тарифного розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. У випадку, якщо посадовий оклад (тарифна ставка) виражений в гривнях і копейках, числа до 0,5 відсікаються, а від 0,5 і вище - округлюються до цілої гривні.

Законом України “Про Державний бюджет України на 2019 рік” від 23.11.2018 р. №2629 – VIII із змінами, внесеними згідно із Законом № 2696- VIII від 28.02.2019, ВВР, 2019, № 14, ст.66 та № 149-IX від 02.10.2019,

установлено у 2019 році мінімальну заробітну плату: у місячному розмірі: з 1 січня - 4173 гривні; у погодинному розмірі: з 1 січня - 25,13 гривні. Прийmemo 77 грн. для інженера, для керівника — 110 грн.

Тарифні ставки: керівник проекту – 110 грн./год., інженер – 87 грн./год.

Скориставшись формулою 4.3 розрахуємо основну заробітну плату для інженера та керівника проекту.

Керівник проекту: $Z_{\text{осн}} = 110 * 70 = 7700$ грн.

Інженер: $Z_{\text{осн}} = 77 * 174 = 13398$ грн.

Додаткова заробітна плата становить 10–15% від суми основної заробітної плати:

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{осн}} * K_{\text{допл}} \quad (4.4)$$

де $K_{\text{допл}}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам 0,1.

Керівник проекту: $Z_{\text{осн}} = 7700 \cdot 0,1 = 770$ грн.

Інженер: $Z_{\text{осн}} = 13398 \cdot 0,1 = 1339,8$ грн.

Загальні витрати на оплату праці ($V_{\text{о.п.}}$) визначаються за формулою, і становлять:

$$V_{\text{о.п.}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} \quad (4.5)$$

Керівник проекту: $V_{\text{о.п.}} = 7700 + 770 = 8470$ грн.

Інженер: $V_{\text{о.п.}} = 13398 + 1339,8 = 14737,8$ грн.

Тож загальна сума становить 23207,8 грн. окрім того, слід взяти до уваги та визначити відрахування на соціальні заходи:

- податок на доходи фізичних осіб – 18%;
- військовий збір – 1,5%;
- єдиний соціальний внесок – 22%.

У сумі зазначені відрахування становлять 41,5 %. Отже, сума відрахувань на соціальні заходи розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{с.з.}} = \Phi О П \cdot 0,415 \quad (4.6)$$

де $\Phi О П$ – фонд оплати праці в гривнях.

Сума відрахувань на соціальні заходи буде становити:

$V_{\text{с.з.}} = 23207,8 \cdot 0,415 = 9631,24$ грн.

Проведені розрахунки витрат на оплату праці зведемо у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата, грн.	Нарах. на ФОП, грн.	Всього витрати на оплату праці, грн. 8=5+6+7
		Тарифна ставка, грн.	К-сть відпрацьов. в год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Керівник проекту	110	70	7700	770	3515,05	11985,05
2	Інженер	77	174	13398	1339,8	5560,17	20297,97
Разом				21098	2109,8	9075,22	32283,02

4.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на електроенергію для однієї одиниці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_E = W \cdot T \cdot S, (4.7)$$

де W – необхідна потужність, кВт;

T – кількість годин роботи обладнання;

S – вартість кіловат-години електроенергії.

Згідно з постановою НКРЕ України від 05.10.2018 року № 1177 вартість електроенергії становить 485 коп./кВт·год.

Потужність комп'ютера – 240 Вт, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 4.1 – 244 год.

$$Z_E = 0,41 \cdot 244 \cdot 4,85 = 485,19 \text{ грн. (4.7)}$$

4.4 Розрахунок витрат на матеріали

Результати розрахунку затрат на матеріали зводяться в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Визначення величини затрат на матеріали

Найменування матеріальних ресурсів	Од. вим.	Норма витрат	Ціна за од., грн.	Затрати матеріалів грн.	Трансп.-загот. витрати, грн.	Загальна сума витрат на матеріали, грн.
Папір А4 ZOOM	пач.	1	200	200	-	200
Ватман	шт.	10	55	550	-	550
Чорнила для принтера	шт.	1	350	350	-	350
Квадрокоптер	шт.	1	900000	900000	1000	900100
Рукавиці	шт.	2	40	80	-	80
Лідар	шт.	1	48500	48500	400	48900
З'єднувальні провідники	пач.	4	50	200	-	200
Кріплення	шт.	1	1000	1000	50	1050
					Разом	951430

