

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

ГРУПА ГЗ 22-1

ІВАНОЧКО Т.М.

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»

Кафедра геодезії та землеустрою

Іваночко Тарас Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.48
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

« Формування цифрової моделі гірничодобувного об'єкта
України на основі багатосенсорного моніторингу БПЛА »
(назва роботи)

Геодезія та землеустрій
(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій
(шифр і назва спеціальності)

Т. Іваночко, студент групи ГЗ-22-1

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник:

к.т.н, доц. Перович Леся Львівна
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада)

(підпис) (дата)

проф. Микола ПРИХОДЬКО

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Рецензент

(посада)

(підпис) (дата)

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

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

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут архітектури, будівництва та ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геодезії та землеустрою

проф. Микола ПРИХОДЬКО

"__" _____ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Іваночко Тарас Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Формування цифрової моделі гірничодобувного об'єкта України на основі багатосенсорного моніторингу БПЛА »

керівник роботи: к.т.н, доц. Перович Леся Львівна

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

затверджена наказом вищого навчального закладу від «08» 06 2026 року №292/7

2. Строк подання студентом роботи 18 червня 2026 року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Збір даних
2. Методологія дослідження
3. Аналіз результатів досліджень

5. Перелік графічного матеріалу: Порівняння методів моніторингу, Технічні характеристики платформ БПЛА, Характеристики датчиків, що використовують в БПЛА, Типові результати з БПЛА, Основні напрями застосування БПЛА

6. Дата видачі завдання: 22.09.2025 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Збір даних	22.09.25-12.11.25	
2	Методологія дослідження	13.11.25-21.02.26	
3	Аналіз результатів досліджень	22.02.26-10.05.26	
4	Оформлення бакалаврської роботи	11.05.26-15.06.26	

Студент _____ ***Іваночко Т.***
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Перович Л.Л.**

Анотація

Розрахунково-пояснювальна записка: 69 сторінок тексту, 3 таблиць, 4 рисунків, використано 27 джерел інформації.

Стрімкий розвиток безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) у поєднанні з удосконаленням сенсорного обладнання сприяв суттєвому підвищенню ефективності збору геопросторової інформації.

Сучасні безпілотні літальні апарати оснащуються компактними високопродуктивними сенсорами, здатними в автоматизованому режимі отримувати та обробляти значні обсяги просторових даних.

Завдяки цьому БПЛА широко застосовуються для дослідження природних і техногенних об'єктів, моніторингу довкілля, інженерних споруд, а також територій із підвищеним антропогенним навантаженням.

Використання безпілотних літальних апаратів має низку суттєвих переваг порівняно з традиційними методами геодезичних і фотограмметричних робіт.

До основних переваг належать скорочення витрат на польові дослідження, оперативність повторних обстежень, висока швидкість отримання результатів, достатня точність просторових даних та можливість виконання робіт на важкодоступних територіях.

Це забезпечило широке впровадження БПЛА у геології, гірничодобувній промисловості, сільському та лісовому господарстві, екологічному моніторингу, землеустрої та інших галузях.

Особливо важливим є застосування безпілотних технологій у гірничодобувній промисловості, де постійний контроль стану кар'єрів, відвалів, териконів, хвостосховищ та інших техногенних об'єктів є необхідною умовою безпечної експлуатації підприємств і мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Для України ця проблема є актуальною через значну кількість підприємств гірничодобувного комплексу, що потребують регулярного моніторингу технічного та екологічного стану територій.

Метою роботи є дослідження сучасних можливостей використання безпілотних літальних апаратів та їхнього сенсорного обладнання для збору геопросторових даних під час моніторингу об'єктів гірничодобувної промисловості, а також аналіз ефективності застосування різних технологій дистанційного зондування Землі.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу територій гірничодобувної промисловості із застосуванням безпілотних літальних апаратів.

Предметом дослідження є методи отримання, обробки та аналізу геопросторових даних, одержаних за допомогою сенсорного обладнання безпілотних літальних апаратів, зокрема фотограмметричних камер, мультиспектральних сенсорів та систем лазерного сканування (LiDAR).

У роботі здійснено огляд сучасних типів безпілотних літальних апаратів і сенсорного обладнання, що застосовується для збору геопросторової інформації.

Проведено аналіз особливостей їх використання під час моніторингу об'єктів гірничодобувної промисловості, систематизовано сучасні наукові підходи до інтеграції різних сенсорних платформ та оцінено перспективи комплексного використання фотограмметричних систем, мультиспектральних камер і LiDAR-технологій.

Особливу увагу приділено можливостям створення високоточних ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу та тривимірних моделей місцевості, що дозволяють здійснювати контроль деформацій земної поверхні, визначати обсяги видобутих матеріалів, оцінювати стан техногенних об'єктів і контролювати ефективність рекультивації порушених земель.

На основі проведеного аналізу сформульовано рекомендації щодо використання БПЛА для моніторингу гірничодобувних територій, оцінювання екологічного впливу виробничої діяльності та планування природоохоронних заходів.

Розглянуто перспективи подальшого розвитку безпілотних технологій та інтеграції отриманих геопросторових даних у геоінформаційні системи для підтримки прийняття управлінських рішень.

Практична цінність роботи полягає в узагальненні сучасних підходів до використання безпілотних літальних апаратів у гірничодобувній галузі, визначенні переваг комплексного застосування різних сенсорних систем та розробленні рекомендацій щодо підвищення ефективності моніторингу техногенних територій.

Отримані результати можуть бути використані підприємствами гірничодобувної промисловості, проєктними організаціями, природоохоронними установами та органами державного контролю для здійснення оперативного моніторингу, оцінювання стану територій і підтримки прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати; БПЛА; фотограмметрія; LiDAR; цифрові моделі рельєфу; цифрові моделі місцевості; геоінформаційні системи; геопросторові дані; гірничодобувна промисловість; моніторинг територій.

Abstract

Progress in the field of unmanned aerial vehicles (UAVs), supplemented by improvements in perception equipment, has led to a qualitative increase in the productivity of collecting information on the spatial location of objects.

Current sensor devices mounted on UAV carriers are distinguished by their small size, exceptional power, and ability to automate work with the received data.

As a result, drones have recently been used very intensively to obtain comprehensive information about the state of the environment, infrastructure structures, and areas of anthropogenic impact.

The use of drones offers a number of significant bonuses against the background of classical approaches to geodetic and photogrammetric surveys.

Among the key advantages are relatively small financial costs for field work, the ability to quickly conduct a re-survey of any area, the speed of obtaining final data, and ensuring quite acceptable temporal and spatial correctness of information.

Due to these properties, unmanned aerial vehicles have become a powerful tool for monitoring natural phenomena in a wide range of fields, including geological science, the agricultural sector, forestry, environmental monitoring and determining the state of soil reserves.

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are extremely important in the field of mineral extraction, where systematic monitoring of quarries, tailings, sedimentation ponds and other artificially created objects is a necessity.

For Ukraine, this issue is of particular importance, because a large number of quarries and mining complexes operate within the country, which require constant monitoring of the condition of their sites and their impact on the environment.

The use of unmanned aerial vehicles allows you to quickly obtain detailed orthophotomaps, digital elevation models, as well as volumetric terrain models.

As a result, the effectiveness of studying the deformations of the earth's surface, calculating the amount of extracted materials and examining restoration work in the territories is significantly increasing.

Within the framework of this scientific work, a review of key types of UAV hardware and the latest sensor equipment designed to collect geospatial information was carried out.

Additionally, an analysis of the areas of their practical use at mining industry facilities was conducted.

The latest scientific achievements in this field were systematized and the potential of combining variable sensor platforms was outlined.

These include both photogrammetric devices and multispectral sensitive elements, as well as laser scanning systems (LiDAR), which makes it possible to significantly enhance the effectiveness of territorial control.

Taking into account current methods, a number of tips have been developed regarding the use of drones to monitor the condition of mining areas, determine the ecological footprint of anthropogenic impact and strategic planning of reclamation work in degraded territories.

Considerable attention is focused on the potential for future improvements in unmanned systems and the incorporation of collected data into geoinformation platforms to optimize decision-making in the field of natural resource management.

Keywords: UAV, photogrammetry, LiDAR, digital terrain models, geographic information systems, geospatial data.

ЗМІСТ

Вступ	11
1. Порівняння БПЛА та інших методів моніторингу	17
2. Застосування БПЛА та різних датчиків	24
2.1 Платформи БПЛА	24
2.1.1 БПЛА з фіксованим крилом	27
2.1.2 Багатороторні БПЛА	29
2.2 Різні датчики, що встановлюються на БПЛА	31
2.2.1 Цифрові камери	35
2.2.2 Камери мультиспектрального зображення	37
2.2.3 LiDAR	39
2.2.4 Тепловізійні камери	41
3. Застосування БПЛА	44
3.1 Зйомка місцевості та 3D-моделювання	48
3.2 Оцінка пошкодження земель та моніторинг екологічного середовища	54
3.3 Геологічні небезпеки та моніторинг забруднення	56
3.3.1 Зони аномальної температури	58
3.3.2 Моніторинг стійкості схилів	60
Висновок	62
Список використаних джерел	65

Вступ

Первинні природні матеріали є наріжним каменем у поступі господарства країни, адже вони формують фундамент роботи виробництва, енергетичного комплексу та сфери будівництва.

Прискорення процесу індустріального освоєння та зростання міських агломерацій по планеті викликає неухильне підвищення потреби у видобутку надр, цим самим підштовхуючи до посилення роботи гірничодобувних підприємств.

Держава Україна володіє вагомими запасами мінералів, зокрема значними родовищами руд заліза, кам'яного вугілля, сировини для будівництва, а також нафтогазових покладів, що в сукупності виокремлює гірничодобувну галузь як один із ключових елементів національної економічної системи.

У межах гірничорудного промислу залучаються до роботи два головні методи отримання мінеральної сировини: поверхневий (ка'єрний) та шахтний.

Поверхневий метод полягає у вилученні цінної копалини після зняття покривних порід, що залягають над покладом.

Цей підхід має широке визнання у розробці кар'єрів для здобування як будівельних речовин, так і рудних чи нерудних ресурсів.

Під час реалізації поверхневого видобутку, як правило, задіюється чимало високоспеціалізованих машин і механізмів, які відповідають за свердління, здійснення підривних заходів, завантаження, переміщення видобутої маси та формування гірничовідвальних об'єктів.

Видобуток, що здійснюється під землею, застосовується тоді, коли поклади цінного мінералу залягають на великій глибині.

Тут розробка ведеться за допомогою мережі підземних проходів, уключно з шахтами, тунелями та порожнинами, що дає змогу отримувати руду, практично не зачіпаючи земну поверхню.

Проте, як той, так і інший методи видобутку несуть із собою певні виклики, пов'язані з технологією, забезпеченням безпеки та впливом на довкілля.

Зокрема, коли йдеться про відкриті копальні, чим глибшим стає видобуток і чим крутішими набувають схили кар'єру, тим вищим є ризик того, що схили втратять свою стабільність, що може спричинити або зсуви ґрунту, або обвалення порід.

Подібні явища несуть у собі суттєву небезпеку для як для безпеки робітників, так і для нормальної роботи самої видобувної організації.

До всього іншого, у процесі проведення розробки виділяється велика кількість пилових частинок, що погіршує робочі умови та може стати загрозою для самопочуття персоналу.

