

Форма № ДН-8.06.2

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Геотехнічна інженерія»
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____/Альохін В.І./
“ ____ ” _____ 2024 року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Вибір і обґрунтування раціонального методу зйомки деградованих територій вугільних шахт»

Виконав: студент 2 курсу, групи ГКЗзм-22

напряму підготовки (спеціальності) 193 «Геодезія та землеустрій»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Куликов Василь Сергійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц. каф. ГТІ, к.т.н., доц. Сахно С.В.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент декан ГФ, к.т.н., доц. Мерзлікін А.В.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент Куликов В.С.

(підпис)

Луцьк – 2024 р.

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет Гірничий

Кафедра Геотехнічна інженерія

Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 193 «Геодезія та землеустрій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

/Альохін В.І./

“ ” 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ

Куликову Василю Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Вибір і обґрунтування раціонального методу зйомки деградованих територій вугільних шахт»

керівник роботи Сахно Світлана Володимирівна, к.т.н., доц.

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

затверджені наказом № 69 від “ 19 ” 02 2024 року

2. Строк подання студентом роботи 15 травня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали, зібрані відповідно до завдання під час проходження переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз нормативно-правової бази щодо деградованих територій; аналіз сучасних методів геодезичного знімання; аналіз літератури; Вибір параметрів БПЛА і елементів БПЛС для геодезичного знімання деградованих територій шахт; вибір оптимального варіанту ГІС технології, розробка методики проведення зйомки з БПЛА і приклад її реалізації охорона праці та техніка безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): супутникові знімки, плани земельних ділянок, орто фото; розрахункові схеми, порівняльні таблиці, приклади використання спеціалізованого програмного забезпечення, фото за змістом роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	доц. Сахно С.В.		

7. Дата видачі завдання 25 лютого 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ n/n	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	При- мітка
1	Законодавча база щодо деградованих територій вугільних шахт	10.03.2024	
2	Аналіз сучасних методів геодезичного знімання.	25.03.2024	
3	Вибір параметрів БПЛА і елементів БПЛС для геодезичного знімання.	10.04.2024	
4	Вибір оптимального варіанту ГІС технології на основі БПЛА для зйомки деградованих територій шахт	20.04.2024	
5	Методика проведення зйомки з БПЛА і приклад її реалізації	01.05.2024	
6	Охорона праці і техніка безпеки	08.05.2024	
7	Оформлення роботи і підготовка до захисту	15.05.2024	

Студент

Куликов В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Сахно С.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Куликов В.С. Вибір і обґрунтування раціонального методу зйомки деградованих територій вугільних шахт / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2024.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуального питання розробки методики зйомки деградованих територій вугільних шахт на основі порівняльного аналізу доступних на ринку комерційно-готових продуктів безпілотної авіації, технологічних і програмних рішень.

Об'єктом дослідження магістерської роботи є породні відвали вугільних шахт, що є типовими деградованими територіями області. Геодезичні спостереження на відвалах зараз переважно виконуються вручну.

Аналіз літературних джерел вказує, що дослідження порушених внаслідок ведення гірничих робіт територій шахт є одним з важливих напрямків геодезичних спостережень в світі. В роботі проведено аналіз сучасних методів вимірювання і визначено, що розміри деградованих територій вугільних шахт знаходяться в межах області дослідження сучасних безпілотних літальних систем. Порівняльний аналіз дозволив дійти висновку, що для об'єкту дослідження магістерської роботи більше підходить метод фотограмметрії, ніж ЛІДАР. Запропоновано обладнання для виконання зйомок в склад якого входять платформа БПЛА, камера, блок керування і навігації, автопілот.

В результаті запропоновано методику проведення геодезичного знімання породного відвалу вугільної шахти. Наведено приклад робіт на всіх етапах для умов породного відвала блока 2 шахти Степова. Проведено підрахунок об'ємів робіт планування відвалу за місяць.

Наведені заходи з охорони праці і техніки безпеки.

Ключові слова: ГІС-технології, фотограмметрія, ЛІДАР, БПЛА, породні відвали.

ABSTRACT

Kulykov V.S. The determination of a rational method of surveying degraded areas of coal mines / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree «Master» specialty 193 "Geodesy and land management". – SHEI DonNTU, Lutsk, 2024.

The master's work is dedicated to the latest development of methods for mining degraded territories of coal mines based on a comprehensive analysis of commercially available unmanned aircraft products, technological and software.

The object of the master's research is the rock waste dumps of coal mines, which are typical degraded areas of the region. Geodetic observations on waste dumps are now mostly performed manually.

An analysis of the literature indicates that the investigation of damage caused by mining in the mine affected territory is one of the most important areas of geodetic monitoring in the world.

In the work, an analysis of modern measurement methods was carried out and it was determined that the dimensions of degraded areas of coal mines are within the scope of research of modern unmanned aerial systems. The comparative analysis made it possible to conclude that the photogrammetry method is more suitable for the research object of the master's thesis than LIDAR. Equipment for monitoring is offered, which includes a UAV platform, a camera, a control and navigation unit, and an autopilot.

As a result, a method of carrying out geodetic surveying of a rock dump of a coal mine is proposed. An example of work at all stages for the conditions of the rock dump of block 2 of the Stepova mine is given. The volume of waste planning works per month was calculated.

Occupational health and safety measures are given.

Key words: GIS technologies, photogrammetry, LIDAR, UAVs, rock dumps.

ЗМІСТ

	ВСТУП	8
1.	АНАЛІЗ ЗАКОНОДАВЧОЇ БАЗИ ЩОДО ДЕГРАДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	10
2.	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ ПРИ РІЗНИХ РОЗМІРАХ ДОСЛІДЖУВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	20
3.	ВИБІР ПАРАМЕТРІВ БПЛА І ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗПЛОТНОЇ ЛІТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	24
4.	СУЧАСНІ ГІС ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ДРОНІВ (ЛІДАР І ФОТОГРАММЕТРІЯ). ВИБІР НАЙКРАЩОГО ВАРІАНТУ ДЛЯ ЗЙОМКИ ДЕГРАДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ШАХТ	34
	4.1 Сутність технологій геодезичного знімання з платформ БПЛА	34
	4.2. Аналіз кейсів	42
	4.2.1. Кейс шахти Белхатув (Польща)	42
	4.2.2. Кейс гірського масиву Анд Азуай (Еквадор)	48
	4.3. Порівняння технологій дистанційного зондування територій на платформах БПЛА	53
5.	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗЙОМКИ І ПРИКЛАД ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ	57
6.	ОХОРОНА ПРАЦІ	67
	6.1. Інструкція з охорони праці для оператора БПЛА	67
	6.2. Вимоги охорони праці перед початком роботи	69
	6.3. Вимоги охорони праці під час роботи	69
	6.4. Вимоги охорони праці по закінченню роботи	71
	6.5. Правила безпеки щодо породних відвалів	71

	ВИСНОВКИ		75
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		77

ВСТУП

Геодезичне знімання з безпілотного літального апарату (БПЛА) є новим інструментом вимірювання, що впевнено займає нові позиції в геодезії. Цей метод не тільки представляє недорогу альтернативу традиційній аерофотограмметрії, працюючі в близькій і середній зоні, але через технічні удосконалення і прогрес безпіотної авіації складає конкуренцію супутниковому зніманню при середніх і навіть великих розмірах досліджуваної області.

Серед перспективних напрямків використання засобів дистанційної зйомки територій для умов Донецької області виділяється обстеження деградованих територій вугільних шахт – породних відвалів, відстійників, хвостосховищ, територій промислових площадок шахт. Такі роботи виконуються як на діючих підприємствах, так і на територіях колишньої господарської діяльності шахт.

Дослідження порушених внаслідок ведення гірничих робіт територій шахт є одним з важливих напрямків геодезичних спостережень в світі, про що свідчить аналіз літературних джерел.

Для умов Донецької області актуальним є питання геодезичного знімання поверхонь породних відвалів. Спостереження за породними відвалами можуть проводитись з різною метою. Зокрема контроль стійкості відвалів, контроль виконання робіт по плануванню відвалів бульдозерною технікою, контроль робіт по боротьбі з загоранням відвалів, контроль і оцінка якості рекультиваційних робіт і т.п. Зазвичай такі роботи виконуються візуальними спостереженнями, але БПЛА технології відкривають нові можливості, дозволяють скоротити час на проведення знімання, витрати часу фахівців, зменшити кількість людино-змін і скоротити поточні витрати на знімання.

Схожі технічно роботи виконуються при моніторингу схилів бортів кар'єрів при розробці вугілля відкритим способом і моніторингу стійкості

гірських масивів. В цих галузях вже більше десяти років використовуються технології безпілотного знімання, тому вони обрані в якості технічних аналогів при аналізі літературних джерел.

У зв'язку з цим метою магістерської роботи є вибір і обґрунтування раціонального методу зйомки деградованих територій вугільних шахт на основі порівняльного аналізу доступних на ринку технологічних рішень з безпіотної авіації, камер, датчиків і програмного забезпечення з відкритим кодом.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Провести порівняльний аналіз сучасних методів геодезичного знімання при різних розмірах досліджуваних територій.
- 2) Вибрати параметри БПЛА і елементів безпіотної літальної системи для геодезичного знімання.
- 3) Виконати вибір оптимального варіанту ГІС технології на основі БПЛА для зйомки деградованих територій шахт.
- 4) Розробити методику проведення геодезичного знімання з БПЛА і навести приклад її реалізації.

Методи дослідження.

Під час проведення огляду літератури і інтернет-ресурсів використовувались такі методи: пошуковий аналіз, узагальнення, синтез. При критичній оцінці варіантів використовувались метод індукції, SWOT, метод узагальнення, кейс-технології. При проведенні розрахунків використовувались методи інженерно-технічних розрахунків.

Структура та обсяг роботи.

Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування; містить 70 сторінок основного тексту, 19 рисунків, 7 таблиць; загальний обсяг роботи складає 79 сторінок.

1. АНАЛІЗ ЗАКОНОДАВЧОЇ БАЗИ ЩОДО ДЕГРАДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Відповідно до Земельного кодексу України «Земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави». Гарантується право власності на землю [1]. Використання власності на землю не повинно завдавати шкоди правам і свободам громадян, інтересам суспільства, призводити до погіршення екологічної ситуації і природної якості землі [1].

Земельними відносинами називають суспільні відносини щодо володіння, користування і розпорядження земельною ділянкою [1]. Суб'єкти земельних відносин: громадяни, юридичні особи, органи місцевого самоврядування, органи державної влади [1].

Регулювання земельних відносин здійснюється Конституцією України, Земельним Кодексом і прийнятими відповідними нормативно-правовими актами щодо них [1].

Згідно з Законом України «Про охорону земель» під деградацією ґрунтів розуміємо «погіршення корисних властивостей та родючості ґрунту внаслідок впливу природних чи антропогенних факторів» [2].

Деградація земель трактується як «природне або антропогенне спрощення ландшафту, погіршення стану, складу, корисних властивостей і функцій земель та інших органічно пов'язаних із землею природних компонентів». Порушеними землями називають «землі, що втратили свою господарську та екологічну цінність через порушення ґрунтового покриву внаслідок виробничої діяльності людини або дії природних явищ» [2].

«Державний контроль за використанням та охороною земель здійснюється центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин, а за додержанням вимог законодавства про охорону земель - центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері

охорони навколишнього природного середовища. Державний контроль за використанням та охороною земель здійснюють виконавчі органи сільських, селищних, міських рад у межах повноважень, визначених законом, у разі прийняття відповідною радою рішення про здійснення такого контролю» [2].

Комплексна державна система спостережень включає топографо-геодезичні, картографічні, ґрунтові, агрохімічні, радіологічні та інші обстеження і розвідування стану земель і ґрунтів, а також моніторингові дослідження [2].

Відомості про якісні показники земельних ділянок, заходи щодо охорони земель і ґрунтів (рекультивація порушених земель, консервація деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених земель), обмеження у використанні земель вносяться до Державного земельного кадастру на підставі документації із землеустрою в галузі охорони земель згідно Закону України "Про Державний земельний кадастр" [2].

«Власники землі та землекористувачі забезпечують виконання заходів з охорони земель та обмежень у використанні земель, передбачених документацією із землеустрою в галузі охорони земель» [2].

Відповідно до Закону України «Про охорону земель» встановлюються нормативи показників деградації земель для кожної категорії земель з метою запобігання погіршенню їх стану і використовуються для контролю за використанням та охороною земель. До таких нормативів показників деградації земель відносять показники гранично допустимого погіршення стану і властивостей земельних ресурсів внаслідок антропогенного впливу, негативних природних явищ, нормативи інтенсивності використання земель сільськогосподарського призначення [2].

Власники і землекористувачі (в т. ч. орендарі) земельних ділянок при здійсненні господарської діяльності зобов'язані [2]:

- дотримуватися вимог земельного та природоохоронного законодавства України [2];

- своєчасно інформувати відповідні органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування щодо деградації та забруднення земельних ділянок [2];

- забезпечувати використання земельних ділянок за цільовим призначенням та дотримуватися встановлених обмежень (обтяжень) на земельну ділянку [2];

- уживати заходів щодо запобігання негативному і екологонебезпечному впливу на земельні ділянки та вчасної ліквідації наслідків цього впливу [2].

Деградовані земельні ділянки відносяться до категорії земель «промисловості, транспорту, електронних комунікацій, енергетики, оборони та іншого призначення». До земель промисловості відносять землі, що «надані для розміщення та експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель та споруд промислових, гірничодобувних, транспортних та інших підприємств, їх під'їзних шляхів, інженерних мереж, адміністративно-побутових будівель, інших споруд». Землі промисловості можуть бути у державній, комунальній або приватній власності [1].

Розміри земельних ділянок, віднесених до категорії земель промисловості, визначаються відповідно до затверджених в установленому порядку державних норм і проектної документації; «відведення земельних ділянок здійснюється з урахуванням черговості їх освоєння» [1].

«Надання земельних ділянок для потреб, пов'язаних з користуванням надрами, проводиться після оформлення в установленому порядку прав користування надрами і відновлення земель згідно із затвердженим відповідним робочим проектом землеустрою на раніше відпрацьованих площах у встановлені строки» [1].

Земельні ділянки усіх форм власності надаються у користування власникам спеціальних дозволів на геологічне вивчення (у т.ч. дослідно-промислову розробку) «корисних копалин з подальшим видобуванням корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення та (або) на

видобування корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення шляхом встановлення земельних сервітутів згідно з межами ділянок надр та строками дії відповідних спеціальних дозволів на користування надрами, а також за межами таких ділянок надр для будівництва та розміщення споруд/об'єктів, пов'язаних із зазначеним видом діяльності (з автоматичним продовженням строку дії земельного сервітуту в разі продовження строку дії відповідного спеціального дозволу на користування надрами)» [1].

Згідно Земельного кодексу України до техногенно забруднених земель відносять землі, «забруднені внаслідок господарської діяльності людини, що призвела до деградації земель та її негативного впливу на довкілля і здоров'я людей». До такого типу земель відносять радіаційно небезпечні та радіоактивно забруднені землі, землі, забруднені важкими металами та іншими хімічними елементами. Використання техногенно забруднених земель виконується з врахуванням особливостей режиму їх використання, які встановлюються законодавством України [1].