4.5 Розрахунок амортизаційної суми

Використання основних фондів у виробничому процесі відзначається їх відновленням. Для відновлення матеріальних активів у природному виразі потрібне компенсування їхньої вартості у грошовій формі, що здійснюється через амортизацію. Амортизація - це процес

перенесення вартості основних фондів на вартість новоствореної продукції з метою їх повного відновлення. Для заміщення зношеної частини обладнання підприємства роблять амортизаційні відрахування, тобто відрахування певних грошових сум відповідно до розмірів фізичного і морального зносу обладнання.

Комп'ютери та офісна техніка входять до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації становить 60% (квартальна - 15%). Для розрахунку амортизаційних відрахувань використовується така формула:

$$A = \frac{B_B * H_A}{100} \quad (4.8)$$

де A – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.

B_B – балансова вартість комп'ютера, на початок звітного періоду, грн.

H_A – норма амортизації, %.

Для роботи використовується один комп'ютер (вартість якого становить 18000 грн.), який працював 244 годин.

$$A = \frac{18000 * 15\%}{100\%} = 2700 \text{ грн}$$

4.6 Обчислення накладних витрат

Витрати, пов'язані із обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління підприємства (фірми) та створенням необхідних умов праці, відомі як накладні витрати. Вони можуть складати 20% від загальної суми оплати праці основної та додаткової, що сплачується працівникам.

$$H_B = V_{OP} * 0,2 \quad (4.9)$$

$$H_B = 32283,02 * 0,2 = 6456,6 \text{ грн.}$$

4.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Результати проведених вище розрахунків зведемо у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Кошторис витрат на НДР

№ з/п	Зміст витрат	Сума, грн.	У % до загальної суми
1	2	3	4
1	Витрати на оплату праці (основну і додаткову заробітну плату)	32 283,02	3,21
2	Відрахування на соціальні заходи	9 631,24	0,9

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
3	Матеріальні витрати	951 430	95,05
4	Витрати на електроенергію	485,19	0,04
5	Амортизаційні відрахування	2 700	0,2
6	Накладні витрати	6 456,6	0,6
7	Собівартість	1 002 986,05	—

Собівартість (C_B) НДР розрахуємо за формулою:

$$C_B = B_{OP} + B_{C3} + 3_{MB} + 3_E + T_B + A + H_B \quad (4.10)$$

$$C_B = 32283,02 + 9631,24 + 951430 + 485,19 + 2700 + 6456,6 = 1002986,05 \text{ грн.}$$

4.8 Розрахунок ціни НДР

Ціну НДР визначаємо за формулою:

$$Ц = \frac{C_B * (1 + P_{рен}) + K * V_{н.і.}}{K} * (1 + ПДВ) \quad (4.11)$$

де $P_{рен}$ – рівень рентабельності, 25 %;

K – кількість замовлень;

$ПДВ$ – ставка податку на додану вартість, 20 %.

$V_{н.і.}$ – вартість носія інформації, грн.

$$Ц = \frac{1002986,05 \cdot (1 + 0,25) + 1 \cdot 15}{1} = 1504487,475 \text{ грн.}$$

Таким чином ціна рівна 1504487,475 грн. Визначимо величину прибутку за формулою:

$$П = 1504487,475 - 1002986,05 = 501501,4 \text{ грн.} \quad (4.12)$$

Отже згідно формули отримуємо 501501,4 грн.

4.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу. Економічна ефективність (E_p) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \frac{П}{C_B} \quad (4.13)$$

де $П$ – прибуток;

C_B – собівартість.

$$E_p = \frac{501501,4}{1504487,475} = 0,33$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень (T_p):

$$T_{p=\frac{1}{E_p}}, \quad (4.14)$$

$$T_{p=0,33} = 3,03 \text{ роки.}$$

Про доцільність розробки програми можна сказати при врахуванні критеріїв, які наведено у таблиці 4.5