У глибинах шахт, куди сягають копальні, однією з нагальних загроз постає загроза зсуву покрівлі виробів, спричинена тиском масивів порід, що лежать вище.

Не менш вагомим чинником є брак належного провітрювання у підземних просторах, що може спричинити концентрацію шкідливих газів та наростити небезпеку для робітників.

З огляду на це, інженерні рішення, націлені на посилення захисту під час видобутку та забезпечення стійкості гірничих переходів, набувають першочергового значення.

Окрім усього, що стосується технологій та питань безпеки, гірнича справа несе значний відбиток на довкілля.

Території, де закінчено видобувні операції, зазвичай залишаються зміненими і вимагають цілого набору робіт для їхнього поновлення.

На сьогодні, проблеми відновлення ґрунтів та екологічного оздоровлення пошкоджених ділянок стають надзвичайно важливими.

Бездумне чи некероване використання надр здатне спричинити погіршення стану ґрунтів, забруднення як наземних, так і глибинних водних об'єктів, а також руйнування природних угруповань.

Тим часом, розробка корисних копалин під землею нерідко спричиняє зміни в рельєфі, які виражаються у просіданнях чи появі розломів.

Наслідком цього може стати втрата орних земель, активізація процесів розмивання ґрунту, заболочення територій та посилення викидів газів, що спричиняють парниковий ефект.

Видобуток відкритим методом, своєю чергою, призводить до утворення об'ємних насипів пустих порід, акумуляції хвостосховищ та генерування суттєвого обсягу антропогенних відходів.

Усе це негативно позначається на землекористуванні та здатне викликати тривалі екологічні наслідки.

До того ж, на територіях, де активно триває видобувна діяльність, нерідко фіксується зниження рівня придатності земель для аграрних потреб, що, своєю чергою, відбивається на економічному становищі населення в цих регіонах.

З огляду на це, постає нагальна потреба у налагодженні планомірного контролю за станом ділянок, де ведеться або колись велися роботи з видобутку надр.

Ключовим аспектом є фіксація трансформацій земної поверхні, оцінка стійкості бортів кар'єрів, відстеження етапів відновлення порушених земель, а також своєчасне виявлення потенційних геологічних ризиків.

Дієвий нагляд дає змогу оперативно ідентифікувати загрозливі явища та формувати управлінські заходи задля розумного користування цими територіями.

Протягом останніх років ми спостерігаємо потужний поступ у сфері технологій дистанційного зондування планети, особливо це стосується методологій збору просторових відомостей, що реалізуються із залученням апаратної бази безпілотних літальних апаратів.

Нинішні конфігурації цих БПЛА комплектуються мініатюрними сенсорами, приладами для фотограмметричної зйомки, апаратурою для мультиспектрального аналізу та системами лазерного сканування, що дає змогу фіксувати надзвичайно деталізовані відомості щодо стану будь-якої вибраної ділянки.

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сферах геодезії та геоінформатики надає низку значних переваг.

До них можна віднести помірну фінансову складову знімальних робіт, швидкість отримання необхідної інформації, здатність проводити повторні виміри з мінімальною затримкою у часі, а також можливість функціонування у місцях, куди складно дістатися або де існує підвищена небезпека.

Фотографічні дані про територію, зібрані за допомогою БПЛА, цілком піддаються обробці у новітніх фотограмметричних пакетах, що дає змогу формувати ортофотоплани, цифрові моделі висот і тривимірні репрезентації ландшафту.

У порівнянні із звичними нам підходами до геодезичних знімачів, апарати безпілотного типу надають змогу оперативно збирати значні масиви просторової інформації, зберігаючи при цьому прийнятний рівень точності.

Завдяки цьому вони виявляються надзвичайно рентабельними для впровадження у секторі видобутку корисних копалин, де регулярно

обслідування зон із потенційною небезпекою є доволі поширеною практикою.

Залучення безпілотних літальних апаратів, укомплектованих усім спектром сенсорів, відкриває можливості для багатоаспектного нагляду за видобувними угіддями на будь-яких стадіях експлуатації родовищ.

Зібрана інформація може бути використана з метою верифікації геометричних параметрів кар'єрів, визначення кількості видобутої маси, дослідження стійкості бортів, фіксації змін у ландшафті, а також для проектування робіт із відновлення земель, які зазнали змін.

В останні часи у вітчизняних наукових працях спостерігається поступове збагачення сфери застосування безпілотних апаратів у видобувній промисловості.

Проте, комплексний розгляд потенціалу використання дронів для спостереження за гірничими ландшафтами досі не здобув достатнього висвітлення у фахових виданнях.

Цей оглядовий матеріал має за мету згрупувати та представити підсумки останніх розробок, що стосуються інтеграції БПЛА у сектор гірничого видобутку.

Структура роботи охоплює низку ключових векторів:

1. Дослідження функціоналу безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з наступним зіставленням їх із класичними підходами до здобуття геопросторової інформації;
2. Проведення огляду актуальних наукових матеріалів, що стосуються застосування безпілотних комплексів;
3. Опис типових моделей БПЛА та сенсорного обладнання, які використовуються у дослідницькій практиці;
4. Розгляд систем спостереження за територіями гірничодобувної промисловості, базованих на використанні БПЛА;

5. Формулювання потенційних траєкторій подальшого розвитку та актуальних завдань для майбутніх наукових пошуків у цій царині.

Головним завданням цієї праці є систематизація наявних на сьогоднішній день відомостей стосовно застосування безпілотних авіаційних систем (БАС) з метою нагляду за видобувними регіонами.

Водночас, необхідно окреслити потенціал їхнього використання для ефективного розпорядження природними багатствами та підтримання екологічної стабільності.

1. Порівняння БПЛА та інших методів моніторингу

Протягом чималого часу геодезичні методи вимірювання, виконані за традиційною технологією, слугували наріжним каменем для збору просторової інформації при вивченні місцевості.

Апарати на кшталт тахеометрів, приладів для нівелювання та інших загальноприйнятих геодезичних пристроїв спроможні забезпечити досить високу точність у визначенні координат і тому активно залучаються до інженерно-геодезичних завдань.

Однак, їхня продуктивність суттєво падає, коли йдеться про складні природні ландшафти, зокрема у випадках, коли йдеться про важкодоступні або підвищено ризиковані зони, як-от глибокі кар'єри, накопичувачі відвалів чи інші об'єкти антропогенного походження.

З огляду на прогрес у технологіях супутникової навігації, методи супутникового визначення місця розташування стали надзвичайно популярними, зокрема система GPS, що працює за принципом RTK (Кінематика у реальному часі).

Цей спосіб дає змогу отримувати координати об'єктів із точністю до сантиметра, не витрачаючи часу на постобробку, і активно використовується у картографічній справі, земельному кадастрі та інженерних вишукуваннях.

Завдяки здатності швидко збирати заміри та автоматично обробляти отриману інформацію, RTK-технологія перетворилася на ключовий засіб для актуального просторового нагляду.

Проте, наскільки добре цей підхід спрацює, безпосередньо пов'язано зі стабільністю та якістю отримання сигналу від супутників.

У місцевостях, де ландшафт є химерним, висока щільність насаджень чи наявність численних штучних бар'єрів, надійність

приймання сигналів від супутників може погіршитися, що, своєю чергою, знижує коректність визначення координат.

Як заміна для збору геопросторових відомостей розглядається застосування апаратур дистанційного зондування нашої планети.

Орбітальні моніторингові комплекси дають змогу контролювати значні площі та збирати відомості стосовно трансформацій довкілля як на рівні окремих регіонів, так і у світовому масштабі.

Протягом останніх кількох десятиліть якість просторової роздільної здатності супутникових знімків суттєво зросла: якщо раніше вона становила десятки метрів, то тепер сягає кількох метрів, а за певних умов навіть менше метра.

Завдяки цьому з'явилася можливість застосовувати супутникові дані для моніторингу трансформацій ландшафтів, нагляду за використанням земельних ресурсів та визначення екологічного сліду людської діяльності.

Інтерферометрична радіолокація (InSAR) постає як одна з найбільш багатообіцяючих технологій у сфері віддаленого зондування.

За допомогою цього підходу можна з надзвичайною точністю вимірювати зміни рельєфу, зокрема зсуви, які проявляються як осідання чи піднесення земної покриви.

Ключовою перевагою InSAR є її здатність збирати необхідну інформацію поза залежністю від погодних умов чи пори доби, чим вона й утверджується як дієвий засіб для тривалого контролю за змінами земної поверхні.

Тим не менш, згадані підходи не позбавлені певних недоліків.

Приміром, інформація з супутників часом не надає достатньої чіткості для вивчення дрібних змін безпосередньо всередині поодиноких кар'єрів чи гірничодобувних об'єктів.

До того ж, час, що минає між черговими супутниковими зйомками, може бути надто значним для своєчасного моніторингу процесів, що швидко відбуваються.

Ба більше, для систем, що використовують оптичний діапазон, якість отриманих знімків може знижуватися через наявність хмарності чи інші атмосферні явища, що іноді унеможлиблює отримання критично важливих відомостей.

Видобуток надр чинить глибокий та тривалий вплив на довкілля, що диктує необхідність запровадження планомірних та частих заходів контролю.

Спостереження на таких ділянках не зводяться до поодиноких замірів; воно охоплює постійний нагляд за трансформаціями ландшафту, стабільністю стінок кар'єрів, ходом відновлювальних робіт на теренах та екологічними наслідками видобувної діяльності.

З огляду на це, нагальною стає потреба у застосуванні методик, здатних забезпечити швидке здобуття розгорнутої геопросторової інформації з високою частотою повторення.

У цій сфері надзвичайно актуальними стали дрони як засіб збирання інформації.

Апарати без екіпажу мають цілу низку позитивних моментів, якщо порівнювати їх із застарілими способами спостереження.

А саме, ці пристрої дають змогу знімати ділянки досить часто, з невеликою затримкою між обстеженнями, що забезпечує швидке виявлення трансформацій на досліджуваній площі.

Окрім того, літальні апарати спроможні функціонувати на малих висотах, гарантуючи отримання кадрів із деталізацією, вимірюваною сантиметрами.

Оснащення актуальних безпілотних апаратів може включати чисельні типи давачів, наприклад, фотограмметричні апарати, багатоспектральні сенсори чи обладнання для лазерного сканування.

Унаслідок цього стає можливим збирання унікальних різновидів інформації, що придатні для формування цифровізованих моделей висот, об'ємних представлень місцевості, дослідження фітостану чи визначення трансформацій у кар'єрних пейзажах.

Отже, впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сферу дистанційного спостереження дає змогу досягти оптимального поєднання високої точності, швидкості реагування та фінансової вигоди.

Якщо порівнювати їх із класичними геодезичними зйомками та супутниковим зондуванням, то такі дрони демонструють відчутні переваги саме при обстеженні територій, пов'язаних із видобутком корисних копалин.

З огляду на це, сьогодні БПЛА активно залучають для нагляду за кар'єрами, визначення трансформацій у ландшафті, експертизи стійкості укосів та контролю за відновленням порушених земель.

Зведена інформація щодо порівняння різних підходів до відстеження просторових модифікацій представлена у Таблиці 1.