Земельні ділянки віднесені до будь-якої категорії підлягають періодичному моніторингу. «Моніторинг земель - це система спостереження за станом земель з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення та ліквідації наслідків негативних процесів». Під час здійснення моніторингу земель проводять збір, обробку, передачу, збереження та аналіз інформації про стан земельних ділянок, прогноз можливих змін їх, розробку науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень стосовно запобігання негативним змінам стану земель з урахуванням дотримання вимог охорони земель [1].

Моніторинг земель - складова частина державної системи моніторингу довкілля. Ведення моніторингу земельних ділянок «здійснюється центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин, центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища» [1].

Порядок проведення моніторингу земель встановлюється Кабінетом Міністрів України. «Основними завданнями моніторингу земель є прогноз еколого-економічних наслідків деградації земельних ділянок з метою запобігання або усунення дії негативних процесів» [1].

Згідно Земельного кодексу України до підстав щодо припинення права користування земельною ділянкою відносять [1]:

- а) добровільна відмова від права користування земельною ділянкою [1];
- б) вилучення земельної ділянки у випадках, передбачених Земельним Кодексом [1];
- в) використання земельної ділянки способами, які суперечать екологічним вимогам [1];
- г) використання земельної ділянки не за цільовим призначенням [1];
- г) систематична несплата земельного податку або орендної плати [1];
- д) припинення права користування надрами у разі закінчення встановленого спеціальним дозволом на користування надрами строку користування надрами [1].

Відповідно до Закону України «Про землеустрій» під заходами з землеустрою розуміють «передбачені документацією із землеустрою роботи щодо раціонального використання та охорони земель, формування та організації території об'єкта землеустрою з урахуванням їх цільового призначення, обмежень у використанні та обмежень (обтяжень) правами інших осіб (земельних сервітутів). Під цільовим призначенням земельної ділянки розуміємо «допустимі напрями використання земельної ділянки відповідно до встановлених законом вимог щодо використання земель відповідної категорії та визначеного виду цільового призначення» [3].

Під сталим землекористуванням, згідно Закону України «Про землеустрій» мається на увазі «використання земель, що визначається тривалим користуванням земельною ділянкою без зміни її цільового

призначення, погіршення її якісних характеристик та забезпечує оптимальні параметри екологічних і соціально-економічних функцій територій» [3].

Землеустрій забезпечує [3]:

а) реалізацію державної політики щодо використання та охорони земель, вдосконалення земельних відносин, наукове обґрунтування розподілу земель за цільовим призначенням з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів, формування раціональної системи землеволодіння і землекористування [3];

б) надання інформації для правового, економічного, екологічного і містобудівного механізмів регулювання земельних відносин на національному, регіональному, локальному і господарському рівнях шляхом встановлення особливого режиму та умов використання й охорони земель [3];

в) встановлення і закріплення на місцевості меж адміністративно-територіальних одиниць, меж земельних ділянок власників і землекористувачів;

г) розробку і здійснення системи заходів із землеустрою для збереження природних ландшафтів, рекультивації порушених земель, забруднення промисловими відходами та хімічними речовинами, консервації деградованих і малопродуктивних земель, запобігання іншим негативним явищам [3];

г) організацію території підприємств з метою створення умов сталого землекористування та встановлення обмежень і обтяжень (земельних сервітутів) у використанні та охороні земель несільськогосподарського призначення [3];

д) отримання інформації щодо кількості та якості земель, їхнього стану та інших даних, необхідних для ведення державного земельного кадастру, моніторингу земель, здійснення державного контролю за використанням та охороною земель [3].

Відповідно до Кодексу України про надра під поняттям «надра» розуміють частину «земної кори, що розташована під поверхнею суші та дном водоймищ і простягається до глибин, доступних для геологічного вивчення та освоєння». Кодекс України про надра регулює «гірничі відносини з метою забезпечення раціонального, комплексного використання надр для задоволення потреб у мінеральній сировині та інших потреб суспільного виробництва, охорони надр, гарантування при користуванні надрами безпеки людей, майна та навколишнього природного середовища, а також охорона прав і законних інтересів підприємств, установ, організацій та громадян» [4].

Регулювання гірничих відносин в Україні здійснюється Конституцією України, Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища", Кодексом України про надра, іншими відповідними законодавчими актами України [4].

Надра надаються у строкове платне користування з наданням спеціального дозволу на користування надрами, на строк, визначений заявником, що становить [4]: 3 - 20 років - для геологічного вивчення (у т. ч. дослідно-промислової розробки корисних копалин з подальшою промисловою розробкою родовищ), на видобування корисних копалин, будівництво та експлуатацію підземних споруд (не пов'язаних з видобуванням корисних копалин), захоронення шкідливих речовин і відходів виробництва, скидання стічних вод, експлуатацію підземних споруд, пов'язану із запобіганням підтопленню навколишнього природного середовища внаслідок закриття шахт [4].

Спецдозвіл на користування надрами надається згідно результатів електронних торгів (проведення аукціону), при наявності підстав, - без проведення аукціону. Надання спецдозволу на користування надрами, продовження його строку дії, внесення змін до спецдозволу на користування надрами або до «угоди про умови користування надрами здійснюються відповідним дозвільним органом: центральним органом виконавчої влади, що

реалізує державну політику у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр» [4].

Внесення змін, продовження строку дії, зупинення, анулювання, поновлення дії спеціального дозволу на користування надрами, здійснюються відповідним дозвільним органом у порядку, встановленому Кодексом України про надра [4].

Згідно Закону України про надра під гірничим відводом розуміють частину надр, надану «користувачам для промислової розробки родовищ корисних копалин та цілей, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин. Гірничий відвід надається виключно для гірничих об'єктів, розробка родовищ корисних копалин на яких здійснюється підземним способом (шахт, рудників). Користування надрами за межами гірничого відводу забороняється. Гірничий відвід для гірничих об'єктів надається центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони праці [4].

«Право користування надрами припиняється у разі закінчення встановленого строку користування надрами, внесення змін до спеціального дозволу на користування надрами у зв'язку з відчуженням прав на користування надрами шляхом укладення договору купівлі-продажу чи внесення таких прав як вклад до статутного капіталу суб'єктів господарювання, анулювання спеціального дозволу на користування надрами» [4].

Землевласники і землекористувачі можуть бути позбавлені права видобування корисних копалин місцевого значення та права користування надрами для господарських і побутових потреб у разі порушення ними порядку і умов користування надрами на наданих їм у власність або користування земельних ділянках місцевими радами або іншими спеціально уповноваженими органами в порядку, передбаченому законодавством України [4].

Згідно класифікації видів цільового призначення земель (далі КВЦПЗ) застосовується кодування земель для забезпечення обліку земельних ділянок за видами цільового призначення у державному земельному кадастрі. КВЦПЗ застосовується для використання органами державної влади, місцевого самоврядування, організаціями, підприємствами, установами для ведення обліку земель та формування звітності із земельних ресурсів. КВЦПЗ визначає поділ земель на окремі види цільового призначення земель, які характеризуються власним правовим режимом, екосистемними функціями, типами забудови (табл. 1.1.) [5].

Таблиця 1.1. - Класифікація видів цільового призначення земель [5]

Код КВЦПЗ		Назва
Розділ	Підрозділ	
Секція J 11		<i>Землі промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони та іншого призначення [5]</i>
		Землі промисловості (землі, надані для розміщення та експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель та споруд промислових, гірничодобувних, транспортних та інших підприємств, їх під'їзних шляхів, інженерних мереж, адміністративно-побутових будівель, інших споруд) [5]
	11.01	Для розміщення та експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель та споруд підприємствами, що пов'язані з користуванням надрами [5]

	11.02	Для розміщення та експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель та споруд підприємств переробної, машинобудівної та іншої промисловості [5]
--	-------	--

2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ ПРИ РІЗНИХ РОЗМІРАХ ДОСЛІДЖУВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Геодезичне знімання (фотограмметрія) з безпілотного літального апарату (БПЛА) є по суті новим інструментом вимірювання, що впевнено займає нові позиції в геодезії. Цей метод представляє недорогу альтернативу традиційній аерофотограмметрії. «Стандартні» дрони є комерційно готовими продуктами (COTS), якими зараз заповнений ринок і які є доступними по ціні широкому колу споживачів. Сучасна безпілотна авіація пропонує різні типи БПЛА, які можна класифікувати за різними критеріями, такими як тип рушія, корисна вага, час польоту і т.п. Усі ці дрони мають різні параметри, які є більш-менш бажаними для фотограмметрії. В цьому розділі на основі аналізу технічних характеристик проведено визначення типу платформи та обрано найбільш підходящу платформу БПЛА для фотограмметричних вимірювань.

Комерційні готові продукти (COTS) можна визначити як товари, що продаються на комерційному ринку. Це типові/базові продукти, не призначені для індивідуальних цілей. Ці продукти доступні для продажу або оренди, ліцензовані для використання широким загалом. Продукти COTS не потребують спеціальної модифікації чи обслуговування протягом життєвого циклу. Це означає, що всі компоненти можна вільно придбати на ринку, підключити та запрограмувати для кінцевого продукту.

Безпілотним літальним апаратом (БПЛА), або дроном, називається загальна конструкція літального апарату, який працює без людини-пілота на борту. Спочатку системи та платформи БПЛА були розроблені для військових застосувань. Військові БПЛА дуже складні, спеціально розроблені для військових дій. Технологія БПЛА довгий час була недоступна для широкої спільноти. Протягом останніх років технологія БПЛА була комерціалізована. Сьогодні без проблем можна придбати маленький, простий і дешевий дрон для домашнього використання. Професійні дрони також

доступні на ринку і оснащені більш передовими технологіями: кращими камерами, стабілізаторами, системами що забезпечують високу витривалість і маневреність під час польоту. Всі компоненти дронів доступні на ринку, можуть бути замінені, модифіковані, модернізовані. Це означає, що БПЛА технологія стає не тільки популярною у вузькоспеціалізованому середовищі, але і доступною для суспільства.

На рисунку 2.1 наведено існуючі сьогодні методи вимірювань і зазначено точність відповідних вимірювань.

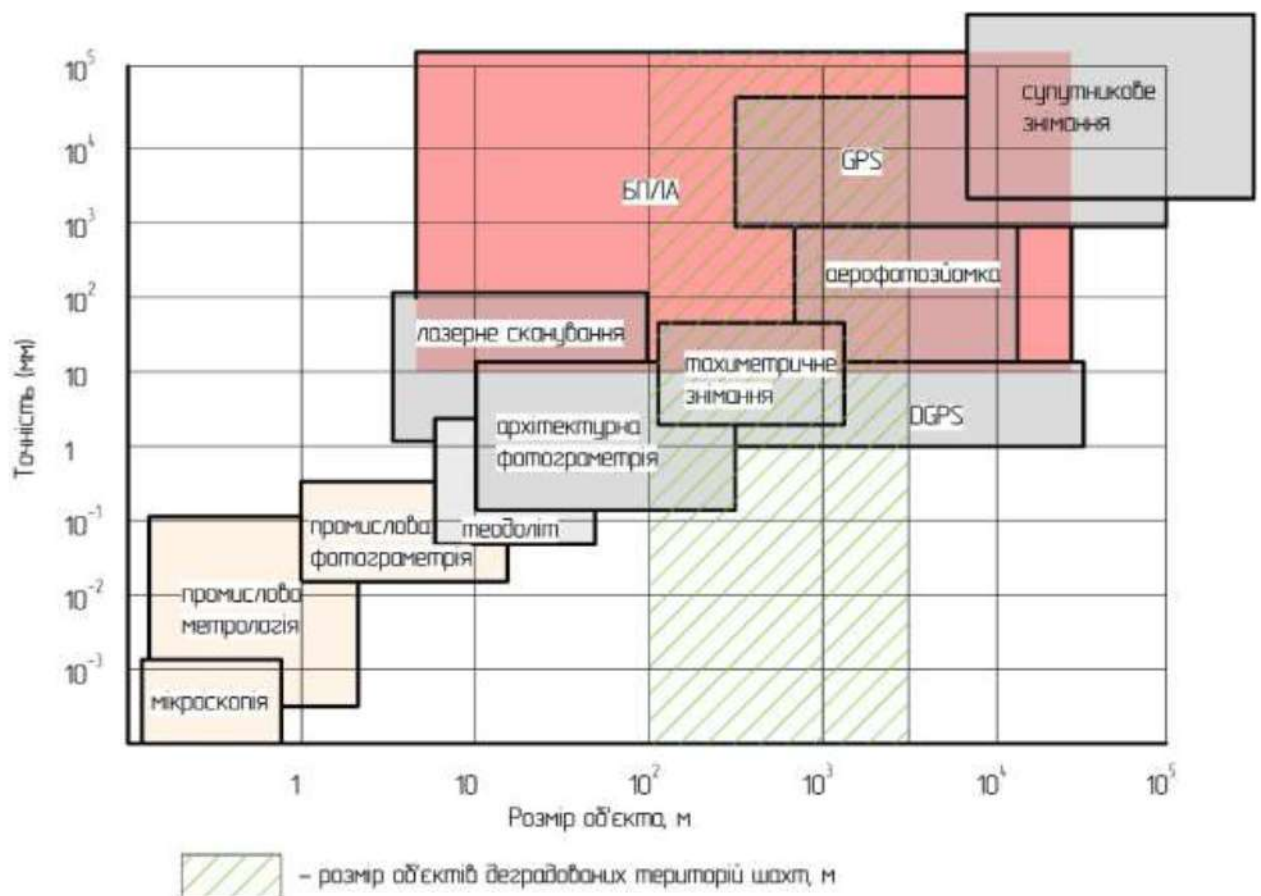


Рисунок 2.1. – Методи і технології вимірювання з зазначенням їх точності, відповідно до розмірів об'єктів.

На рисунку 2.1 штриховкою зазначено характерні розміри зон деградованих територій вугільних шахт. Такі території потенційно займають

лінійні розміри від сотні метрів до 5 кілометрів. З рисунка видно, що сучасні

методи знімання за допомогою БПЛА з запасом перекривають визначений діапазон.

Останні роки показали, що діапазон методів вимірювання, що був актуальний 15-10 років тому і опублікований у [6] та модифікований у [7], тепер має бути переглянутий знову (рис. 2.1). Це пов'язано з сучасними проектами безпілотної авіації. Зокрема NASA запустило проект X-37, також відомий як Orbital Test Vehicle (OTV), який є безпілотним космічним кораблем багаторазового використання. З цього моменту безпілотний літальний апарат готовий до експлуатації в космосі. Базуючись на цій інформації, доцільно переглянути класифікацію методів геоматичних 3D вимірювань, наведену в [8] (рис. 2.2). Оскільки БПЛА досяг космосу, його здатність проводити фотограмметричні вимірювання наближається до вимірювань, зроблених із супутників. Тобто область потенційного використання БПЛА [9] для геодезичних досліджень суттєво розширюється і виникають нові перспективи у розвитку геоматики.