Таблиця 4.5 - Техніко-економічні показники НДР

№ п/п	Показник	Значення
1	Собівартість, грн.	1 002 986,05
2	Плановий прибуток, грн.	501 501,4
3	Ціна, грн.	1 504 487,475
4	Економічна ефективність	0,33
5	Термін окупності, рік	3,03

Після аналізу розрахунків можна зробити висновок: розробка показує оптимальну економічну ефективність на рівні 0,33 та термін окупності триватиме понад три роки (3,03 року). Також в додатку 2 наведена порівняльна інформація що до використання звичайних приладів для маркшейдерських робіт та геодезичного октокоптера. Важливо відзначити, що ці розрахунки мають номінальний характер, і їхня основна мета полягає в оцінці приблизної вартості дослідження та створення даного продукту. Номінальний характер розрахунків обумовлений тим, що цей програмний продукт визначено як дослідницький за своєю природою.

ВИСНОВКИ

В даній роботі була розглянута теоретична можливість використання дрону в кар'єрі, проаналізована література, видання, статті схожі по тематиці. Хотілось би відмітити що переважна кількість робіт знаходяться на стадії теоретичного дослідження та майже не мають фактичного (практичного) застосування.

1. Обґрунтовано модель управління дроном із прийнятим основним критерієм - висота польоту;
2. Запропоновано використання ПІД-регулятора для системи управління дроном;
3. На основі системного аналізу сформовано перелік основних вимог до дронів для георозвідки у гірничій галузі;
4. Виконано дослідження ринку дронів і вибір оптимальної моделі із застосуванням методу експертного оцінювання, що дозволило надати рекомендацію щодо моделі - дрон Perimeter 8+.
5. Виконано розрахунки вартості науково-дослідної роботи (НДР), спрямованої на доведення доцільності використання дронів на кар'єрах і наступного запровадження обраної конструкції та встановлено термін окупності проекту - 3,03 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Браславська О.В., Дець Т.І., Рожі Т.А., Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. DOI:10.32347/2786-7269.2023.5.268-285, https://www.researchgate.net/publication/376676691_THE_ROLE_OF_GEO_DESY_IN_THE_DEVELOPMENT_OF_DRONE_TECHNOLOGIES_FOR_MEASURING_MAPPING_AND_MONITORING_TERRITORIES
2. Андреев С., Жилін В. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2019. №1. С. 3–16. 10.26906/SUNZ.2019.1.003.
3. Сайт вікіпедія: Лідар [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D0%B4%D0%B0%D1%80#:~:text=%D0%9B%D1%96%D0%B4%D0%B0%D1%80%20\(%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%20LIDAR%20%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB.,%D0%B2%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%85%20%D1%96%20%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%96%D0%B2%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%85%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%D1%85. 31.12.23.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D0%B4%D0%B0%D1%80#:~:text=%D0%9B%D1%96%D0%B4%D0%B0%D1%80%20(%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%20LIDAR%20%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB.,%D0%B2%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%85%20%D1%96%20%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%96%D0%B2%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%85%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%D1%85.)
4. Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Слостін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1». Екологічна безпека та природокористування. 2022. №41(1). С. 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>
5. Данкевич В.Є., Данкевич Є.М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель. Економіка АПК. 2019. №8. С. 27. 282 Геодезія та землевпорядкування
6. Кубрак Ю., Плечистий Д., Толстой І. формування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2 / 2022 (133). С. 41–47. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.5>
7. Сайт вікіпедія: Дистанційне зондування Землі.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%96>
8. Сайт вікіпедія: Геоінформаційна система.[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0> 31.12.23

9. Толкунова Ю. Розробка системи подолання перешкод для безпілотного літального апарату. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2022. №2(68). С. 32–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.032>

10. Сайт вікіпедія: Інтерферометрія.[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F> 31.12.23

11. Babinec A., Apeltauer J. On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs. International Journal of Transportation Science and Technology. 2016. No. 3(5). P. 152–166. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.02.002>

12. Сайт вікіпедія: Сейсмічна розвідка.[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BA%D0%B0> 31.12.23

13. Griffiths D., Burningham H. Comparison of pre-and self-calibrated camera calibration models for UAS-derived nadir imagery for a SfM application. Progress in Physical Geography. 2019. №43(2). pp. 215– 235. <https://doi.org/10.1177/0309133318788964>