Таблиця 1 Порівняння методів моніторингу

Методи моніторингу	Точне нівелювання	GPS	Супутникове дистанційне зондування	InSAR	БПЛА
Тип моніторингової інформації	Точка / лінія	Точка / лінія	Точка / лінія / площа	Точка / лінія / площа	Точка / лінія / площа
Обробка даних	Повільна	Швидка	Швидка	Швидка	Швидка
Вартість	Висока	Висока	Нижча	Нижча	Низька
Період спостереження	Довгий	Коротший	Коротший	Коротший	Короткий
Умови роботи	Залежить від погоди	За будь-якої погоди	Залежить від погоди	За будь-якої погоди	Залежить від погоди

Поряд із вагомими позитивними аспектами застосування дронів, існують також певні рамки їх використання.

Працездатність БПЛА тісно корелює із низкою чинників, як зовнішнього, так і технічного походження.

До них відносяться, наприклад, метеоумови, надійність приймання сигналів від супутникових навігаційних систем, а також апаратні спроможності техніки та взаємозв'язку між літальним апаратом і контрольною установкою на землі.

Будь-який несприятливий вплив сильного повітряного потоку, атмосферних опадів чи нестабільного супутникового сигналу може звузити потенціал для здійснення польотних місій та позначитися на достовірності зібраної інформації.

Огляд наукових праць, що потрапили до індексу Web of Science Core Collection, демонструє плавне нарощування уваги науковців до застосування безпілотних літальних апаратів у сфері видобутку корисних копалин.

Розгляд тематичного спрямування опублікованих матеріалів виявляє, що переважна маса пошукових зусиль зосереджена навколо кількох ключових аспектів.

Істотна частка статей відведена задачам топографічної зйомки та контролю за станом земель, які займають гірничодобувні об'єкти.

Окрема когорта наукових розробок стосується формування об'ємних візуалізацій рельєфу, що надає можливість ґрунтовно вивчати конфігурацію кар'єрів та інші характеристики місцевості.

Окрім того, значну частку займають дослідження, присвячені екологічним наслідкам видобутку корисних копалин, а саме, визначенню ступеня забруднення та трансформацій, що відбуваються в довкіллі.

Вивчення основних термінів у наукових працях засвідчило переважне використання лексики, що стосується систем безпілотного

літання та способів обробки отриманих із них візуальних даних за допомогою фотограмметрії.

До найчастіше зустрічених понять належать: дрон (або БПЛА), метод визначення просторової структури по серії зображень (Structure from Motion, SfM), сама фотограмметрія, візуальні дані та рельєфознавство.

Це вказує на те, що науковці зосереджують потужну увагу на застосуванні фотограмметричних методів задля формування деталізованих тривимірних макетів певних ділянок.

Ключове значення у наукових працях мають алгоритми, спрямовані на просторове відновлення об'єктів, які знаходять своє застосування у моделюванні відкритих видобувних розрізів та інших об'єктів гірничої промисловості.

Застосування фотограмметрії, що базується на використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА), логічно витісняє класичні підходи до створення карт, адже це дає змогу оперативно збирати точні просторові відомості, забезпечуючи при цьому суттєву економію ресурсів.

Водночас, згідно з даними аналізу наукових праць, використання дронів у секторі видобутку корисних копалин досі знаходиться на стадії інтенсивного становлення.

Переважна частина поточних досліджень сфокусована на таких аспектах, як створення тривимірних моделей місцевості, створення топографічних планів, відстеження геологічних загроз та визначення екологічної ситуації у відповідних зонах.

У межах наукових розробок переважно задіяні дві головні категорії безпілотних апаратів: ті, що мають нерухоме крило, та мультироторні системи.

Щодо апаратури для збору даних, то домінують цифрові фотограмметричні камери, котрі дозволяють фіксувати зображення високої роздільної здатності для наступної аналітики.

Тим часом, вбачається, що перспективним вектором для розвитку технологій безпілотників є об'єднання різнорідних сенсорних систем.

Зведення до купи знімальних камер (фотометричних) з апаратурою, що працює в мультиспектральному діапазоні, а також тепловізійними приладами чи системами лазерного вимірювання відстані (лідарами), дає змогу збирати всеосяжні відомості про стан досліджуваних зон.

Застосування даних, отриманих з кількох джерел одночасно, відкриває свіжі горизонти для покращення рівня точності у відстеженні стану об'єктів гірничодобувної промисловості та при проведенні екологічного аналізу певних ділянок.

2 Застосування БПЛА та різних датчиків

2.1 Платформи БПЛА

Дрони, або безпілотні літальні апарати (БПЛА), належать до класу автоматизованих повітряних засобів, що здатні здійснювати польоти без фізичної присутності людини-керівника на їхньому борту.

Керування цими машинами забезпечується завдяки застосуванню бортових систем, програмного забезпечення автопілотів та контрольних пунктів, розташованих на землі.

Це дає змогу виконувати політні завдання або шляхом дистанційного керування, або ж відповідно до заздалегідь визначеного плану пересування.

У першій половині минулого століття побачили світ перші моделі апаратів, що здатні літати без пілота, і здебільшого їхнє застосування обмежувалося сферою оборони.

Функціонал їхній полягав у здійсненні завдань підвищеної небезпеки, де присутність людини була б пов'язана із суттєвою загрозою.

Проте, тривалий період, протягом якого безпілотники знаходились на службі, їхнє залучення у цивільному секторі було доволі стриманим через низку технічних прогалин.

До чинників, що гальмували прогрес у сфері цих систем, насамперед належали висока ціна необхідного апаратурного забезпечення, громіздкість сенсорних пристроїв, обмежений час перебування у повітрі, а також недостатня зрілість механізмів автоматичного пілотування.

На зорі XXI століття обставини почали повільно трансформуватися, чому сприяло стрімке прогресування електроніки, систем навігації, обчислювальних розробок та мініатюризації сенсорних пристроїв.

Вагомому поштовху до поширення безпілотних апаратів надали компанії-виробники, серед яких помітне місце посідає китайський гігант

DJI, що завоював позиції провідного світового гравця на ринку цивільних дронів.

Випуск недорогих і легких в освоєнні апаратів прискорив експансію ринку БПЛА та їхнє широке застосування у різних секторах економіки.

Згідно з наявною статистикою, світовий ринок літальних апаратів без пілота демонструє вражаючу динаміку зростання.

Щороку обсяги випуску та реалізації цих пристроїв невпинно збільшуються, а діапазон їхнього практичного застосування невпинно розширюється.

У другій половині десятиліття 2010-х років світові продажі дронів перетнули позначку в мільйон штук, а загальна вартість цього ринку сягнула мільярдів доларів.

Такий бурхливий підйом зумовлений здешевленням технологічних рішень, зростанням їхньої загальної доступності, а також істотним інтересом з боку наукових кіл, інженерних проєктів, аграрного сектору та систем екологічного контролю.

Завдяки проривам у сучасних технологіях, апарати безпілотного керування успішно трансформувалися із суто військових інструментів у затребувані цивільні платформи.

Нині дрони знайшли широке використання у геодезичних роботах, фотограмметрії, видобутку корисних копалин, екологічному нагляді, аграрному секторі, будівельній сфері та чималій кількості інших напрямів.

Оскільки вони здатні збирати надзвичайно докладні зображення та просторові відомості, ці пристрої перетворилися на потужний засіб для вивчення місцевості й оцінки трансформацій довкілля.

Сучасні безпілотні літальні машини можуть мати різноманітні архітектурні рішення та компоновання.

Серед найчастіше зустрічаних різновидів платформ можна виокремити такі:

- Літальні апарати з нерухомим крилом (БПЛА типу "літак"),
- багатопропелерні апарати (відомі як мультикоптери),
- безпілотні кайюни або аеростатичні системи.

Літальні апарати типу "фіксоване крило" вирізняються продовженим часом перебування у повітрі та здатністю охоплювати значні географічні простори за одну місію.

Подібні системи часто застосовуються для створення детальних карт обширних територій або для нагляду за протяжними інфраструктурними об'єктами.

Проте, для їхнього старту та повернення необхідні специфічні умови експлуатації.

На противагу їм, мультироторні дрони пропонують винятковий рівень маневреності, здатність підніматися та приземлятися вертикально, а також можливість стабільно оперувати на малих висотах.

З огляду на це, мультикоптери нині найактивніше залучаються до геодезичних та фотограмметричних вишукувань, забезпечуючи створення ортофотопланів, цифрових моделей висот та об'ємних моделей місцевості.

Отже, у новітніх наукових розробках домінуючими залишаються дві головні групи безпілотних літальних апаратів – літаки з нерухомим крилом та дрони з багатьма роторами.

Їхнє застосування дає змогу успішно реалізовувати значну низку операцій, що стосуються накопичення геопросторової інформації та нагляду за певними територіями.

2.1.1 БПЛА з фіксованим крилом

Апарати безпілотного типу з нерухомими крилами у своїй будові схожі на звичні нам літаки.

Аеродинамічна архітектура таких систем передбачає наявність нерухомих аеродинамічних поверхонь, які генерують необхідну висхідну силу, коли апарат рухається уперед.

Завдяки подібному проєктуванню, досягається стабільність у польоті, можливість підтримувати відносно високу швидкість та забезпечувати тривалість перебування у повітрі (мал. 1).



Рисунок 3 Платформи БПЛА

Ключовою перевагою цих безпілотних літальних апаратів є здатність здійснювати довготривалі перельоти та охоплювати велетенські простори за один вихід.

Через це крилаті апарати значно затребувані там, де потрібне картографування об'ємних ландшафтів, контроль за природними багатствами, геодезичні вимірювання, а також аудит екологічної обстановки.

У секторі видобутку корисних копалин подібні дрони стають у пригоді для аерофотозйомки масштабних кар'єрів, териконів, сховищ перероблених матеріалів та інших об'єктів, де критичною є потреба у швидкому зборі просторових даних про великі ділянки.

Проте, застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з нерухомим крилом не обходиться без певних складнощів.

На противагу апаратам мультироторного типу, вони не можуть здійснювати вертикальний зліт чи приземлення.

Щоб підняти такий безпілотник у повітря, потрібна або достатня довжина злітної смуги, або використання спеціальних пускових пристроїв, що може створювати труднощі під час операцій на обмежених ділянках.

До того ж, для приземлення також потрібна значна незайнята площа.

Ще один момент, який необхідно брати до уваги при роботі з подібними машинами, — це їхня вразливість до метеорологічних умов, насамперед до інтенсивності вітру у фази старту та фіналізації польоту.

Окрім цього, більшість варіантів БПЛА з фіксованим крилом характеризуються обмеженою здатністю нести корисне навантаження, що може диктувати певні обмеження щодо вибору апаратури датчиків, яку інсталюють на борту.

Незважаючи на існуючі обмеження, безпілотні літальні апарати (БПЛА) з нерухомим крилом знайшли широке використання як у наукових пошуках, так і у практичних заходах.

Щодо відомих зразків, які активно задіяні для створення карт та віддаленого спостереження, варто згадати такі системи, як senseFly eBee, Skywalker та інші аналогічні апарати.

Деталі їхніх експлуатаційних параметрів, зокрема час перебування у повітрі, темп переміщення та максимально дозволена вага корисного вантажу, представлено у Таблиці 2.

Таблиця 2. Технічні характеристики платформ БПЛА

Модель БПЛА	Маса (кг)	Максимальне корисне навантаження (кг)	Акумулятор	Максимальний час польоту (хв)	Максимальна швидкість (м/с)
Sensefly eBee	0.63	0.93	11.1 V, 2150 mAh	45	45
Skywalker X5	0.96	1.1	11.1 V, 4000 mAh	25	50
AscTec Falcon8	0.94	1.2	Н/д	20	54
DJI Phantom 2	1.0	1.3	11.1 V, 5200 mAh	25	54

2.1.2 Багатороторні БПЛА

Мультироторні небесні апарати без екіпажу функціонують за схожим із гелікоптерами принципом.