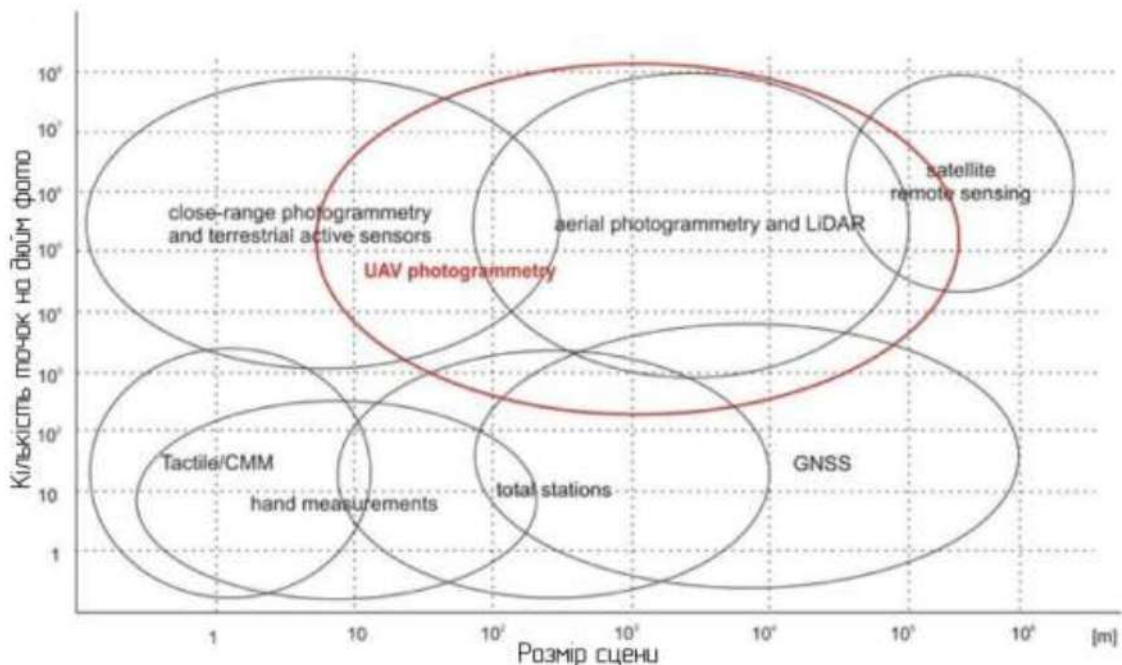


Рисунок 2.2 – Геоматичні методи, датчики та платформи для запису 3D, відповідно до розмірів і складності сцени [8].

Проведений аналіз свідчить, що для вирішення поставленої в магістерській роботі задачі геодезичного знімання деградованих територій вугільних шахт найкраще підходить метод зйомки з безпілотного літального апарата. Цей метод має переваги над традиційною аерофотозйомкою і набуває все більшої популярності через розвиток безпіотної авіації, засобів дистанційного фіксування, спеціалізованих ГІС систем. Тому в магістерській роботі в якості метода дослідження обрано знімання з БПЛА.

3. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ БПЛА І ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗПЛОТНОЇ
ЛІТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ
ДЕГРАДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Платформу (корпус) БПЛА можна розглядати як механічну конструкцію, що зазвичай включає фюзеляж, крила, систему силової установки та авіаційну електроніку. Через особливості технічної конструкції різні БПЛА мають різну величину корисного навантаження і різний польотний час, що є їх основними характеристиками. Проектування платформ – це галузь аерокосмічної техніки, яка об’єднує аеродинаміку, матеріалознавство, методи виробництва для досягнення балансу продуктивності, надійності та вартості. Платформи БПЛА можна класифікувати за основними характеристиками літальних апаратів. У таблиці 3.1 наведено класифікацію платформ БПЛА, які можна використовувати для фотограмметричних застосувань.

Таблиця 3.1 Класифікація БПЛА за класом

	Аеростатичні	Аеродинамічні		
		Гнучке крило	Фіксоване крило	Крило, що обертається
Без живлення	Повітряна куля	Дельтаплан	Планери	Роторний - повітряний змій
		Параплан		
		Повітряний змій		
З живленням	Дирижабль	Параплан	Пропелерні	Прості ротори
			З реактивним двигуном	Коаксіальні
				Мультиротори

БПЛА є частиною безпілотної літальної системи. Типовий БПЛА складається з безпілотного літального апарату, наземної станції управління (GCS) і лінії зв'язку та управління (C2) між GCS і БПЛА. Критичні модулі БПЛА розміщені на борту платформи, такі як навігаційний модуль (НМ), модуль контролю польоту (FCM), механічні сервоприводи. Залежно від основного призначення та завдань БПЛА корисне навантаження різне. У випадку фотограмметрії та дистанційного зондування корисним навантаженням виступає модуль збору даних (DAM). Наземну станцію управління можна визначити як стаціонарний або пересувний пристрій для спостереження та управління безпілотним літальним апаратом. Наземна станція управління може працювати з землі, моря або повітря. Вона забезпечує зв'язок між БПЛА і оператором.

До конструкції станції управління БПЛА висуваються певні функціональні вимоги. Вирішальними функціями є [5]:

- керування повітряним транспортним засобом – здатність ефективно контролювати та керувати БПЛА під час місії;
- контроль корисного навантаження – здатність керувати датчиками з землі;
- планування місії – функція, яка допомагає оператору БПЛА у плануванні місії, надаючи необхідні знання щодо можливостей та обмежень БПЛА;
- аналіз та розповсюдження даних корисного навантаження – можливість розповсюджувати дані з корисного навантаження потенційним користувачам;
- діагностика системи повітряного транспортного засобу – автоматична тестова установка для ефективного обслуговування та розгортання БПЛА та GCS;
- навчання операторів – можливість тренувати диспетчерів транспортного засобу в обслуговуванні літака, відпрацювання планів місії та аварійних процедур;

- післяпольотний аналіз— здатність зберігати дані польоту та дані про корисне навантаження та аналізувати їх після польоту.

Навігаційний модуль є найбільш критичним модулем на борту БПЛА. Навігаційний модуль періодично передає положення, швидкість і висоту літака. Навігаційний модуль передає дані для керування безпіотною платформою, він оснащений навігаційними системами для фіксації положення платформи (зазвичай використовує GNSS) і системою орієнтації (OS) з датчиками руху (акселерометрами) і датчиками обертання (гіроскопами) для безперервного розрахунку орієнтації та швидкості (напрямку і швидкості руху) платформи. Пристрої в яких навігаційний модуль з системою орієнтації і модуль контролю польоту інтегровані в один модуль, називаються автопілотами.

Модуль контролю польоту це пристрій, що керує польотом, тобто веде БПЛА в призначене положення та надає правильну орієнтацію та швидкість. Цей модуль складається з двох основних частин: блок аналізу даних – ця частина отримує команди від оператора системи та поточні параметри польоту від навігаційного модуля, аналізує та готує команди для виконавчої частини з метою коригування параметрів польоту. Друга частина – це блок виконавчої частини з механічними сервоприводами, електронним регулятором швидкості двигуна(ів), призначеним для керування та регулювання швидкості двигунів.

Модуль збору даних включає оптичні прилади дистанційного зондування. Залежно від характеру бажаних даних модуль збору даних може бути оснащений різними типами датчиків, включаючи бортові системи отримання зображень (від видимого діапазону до ближнього інфрачервоного і теплового інфрачервоного діапазонів), мікрохвильові системи, активні та пасивні вимірювальні прилади.

Платформа БПЛА для фотограмметричних досліджень повинна бути розроблена з такими вимогами: протягом одного польоту платформа повинна виконувати максимальне покриття площі, система повинна виконувати

автономний політ по запрограмованій трасі та з заданою висотою (рівнем), польот повинен проводитися за будь-яких погодних умов (опір вітру), площа зльоту та посадки не обмежена.

Для вибору найбільш підходящої платформи для фотограмметрії була розроблена матриця параметрів (табл. 3.2). За класифікацією (табл. 3.1) визначеним параметрам було присвоєно відповідну вагу. Діапазон ваг від 1 до 5. Вагові коефіцієнти для кожного типу платформ розроблені на основі наявного досвіду та результатів досліджень [6], [8]. Значення параметра варіюються від 0 до 2, причому 0 означає найнижчу характеристику (здатність) платформи в зазначеному параметрі, а 2 — найвищу. Результат для кожного типу платформи був розрахований за виразом:

$$R = \sum_{n=1}^N w_n p_n \tag{3.1}$$

Таблиця 3.2. - Оцінка платформ БПЛА, які використовуються для фотограмметрії

Параметр (pn)		корисне навантаження	Опір вітру	мінімальна швидкість автономність	польоту	Портативність	Дальність посадки	Діапазон	Витривалість	Маневреність	Стабільність	Результат (R)
Тип платформи												
Вага параметра (wn)												
Без живлення	Повітряна куля	3	2	4	5	3	2	3	3	2	4	34
	Дельтаплан	2	0	2	0	2	2	0	2	0	1	32
	Планери	1	2	2	0	2	2	1	0	0	1	38
	Роторний повітряний змій	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	34

	Повітряний змій	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	38
	Параплан	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	34
З живленням	Дирижабль	2	1	2	2	2	2	2	2	0	1	52
	Мотопланер	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	54
	Літак	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	44
	Ракетивний літак	2	2	0	2	2	0	0	1	1	0	31
	Прості ротори	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	50
	Коаксіальні	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	50
	Квадрокоптери	2	1	2	2	2	2	1	0	2	1	47
	Мультиротори	2	1	2	2	2	2	1	0	2	1	47
	Мото дельтаплан	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	48
	Мото параплан	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	48

За наведеними результатами найбільш підходящою платформою для фотограмметричного завдання з параметрами зйомки деградованих територій вугільних шахт є мотопланер з результатом 54 бали. Мотопланер - це аеродинамік із нерухомим крилом, оснащений силовою установкою, здатний здійснювати тривалий політ без тяги від силової установки. Мотопланери оснащені пропелером, який може бути нерухомим або висувним. Двигун з пропелерами може злітати та літати, як літак, або парити з вимкненою потужністю, як планер. Гвинтопланери з гвинтовим двигуном, які самостійно запускаються, мають достатню тягу та початкову швидкість набору висоти, щоб злетіти без сторонньої допомоги, або їх можна запускати, як і звичайний планер. Планер характеризується високою аеродинамічною ефективністю, значно вищою, ніж у інших типів платформ.

В даний час технологія виготовлення планерів базується на композиційних матеріалах (вуглець і скловолокно), сформованих у фрезерованих формах з ЧПУ. Ця технологія дозволяє інженерам виготовляти крила та фюзеляжі з дуже високою точністю, точно визначеною за

допомогою числових моделей, що призводить до створення легкої, але надзвичайно міцної конструкції. Композитний матеріал формує складні форми за відносно низьку вартість і може демонструвати неймовірну міцність і жорсткість. Силова установка мотопланерних платформ БПЛА складається з без щіткового електродвигуна з електронним регулятором швидкості, що живиться від літій-полімерних батарей. Ця конфігурація є найефективнішою для БПЛА і може бути повністю зібрана з недорогих комерційних готових продуктів.

Модуль збору даних.

Модуль збору даних об'єднує в одному фізичному елементі всі чутливі прилади та допоміжні елементи. Що стосується чутливих елементів для завдань фотограмметрії, в магістерській роботі увага зосереджена лише на комерційних камерах видимого світла, спектральних і теплових камерах масою менше 1500 г на підставі [9] і аналізу ринку (табл. 2.3). До допоміжних елементів в основному відносяться активна або пасивна система стабілізації, додаткове сховище даних і, за бажанням, система відновлення.

У разі обраного типу платформи (мотопланер) компоненти модулю збору даних повинні бути закриті в корпусі або розміщені всередині фюзеляжу, щоб зменшити аеродинамічний опір. На цій конкретній платформі сили аеродинамічного опору можуть негативно впливати на загальну продуктивність планерів. З іншого боку, ця проблема зведена до мінімуму на інших типах платформ, типових для вертикального зльоту та посадки - коптерів.

Таблиця 3.3. - Комерційні камери

Компанія, модель	Роздільна здатність	Розмір [мм]	Розмір пікселя	Спектр	Частота кадрів	Вага [г]	Примітки
Камери видимого світла							
Phase One IXU 180	10328 x 7760	53.7 x 40.4	5.2	видимий	0.37	930	FMC -TDI
Trimble Aerial Camera IQ180	10328 x 7760	53.7 x 40.4	5.2	видимий	N/D	1500	True FMC
Hasselblad A5D- 60	8956 × 6708	53.7 × 40.2	6.0	видимий	0.42	1360	
Phantom Miro Airborne HD	1920 x 1080	N/D	5.5	видимий	335	1140	
Sony Nex-7	6000x4000	23.5 x 15.6	3.92	видимий	10	550	
GoPro Hero 8 Black	4000x3000	N/D	N/D	видимий	2	89	
Dji Zenmuse	1920×1080	150×114×1 51 мм	N/D	видимий	30	678	
Спектральні камери							
Tetracam's Ultra- light 90 Gram	2048 x 1536	6.55 x 4.92	3.2	520 – 920 nm	0.5 -7.5	90	
Tetracam's ADC Lite	2048 x 1536	6.55 x 4.92	3.2	520 - 920nm	0.5 -7.5	200	
Quest Innovations Condor-3 C3- VNN-692- UAV- SD	1280x720x3	5.19 x 2.92	4.06	400-1000 nm (3 bands)	5	350	
Quest Innovations Condor-5 C5- UAV- sCMOS	1360x1024x3	8.77x6.60	6.45	400-1000 nm (5 bands)	5/30	1450	

Теплові камери							
Flir Quark 2 640	640x512	10.8x8.7	17	7.5-13 μm	25	18.3	LWIR VOx
Flir Tau 2 640	640x512	10.8x8.7	17	7.5-13 μm	25	72	LWIR VOx
Flir Neutrino	640x512	9.6x7.6	15	3.4-5.1 μm	25	450	MWIR InSB
Flir TAU 15xRH	640x512	9.6x7.6	15	0.6-1.7 μm	25	101	SWIR InGaAs
Flir Lepton	80x60	1.36x1.02	17	8-14 μm	8.6	0.55	LWIR

Модуль навігації та орієнтації.

З фотограмметричної точки зору навігаційний модуль і система орієнтації відповідають за визначення зовнішніх параметрів камери. На ринку доступні полегшені GNSS-модулі геодезичного класу (табл. 3.4) вагою менше 100 г. На жаль, легкі IMU геодезичного класу не доступні. Легкі модулі IMU засновані на технології MEMS (мікроелектромеханічні системи), тому не можуть надати дуже точні дані, порівняно з важкою системою FOG IMU (волоконно-оптичний гіроскоп). У табл. 3.5. 3.6 представлені інтегровані модулі та гібридні навігаційні пристрої вагою менше 250 г.