14. Hematulin W., Kamsing P., Torteeka P., Somjit T., Phisannupawong T., Jarawan T. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. Drones. 2023. № 7. P. 142. <https://doi.org/10.3390/drones7020142>

15. Mohsan S.A.H., Khan M.A., Noor F., Ullah I., Alsharif M.H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. Drones. 2022. No.6(6). pp. 147. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>

16. Сайт вікіпедія: Магнітотелуричні методи розвідки, магнітотелурична розвідка.[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%83%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BA%D0%B8> 31.12.23

17. Сайт вікіпедія: Шляхові точки.[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D1%82%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B5%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8> 31.12.23

18. Sungjae Lee & Yosoon Choi . Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry, Geosystem Engineering. 2016. V.19:4, 197-204, DOI: [10.1080/12269328.2016.116](https://doi.org/10.1080/12269328.2016.116)

19. Patil, S., Patil, A., Nair, N., Nair, M., & Tawde, G. (2018). Use of UAVs for mining applications. IJARIT, 4(2), 2691-2696.

20. Nan, M. S., Plotogea, C., Grecea, D., Sultan, A., & Vitan, C. (2019). Research on the use drones for monitoring and resources valorification in the extractive industry. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 19(1.2), 1061-1068.

21. Сайт тадвізер: Класифікація дронів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%91%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BD,%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90>

31.12.23

22. Сайт Ентерпрайс 4візіон: Безпілотні технології для макшейдерської зйомки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://enterprise.4vision.ru/otrasli/poleznye-iskopaemye/bespilotnye-tehnologii-v-markshejderinge/> 31.12.23

23. DGI blog: Дрони з мультиспектральними камерами в георозвідці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dji-blog.ru/naznachenie/geodesia/drony-s-multispektralnymi-kamerami-v-geologorazvedke.html> 31.12.23

24. Старолетов С.М., Амосов М.С., Шульга К.М., Розробка програмного забезпечення квадрокоптера з підвищеними вимогами до надійності на основі партикованої ОС та технологій формальної верифікації. Праці ІСП РАН, том 31, вип. 4, 2019 р. С.39-60. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2019-31\(4\)-3](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2019-31(4)-3)

25. Кількісні методи експертного оцінювання : наук.-метод. розробка / уклад. : В. П. Новосад, Р. Г. Селіверстов, І. І. Артım. - К. : НАДУ, 2009. - 36 с.

Додаток 1

Параметри	DJI Matrice 300 RTK	Perimeter 8+	DJI Matrice 600 Pro
Максимальний час польоту	55 хв	5 год	35 хв
Максимальне навантаження	9,2 кг	10 кг	6 кг
Максимальна висота	7000 м	4000 м	5000 м
Максимальна швидкість	80 км/год	70 км/год	64 км/год
Крейсерська швидкість	38 км/год	35 км/год	35 км/год
Максимальний опір	7,7 м/с	9,7 м/с	5,8 м/с
Кількість двигунів	4	8	6
Габаритні розміри ДхШхВ	1,2x1x0,33 м	2x1,9x0,77 м	0,9x0,9x0,3 м
Дальність зв'язку	15 км	106 км	2 км
Система навігації	GPS + GLONASS + BeiDou + Galileo	GPS + GLONASS + Galileo	GPS + GLONASS + BeiDou + Galileo
Система живлення	АКБ TB65 44,76V 2632 Wh	Гібридна бензиново-електрична установка 2 KWT	АКБ 4500 mAh LiPo 6S 22.2 V

Додаток 2

	Тахеометр Sokkia SET 650RX	Геодезичне супутникове обладнання GPS/GNSS- приймач Topcon Hiper SR	Аерофото зйомка з літака	Геодезичний октокоптер Perimeter 8+
Середня вартість приладу на ринку, грн.	150 000	258 000	≈ 200000	900 000
Дохід від маркшейдерської зйомки об'єкта S ≈ 10 га, грн.	30 000	45 000	-	55 000
Внутрішні витрати на маркшейдерську зйомку на об'єкт S ≈ 10 га, грн.	5 000	3 500	-	1 000
Чистий прибуток від маркшейдерської зйомки на об'єкт S ≈ 10 га, грн.	25 000	41 500	-	54 000
Термін повернення інвестицій, кількість маркшейдерських зйомок	6	6,2	-	16,5