Їх здатність підійматися утворюється завдяки обертанню численних гвинтів (роторів), закріплених на спеціальному каркасі.

Подібна будова гарантує відмінну стійкість у польоті й здатність до ювелірно точного маневрування апаратом у повітрі.

Ключова перевага мультикоптерних безпілотних літальних апаратів – це їхня неперевершена здатність до маневрування.

Шляхом регулювання швидкості обертання кожного окремого гвинта апарат без зусиль змінює свій курс, здатний літати на різних висотах та зберігати стійкість у повітряному просторі.

Ця властивість робить такі дрони ідеальними для проведення ретельних оглядів місцевості, особливо коли йдеться про невеликі площі чи важкодоступні зони.

Ключовою рисою мультикоптерних літальних апаратів є їхня здатність здійснювати зліт та приземлення вертикально (VTOL).

Це усуває потребу у звичній злітній смузі чи значній незабудованій площі для початку операції.

Можна сказати що, дрони з кількома роторами спроможні стабільно триматися у повітрі, що відкриває шлях до збору високоякісних зображень під усякими кутами огляду та гарантує більш скрупульозне фіксування потрібних об'єктів.

Саме завдяки цим перевагам апарати типу мультикоптер зайняли міцне місце у таких сферах, як фотограмметрія, геодезичні вимірювання, обстеження критичної інфраструктури, видобувна промисловість та екологічний нагляд.

Вони демонструють виняткову ефективність там, де необхідне детальне документування кар'єрів, будівельних об'єктів, інженерних конструкцій та інших майданчиків, які вимагають отримання даних із високою роздільною здатністю.

Проте, мультикоптери також мають низку недоліків.

Якщо порівнювати їх із апаратами, що використовують нерухоме крило, то мультироторні системи демонструють меншу тривалість перебування у повітрі та менший радіус дії.

Причина цього криється у потребі безперервної роботи усіх гвинтів задля утримання апарата у завислому стані, що суттєво підвищує витрати енергії.

Попри згадані вади, дрони-мультикоптери досі займають одне з провідних місць серед платформ, які активно застосовуються у сучасних дослідженнях.

Серед найбільш затребуваних зразків, які залучаються до наукових та практичних завдань, виділяються апарати серії DJI Phantom (зокрема моделі Phantom 2, Phantom 3 та Phantom 4), а також апарати типу AscTec Falcon8.

Оскільки ці безпілотні апарати поєднують у собі стабільність у повітрі, легкість у керуванні та здатність нести різноманітне сенсорне обладнання, вони стали незамінними для отримання геопросторової інформації.

На рисунку 3 можна побачити зразки таких систем, а ключові технічні параметри цих пристроїв деталізовано у таблиці 2.

2.2 Різні датчики, що встановлюються на БПЛА

Літальні апарати без екіпажу слугують апаратною основою для накопичення геопросторових відомостей, проте ступінь рентабельності їх застосування рішуче визначається апаратурою сприйняття, що інтегрується у їхню конструкцію.

Адже саме елементи сенсорики надають змогу фіксувати відомості стосовно конфігурації об'єкта дослідження, отже, коректний добір відповідних детекторів стає визначальним моментом при реалізації завдань нагляду.

Із поступом технологій у сфері безпілотних апаратів, помітно вдосконалюються й сенсорні системи, що застосовуються для дистанційного моніторингу земної поверхні.

Нинішні зчитувальні пристрої вирізняються тим, що вони невеликі, легкі й забезпечують високу якість отриманих даних, завдяки чому їхнє успішне застосування на безпілотних носіях стає цілком реальним.

З огляду на те, що обмеження щодо максимального завантаження та часу перебування у повітрі для БПЛА існують, розробка сенсорів для дронів переважно відбувається з огляду на необхідність мінімізації їхньої ваги та споживання енергії.

Класифікація датчиків дистанційного зондування, якими оснащуються БПЛА, проводиться на основі їхнього робочого принципу, що дозволяє розділити їх на дві великі групи: пасивні та активні.

Датчики пасивного типу фіксують електромагнітне випромінювання, що виходить природно – або як відбиття від земної поверхні, або як власний випромінюваний об'єктами сигнал.

До цієї категорії сенсорів відносять, приміром, звичайні цифрові фотоапарати, а також апаратуру, що працює у мульти- чи гіперспектральних режимах.

Вони спираються для своєї роботи на сонячне світло як джерело живлення, реєструючи відбитий від об'єктів відгук у різних частинах спектра.

Пасивні пристрої знайшли широке використання у роботах з фотограмметрії, для створення карт місцевості, вивчення стану рослинного покриву та моніторингу екологічної ситуації.

На противагу пасивним, активні сенсори самостійно генерують електромагнітні хвилі, скеровуючи їх на об'єкт, що досліджується, а потім фіксують відбитий від поверхні відгук.

До таких приладів відносяться, приміром, лазерні сканери типу LiDAR та радіолокаційні комплекси SAR.

Завдяки цим сенсорам можна добувати відомості про конфігурацію та рельєф поверхні, незалежно від рівня освітлення, причому вони здатні функціонувати навіть за несприятливих погодних умов.

У нинішніх наукових пошуках та прикладних завданнях використовується значний арсенал датчиків, які можуть бути змонтовані на безпілотних літальних апаратах.

Найчастіше зустрічаються такі види:

- цифрові апарати для фотограмметрії (приміром, апарати від Sony чи Canon), що застосовуються для формування ортофотопланів, цифрових моделей висот та об'ємних моделей терену;
- багатоспектральні сенсори, зокрема Senop Rikola, MicaSense RedEdge та Parrot Sequoia, які дають змогу проводити оцінку стану зелених насаджень, земельних ділянок та інших елементів довкілля;
- інфрачервоні термальні камери, а саме моделі на кшталт FLIR Tau2 324 чи тепловізійні комплекси від ICI, призначені для ідентифікації температурних відхилень, нагляду за станом об'єктів інфраструктури та вивчення їхніх теплових властивостей;
- прилади для аналізу газового складу, що слугують для моніторингу рівня небезпечних домішок у повітряному середовищі, включаючи тверді частинки (пил), сполуки вуглецю (оксиди COx) та сполуки азоту (NOx).

Використання різноманітних сенсорів на дронах дає змогу збирати багатогранну інформацію щодо оточення, геологічних змін та об'єктів, створених людиною.

Зведення даних, зібраних із декількох приладів, суттєво покращує достовірність спостережень та розширює спектр аналізу територій, що вивчаються.

Ключові технічні параметри найчастіше застосовуваних датчиків на безпілотних комплексах представлено у Таблиці 3.

Таблиця 3. Характеристики датчиків, що використовують в БПЛА

Тип датчика	Модель	Роздільна здатність (пікселі)	Маса (г)	Розміри (мм × мм × мм)
Цифрова камера	Sony A5000	5456 × 3632	283	110 × 63 × 36
Цифрова камера	Sony QX100	5472 × 3648	179	63 × 63 × 56
Цифрова камера	Canon IXUS 125HS	4608 × 3456	135	93 × 57 × 20
Спектральний сенсор зображення	Senop Rikola	1010 × 1010	720	Н/д
Спектральний сенсор зображення	MicaSense RedEdge	1280 × 960	180	120 × 70 × 50
Спектральний сенсор зображення	Parrot Sequoia	1280 × 960	135	59 × 41 × 28
Тепловізійна інфрачервона камера	FLIR Tau2 324	324 × 256	95	45 × 45 × 45

Широкий спектр сенсорних систем, якими оснащують дрони, нині знаходить активне застосування у численних напрямках сучасних наукових пошуків.

Приміром, вони здобули значну популярність у сфері аграрної діяльності точного спрямування, де їх залучають для верифікації якості сільськогосподарських культур.

Також вони незамінні в екологічному контролі задля детального вивчення трансформацій природного середовища, окрім того, у

геодезичній справі та мапуванні для формування деталізованих планів та електронних зразків ландшафту.

Застосування подібних вимірювальних приладів дає можливість збирати високоточну геопросторову інформацію, що, своєю чергою, веде до зростання продуктивності наукових проєктів та оптимізації роботи з природними багатствами.

Водночас, хист сенсорних систем, що базуються на безпілотних літальних апаратах (БПЛА), ще не вичерпав себе цілком.

Подальший прогрес у технологіях, вдосконалення апаратури для збору даних та поєднання різнорідних сенсорів прочиняють свіжі перспективи для розширення їхнього вжитку як у наукових пошуках, так і у повсякденній практиці.

2.2.1 Цифрові камери

Електронні фотоапарати — це один із найчастіших видів датчиків, які монтують на безпілотники.

Вони дають змогу фіксувати картинку у натуральних відтінках, що потрапляють у видимий діапазон, а саме у червоній, зеленій та синій частинах спектра (RGB), що відповідає хвилям завдовжки приблизно від 400 до 760 нанометрів.

Зважаючи на їхню порівняно невелику ціну, здатність до створення деталізованих зображень та велику кількість точок (пікселів) ці апарати активно застосовують у роботах з фотограмметрії та для дистанційного дослідження поверхні планети.

Дрони, укомплектовані фотоапаратами, здатні фіксувати детальні знімки обстежуваної ділянки з надзвичайно високою чіткістю просторового відображення.

Завдяки цьому їх можна застосовувати для широкого спектру наглядних завдань, включаючи дослідження стану зелених насаджень, визначення рівня зростання культурних рослин, а також для формування картографічних даних та електронних моделей рельєфу.

Глибокий прогрес у сфері комп'ютерного зору посприяв виникненню свіжих підходів до роботи з візуальними даними, що суттєво розширило потенціал застосування фотоапаратів, інтегрованих у безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Серед таких методик вирізняється Structure from Motion (SfM) — технологія, що дає змогу, оперуючи низкою кадрів з певним накладанням, автоматично реконструювати позиції камери у момент фіксації зображень та будувати об'ємну (3D) репрезентацію досліджуваної місцевості.

Внаслідок цього, дрони, оснащені фотограмметричними модулями, перетворилися на потужний ресурс для формування високоточних ортофотозображень, цифрових моделей висот та об'ємних макетів ділянок.

Окрім того, застосування систем ракурсного (нахиленого) знімання, де на безпілотну рухому платформу монтується низка фотоапаратів під різними кутами, дає змогу збирати більш усеосяжну інформацію стосовно конфігурації об'єктів та їхньої фактури.

Цей метод гарантує отримання деталізованих відомостей з різноманітних точок огляду, що є критично важливим при формуванні тривимірних макетів споруд, технічних конструкцій чи заплутаних природних територій.

У секторі видобутку корисних копалин, цифрові апарати, закріплені на безпілотних літальних апаратах (БПЛА), досить широко залучаються з метою проведення топографічного обстеження кар'єрів, встановлення кількості гірничих порід, а також відстеження трансформацій рельєфу.

Зібрана на основі фотограмметрії інформація придатна для визначення обсягів видобутих матеріалів, вивчення конфігурації кар'єрних

виробок, а також для експертної оцінки стабільності укосів та нагляду за явищами, що можуть нести загрозу.