Таблиця 3.4. - Комерційні модулі супутникової навігації

Компанія, модель	GNSS	Bara [г]	L1 [м]	L1/L2 [м]	SBAS [м]	DGPS [м]	RTK [м]	Terrastar- C [м]	Veripos Apex [м]
Novatel, OEM 615	GPS L1/L2/L2C + GLONASS L1/L2 + SBAS	24	1.5	1.2	0.6	0.4	0.01	N/D	N/D

Novatel, OEM628	GPS L1/L2/L2C + GLONASS L1/L2 + BeiDou + SBAS + L-Band	37	1.5	1.2	0.6	0.4	0.01	0.04	0.06
Novatel, OEM 625S	GPS L1/L2/L2C + GLONASS L1/L2 + SBAS	56	1.5	1.2	0.6	0.4	0.01	N/D	N/D
Novatel, OEM638	GPS L1/L2/L2C + GLONASS L1/L2 + BeiDou + SBAS + L-Band	84	1.5	1.2	0.6	0.4	0.01	0.04	0.06
Cloud Cap Technology, DGPS FlightPak	Based on module Novatel OEM 615	85	1.5	1.2	0.6	0.4	0.01	N/D	N/D

Таблиця 3.5. - Комерційні інерційні навігаційні модулі

Компанія, модель	Вага, г	Зміщення, град/год	Швидкість передачі даних, Гц	Середньоквадратичне відхилення, град		
				Нахил	Висота	Курс
Novatel. OEM-STIM300	55	0.5	125	0.015	0.015	0.080
Novatel. OEM-HG1930	200	1	100	0.060	0.060	0.100
Novatel. OEM-ADIS-16488	48	5	500	0.035	0.035	0.150
AIMS. uMotion	90	0.3	30	0.4	0.4	0.4
AIMS. Motion	190	0.2	30	0.4	0.4	0.4

Таблиця 3.6. - Комерційні гібридні навігаційні пристрої

Company, model	GNSS	Вага, г	Зміщення, град/год	Швидкість передачі даних, Гц	L1, м	L1/ L2, м	SB AS, м	DG PS, м	RTK, м	Terrastar -C, м	Veripos Apex, м
Gladiator Technologies, LandMark 40 INS/GPS	GPS. GLONASS. BeiDou. QZSS & SBAS (Galileo). SBAS: WAAS. EGNOS. MSAS	160	6	100	2	N/D	2	N/D	N/D	N/D	N/D
Imar Navigation, iuIMU-01	GPS/WAAS/EG NOS/MSAS	50	1	1000	1.5	2.5	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Advanced navigation, Spatial	GPS L1. GLONASS L1. GALILEO E1. BeiDou B1	37	3	1000	2.0	N/D	1.0	0.6	N/D	N/D	N/D

4. СУЧАСНІ ГІС ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ДРОНІВ (ЛІДАР І ФОТОГРАММЕТРІЯ). ВИБІР НАЙКРАЩОГО ВАРІАНТУ ДЛЯ ЗЙОМКИ ДЕГРАДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ШАХТ

4.1. Сутність технологій геодезичного знімання з платформ БПЛА

В контексті магістерської роботи під деградованими територіями шахт розуміються в першу чергу породні відвали. Спостереження за породними відвалами можуть проводитись з різною метою. Зокрема контроль стійкості відвалів, контроль виконання робіт по плануванню відвалів бульдозерною технікою, контроль робіт по боротьбі з загоранням відвалів, контроль і оцінка якості рекультиваційних робіт і т.п. Зазвичай такі роботи виконуються візуальними спостереженнями, але БПЛА технології відкривають нові можливості.

В якості альтернативних задач, що мають схожий візуальний вигляд і схожі цілі досліджень було обрано моніторинг схилів бортів кар'єрів при розробці вугілля відкритим способом і моніторинг стійкості гірських масивів (схилів гір). В цих галузях вже більше десяти років використовуються технології безпілотного знімання поверхні. Традиційно методи спостереження включають візуальні спостереження (людські), геотехнічні та геодезичні вимірювання, фотографічні зображення та методи оптичної зйомки.

У контексті відкритих шахт стабільність схилу є ключовим питанням безпеки та ефективності, тому точність ідентифікації зони, де розвиваються зсуви та деформації і зміни геометрії та крутизни бортів є важливим параметром. У цьому контексті та завдяки постійному розвитку пристроїв і технологій моніторингу виникає зацікавленість в поєднанні локальних датчиків моніторингу з високою роздільною здатністю в реальному часі, таких як диференціальний GPS, роботизовані тахеометри з глобальними методами, такими як наземне та повітряне лазерне сканування (ЛіДАР). Ці технології, які дозволяють покривати великі площі, підтвердили свою

ефективність, надійність і точність. Вони використовуються як доповнення до традиційних візуальних/людських перевірок. Вибір одного чи кількох із цих методів залежить від умов місця, доступності та балансу витрат і вигод.

Використання БПЛА у відкритих шахтах досліджувалося у роботах [10, 11, 12]. Сальвіні та ін. [10] запропонували використовувати як зображення, отримані за допомогою БПЛА, так і наземне лазерне сканування для виявлення потенційної нестабільності в борті кар'єру. Маклеод та ін. [11] створили метод використання БПЛА для отримання орієнтації тріщин в гірському масиві. Сян та ін. [12] провели два фотограмметричних дослідження БПЛА, щоб оцінити геоморфологічні зміни, пов'язані з гірничодобувною діяльністю, на основі реального прикладу. Також відомі дослідження, що включають використання зображень БПЛА для моніторингу зсувів [13, 14, 15].

Сучасні БПЛА можуть бути оснащені камерами високої роздільної здатності, лазерними сканерами (LiDAR) та іншим обладнанням для повітряного дистанційного моніторингу поверхні або гірських порід. Техніка LiDAR поширена в гірничодобувній промисловості для проектування та моніторингу розробки, наприклад, для розрахунку реальних об'ємів (запасів) родовищ, а також для отримання геометричної інформації, такої як цифрова модель поверхні (DSM), яка представляє земну поверхню та включає всі об'єкти на ній або цифрову модель місцевості (DTM). Останнє можна описати як тривимірне представлення поверхні місцевості, що складається з координат X, Y, Z збережених у цифровій формі. Вона включає не лише висоти та глибини, але й інші географічні елементи та природні об'єкти, такі як річки, лінії хребтів тощо. Крім того, періодичні дослідження LiDAR можуть з часом вказувати на потенційні рухи землі. Загалом, повітряні лазерні системи (AL) можуть працювати з двох категорій БПЛА: літака з нерухомим крилом і мультикоптера. По суті, системи складаються з кількох основних компонентів: датчика лазерного сканування, системи керування, що містить глобальну навігаційну супутникову систему (GNSS, тобто

глобальну систему позиціонування, GPS), систему керування польотом та інерційний вимірювальний блок (IMU) [16]. Вимірювання відстані виконується за допомогою технології лазерного вимірювання, коли імпульс лазерного світла передається через телескоп і потрапляє на поверхню, імпульс відбивається від об'єкта та повертається до приладу. Час, необхідний для шляху туди й назад, точно визначається та перетворюється на відстань із використанням швидкості. Щоб отримати точне положення кожної точки відображення, слід враховувати рух сканера (БПЛА), що досягається за допомогою системи IMU та GPS. Інтеграція вимірювань положення та орієнтації від цих датчиків забезпечує точну траєкторію та висоту лазера. Маючи положення та висоту початку лазерного імпульсу плюс дальність до точки відбиття, можна визначити координати точки відбиття. Отримані координати точок утворюють DSM. Якість координат DSM залежить від багатьох факторів, включаючи саму вимірювальну систему, атмосферу та характер поверхні, що вимірюється. Крім того, якість DSM для представлення деталей поверхні залежить від роздільної здатності (щільності) точок, що утворюють DSM. Найкраща точність поточних рішень AL становить від 5 до 10 см для висотоміра, який безпосередньо пов'язаний із бортовим пристроєм GPS. Щоб підвищити точність, можна використовувати декілька рішень, наприклад, локальні системи географічної прив'язки або якийсь новий світловий LIDAR із рішенням Applanix.

Типова аерофотозйомка на основі зображень за допомогою платформи БПЛА потребує планування польоту або місії та вимірювання опорних точок (наземних контрольних точок) для цілей географічної прив'язки. Після отримання зображень можна використовувати їх для зшивання та складання мозаїки, або вони можуть бути вхідними даними фотограмметричного процесу. У цьому випадку спочатку виконується калібрування камери та тріангуляція зображення, щоб послідовно генерувати цифрову модель поверхні (DSM) або цифрову модель місцевості (DTM). Ці продукти можна нарешті використовувати для створення орто-зображень,

додатків 3D-модельовання або для отримання додаткової інформації. На рис. 4.1. показано загальний робочий процес: вхідні параметри позначено зеленим кольором, а окремі кроки робочого процесу — помаранчевим, і вони обговорюються більш детально нижче.



Рисунок 4.1. - Процес отримання та обробки зображень БПЛА при фотограмметричних дослідженнях

Планування польоту та отримання зображень.

Місія (політ і збір даних) зазвичай планується в лабораторії за допомогою спеціального програмного забезпечення, починаючи з вивчення зони інтересу (AOI), необхідної відстані від землі (GSD) або сліду та внутрішніх параметрів бортового пристрою (цифрової камери). Бажане зображення, масштаб і фокусна відстань камери зазвичай фіксовані, щоб отримати висоту польоту місії.

Центри перспективи камери («маршрутні точки») обчислюються, фіксуючи поздовжнє та поперечне перекриття смуг (наприклад, 80%-60%).

Всі ці параметри змінюються в залежності від мети польоту: місії для створення детальної 3D-моделі зазвичай вимагають великих перекриттів і польотів на низькій висоті для досягнення малих GSD, у той час як швидкі польоти для екстреної зйомки та управління потребують більш широких областей, які потрібно записати за кілька хвилин із меншою роздільною здатністю.

Зазвичай політ виконується в ручному режимі, режимі допомоги або автономному режимі відповідно до специфікацій місії, типу платформи та умов навколишнього середовища. Наявність на борту навігаційних пристроїв GNSS/INS зазвичай використовується для автономного польоту (зліт, навігація та посадка) і керування отриманням зображення. На якість мережі зображень сильно впливає типологія виконуваного польоту (рис. 4.2): у ручному режимі перекриття зображення та геометрія отримання зазвичай дуже нерегулярні, тоді як наявність пристроїв GNSS/INS разом із навігаційною системою, може направляти та покращувати отримання інформації.

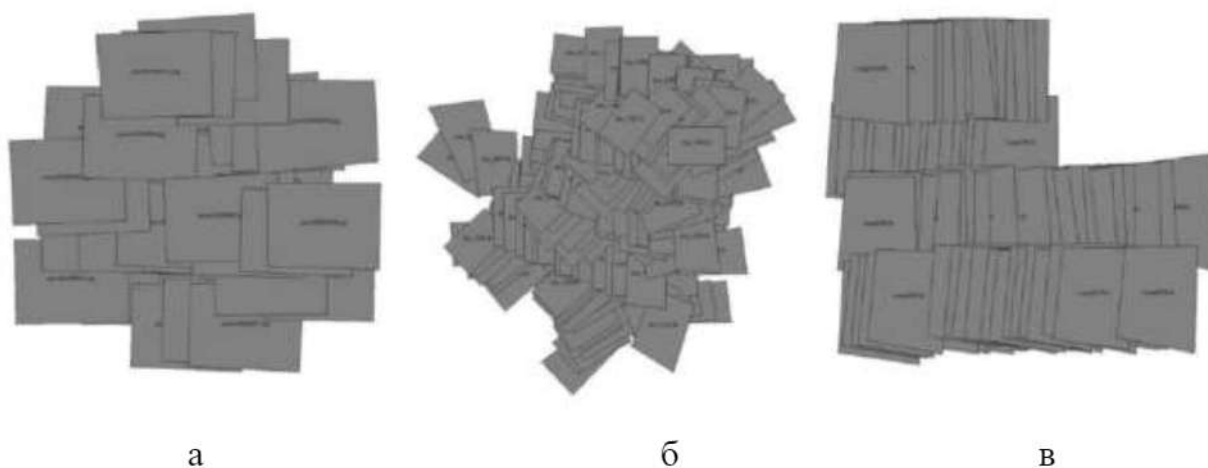


Рисунок 4.2. - Різні модальності виконання польоту, що забезпечують різну якість блоку зображення: а) ручний режим і отримання зображення із запланованим інтервалом; б) недорога навігаційна система з можливими маршрутними точками, але нерегулярним зображенням перекриття; в) автоматизований режим польоту та захоплення, досягнутий за допомогою високоякісної навігаційної системи [8].

Навігаційна система, яку зазвичай називають автопілотом, дозволяє здійснювати політ за планом і контактувати з платформою під час місії. Під час польоту за автономною платформою зазвичай спостерігають за допомогою наземної станції управління (GCS), яка показує дані польоту в реальному часі, такі як положення, швидкість, положення та відстані, спостереження GNSS, стан батареї або палива, швидкість ротора тощо. Навпаки, системами з дистанційним керуванням керує оператор із наземної станції. Більшість систем дозволяють отримувати дані зображення після обчислених маршрутних точок, тоді як недорогі системи отримують зображення із запланованим інтервалом. Використовувані пристрої (платформа, автопілот і GCS) є основними для якості і надійності кінцевого результату.

Калібрування камери та орієнтація зображення.

Калібрування камери та орієнтація зображення є двома основними передумовами для будь-якої метричної реконструкції із зображень. Вони вимагають різних геометрій блоків, які можна краще оптимізувати, якщо їх обробляти на окремих етапах. З іншого боку, у багатьох програмах, де потрібна нижча точність, калібрування та орієнтація можуть бути обчислені одночасно, вирішуючи самокалібрувальне коригування пучка. У випадку аерофотоапаратів калібрування камери зазвичай виконується в лабораторії, хоча також виконується калібрування під час польоту [8], можливо, зі смугами на різних висотах польоту. Завдання калібрування камери та орієнтації зображення – виділення загальних ознак, видимих на якомога більшій кількості зображень (зв'язних точок), з подальшим коригуванням групи, тобто процедурою нелінійної оптимізації. Процедура, заснована на ручній ідентифікації зв'язувальних точок експертним оператором або на основі сигналізованих кодованих маркерів, добре оцінена та використовується сьогодні. Нещодавно для фотограмметричних застосувань були розроблені повністю автоматизовані процедури для виділення узгоджених і надлишкових наборів зв'язувальних точок із безмаркерних

зображень на близькій відстані [8]. Деякі ефективні комерційні рішення також з'явилися на ринку (наприклад, PhotoModeler Scanner, Eos Inc; PhotoScan, Agisoft). Комерційне програмне забезпечення для застосування в повітрі потребує певної взаємодії з користувачем або наявності даних GNSS/INS для автоматичного вилучення зв'язувальних точок. У комп'ютерному баченні – одночасність визначення параметрів камери (внутрішньої та зовнішньої) та 3D-структури зазвичай називають «структурою з руху». Деякі безкоштовні веб-підходи (наприклад, Photosynth, 123DCatch) та рішення з відкритим кодом (VisualSfM, Bundler) також доступні, хоча загалом вони не є достатньо надійними та точними у випадку великих і складних блоків зображення зі змінними базовими лініями та масштабом зображення. Використовуваний алгоритм коригування групи має бути надійним, здатним обробляти можливі викиди та надавати статистичні результати для підтвердження результатів.