Еволюція технічних рішень спричинила появу пристроїв із декількома об'єктивами, що дають змогу одночасно фіксувати низку кадрів з різних ракурсів або у різних спектральних діапазонах.

Це суттєво прискорює процес накопичення геопросторових відомостей, проте паралельно ускладнює процедуру їх опрацювання, адже вимагає застосування більш заплутаних математичних методів та значних обчислювальних потужностей.

2.2.2 Камери мультиспектрального зображення

Багатоспектральне картування – це один зі способів дистанційного обстеження планети, який полягає у фіксації зображень у низці діапазонів електромагнітного спектра.

На противагу типовим фотоапаратам, що функціонують лише у трьох діапазонах видимого світла (червоний, зелений, синій), спеціальні багатоспектральні датчики фіксують енергію, відбиту від земної поверхні, у багатьох спектральних ділянках одночасно.

Завдяки цій системі стає можливим глибше вивчення фізичних характеристик та життєвих ознак об'єктів, що потрапляють у поле зору.

Суть функціонування мультиспектральних сканерів полягає у розщепленні електромагнітної енергії, що відбилася, на низку відокремлених смуг спектра.

Кожна така смуга захоплюється індивідуальним датчиком або за допомогою комплексу цільових оптичних фільтрів.

Зрештою, ми маємо набір кадрів, які несуть відомості про те, як об'єкт відбиває світло у різних інтервалах спектрального діапазону.

Нинішні невеличкі мультиспектральні фотоапарати, які розроблені для монтажу на дрони, вирізняються малою вагою, порівняно невеликими фінансовими витратами і значною продуктивністю у зборі інформації.

Саме ці властивості зумовлюють їхнє широке використання для нагляду за ділянками територій невеликих та середніх розмірів.

Переважна частина таких приладів використовує окремі фотодатчики й оптичні системи для кожного зі спектральних діапазонів, а також комплект світлофільтрів, призначених для пропуску світла із заданою довжиною хвилі.

Серед найбільш часто застосовуваних на безпілотних літальних апаратах мультиспектральних датчиків виділяють Parrot Sequoia та MicaSense RedEdge.

Фотоапарат функціонує у чотирьох ключових смугах спектра: зеленій, червоній, ближній інфрачервоній, а також у ділянці, що зветься «червоним краєм».

Водночас, апарат MicaSense RedEdge дає змогу знімати у п'яти різних спектральних діапазонах: блакитному, зеленому, червоному, ближньому інфрачервоному та у зоні червоного краю.

Багатоспектральні знімки здобули значне поширення у царині точного рільництва, надаючи можливість проводити вартісну оцінку численних біофізичних параметрів рослинного покриву.

Конкретно, на базі цих даних можливо встановити рівень хлорофілу, спрогнозувати майбутній урожай, обчислити індекс листової поверхні (LAI) та низку інших маркерів здоров'я рослин.

Ба більше, застосування багатоспектрального підходу дає змогу фіксувати ледь помітні сигнали про хвороби рослин чи зовнішні чинники, що стримують їхнє нормальне зростання.

Окрім аграрного сектору, інформація, отримана через багатоспектральні сенсори, активно залучається для картографування

землекористування, спостереження за станом природних систем та вивчення екологічних трансформацій.

Подібні інструменти можуть бути надзвичайно допоміжними й у гірничодобувній промисловості, наприклад, для верифікації стану рослинності на ділянках, що пройшли рекультивацію, або для дослідження впливу гірничих операцій на навколишню среду.

Якщо брати до уваги мультиспектральні системи, то гіперспектральні камери здатні надавати ще глибші відомості стосовно того, як об'єкти реагують у спектральному діапазоні.

Ці пристрої фіксують випромінювання, розбиваючи його на набагато більше тонких спектральних ділянок, що забезпечує збір даних із кращою спектральною точністю.

Як наслідок, це суттєво розширює потенціал для розпізнавання різноманітних субстанцій та об'єктів, розташованих на земній поверхні.

Саме тому гіперспектральні датчики активно використовуються в аграрній сфері, для контролю стану довкілля та при пошуках покладів мінеральних ресурсів.

2.2.3 LiDAR

Технологія ЛІДАР (Light Detection and Ranging), котра є серед передових способів дистанційного зондування планети, оперує лазерним світлом для з'ясування дистанцій до різних об'єктів та створення дуже деталізованих тривимірних мап рельєфу.

Основа функціонування полягає у посиленні лазерного спалаху у бік об'єкта інтересу й фіксації відбитого сигналу, що надійшов назад після зіткнення з поверхнею.

Проміжок відстані до цілі розраховується на основі часового інтервалу між початком посилу імпульсу та моментом, коли його приймає сенсор.

З огляду на місце розташування, установки LiDAR типово класифікують як аеротаксаційні (ALS – Airborne Laser Scanning) та стаціонарні (TLS – Terrestrial Laser Scanning).

Перші монтуються на літальних апаратах чи безпілотних носіях і слугують для оперативного накопичення просторових відомостей у межах значних площ.

Сканери, що базуються на землі, використовуються з метою проведення детального вивчення конкретних об'єктів чи обмежених географічних зон.

LiDAR, будучи активною сенсорною системою, сам продукує електромагнітне випромінювання, подане у формі лазерних імпульсів.

Воно відрізняється від пасивних підходів у дистанційному зондуванні, де фіксується енергія сонячного випромінювання, що відбилася; завдяки цій здатності LiDAR функціонує без прив'язки до рівня освітлення, що дозволяє йому бути дієвим засобом для накопичення геопросторової інформації як у денний, так і у нічний час.

Ключовою перевагою даного технічного рішення слугує здатність формувати насичені тривимірні хмари точок, які візуалізують конфігурацію земної поверхні, насаджень та усякого роду споруд.

Через свою виняткову точність у визначенні параметрів та високу темп збору інформації, технологія LiDAR активно застосовується для розробки цифрових моделей висот, цифрових моделей рельєфу місцевості та об'ємних моделей певних зон.

Порівняно із загальноприйнятими геодезичними підходами чи фотограмметричними розробками, LiDAR вирізняється значними

перевагами, коли йдеться про опрацювання територій зі складним доступом, особливо у гірських чи густо заліснених регіонах.

У таких місцях розміщення належної кількості точок наземної прив'язки може бути або надто проблематичним, або не вигідним з фінансової точки зору.

Ба більше, лазерні імпульси мають здатність частково долати рослинний покрив, що дає змогу фіксувати дані не лише щодо крони рослинності, а й щодо фактичного контуру земної поверхні.

Ця характеристика наділяє LiDAR значною перевагою для вивчення лісових екосистем.

Зібрана інформація дозволяє встановлювати такі параметри, як зростання дерев у висоту, щільність лісонасаджень, будова лісового пологів та, зрештою, підрахунок біомаси.

У заплутаних умовах природи, як-от у гушавині лісів чи на територіях зі складною топографією, LiDAR, як правило, дає більш достовірні показники, аніж методи фотограметрії, зокрема ті, що базуються на принципах Structure from Motion (SfM).

З огляду на властивості, що притаманні LiDAR, ця технологія знайшла широке застосування у низці сфер, таких як геодезичні роботи, створення карт, управління лісовими ресурсами, видобуток корисних копалин та системи екологічного нагляду.

Зокрема, інтеграція LiDAR із безпілотними літальними апаратами (БПЛА) створює безпрецедентні перспективи для швидкого та надзвичайно точного отримання геопросторової інформації.

2.2.4 Тепловізійні камери

Тепловізійні прилади належать до тих ключових сенсорних систем, які монтують на дрони з метою здійснення дистанційного спостереження.

У зв'язку з прогресом у сфері безпілотних розробок та зменшенням габаритів електроніки, тепловізійні датчики помітно зменшилися у розмірах і вазі, завдяки чому їхня інтеграція у різноманітні моделі безпілотних літальних апаратів стала цілком реальною та ефективною.

Дрони, котрі обладнані апаратурою для фіксації тепловіддачі в інфрачервоному діапазоні, можуть фіксувати теплове випромінювання різноманітних предметів.

Сформовані термальні знімки дають змогу з'ясувати, як саме розподілена температура на поверхні, і помічати місця, де температура незвичайна.

Саме тому тепловізійні пристрої знайшли своє місце в багатьох царинах, зокрема в аграрній сфері, при вивченні надр, для спостереження за довкіллям, а також там, де потрібно контролювати технічні процеси.

У галузі прецизійного сільського господарства тепловізійні знімки стають у пригоді для верифікації гідратації рослин.

Достеменно відомо, що термальні показники рослинного покриву корелюють з такими параметрами, як потенціал зволоження листка, потенціал гідратації стебла, пропускна здатність продихів, а також низкою інших життєво важливих рослинних ознак.

Детальне вивчення термограм дає змогу вчасно ідентифікувати перші симптоми нестачі вологи, що, своєю чергою, веде до оптимізації поливних заходів та нарощування обсягу врожаю.

Окрім того, апаратура тепловізійного контролю дає змогу виявити нахил (лягання) посівів та розповсюдження недуг рослин, адже трансформації у фізіологічному стані останніх зазвичай корелюють зі змінами температурного фону рослинного покриття.

У царині геодезії та геофізики, тепловізійні апарати здатні формувати температурні мапи обширних теренів.

Це відкриває можливості для вивчення термічних явищ у регіонах із великими запасами геотермальної енергії, у вулканічно активних зонах чи на ділянках із вираженою геологічною рухливістю.

Методи тепловізійної зйомки корисні для детального вивчення теплових випромінювань та ідентифікації температурних відхилень, які вказують на наявність прихованих геологічних утворень під поверхнею.

Використання тепловізійних сенсорів доводить свою корисність і в гірничодобувному секторі.

А саме, їх можна задіювати для перевірки температурних показників териконів, стеження за випадковим спалахуванням вугільних відходів, а також для знаходження пожеж, що відбуваються під землею на вугільних родовищах.

Розгляд термальних знімків дає змогу вчасно помітити потенційно небезпечні явища та спрогнозувати, як розвиватимуться температурні відхилення.

Завдяки злиттю апаратної бази безпілотників та тепловізійної апаратури, науковці тепер володіють потужним засобом для швидкого акумулювання інформації про температуру у місцях, куди важко дістатися або де існує загроза.

Це суттєво розширює горизонти спостереження за явищами, що відбуваються як у природі, так і створені людиною, і водночас збільшує результативність наукових пошуків та практичної діяльності у широкому спектрі сфер.

3. Застосування БПЛА

Розгляд характеристик унікальних зразків безпілотних літальних апаратів та засобів збору даних, що були розглянуті вище, чітко демонструє потужний потенціал дронів для акумуляції геопросторової інформації.

З огляду на такі ключові переваги, як здатність миттєво надавати необхідні відомості, порівняно помірні витрати на їхнє опрацювання та видатну рухливість, ці передові технології знаходять широке застосування як у промисловості й економіці, так і в наукових пошуках.

Оточення, в якому ми живемо, сьогодні піддається суттєвим трансформаціям через дію як природних, так і створених людиною чинників.

До таких відносяться геологічні зрушення, роботи з видобутку корисних копалин, обвали схилів, вивітрювання ґрунтів та інші загрозливі події.

За цих обставин, звичні способи збору даних на місці можуть бути сковувані тривалістю виконання робіт, труднощами у досягненні досліджуваних точок та небезпекою для самих фахівців.

Як наслідок, здобуті відомості часом не дають змоги отримати вичерпну картину, необхідну для глибинного стеження та багатоаспектного аналізу стану певного терену.

Застосування дронів (безпілотних літальних апаратів) суттєво покращує результативність накопичення геопросторових відомостей.

Завдяки інтеграції високої метрологічної точності, швидкості проведення аерофотозйомки та помірних фінансових затрат, БПЛА постають у ролі дієвого засобу для накопичення значного обсягу геопросторових даних.

Більше того, можливість використання різноманітного сенсорного обладнання відкриває шлях до багатоаспектового нагляду за об'єктами та динамікою подій із майже оперативним реагуванням.

Численні наукові праці доводять, що апарати, якими керують дистанційно, здатні дієво застосовуватися для нагляду за ділянками розміром від ста до ста тисяч квадратних метрів.

При цьому вони гарантують точність визначення розташування та розмірів об'єктів у межах 2–20 сантиметрів, що залежить від наявних умов зйомки, використаної апаратури (сенсорів) та алгоритмів опрацювання отриманої інформації.

Отже, використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) якраз і виявляє значні перспективи у сфері завдань спостереження у гірничодобувних регіонах, охоплюючи як мікро-, так і макромасштаби.

Переважна частина актуальних наукових праць у даній галузі присвячена формуванню об'ємних моделей рельєфу, створенню топографічних планів, дослідженню екологічної ситуації на місцевостях, відстеженню геологічних ризиків і визначенню змін у покриві рослинності.

Узагальнено ключові вектори застосування БПЛА у цих дослідженнях відображено на ілюстрації 2.

Незважаючи на усю користь від застосування безпілотних літальних апаратів, їхня експлуатація на теренах зі складним гірничим ландшафтом досі вимагає подальшої ґрунтовної наукової роботи та практичного доопрацювання.

Характерні риси гірничого оточення – включаючи складну топографію, наявність териконів, кар'єрів, стрімких уступів та антропогенних споруд – породжують додаткові виклики для здійснення аерофотозйомки та збору високоточних геопросторових відомостей.

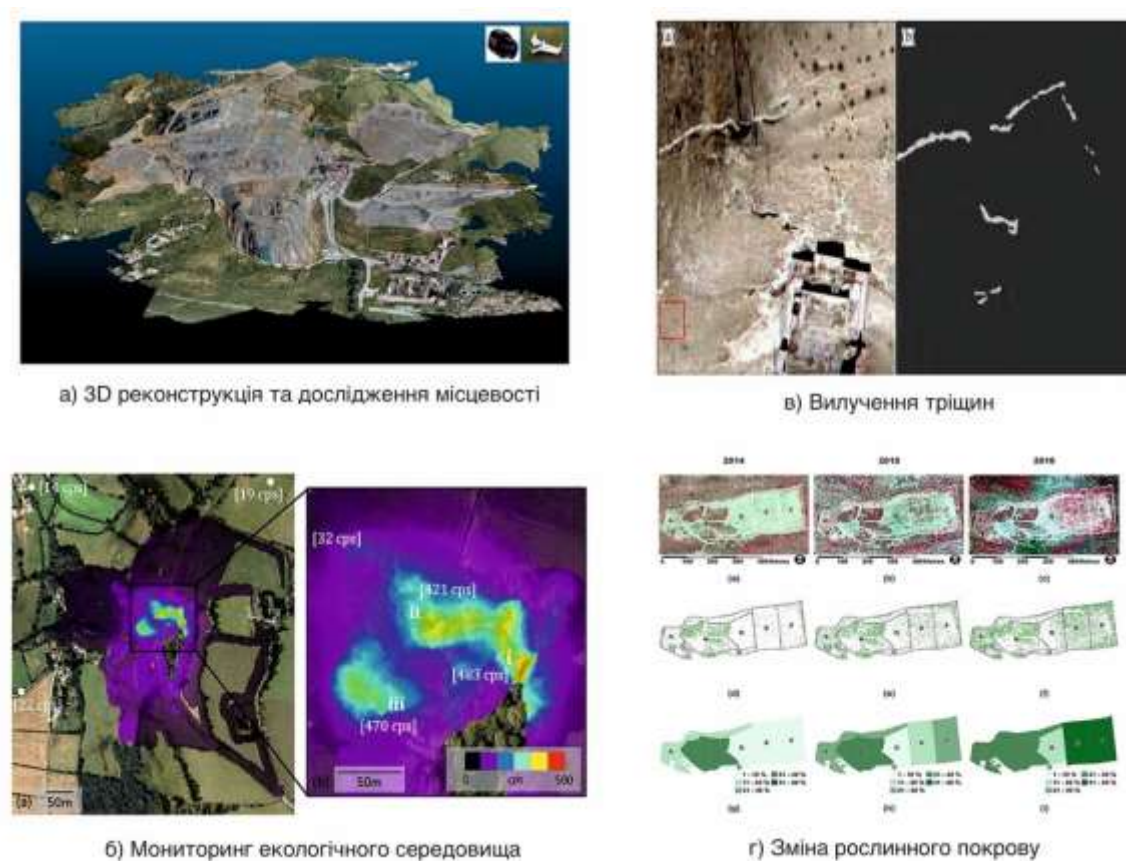


Рис. 2. Типові результати з БПЛА

Отже, вдосконалення алгоритмів застосування БПЛА для нагляду за такими ділянками зберігає свою значущість як передова сфера актуальних наукових пошуків.

Беручи до уваги сильні сторони різних класів безпілотних літальних апаратів, потенціал сенсорних приладів, а також специфіку потреб моніторингу теренів гірничодобувної промисловості, у поточних наукових працях була вибудована універсальна модель, що описує застосування дронів для вивчення районів видобутку корисних копалин.

На підставі огляду вже проведених студій та накопиченого практичного знання, розроблено графічне представлення ключових сфер використання цих безпілотних комплексів (див. Рис. 3).



Рисунок 3 Основні напрями застосування БПЛА

Дрони, укомплектовані апаратурою, придатною для збору різноманітних даних про місцезположення, здатні надавати багатий спектр геопросторової інформації, яка є життєво необхідною для оцінки ситуації у районах видобутку корисних копалин.

Застосування подібних технологічних рішень дає змогу проводити усебічний нагляд за цими зонами та здобувати відомості щодо численних предметів дослідження.

Зокрема, безпілотні літальні апарати (БПЛА) активно залучаються до проведення топографічного знімання й формування об'ємних моделей ландшафту, що має суттєве значення для дослідження конфігурації кар'єрів, териконів та інших антропогенних утворень на поверхні.

Додатково, відомості, отримані з безпілотної аерофотозйомки, можуть слугувати підставою для визначення рівня деградації ґрунтів та спостереження за екологічним станом, включаючи дослідження змін у рослинному покриві, динаміки ерозії та інших природничих чинників.

Щодо застосування безпілотних систем, то окремої уваги заслуговує їхня роль у нагляді за геологічними загрозами.

Сюди належить відстеження зсувних процесів, виявлення деформацій земної поверхні, моніторинг осідання ґрунтів та фіксація інших загрозливих геодинамічних явищ.

Додатково, дрони ефективно використовуються для контролю за забрудненням, спричиненим діяльністю людини, оцінки стабільності териконів, а також для спостереження за трансформаціями природних екосистем у зонах видобутку корисних копалин.

Дрони мають суттєве значення також для відновлення земель, які постраждали від видобутку, адже завдяки їм можна проаналізувати успішність вжитих заходів із рекультивації та стежити за змінами у відновленні екології ділянок після припинення видобувних операцій.

Отже, використання безпілотників відкриває широкі перспективи для всебічного нагляду за промисловими зонами видобутку, гарантуючи швидкий доступ до деталізованої інформації та допомагаючи оптимізувати управління природними скарбами й екологічний захист.

3.1 Зйомка місцевості та 3D-моделювання

Здобуття вичерпної тривимірної розвідки щодо конфігурації земної поверхні з відмінною просторовою деталізацією виступає чинником першочергової ваги у справі нарощування продуктивності актуальних гірничих робіт.

Педантичні відомості про топографічні особливості терену та просторове розташування гірничих споруд формують незамінний фундамент для побудови об'ємних візуалізацій кар'єрів, териконів та інших складників гірничодобувної системи.

Ба більше, така інформативна база є критично важливою для проведення дослідження геологічних змін та передбачення ймовірних ризиків, асоційованих із деформаціями земної поверхні, зсувними явищами чи процесами ерозії.

У рутинній роботі по видобутку корисних копалин збирання достеменною топографічної картини зазвичай спричиняло необхідність залучення експертів із високим рівнем кваліфікації та застосування коштовних геодезичних приладів.

Нерідко ж рішення щодо проектування чи моніторингу стану місцевості ухвалювалися, спираючись на професійну інтуїцію техніків та фрагментарні заміри на місці, що не завжди гарантувало потрібну ступінь достовірності або всеосяжності відомостей.

Традиційні підходи до топографічного знімання покладаються на застосування електронних тахеометрів для здобуття координат об'єктів на місцевості.

Далі ці дані підлягають обробці у програмах автоматизованого проектування (САПР).

Щоб надати вимірюванням належної просторової прив'язки, залучається система координат, побудована з використанням мережі зовнішніх контрольних точок (GCP).

Подальший прогрес у царині геоінформаційних технік, а саме втілення парадигми 3S, яка зводить до купи дистанційне зондування (RS), супутникове позиціонування (GPS) та геоінформаційні системи (GIS), суттєво розширив потенціал топографічного картографування.

Завдяки GPS з'явилася спроможність формувати надточні мережі геодезичного нагляду, дистанційне зондування надала першоджерело зображень для вивчення земної поверхні, тоді як GIS перетворилися на дієвий засіб для накопичення, опрацювання й дослідження просторових відомостей.

Однак, застосування супутникових світлин не обходиться без певних недоліків.

Власне, це стосується насамперед їхньої доволі помірної здатності в часі та безумовної залежності від метеорологічних умов.

Наявність хмарності чи інших атмосферних чинників може значно ускладнити процес здобуття високоякісних візуальних даних, а просторова чіткість супутникової інформації нерідко виявляється недостатньою для глибокого дослідження дрібних чи нововиниклих об'єктів гірничодобувної діяльності.

Існує ще один метод, що дає змогу створювати дуже точні цифрові моделі місцевості, а саме лазерне сканування LiDAR.

Проте застосування подібних установок тягне за собою значні витрати на апаратуру й ускладнює процес знімання, чим і стримується їхнє масове впровадження на багатьох шахтах та кар'єрах.

У світлі цих обставин, літальні апарати без пілота перетворилися на дієвий заміник класичних способів збору топографічних відомостей.

Порівняно скромна ціна устаткування, його рухливість та здатність оперативно фіксувати зображення виводять БПЛА у перелік найперспективніших засобів для геодезичного контролю територій.

Сучасні безпілотні комплекси дають змогу швидко здійснювати аерофотографування та здобувати докладну інформацію про рельєф ділянки, що вивчається.

Використовуючи безпілотні літальні апарати (БПЛА), обладнані апаратурою для цифрового зображення, є можливість будувати цифрові моделі висот місцевості (DSM), цифрові моделі рельєфу (DEM) та розробляти ортофотоплани з високою чіткістю.

Застосування камер з кількома об'єктивами чи нахиленими поглядами дає змогу збирати більш докладні відомості про геометрію рельєфу і властивості поверхневого покриття, що є критично значущим при

аналізі ознак ерозії, вимірюванні характеристик балок або визначенні стабільності схилів.