Зібрані дані GNSS/INS, якщо вони доступні, можуть допомогти в автоматичному вилученні зв'язувальних точок і можуть дозволити пряме геоприв'язування зроблених зображень. У додатках із низькими вимогами до метричної якості, наприклад, для швидкого збору даних і картографування під час реагування на надзвичайні ситуації може бути достатньо точності прямого спостереження GNSS/INS.

Якщо навігаційна система позиціонування не може бути безпосередньо використана фаза орієнтації повинна спиратися лише на підхід, заснований на чистому зображенні, таким чином потрібні опорні точки для масштабування та географічної прив'язки. Ці два останніх кроки дуже важливі для отримання метричних результатів.

Щоб виконати непряме геоприв'язування, в основному є два способи: 1) імпорт принаймні трьох опорних точок в рішення для коригування групи, розглядаючи їх як зважені спостереження в рамках мінімізації за методом найменших квадратів. Цей підхід є найбільш суворим, оскільки він мінімізує можливі деформації блоку зображення та можливі систематичні помилки, і

він уникає нестабільності розв'язку розшарування (сходження до неправильного рішення) та допомагає в визначення правильної тривимірної форми обстежуваної сцени.

2) підхід вільної мережі в коригуванні пакета [8] і використання лише в кінці пакета перетворення подібності (Гельмерта), щоб привести результати мережі зображень у бажану референсну систему координат. Цей підхід не є строгим: рішення шукають, мінімізуючи слід коваріаційної матриці, вводячи необхідні дані з деякими початковими наближеннями. Оскільки зовнішнє обмеження не вводиться, якщо пакетне рішення не може визначити правильну 3D-форму досліджуваної сцени, послідовне перетворення подібності (від початкової відносної орієнтації до зовнішньої) не покращить результат.

Таким чином, два підходи теоретично не є еквівалентними і можуть призвести до абсолютно різних результатів: у першому підході на якість комплекту впливає лише надлишкова керуюча інформація, і, крім того, додаткові контрольні точки можуть бути використані для отримання деякої статистики коригування. З іншого боку, другий підхід не має зовнішніх обмежень щодо форми в коригуванні пучка, тому рішення базується лише на цілісності та якості багатопроменевої відносної орієнтації. Основна вимога полягає в тому, щоб мати хорошу мережу зображень, щоб отримати правильні результати з точки зору обчислених координат об'єктів і тривимірної форми сцени.

Реконструкція поверхні та створення орто фотозображень.

Після орієнтування набору зображень наступними етапами робочого процесу 3D-реконструкції та моделювання є вимірювання поверхні, створення ортофото та виділення об'єктів. Виходячи з відомих параметрів орієнтації камери, сцену можна діджитально реконструювати за допомогою інтерактивних процедур або автоматизованих методів щільного зіставлення зображень. Результатом зазвичай є розріджена або щільна хмара точок, яка описує помітні кути та елементи в першому випадку або форму всієї

поверхні досліджуваної сцени в останньому випадку. Алгоритми щільного зіставлення зображень повинні мати можливість витягувати щільні хмари точок, щоб визначити поверхню об'єкта та його основні геометричні розриви. Тому щільність точок має бути адаптивно налаштована, щоб зберегти краї та, можливо, уникнути занадто великої кількості точок на плоских ділянках. У той же час правильний результат відповідності повинен бути гарантований також у області з поганою текстурою. Сучасною є техніки зіставлення кількох зображень [8], засновані на напівглобальних алгоритмах зіставлення, методи на основі латок або оптимальні алгоритми потоку. Останні два методи були реалізовані в пакетах з відкритим вихідним кодом, названих відповідно PMVS і MicMac. Отримані неструктуровані хмари точок потрібно потім структурувати та інтерполювати, можливо, спростити та нарешті текстурувати для фотореалістичної візуалізації. Щільні хмари точок зазвичай є кращими у випадку реконструкції рельєфної поверхні, тоді як розріджені хмари, які згодом перетворюються на просту полігональну інформацію, можна віддати перевагу під час моделювання штучних сцен, таких як будівлі. Для створення ортофотознімків щільна хмара точок є обов'язковою для досягнення точної орто-ректифікації та повного усунення спотворень рельєфу. З іншого боку, у випадку застосування з низькою точністю (наприклад, швидке реагування, оцінка катастроф тощо) можна застосувати простий метод виправлення зображення (без необхідності щільного зіставлення зображення) з подальшою операцією зшивання.

4.2. Аналіз кейсів.

4.2.1. Кейс шахти Белхатув (Польща)

Цікавим кейсом є дослідження проведені на західному схилі шахти Белхатув (Польща) [17], одночасно за допомогою двох технологій БПЛА: LiDAR та фотограмметричних досліджень. Дослідження були проведені 23 листопада 2016 року та 31 березня 2017 року. Кампанії проводилися за

допомогою YellowScan Surveyor, який на той момент був одним із найлегших (менше 1,6 кг) і найточніших сенсорних рішень LiDAR, доступних на ринку. Цікавими аспектами цього датчика є його точне положення та орієнтація прямої геоприв'язки. У цьому проекті YellowScan Surveyor був встановлений на квадрокоптері з комбінованою камерою RGB. Контур багаточасової ділянки огляду зображено на рис. 4.3.



Рисунок 4.3. – Контур ділянки обстеження шахти Белхатув

Загалом було задано 11 наземних контрольних точок (GCP). Ці опорні точки можна розглядати як мішені з поверхнею 50 см x 50 см. Вони мали дві мети:

- використовувались як перевірка істинності наземних точок для набору даних LiDAR GCP, що дозволяло оцінити точність.
- використовувались для ортофото (фотограмметрії) під час процесу орто-ректифікації і тому вважались контрольними точками, а не точками перевірки.

Здійснено 6 польотів приблизно за 6 годин, автономність польоту

БПЛА близько 15 хвилин. Швидкість польоту 5 м/с. Площа, охоплена

точками LiDAR, становила близько 55 га. Загалом набір даних LiDAR зібрав 150 мільйонів точок для 4,70 Гб даних. Для порівняння, за 4,5 польотів було зібрано 1045 фотографій, які створили 25,1 Гб растрових даних. Висота польоту становить близько 50 м, щоб досягти 50-70% перекриття ліній польоту LiDAR (стандарт). Операція LiDAR відстань між рядками мала бути приблизно 50 м.

Остаточні результати LiDAR (комплексна щільна хмара точок) були отримані після постобробки. Обробка даних проводилася в три етапи. Спочатку дані LiDAR були зібрані та скопійовані на комп'ютер наземної станції в полі після польоту для перевірки хмари точок і виявлення відсутніх плям або слабкого перекриття. Це дозволяє визначити, чи потрібні додаткові рейси. По-друге, повернувшись до офісу, було запущено постобробку. Таким чином хмари точок, що відповідають лініям польоту, можуть бути повторно створені на основі виправленої траєкторії. По-третє, було проведено покращення якості результатів LiDAR: фільтрація шуму, узгодження лінії польоту та класифікація.

Паралельно фотографії з геотегами були зроблені через звичайний процес (аеротріангуляція, 3D-сітка та створення ортофото) для створення ортофото. Процеси LiDAR і фото були об'єднані, щоб отримати розфарбовану (зі значенням RGB ортофото) хмару точок (рис. 4.4).

Роздільна здатність двох технологій дистанційного зондування вказується як щільність точок. Щільність точок дає кількість вимірювань на площу, на якій ведеться дослідження поверхні землі, вона подібна до роздільної здатності фотографії. Для захоплення всіх деталей потрібна надзвичайно щільна хмара точок (>10 точок/м²). Середнє значення роздільної здатності для двох технологій дистанційного зондування однакове, між 200 і 500 точками/м². Щільність хмари точок під час зйомки LiDAR у більшості областей становить від 250 до 300 точок/м². Над темним ґрунтовим покривом (вугільними пісковиками) щільність точок зазнає впливу та може бути зменшена до менше ніж 10 точок/м² – це було помічено на менш ніж 3% від

загальної площі. Вплив темного фону на LiDAR чітко виявляється і, здається, не впливає на щільність фотограмметричних точок.

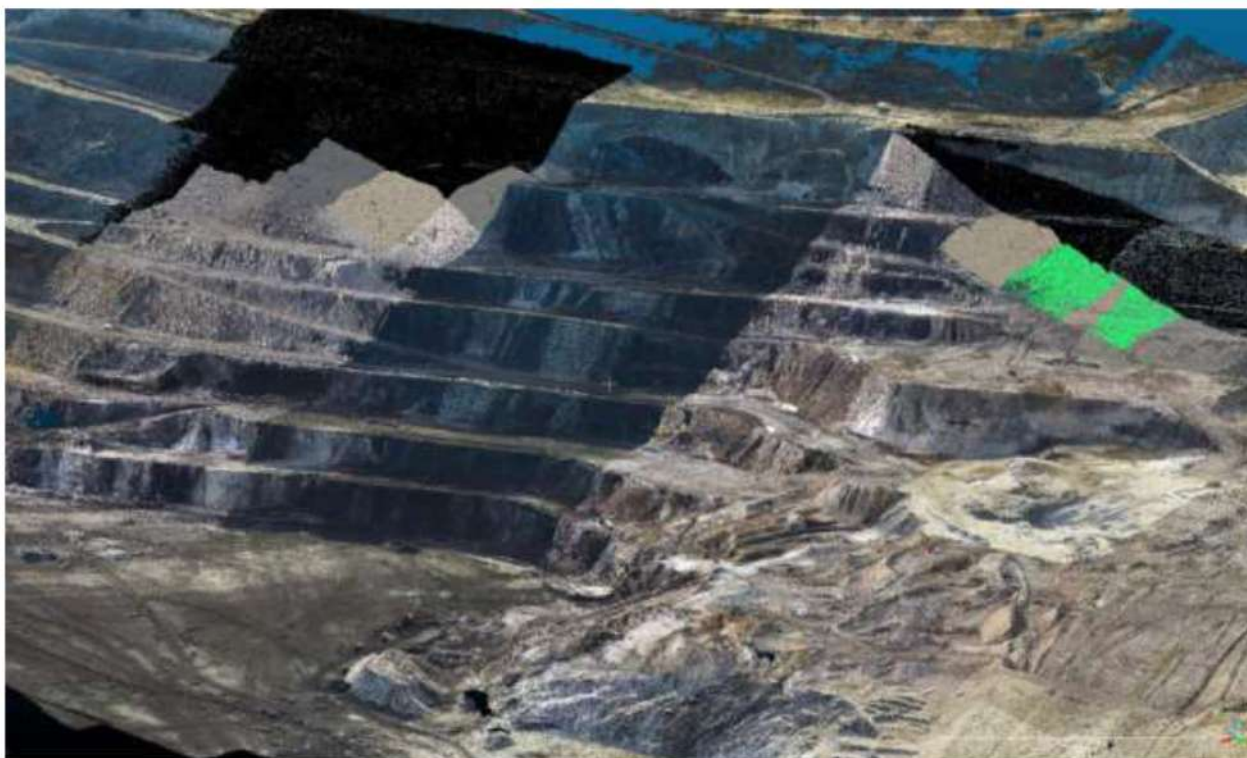


Рисунок 4.4. – Комбінація ортофото та даних LiDAR в одному зображенні

Оцінка точності, виконана для місії Белхатув, враховує лише висоту (Z). Для досягнення точності оцінки XY та Z є потреба в 3D-мішенях, таких як кути будівель або розпізнавані 3D-об'єкти на основі інтенсивності лазера. У Белхатуві цього не було. Проте використання табличних структур для GCP, дозволило оцінити точність по X і Y в певному ступені – якщо лазерні точки були віддалені більш ніж на 25 см в X або Y, точки були б поза в Z оскільки вони більше не будуть «лежати на столі». Порівнюючи лазерні точки та опорну точку, середнє зміщення становить близько 20 мм, тоді як RMSE становить приблизно 30 мм. Нарешті, хмари точок LiDAR також були забарвлені відповідно до їх висоти (рис.4.5) [17].

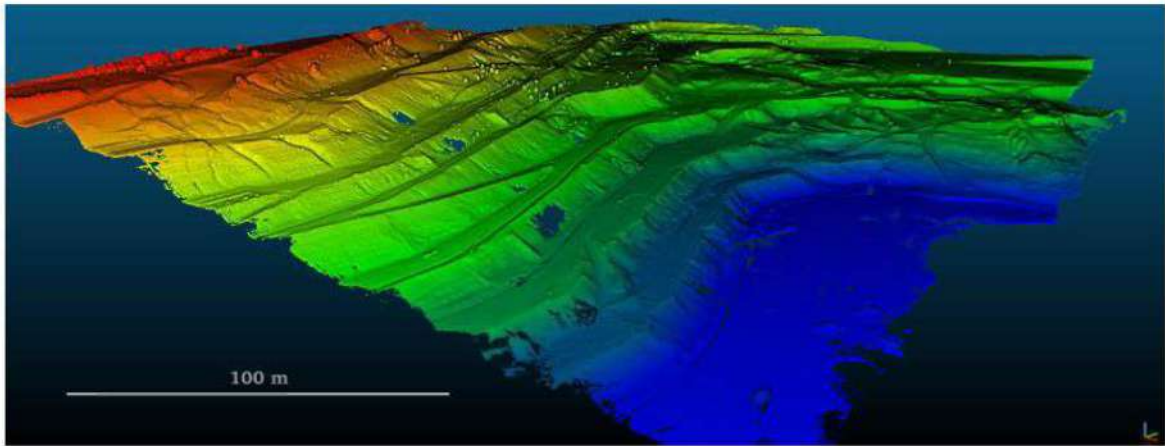
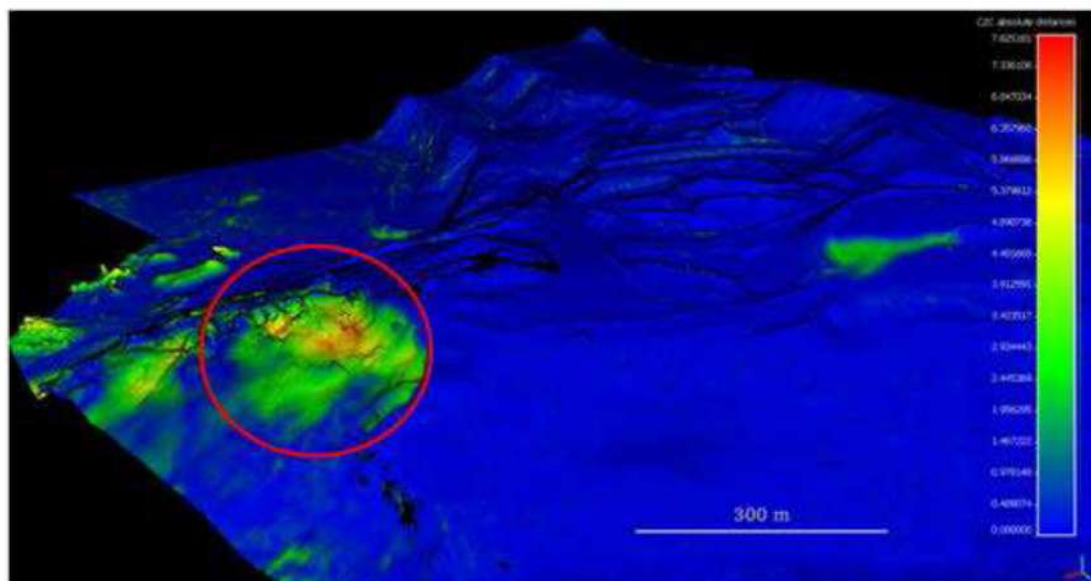


Рисунок 4.5. – Хмари точок висотно-забарвлені (червоне +200, синє - 30 м)

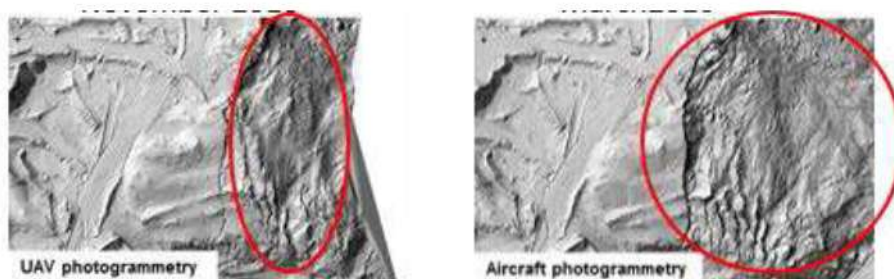
Потім дві хмари точок, отримані під час 2 польотів БПЛА виконаних з різницею 4 місяці, порівняли, щоб дослідити потенційний рух землі. Отриману карту показано на рисунку 4.6. Порівняння показує зсув (червоне коло на рис. 4.6а) величиною близько сотні метрів.