Сучасні алгоритми, призначені для фотограмметричної обробки зображень, є ключовими у процесі формування об'ємних моделей.

Зокрема, технологія Structure from Motion (SfM) надає змогу автоматично визначати просторові координати оптичних пристроїв та генерувати насичені хмари точок, використовуючи послідовність знімків із взаємним перекриттям.

Наразі доступний асортимент програмних рішень, які втілюють цей принцип і пропонують автоматизований ланцюжок дій для опрацювання зібраної інформації.

До найпомітніших із них належать Agisoft Metashape (раніше PhotoScan) та Pix4D Mapper.

Застосування подібних програм суттєво полегшує завдання збудови тривимірних макетів рельєфу, водночас підвищуючи продуктивність при роботі з великими обсягами аерофотознімків (див. мал. 4).



Рисунок 4 Схема обробки даних БПЛА для створення 3D-моделі

Отже, інтеграція дронів разом із передовими підходами фотограмметричної обробки інформації дарує чимало перспектив для швидкого формування точнісіньких тривимірних проєкцій місцевості та результативного нагляду за кар'єрами.

Якщо розглядати методи визначення координат аерофотознімків у просторі, то технології повітряної зйомки, що застосовують БПЛА, можливо класифікувати на варіанти з прямим та опосередкованим прив'язуванням.

Підхід прямого геореференсування спирається на застосування приймально-навігаційного обладнання, вбудованого у самі безпілотні літальні апарати.

Тут визначення розташування та кутів нахилу апарату знімання здійснюється потоково, під час виконання польоту, завдяки даним, отриманим від супутникових систем позиціонування (GNSS) та інерціальних сенсорних блоків (IMU).

Наслідком такого методу є можливість здобуття відомостей про місцезнаходження носія даних безпосередньо в момент польоту, що суттєво зменшує потребу у залученні численного обсягу маркерів, закріплених на земній поверхні.

Натомість, опосередковане геопросторове прив'язування, у свою чергу, вимагає застосування наземних еталонних маркерів (GCP), чиї координати встановлюються за допомогою високоточних геодезичних процедур.

При цьому, якість просторового позиціонування аерофотоматеріалів тією ж мірою визначається числом цих точок, їхнім розташуванням у межах обстежуваної зони, а також точністю їхнього визначення.

Дрони, обладнані порівняно бюджетними цифровими фотоапаратами, на сьогодні вважаються дієвим засобом для виконання

геодезичних завдань у регіонах, де відбувається відкритий видобуток мінеральних ресурсів.

Застосування фотограмметрії з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) дає змогу усунути недоліки супутникових зображень, а саме їхню обмежену просторову деталізацію, і водночас суттєво зменшити обсяг трудомістких замірів на місцевості, які вимагаються при роботі з класичним геодезичним обладнанням, як-от теодоліти чи приймачі глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS).

Ба більше, аерозйомка, виконана за допомогою дронів, відкриває шлях до формування високодеталізованих об'ємних моделей досліджуваних ділянок, що забезпечує зрозумілу тривимірну репрезентацію об'єктів гірничої промисловості.

Точність цих моделей, що формуються на базі насичених хмар точок, нерідко здатна сягати сантиметрової межі, що ставить їх у один ряд із даними, отриманими методом наземного лазерного сканування (TLS).

Незважаючи на те, що технологія TLS традиційно постає як одна з найбільш достовірних методик для збору просторової інформації, слугуючи еталоном для порівняння з іншими підходами, низка наукових праць засвідчує цілком реальну дієвість застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у кар'єрних регіонах.

Беручи до уваги такі аспекти, як фінансові витрати на апаратуру, швидкість надходження даних та здатність покривати значні площі, залучення БПЛА являє собою рентабельне та технічно обґрунтоване рішення для виконання широкого спектру завдань у галузі видобутку корисних копалин.

На даний момент, дрони, укомплектовані цифровими фотоапаратами, активно залучаються до картографування територій, підрахунку обсягів ґрунтових мас, створення тривимірних моделей

поверхні, стеження за станом схилів, а також для ідентифікації та вивчення геологічних ризиків.

3.2 Оцінка пошкодження земель та моніторинг екологічного середовища

Добування мінеральних ресурсів, окрім чималих зисків в економічній сфері, неминуче тягне за собою значне зашкодження територій та природного довкілля.

Мабуть, найпомітнішим і найтривалішим наслідком роботи гірничодобувних підприємств є деградація ґрунтів, що стає ключовим рушієм змін у природних краєвидах та екологічних комплексах.

Найбільш помітними наслідками погіршення стану земель у регіонах, де ведуться гірничі роботи, є викривлення земної поверхні, осідання ґрунтів, поява кар'єрів, териконів та інших видів трансформації ландшафту.

Ці зміни спричинені як видобутком корисних копалин відкритим способом, так і під землею.

На додаток до прямих механічних змін у рельєфі, на стан ґрунтів суттєво впливають також процеси другого порядку, до яких належать зміни у дрібному рельєфі (мікрогеоморфології), погіршення стану рослинності, руйнування структури ґрунтового покриву та перебудова гідрологічних систем у межах зон гірничодобувної діяльності.

Критично небезпечним виявом знецінення ґрунтів стає розлад водного та геологічного рівноваги, здатний спричинити затоплення місцевостей, появу сфагнових угідь, посилення руйнівних процесів водним потоком або виснаження верхнього шару ґрунту.

З огляду на це, визначення ступеня завданої шкоди земельним ділянкам та неухильне спостереження за екологічним станом місцевостей

постає ключовим елементом у системі обдуманого використання природних ресурсів та обов'язковою умовою для створення дієвих кроків із відновлення колишньої якості та реставрації деградованих територій після закінчення видобувної діяльності.

У процесі наукового вивчення того, як гірничодобувна діяльність спричиняє погіршення стану ґрунтів, зазвичай розглядають низку ключових індикаторів.

До них належать такі аспекти, як хімічні та фізичні характеристики ґрунту, його насичення водою, концентрація живильних елементів у шарі, де відбувається газообмін, а також інтенсивність руйнування ґрунтової поверхні та зменшення рослинного покриву, спричинені осіданням земної поверхні.

Здійснення всебічної оцінки цих змінних дає змогу визначити загальний обсяг антропогенного тиску гірничих робіт на довкілля.

Один із ключових векторів наукової роботи полягає у відстеженні трансформацій у використанні земель та екологічних параметрів ділянок, які постраждали від видобування корисних копалин.

Приміром, формування водоймищ через опускання земної поверхні здатне спричинити суттєві зсуви у моделі землекористування.

Трапляється так, що аграрні угіддя набувають вигляду заболочених чи знецінених територій, а це, своєю чергою, тягне за собою модифікації рівня насичення ґрунту вологою, кількості органічного вуглецю та рельєфних ознак місцевості.

Також, аналізи вказують на те, що деградація рослинного покриву та зменшення обсягів сільськогосподарського врожаю нерідко мають прямий зв'язок із наслідками видобувної діяльності на площах, схильних до осідання чи інших типів змін у рельєфі.

Виходячи з цього, безпілотні літальні апарати (БПЛА) перетворилися на дієвий засіб для швидкого отримання геопросторової інформації та контролю за екологічним станом ділянок.

З огляду на їхню здатність швидко переміщуватися, високу точність вимірювань та помірну ціну експлуатації, БПЛА являють собою вагомий ресурс для вивчення територій, зазнавших втручання через гірничодобувні процеси.

Апарати безпілотного типу, забезпечені апаратурою сенсорного сприйняття різноманітного змісту, здатні бути задіяні для виконання цілого спектру завдань.

До них належить, наприклад, визначення ступеня деградації земельних ділянок через осідання ґрунту, створення детальних планів мінеральних покладів у зонах, де спостерігається стікання кислих шахтних вод, дослідження територій, що перетворилися на болота внаслідок видобутку вугілля під землею, ідентифікація та нанесення на карту родовищ урану, а також постійний нагляд за гідротехнічними об'єктами шахт.

Отож, коли безпілотні літальні апарати використовуються разом із передовими техніками дистанційного зондування та геоінформаційними системами, це створює свіжі перспективи для забезпечення глибокої оцінки стану земель та екологічного нагляду за ділянками, що постраждали внаслідок видобутку корисних копалин.

3.3 Геологічні небезпеки та моніторинг забруднення

Під час розробки родовищ корисних ресурсів нерідко з'являються додаткові загрози, зумовлені геологічними ризиками та екологічним забрудненням, що потенційно можуть дестабілізувати функціонування видобувних об'єктів.

З огляду на це, вчасне ідентифікування факторів ризику та їх безперервне спостереження виступають критично важливими передумовами для гарантування безпеки гірничих робіт, а також невід'ємним елементом системи екологічного нагляду.

Серед загроз, що найчастіше трапляються у зонах видобутку корисних копалин, варто згадати займання у гірничих виробках, нестійкість бортів кар'єрів, появу розломів на земній поверхні та зміни у структурі ґрунтів.

Ці чинники здатні докорінно позначитися на безпеці проведення робіт і потребують пильної уваги у процесі геотехнічного контролю.

Подібні первинні небезпеки можуть провокувати запуск другорядних геологічних явищ, як-от зсувні рухи, грязьові потоки чи забруднення водних джерел.

Також, вони спроможні спричинити трансформації у внутрішній будові та фізичних характеристиках ґрунтів, що негативно позначається на стійкості територій та загальному екологічному стані регіонів гірничодобувної діяльності.

Окремої уваги заслуговує проблема забруднення повітря, спричиненого роботою шахт та кар'єрів.

А саме, процес згоряння неглибоко залягаючих вугільних шарів, здійснення підривних робіт на відкритих розробках та низка інших виробничих операцій генерують суттєві обсяги пилу, газових викидів та побічних продуктів.

Серед ключових забруднюючих речовин фігурують азотні оксиди, сірчані оксиди, чадний газ, а також гази, що спричиняють парниковий ефект, як-от метан та вуглекислий газ.

Поширення вказаних сполук у довкіллі здатне чинити шкідливий вплив на здоров'я громадян, провокувати випадіння кислотних дощів та прискорювати процеси глобальної зміни клімату.

У цьому аспекті застосування дронів постає як вагомий засіб для здобування актуальних відомостей стосовно конфігурації видобувних теренів.

Безпілотники здатні налагодити стабільне накопичення геопросторових відомостей та конструювати послідовності фіксації у часі, що відкриває можливості для дослідження перебігу розвитку ризикованих явищ.

Здобуту інформацію можна задіяти для своєчасного ідентифікування можливих небезпек та створення планів дій для мінімізації згубного впливу гірничих робіт на природне середовище.

Отже, апаратура для стеження за геологічними загрозливими явищами та небезпеки у регіонах видобутку корисних копалин, що використовує безпілотні літальні апарати (БПЛА), можливо, умовно класифікувати за трьома головними векторами: фіксація теплового випромінювання, моніторинг ступеня забруднення повітряного середовища, а також візуальний чи інструментальний контроль за стійкістю схилів та зміщеннями земної поверхні.

3.3.1 Зони аномальної температури

Техніки дистанційного зондування планети, аерофотографування та натурні обстеження довели свою виняткову корисність у знаходженні ділянок із підвищеними температурними відхиленнями.

Для аналізу територій великого масштабу зазвичай застосовуються орбітальні системи моніторингу, на зразок NOAA/AVHRR, Landsat TM/ETM та MODIS, які надають систематичні відомості про теплове тло земної оболонки.