Цей зсув також видно при порівнянні двох ортофото 2 рейсів. Ці ортофото знімки показують зміни, які відбулися на схилах і різні тріщини (рис. 4.6б) [17].

Наявність 2 різних наборів даних є дуже важливою з точки зору інформації для проекту моніторингу, оскільки в минулому шахта стикалася з іншими нестабільними ситуаціями. Фактично, щоб керувати стійкістю укосів шахти, з 2005 по 2013 рік було встановлено геотехнічну систему моніторингу. Геотехнічний моніторинг західного схилу показав, що горизонтальні зміщення тісно пов'язані зі складною геологічною будовою та інтенсивними тектонічними деформаціями в районі поля шахти Белхатув. Аналіз результатів вимірювань показав, що зони розломів більш схильні до утворення поверхонь ковзання. Крім того, потенційні поверхні ковзання були в основному зареєстровані у вугіллі, вуглистому сланці і глинистому сланці [17].



а



б

Рисунок 4.6. – Результати знімання поверхні в динаміці (4 місяці): результати налізу хмари точок LiDAR (а), обробка двох ортофото за відповідний період.

У дослідженні Белхатува виникли деякі проблеми під час місії дистанційного зондування. Обробка наборів даних LiDAR дозволила підтвердити деякі відомі обмеження цієї технології дистанційного зондування, такі як прогалини у відбивній здатності. Поєднання технологій LiDAR і фотограмметрії дозволяє подолати такі проблеми, і іноді це єдиний спосіб отримати повну геометричну інформацію.

Проблеми, які виникли:

- прогалини у відбивній здатності – пов’язані з вугіллям: у наборі даних LiDAR та над південною частиною знімальної поверхні виявлено численні прогалини «відсутність даних». Схоже, що ці проміжки відповідають темній породі, що, швидше за все, пов’язано з високим вмістом вугілля. Вирівнювання, розташування та розмір прогалин, що виникають у наборі даних LiDAR, здається, зображують горизонт вугільного комплексу. Точкова щільність над такою породою падає приблизно до 3 pps. Промінь LiDAR повністю поглинається. Вплив темного фону на LiDAR чітко виявляється і, здається, не впливає на щільність фотограмметричних точок.

- прогалини у відбивній здатності – пов’язані з водою: водні тіла зображені областями «відсутність даних» у наборі даних LiDAR. Вода відбиває промінь як дзеркало, тому датчик не збирає зворотний сигнал.

- прогалини у відбивній здатності – пов’язані з трубами: як і вугільний матеріал, чорна труба не відображатиметься на LiDAR і створюватиме «діри» в наборі даних.

- збої сканера: на лінії 5 рейсу 6 (крайня східна лінія), стався збій сканера на 7 секунд, що відповідає сорока метрам лінії польоту. Короткі вібрації могли вплинути на сканер і спричинити розрив даних. Однак завдяки перекриттю в цьому місці втрата даних була зведена до мінімуму.

4.2.2. Кейс гірського масиву Анд Азуай (Еквадор)

Загальна мета дослідження, що аналізується полягала в тому, щоб оцінити переваги кожної з різних методологій аналізу стійкості схилів на основі даних, отриманих від 3DPC, щоб визначити метод, який найкраще відповідає реальності досліджуваної території [18]. З цією метою було проведено аналіз стійкості схилу емпіричними методами SMR, Qslope і RHRSmод, методом граничної рівноваги за допомогою програм Rocplane і Swedge від Rocscience, аналіз із застосуванням моделі JRC-JCS Бартон та Бендіса. Територія дослідження розташована на південний захід від

еквадорських Анд (рис. 4.7), зокрема між 78 + 000–92 + 000 км дороги Куенка–Хірон–Пасахе, що прямує на схід на захід. Сектор в основному складається з ігнімбритових родовищ, що належать до групи Сарагуро та формацій Джубонес і Санта-Ізабель. У цьому районі переважають андезитові лави ігнімбриту від дацитового до ріолітового складу, багаті плагіоклазом, біотитом і кристалами кварцу.

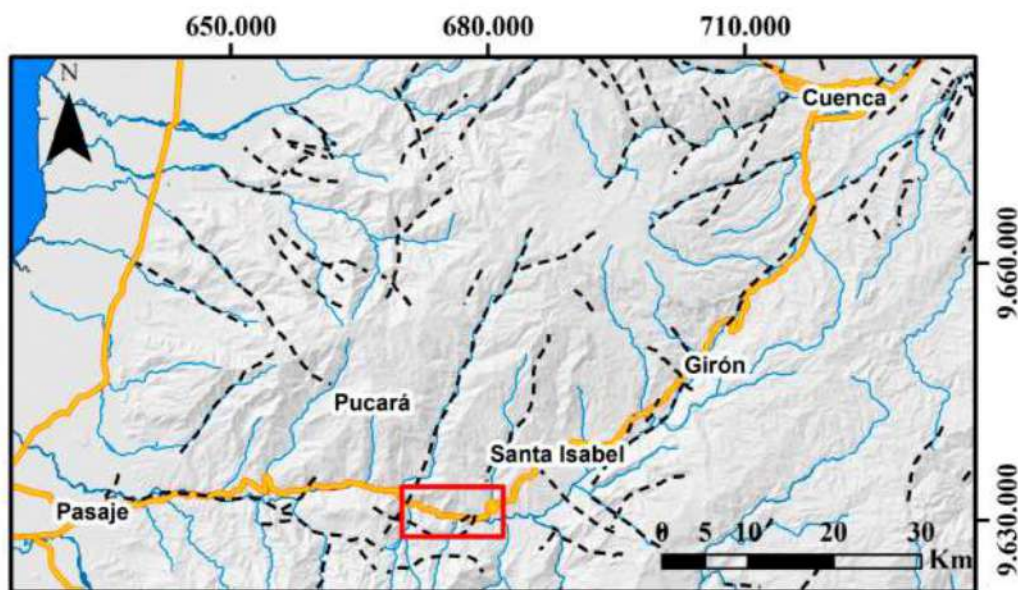


Рисунок 4.7. – Ділянка дослідження

Ця ділянка дороги являє собою схили з великомасштабними стовпчастими швами охолодження з ухилами в діапазоні 80-90 і змінною висотою від 10 м до 100 м. Це, на додаток до наявності геологічних порушень і обвалених кам'яних блоків на дорозі, ускладнює збір інформації на місцях і робить необхідним використання дистанційних методів.

Польові дослідження проводились у травні та червні 2022 р. На кожному схилі (рис. 4.8) було отримано дев'ять вимірювань орієнтації розривів (падіння та напрямок падіння), які пізніше дозволили перевірити ступінь точності фотограмметрії. Крім того були отримані різні характеристики розривів схилів, наприклад шорсткість, ступінь

вивітрювання, стійкість до стиснення та якість породи, а також геометричні характеристики схилу, такі як висота, орієнтація та тип.

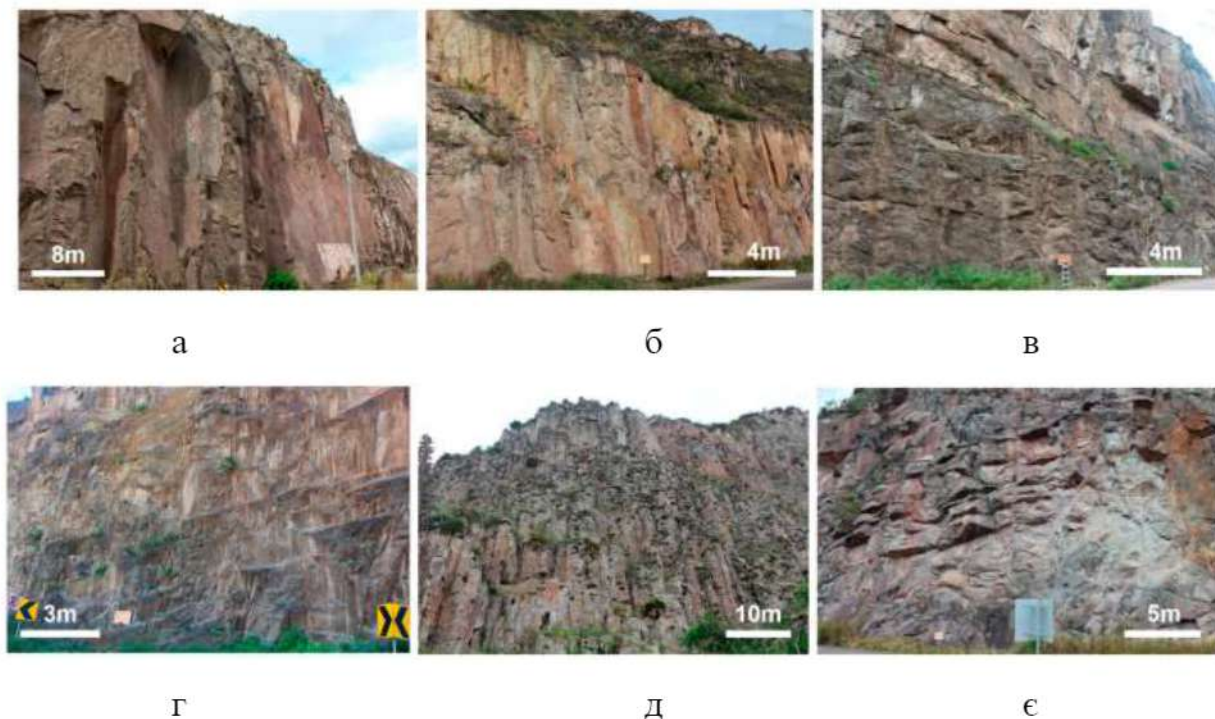


Рисунок 4.8. – Загальний вигляд схилів, проаналізованих у напрямку Куєнка–Хірон–Пасахе, схід–захід: (а) Схил 1; (б) Схил 2; (в) Схил 3; (г) Схил 4; (д) Схил 5; (є) Схил 6.

Також було проведено фотозйомку за допомогою цифрової камери Cannon-Eos Rebel T4i, що дозволило отримати інформацію з аналізу порушень шляхом створення 3D хмари точок фотограмметричним аналізом. На площадці біля підніжжя схилу, вирівняній вертикально (90°), курс якого відомий, були розміщені три наземні контрольні точки, за допомогою яких можна масштабувати та орієнтувати 3DPC.

Для детальної фотограмметрії чим краща оптика і датчик тим краще. В даний час для фотограмметричного дослідження може бути використана будь-яка цифрова камера середнього цінового діапазону і вище. У разі дуже великих схилів понад 30 м рекомендується використовувати штатив і оптичний зум.

Тривимірна хмара точок. Цифрова обробка зображень виконувалася за допомогою програмного забезпечення Agisoft Metashape версії 1.7.3 у демонстраційному режимі, яке дозволяє виконувати 3D-конструювання з кількох зображень. Кількість фотографій, які використовуються в цих моделях, коливається від 82 до 250; розмір фотографії 5184 3456 пікселів; Роздільна здатність 72 dpi. Якість більше 0,5 одиниць. Це значення автоматично обчислюється на основі рівня різкості найбільш сфокусованої частини зображення. Обробка зображень за допомогою Metashape відбувалася наступними етапами:

- завантаження зображення;
- перевірка та відмова від зображень із якістю нижче 0,50 одиниць;
- автоматичний вирівнювання камери;
- побудова тривимірної хмари точок.

Потім у програмне забезпечення Cloud Compare версії 2.12 було завантажено отриманий 3DPC. Нарешті, за допомогою компаса Брантона було перевірено, що орієнтації, виміряні в позначених точках, були подібними та послідовними порівняно з вимірюваннями; це гарантувало правильність орієнтації та масштабування 3DPC.

Після того, як орієнтації та масштабування 3DPC були побудовані та підтверджені, була проведена ідентифікація розривів за допомогою двох методів: (а) вручну, за допомогою віртуального компаса програмного забезпечення Cloud Compare, і (б) автоматично, за допомогою програми з відкритим кодом Discontinuity Set Extractor (DSE).

Сотні вимірювань орієнтації розривів були отримані вручну, створюючи групи точок через стереограми. Кожен важливий набір точок відповідає сімейству розривів. Після цього в програмі DSE, яка працює в середовищі MATLAB і дозволяє автоматично ідентифікувати групи розривів та їх орієнтації була проведена ідентифікація порушень (рис. 4.9).

Зроблено 190 вимірювань в ручному режимі і більше трьох мільйонів

в автоматизованому дистанційному. Точність вимірювань забезпечена за

допомогою дев'яти «контрольних площин». Для кінематичного аналізу та SMR, ідентифікація виконувалась автоматично оскільки це усуває суб'єктивізм авторів. На рисунку 4.10 показано порушення, отримані для кожного нахилу за допомогою програми DSE.