Проте, через не надто високу деталізацію (просторову роздільну здатність) супутникових зображень, ці платформи не завжди спроможні

надійно ідентифікувати неглибокі підземні займання чи незначні вогнища теплових перевищень.

Щоб глибше вивчити термічні явища, застосовують авіаційні підходи, як-от тепловізійні інфрачервоні апарати та лазерні спектроскопічні прилади.

Ці інструменти дають змогу формувати карти тепловіддачі, а також проводити аналіз змін у будові поверхні та екологічних умовах місцевості після займання чи інших теплових подій.

Водночас, залучення звичних нам повітряних апаратів зазвичай тягне за собою чималі грошові вкладення та звужує можливості для пошукових робіт.

З огляду на це, протягом останніх років спостерігається жвавий прогрес у впровадженні непілотованих рухомих засобів, що дають змогу продуктивно відслідковувати підвищення температури в межах певної території.

Дрони, укомплектовані термографічними інфрачервоними апаратами, спроможні надійно та в стислі терміни оглядати геотермальні регіони чи території, де є ймовірність підземних займань.

Застосування подібних комплексів дає змогу оперативно ідентифікувати зони з підвищеним нагріванням, а також формувати об'ємні макети температурних відхилень у межах зони, що підлягає дослідженню.

Завдяки значній деталізації просторової інформації, яку надають аерофотознімки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), уможлиблюється прецизійне виявлення навіть невеликих чи ледь помітних теплових відхилень, котрі складно ідентифікувати, спираючись на супутникові знімки.

Додатково, систематичні обльоти, здійснювані дронами, гарантують поступлення даних практично миттєво, що дає змогу досліджувати зміну

температурних трендів та прогнозувати потенційну швидкість розповсюдження і вектори розвитку загорянь або інших термічних подій.

Отже, інтеграція безпілотних літальних апаратів та тепловізійних датчиків суттєво покращує результативність стеження за температурними відхиленнями в гірничодобувних зонах, допомагаючи оперативно розпізнавати загрози, що можуть виникнути.

3.3.2 Моніторинг стійкості схилів

Надійність відкосів кар'єрів — це один із найважливіших аспектів, що безпосередньо впливає на безпечність та продуктивність видобутку корисних копалин.

Коли стабільність схилів порушується, це може спричинити зсувні процеси, обвалення порід або деформування уступів кар'єру, що породжує серйозну загрозу для обладнання, споруд та персоналу гірничодобувних об'єктів.

Отже, дослідження того, як виникає нестійкість схилів, та постійний контроль за їхнім станом — це невід'ємна функція сьогоденних гірничо-геодезичних служб та інженерної геології.

Для з'ясування, як поведуться схили, зазвичай застосовують різноманітні геодезичні та ґрунтознавчі способи моніторингу, котрі дають змогу фіксувати зсуви у ландшафті, виникнення розломів чи викривлень.

Проте, здійснити подібні вимірювання у кар'єрах нерідко стає проблематично через заплутану місцевість, скрутний підхід до небезпечних зон та значні часові витрати.

З огляду на це, дедалі ширше застосовується залучення некерованих літальних апаратів (НКА), які використовуються для спостереження за станом схилів на відстані.

Завдяки їхній здатності здійснювати аерозйомку з малої висоти та фіксувати зображення з високою чіткістю, НКА дають змогу швидко збирати вичерпні відомості про конфігурацію кар'єрів та поточний стан їхніх укосів.

Дані, отримані в ході наукових розвідок, вказують на те, що застосування літальних апаратів без екіпажу відкриває можливості для оперативного виявлення ділянок із підвищеним ризиком, а також для систематичного контролю за станом укосів та вироблених терас.

Завдяки аерознімкам, зробленим безпілотниками, є зможним формувати об'ємні (3D) репрезентації кар'єрів, що, своєю чергою, дає змогу досліджувати трансформації ландшафту, вимірювати величину зміщень і провадити оцінку ймовірності розвитку зсувів.

Застосування підходів фотограметрії разом із формуванням насичених точкових кластерів дає змогу ретельно вивчати форму схилів, знаходити розколини, обвали та інші індикатори потенційної нестійкості.

Систематичні вильоти безпілотних літальних апаратів дають змогу створювати послідовні набори даних спостережень та моніторити рухи земної поверхні, що має першорядне значення для передбачення потенційних загроз геологічного характеру.

Отож, використання дронів разом із передовими техніками дистанційного зондування та фотограмметричного аналізу становить потужний засіб для моніторингу стабільності відвалів у кар'єрах, що, своєю чергою, покращує загальну безпеку гірничих операцій.

Висновок

Швидке просування технологій безпілотних літальних апаратів (БПЛА) значно побільшило спектр їхнього використання у численних наукових та господарських сферах.

Наразі дрони знаходять активне застосування у аграрному секторі, екологічному спостереженні, кадастровій діяльності, геодезії, дослідженні природних ресурсів та чималій кількості інших галузей.

Через свою значну маневреність, порівняно невеликі операційні витрати та здатність оперативно надавати інформацію, БПЛА перетворилися на дієвий засіб для накопичення геопросторових даних.

У цій бакалаврській роботі бакалавра досліджено актуальні методики інтеграції безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та різноманітних сенсорних систем для здійснення нагляду за кар'єрними об'єктами.

Було проведено розбір головних категорій платформ БПЛА, специфіки використання різних типів апаратури збору даних, а також потенціалу застосування цих безпілотних комплексів для проведення геодезичних вимірювань, створення тривимірних макетів, визначення ступеня деградації територій, відстеження небезпечних геологічних процесів та контролю за екологічною ситуацією в межах опрацьовуваних ділянок.

Злиття апаратних засобів безпілотного літаючих апаратів із техніками дистанційного дослідження планети формує підґрунтя для розробки багатокomпонентних систем нагляду.

Ці системи дають змогу збирати докладні геопросторові відомості та систематично фіксувати трансформації на певних ділянках.

У цьому дослідженні також увага приділяється ключовим викликам, що супроводжують застосування безпілотників у наукових пошуках.

Сюди входять перешкоди, зумовлені метеорологічною обстановкою, специфікою роботи систем орієнтування, а також властивостями апаратури збору даних (сенсорів).

У нинішній час використання безпілотних авіаційних систем (БАС) для нагляду за гірничими місцевостями стрімко набирає обертів.

Вирішальне значення для успішного застосування цих безпілотних апаратів має адекватний підбір апаратної основи (платформи) та сенсорних пристроїв, що мусять відповідати специфіці поставлених дослідницьких цілей.

Добір найменш затратної та найбільш продуктивної конфігурації системи дає змогу суттєво покращити достовірність здобутих відомостей та загальну результативність заходів контролю.

Одним із ключових векторів для подальших студій є злиття різноманітних геопросторових першоджерел.

А саме, якщо ми поєднаємо відомості з супутникового моніторингу, інформацію, отриману за допомогою дронів, результати наземних геодезичних робіт та дані, здобуті зі свердловин, можна буде створити всеосяжну моніторингову архітектуру, яку визначаємо як «Орбіта – Повітря – Земля – Підземні поклади».

Такий спосіб опрацювання дозволяє досягти глибшого розуміння актуального стану зон видобутку, уможливорює проведення аналізу змін у режимі реального часу та, як наслідок, покращує рівень контролю над ходом технологічних операцій.

Так ось, використання безпілотних літальних апаратів разом із передовими технологіями дистанційного зондування та

геоінформаційними системами відкриває перед нами вагомі наукові й практичні перспективи.

Застосування подібних інтегрованих методик дає змогу підвищити достовірність геопросторових вишукувань, удосконалити механізми нагляду за територіями видобутку корисних копалин та сприяти сталому функціонуванню гірничодобувного сектору.

Список використаних джерел

1. Бакалаврська робота. Методичні вказівки. За ред. проф. Полянської А. С., доц. Станьковської І.М., доц. Вербовської Л. С. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 42 с.
2. Лазарєва О. В. Вимоги до виконання кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» : методичні вказівки / О. В. Лазарєва, С. М. Смирнова. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 28 с. (Методична серія ; вип. 383).
3. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 92. – P. 79–97.
4. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: a review // Applied Geomatics. – 2014. – Vol. 6. – P. 1–15.
5. Turner D., Lucieer A., Watson C. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery // Remote Sensing. – 2012. – Vol. 4. – P. 1392–1410.
6. Eisenbeiss H. UAV photogrammetry. – Zürich : ETH Zurich, 2009. – 235 p.
7. Pajares G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs) // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2015. – Vol. 81(4). – P. 281–330.
8. Wallace L., Lucieer A., Watson C. Evaluating tree detection and segmentation routines on very high resolution UAV LiDAR data // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 52. – P. 7619–7628.

9. Zhang C., Kovacs J. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture // Precision Agriculture. – 2012. – Vol. 13. – P. 693–712.
10. Remondino F., Fraser C. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons // ISPRS Commission V Symposium. – 2006.
11. Lillesand T., Kiefer R., Chipman J. Remote sensing and image interpretation. – New York : Wiley, 2015. – 756 p.
12. Wolf P., Dewitt B., Wilkinson B. Elements of photogrammetry with applications in GIS. – New York : McGraw-Hill, 2014. – 624 p.
13. Aber J., Marzloff I., Ries J. Small-format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications. – Amsterdam : Elsevier, 2010.
14. Hardin P., Jensen R. Small-scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing // GIScience & Remote Sensing. – 2011. – Vol. 48. – P. 99–111.
15. Xiang H., Tian L. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle // Biosystems Engineering. – 2011.
16. Cryderman C., Mah S., Shufletoski A. Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and 3D modeling // International Archives of Photogrammetry. – 2014.
17. Lucieer A., Jong S., Turner D. Mapping landslide displacements using UAV imagery // Remote Sensing. – 2014.
18. Colomina I., Blázquez M., Molina P. UAV technologies for environmental monitoring // Remote Sensing. – 2012.
19. Smith M., Carrivick J., Quincey D. Structure from Motion photogrammetry in physical geography // Progress in Physical Geography. – 2016.

20. Turner D., Lucieer A., de Jong S. Time series analysis of landslide dynamics using UAV photogrammetry // Remote Sensing. – 2015.
21. Wallace L., Lucieer A., Malenovsky Z. Assessment of forest structure using UAV LiDAR // Remote Sensing. – 2012.
22. Laliberte A., Rango A. Image processing and classification procedures for analysis of sub-decimeter imagery acquired with an unmanned aircraft // Remote Sensing of Environment. – 2009.
23. Гірничий нагляд та екологічна безпека в гірничій промисловості / За ред. І. О. Петрова. – Київ : Наукова думка, 2016.
24. Пересоляк В. І., Костюк Ю. М. Геодезичні методи моніторингу деформацій інженерних споруд. – Львів : ЛНУ, 2018.
25. Шипулін В. Д. Основи дистанційного зондування Землі. – Київ : КНУБА, 2014.
26. Бурштинська Х. В. Фотограмметрія та дистанційне зондування. – Львів : Львівська політехніка, 2017.
27. Дорожинський О. Л., Тустановська Л. В. Фотограмметрія. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи:

« Формування цифрової моделі гірничодобувного об'єкта України на основі багатосенсорного моніторингу БПЛА »

Обсяг пояснювальної записки: 68 аркуша.

_____рік
(дата)

(підпис студента)