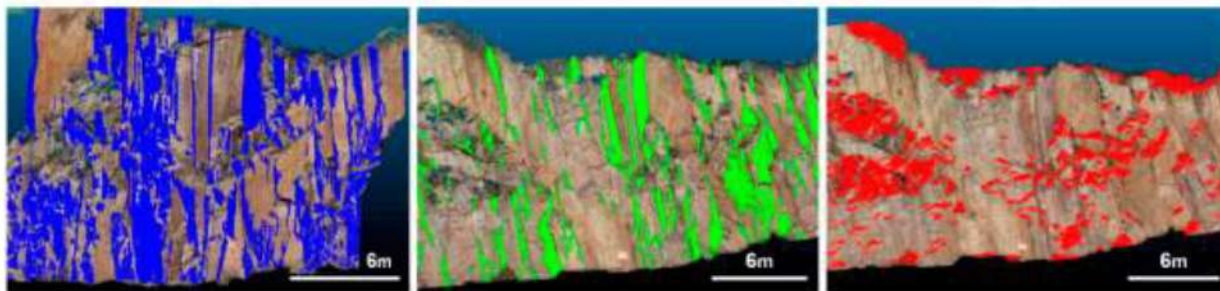


Рисунок 4.9. – Автоматично ідентифіковані порушення за допомогою DSE

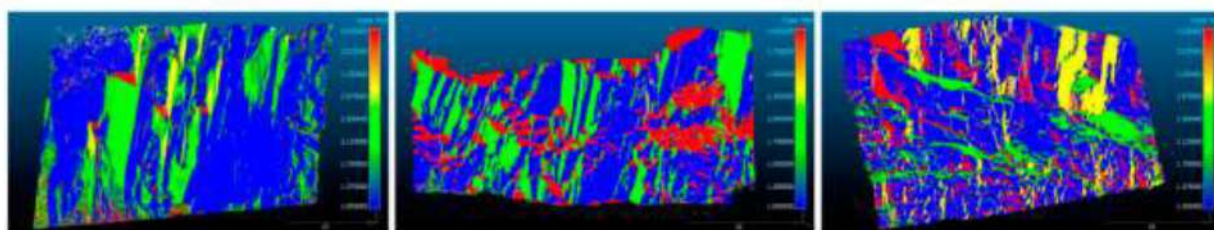


Рисунок 4.10. – Автоматична ідентифікація розривів за допомогою програми DSE

Суб'єктивність дослідників, що має місце при ручному визначенні порушень усувається при виконанні автоматичного аналізу за допомогою таких програмного забезпечення, таким чином отримуючи більш точні вимірювання. Однак важливо підкреслити, що середня абсолютна варіація падіння та напрямку падіння становить менше 10 та 5 відповідно між орієнтаціями, отриманими за допомогою ручних вимірювань і автоматично. На гранях шести досліджених схилів спостерігаються значні тріщини і розриви, кути падіння схилів більше 75° , висоти в кілька десятків метрів.

Таким чином, можна було припустити, що можливі розриви будуть визначені та виявлені під час виконання аналізу стабільності. Кожен метод використовує різні параметри та міркування; однак у всіх випадках для кожного схилу було визначено принаймні один режим руйнування.

4.3. Порівняння технологій дистанційного зондування територій на платформах БПЛА

На основі проаналізованого досвіду робіт [17], [18] та роботи, виконаної Vanneschi та ін. [19] (аналіз якої не наведено через обмежений обсяг магістерської роботи), надано деякі рекомендації для користувачів технологій зйомки за допомогою БПЛА (табл. 4.1). Наведена в таблиці інформація дозволяє порівняти рішення БПЛА з наземними технологіями, враховуючи найбільш репрезентативні елементи: витрати, тривалість вимірювань, розгортання вимірювань, обробку даних та умови навколишнього середовища, які може впливати на заходи та порушувати їх. Вибір однієї або комбінації цих технологій залежить від доступності сайту, бюджету та мети моніторингового проекту.

Таблиця 4.1. - Керівництво щодо вибору найкращої економічно ефективної технології дистанційного зондування територій порушених гірничими роботами.

		Наземний LiDAR	Повітряний LiDAR (БПЛА)	Аерофотограмме трія (БПЛА)
Ціна	Вартість обладнання	середня	середня	низька
	Вартість вимірювань із зовнішнім	середня	висока	низька

	субпідрядником			
	Вартість замірів власним обладнанням	Залежно від радіусу дії сканера	низька	низька
Час	Тривалість вимірювання	середня	довга	середня
Реалізація	оптимальний обсяг для інструменту	10- 100 га	< 100 га	< 100 га
	Діапазон вимірювання датчиків	см - 4 км	50 – 100 м	немає
	Регулювання/ Законодавство	немає	правила EASA / FAA	правила EASA / FAA
	Доступність до місця зйомки	Залежно від радіусу дії сканера	не вимагається	не вимагається
	Контрольні точки	рекомендовані	рекомендовані	потрібні
Данні	Щільність облака точок	середня	середня	висока
	Час постобробки	середній	середній	довгий
Вплив грунтового покриву	Грунт/породи	обмежений вплив	обмежений вплив	не впливає
	Вугілля	обмежений вплив	впливає	не впливає
	Вода	впливає	впливає	не впливає

	Рослинність	обмежений вплив	обмежений вплив	впливає
Атмосферні умови, що впливають на вимірювання	Вітер	впливає	обмежений вплив	обмежений вплив
	Дощ/Сніг	обмежений вплив	впливає	впливає
	Туман/пил	обмежений вплив	обмежений вплив	впливає
	Яскравість/Тінь	не впливає	не впливає	впливає

Аналіз проведеного порівняння показує, що для більшості задач геодезичного знімання за допомогою БПЛА найбільше переваг має фотограметрія. З перелічених вище завдань зйомки деградованих територій вугільних шахт (контроль стійкості відвалів, контроль виконання робіт по плануванню відвалів бульдозерною технікою, контроль робіт по боротьбі з загоранням відвалів, контроль і оцінка якості рекультиваційних робіт) лише оцінка якості рекультиваційних робіт потребує використання удосконаленої технології фотограмметрії, що може бути реалізована в сучасних дроно-інтегрованих технологіях, (що використовуються в розумному землеробстві), або у технологіях з LiDAR.

Якщо не враховувати вплив погодних умов на проведення досліджень методом фотограмметрії з БПЛА (цей недолік не є критичним для дослідження деградованих територій, тому що час проведення досліджень не чітко регламентований), то єдиним суттєвим недоліком цього методу є необхідність встановлення контрольних точок. Але цей недолік не є критичним і може бути вирішений шляхом встановлення реперних точок поза межами відвалу, наприклад, на поверхневому дворі шахти, копрах, будівлях підйомних машин і т. ін, тобто в зонах, що знаходяться поза межами зрушень.

Для моніторингу великих нестабільностей схилів, наприклад, у контексті відстеження наслідків гірничих робіт, зазвичай окремо застосовуються кілька геодезичних технологій: наземне лазерне сканування, повітряне лазерне сканування, звичайні методи геодезичної зйомки, наземні фотограмметричні рішення, рішення на основі БПЛА тощо. Використання одного або кількох із цих методів залежить від багатьох факторів: рельєфа поверхні, що обстежується, геометрії, погоди, витрат тощо. Гірничодобувна промисловість має велику площу, яку слід контролювати. Зйомки БПЛА починають ставати популярними для багатьох додатків навіть з деякими обмеженнями. Основною причиною є швидкий і легкий доступ до небезпечних і важкодоступних місць, а також можливість спостерігати за землею з різних кутів зору. Результати аналізу літератури також вказують на те, що об'єднання даних з різних технологій дистанційного зондування можна використовувати для подолання технічних проблем і отримання повної геометричної інформації.

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗЙОМКИ І ПРИКЛАД ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в сучасному світі набуває все більшої популярності і затребуваності, бо вони дозволяють виконувати зйомку дистанційно з максимальною безпекою для людини. Отримані фото з БПЛА вирізняються чіткістю, є достатньо якісними, що дозволяє на їх основі будувати хмару точок, виконувати 3D моделювання для використання отриманої інформації для подальших наукових досліджень.

Крім того, застосування безпілотних літальних апаратів для зйомки різних земельних ділянок і об'єктів, на них розташованих, вирізняється швидкістю виконання поставлених завдань, у порівнянні з теодолітною або тахеометричною зйомкою, і можливістю виконання їх у режимі реального часу.

Активно застосовуються БПЛА і в промисловості. В магістерській роботі пропонується використання платформ БПЛА для моніторингу породних відвалів методом фотограмметрії.

Методика виконання робіт, що побудована на основі проведених досліджень в попередніх розділах наступна.

I. Період планування. Лабораторний підготовчий етап.

1. Вибір об'єкту дослідження.
2. Визначення розмірів області зйомки (сцени).
3. Вибір платформи БПЛА для виконання знімання.
4. Вибір бортового пристрою (цифрової камери) для створення зображень (фото).
5. Планування польотної місії (визначення маршрутних точок, траєкторії, фокусної відстані, % перекриття, висоти, швидкості польоту і т.п.).
6. Установка контрольних реперних точок (якщо знімання дроном на досліджуваній території проводиться вперше).

II. Період польових робіт. Основний етап.

7. Виконання зйомки в польових умовах. Отримання дата файлу.

III. Період обробки результатів. Лабораторний етап моделювання і аналізу.

8. Калібрування фото і виділення узгоджених і надлишкових наборів зв'язувальних точок.

9. Реконструкція поверхні та створення орто- фотозображень. Переведення масиву фотографій в хмару точок.

10. Побудова 3D моделі.

11. Пост-обробка і аналіз результатів.

Використовуючи отримані моделі можна виконувати відстеження змін через необхідні проміжки часу. Наприклад, у випадку коли метою знімання є контроль виконання бульдозерних робіт по формуванню відвала періодичність знімання встановлюється щонайменше раз на місяць, для можливості встановлення об'ємів робіт і закриття місячних об'ємів виробництва. Якщо дослідження проводиться з метою аналізу якості протипожежних заходів і визначення очагів загорання відвалів період зйомки доцільно зменшити до двох разів на місяць, а при виявленні потенційної небезпеки і ліквідації загорання – контрольне знімання виконується за запитом (по необхідності). У випадку контролю стійкості укосів відвала періодичність знімання доцільно зменшити до одного на квартал. Особливу увагу при цьому слід приділяти періодам зміни сезонів (зокрема зимово-весняного) оскільки великі опади провокують рухи порід.

Проведемо в якості прикладу дослідження для умов породного відвалу шахти Степова (блок 2). Супутниковий знімок об'єкту дослідження (відвалу) з висоти 868 метрів з нанесеною геодезичною сіткою наведено на рис. 5.1.а, фотографія північно-східного боку відвалу з наземної станції на відстані 400 м наведена на рис. 5.1.б. Розміри породного відвалу і ділянки дослідження наведено на рис. 5.2.а і 5.2.б відповідно.



а



б

Рисунок 5.1. - Вид породного відвалу шахти Степова зверху (а) і збоку (б) зліва направо в орієнтації фото а



а



б

Рисунок 5.2. - Розміри об'єкту дослідження

Загальні розміри відвала (габарити) становлять 540 м на 400 м.

Рисунок 5.2.б містить позначену червоним прямокутником зону

потенційного дослідження. Таким чином розміри області зйомки (сцени) становлять 60*40 м. Контур прямокутника обмежує область поточного складування породи, яку на відвал вивозять вантажівки. Планування площадки виконується бульдозером 1-2 рази на місяць в залежності від темпів проведення виробки і об'ємів породи, що направляється у відвал. Визначення об'єму породи у відвалі що піддається плануванню є щомісячною задачею поряд з контролем якості і своєчасності робіт по створенню планування. В якості прикладу розглянемо визначення цих об'ємів методом фотограмметричної зйомки з БПЛА.

Враховуючі розміри сцени визначимо оптимальну платформу БПЛА. На основі аналізу платформ, проведеного в розділі 3 магістерської роботи кращим варіантом є мотопланер, однак, враховуючі невеликі розміри сцени доцільно в цьому дослідженні використовувати в якості платформи коптер. Корисне навантаження платформи складається з камери, модулів навігації і орієнтації. Доцільно обрати модулі з автопілотом. Обираємо наступне обладнання (табл. 3.2-3.6): коптер Mavic – Enterprise Advanced, камера для коптера Dji Zenmuse з наступними параметрами 4.5 мм, f/2.8 13100с ISO100 вагою 678 г, навігаційний модуль AIMS uMotion вагою 90 грам.

Польотна місія, спроектована в Autocad наведена на рис. 5.3. Точками позначені фотографії, які виконує дрон на шляху своєї польотної місії.

Траєкторія польоту являє собою «змійку», що дозволяє максимально перекрити територію досліджень. Щільність мережі досліджень зумовлюється складністю ділянки досліджень: на більш складних за обрисом ділянках для отримання якісної і правильної інформації рекомендується згущення мережі. Проектна висота польоту 100 м. Час виконання польотного завдання 7 хвилин, кількість знімків – 103, площа зйомки 9600 м².

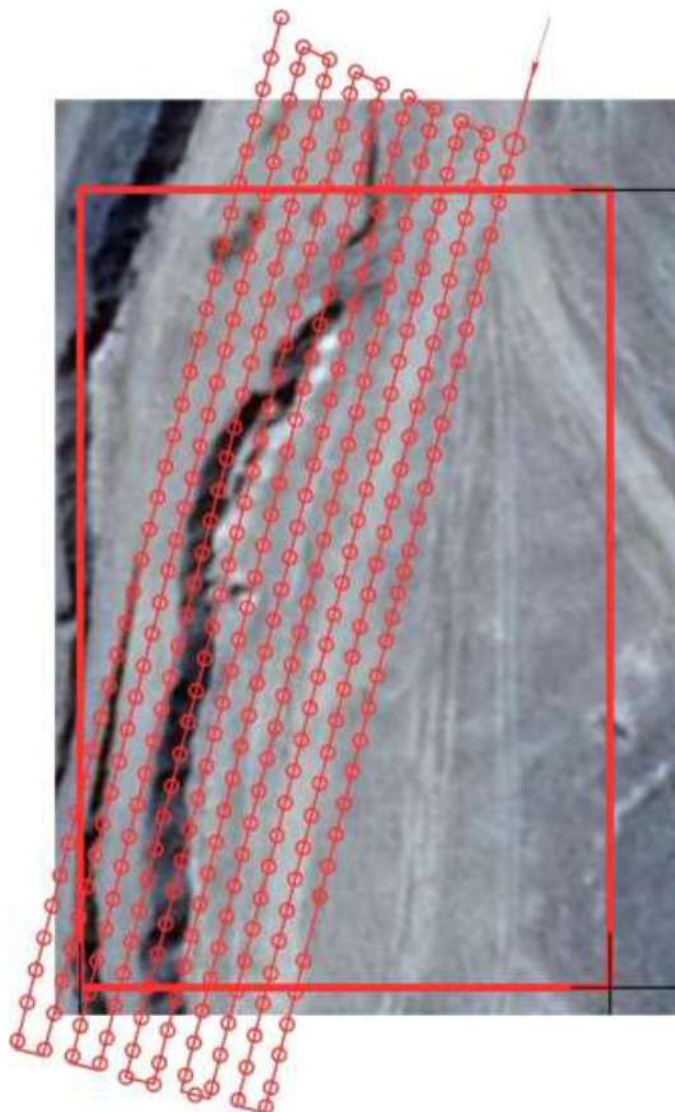


Рисунок 5.3. – Траєкторія польоту спроектована в Autocad (без врахування часу підльоту до сцени)

Після ручного калібрування фото і виділення надлишкових зв'язувальних точок проводиться обробка з побудовою 3D моделі ділянки досліджень за допомогою програмного забезпечення з відкритим кодом Pix4D Survey v.1.58.3. (<https://www.pix4d.com/download-software/>).

Процес зшивки фото з прив'язкою до геодезичної сітки і поверхні наведено на рис. 5.4.

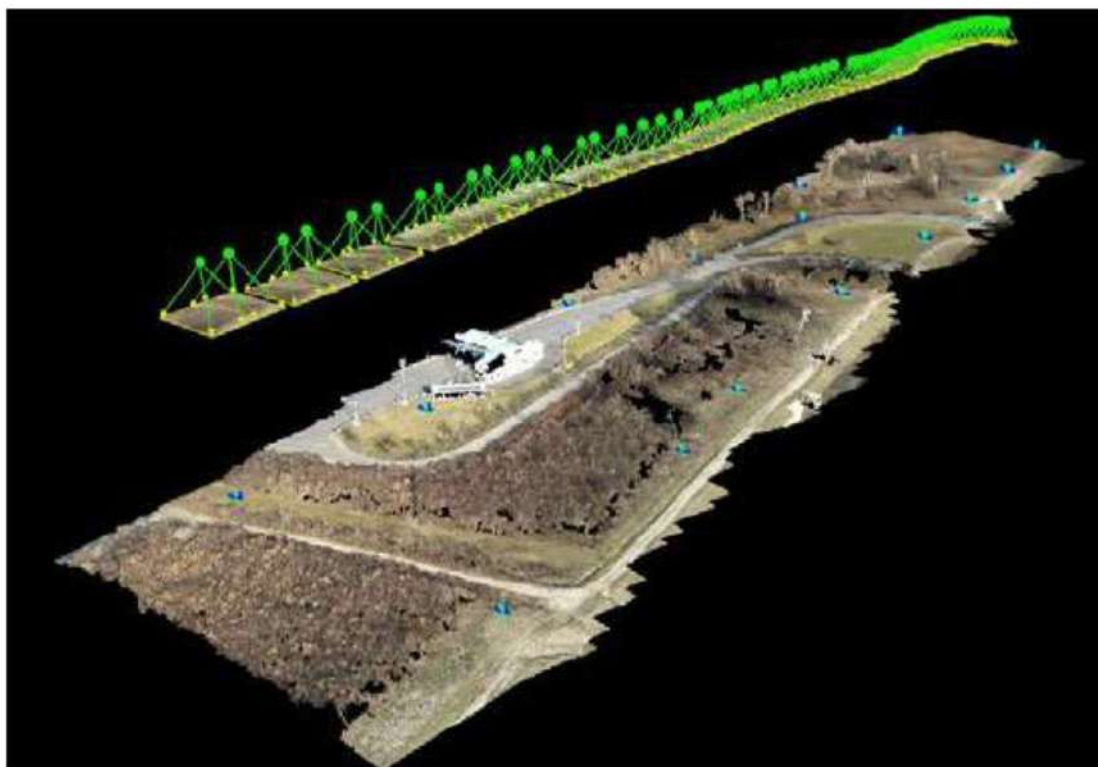


Рисунок 5.4. – Побудова цифрової моделі у Pix4D Survey

Спочатку по фотографіям створюється розріджена хмара точок з мінімально необхідною кількістю точок, яка дозволяє первинно зорієнтуватися за контурами об'єкта. Кожна з точок збирається з ряду фотографій. Кожний піксель обробляється по координатах X , Y , Z для того щоб зробити 3D модель. Фрагмент побудованої тривимірної моделі наведено на рис. 5.5.

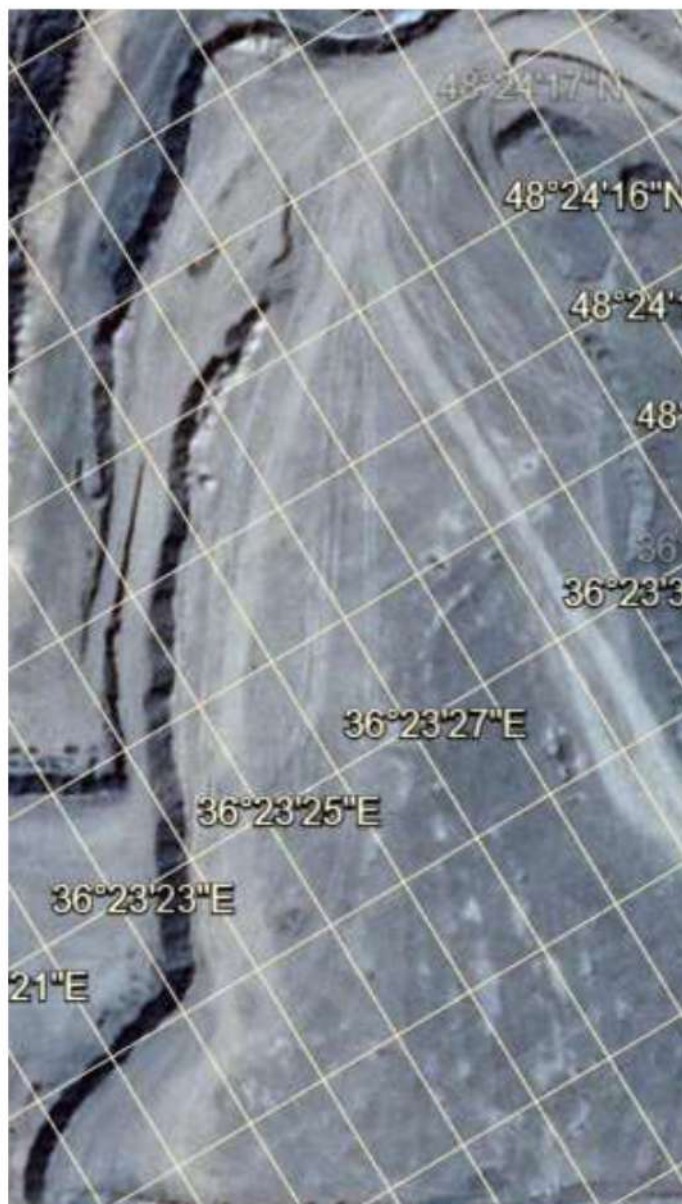


Рисунок 5.5. – 3D модель побудована в результаті обробки фото

На етапі пост обробки виконувалась векторизація насипів для визначення розмірів насипів і об'ємів породи. Отримана модель піддається більш детальному аналізу. Окремі ділянки оконтурюються і більш складні об'єкти вивчаються додатково. Об'єми визначаються за допомогою функціонала AutoCad на основі отриманих векторизацією площ.

Векторизовані контури насипів на основі обробки результатів моделювання

Результати підрахунку розмірів породних насипів і площі їх основи наведено на рис. 5.7. Площа основи в наведеному прикладі становить 91,8 квадратних метри. Далі користуючись формулами з курсу геометрії розраховуються об'єми породи. При цьому висота визначається на основі аналізу координати Z побудованої тривимірної моделі. Форми насипів спрощуються до конусів, призм і усічених конусів.

Наведена методика представляє собою лише приклад використання запропонованої технології геодезичного знімання на основі БПЛА, і може бути удосконалена при інших задачах досліджень.

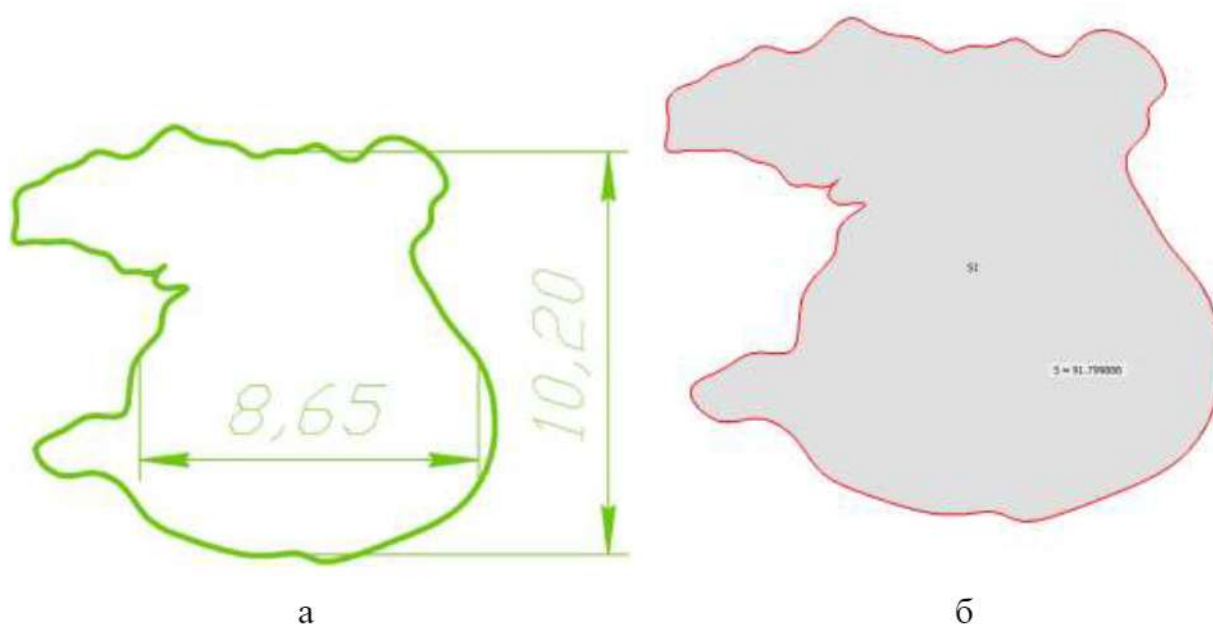


Рисунок 5.7. – Результати пост обробки результатів зйомки: а) векторизований контур насипу з розмірами, б) автоматичне визначення площі насипу

Таким чином, проведені дослідження вказують на те, що розроблена методика може бути використана для аналізу деградованих територій вугільних шахт.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Інструкція з охорони праці для оператора БПЛА

До самостійної роботи з БПЛА, допускаються особи старше вісімнадцяти років, які попередньо пройшли теоретичну та практичну навчання та підготовку, медичний огляд, необхідні інструктажі (вступний та первинний) на місці роботи з охорони праці; пройшли стажування на місці роботи та перевірку необхідного рівня знань та вимог охорони праці та техніки безпеки, а також навчання правил пожежної і електробезпеки з подальшою перевіркою знань цих правил в обсязі посадових інструкцій та обов'язків для присвоєння I групи [20].

Працюючи з безпілотним літальним апаратом (БПЛА) оператор, що задіяний у проведенні фотограмметричної зйомки зобов'язаний:

- знати та дотримуватись правил та норм охорони праці та виробничої санітарії [20];
- дбати про особисту безпеку та здоров'я [20];
- виконувати вимоги пожежо-безпеки і вибухо-безпеки, знати сигнали оповіщення про пожежу, та необхідний порядок дій при цьому, місця розташування засобів пожежогасіння, мати навички користування ними [20];
- знати де розташована аптечки і вміти надавати першу домедичну допомогу потерпілому [20];
- знати порядок дій у разі виникнення надзвичайних подій та ситуацій [20];
- знати пристрій, принцип його роботи, правила експлуатації та обслуговування БПЛА [20].

Під час роботи БПЛА оператор, що задіяний у проведенні фотограмметричної зйомки повинен пройти:

- повторний інструктаж з охорони праці на місці роботи не рідше ніж один раз на три місяці [20];
- періодичний медичний огляд один раз на рік [20];

- чергову перевірку знань вимог охорони праці гне рідше ніж раз на рік [20].

Працюючи з БПЛА оператор, що задіяний у проведенні фотограмметричної зйомки повинен виконувати роботу, яка визначена дорученням керівника геодезичних робіт [20].

Присутність сторонніх осіб на робочому просторі обладнання під час роботи не допускається [20].

Робота з БПЛА здійснюється відповідно до технічної документації організації-розробника [20].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- транспортні засоби, що рухаються [20];
- гострі кромки, задирки, шорсткості поверхні БПЛА [20];
- несприятливі погодні умови [20];
- падіння [20];
- електричний струм [20];
- фізичні навантаження [20];
- недостатня освітленість робочої зони [20].

Оператор, що проводить фотограмметричну зйомку обов'язково забезпечується засобами індивідуального захисту відповідно до діючих норм спецодягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) [20].

Робітник повинен знати та дотримуватися правил особистої гігієни. Забороняється вживати спиртні напої та працювати у стані алкогольного сп'яніння, під дією наркотичних препаратів, токсичного сп'яніння [20].

Робітник повинен негайно повідомляти свого керівника про будь-яку ситуацію, яка може загрожувати життю та здоров'ю людей, що задіяні в зйомці, про кожен нещасний випадок, який трапився на виробництві, про погіршення стану свого здоров'я, у тому числі про появу гострого професійного захворювання (отруєння), а також про всі помічені несправності обладнання і пристроїв [20].

6.2. Вимоги охорони праці перед початком роботи

Робітник повинен бути одягнений враховуючи погодні умови. Одяг повинен бути відповідного розміру, бути зручним для виконання посадових обов'язків. Взуття - легким і зручним [20].

Перед початком роботи працівник повинен переконатись у достатності освітлення робочої зони, особливо у темний час доби. Пересвідчитись, що співробітники знаходяться на необхідній відстані від безпілотного літального апарату (БПЛА), щоб забезпечити безпеку виконання робіт. Перевірити наявність аптечки для надання першої домедичної допомоги, первинних засобів пожежогасіння. Про всі недоліки та несправності обладнання, засобів індивідуального захисту, виявлених при огляді на робочому місці, необхідно доповісти керівнику для вжиття необхідних заходів щодо їх повного усунення або заміни. Робітник повинен особисто переконатися, що всі необхідні заходи для забезпечення безпеки виконання робіт виконані [20].

6.3. Вимоги охорони праці під час роботи

Працівник повинен виконувати всі правила внутрішнього трудового розпорядку, накази, розпорядження, які регламентують питання дисципліни праці. Не можна долучати до роботи сторонніх осіб, які не мають знань та досвіду для виконання відповідних робіт. Робітник повинен суворо дотримуватись вимог безпеки, які викладені в документації по експлуатації заводу-виробника БПЛА [20].

БПЛА - електронний пристрій зі складною системою керування і може стати джерелом небезпеки як для працівника та і для оточуючих. БПЛА не рекомендується використовувати у місцях масового скупчення людей. Мінімальна безпечна відстань від БПЛА до людини складає мінімум п'ятнадцять метрів [20].

Забороняється використовувати технічно несправний БПЛА, у якому було виявлені поломки складових частин конструкції, механізмів, пристроїв, виявлені неполадки в процесі використання електронної системи управління, у т. ч. такі, які виникають внаслідок радіоперешкод [20].

В процесі роботи БПЛА ряд елементів, особливо контактна група між батареєю і дроном можуть нагріватися, тому треба дотримуватися запобіжних заходів, для уникнення опіків [20].

При експлуатації акумуляторної батареї для БПЛА дотримуватись наступних вимог безпеки:

- використовувати тільки зарядний пристрій, що постачається в комплекті, або рекомендований заводом-виробником БПЛА [20];
- заряджати акумулятор на вогнетривкій поверхні у пожежобезпечному, освітленому місці на безпечній відстані від обладнання і транспортних засобів [20];
- не зберігати і не заряджати акумулятори під дією прямих сонячних променів [20].

Якщо в процесі експлуатації БПЛА акумулятор надмірно нагрівається, необхідно замінити його на новий [20].

Перед тривалим зберіганням БПЛА, переїздом та складанням, розкладанням БПЛА слід виймати батареї [20].

Використовувати для передавача елементи живлення одного типу та виробника з однаковим рівнем заряду. Недотримання цієї умови може спричинити повну втрату управління БПЛА [20].

Заборонено торкатися пропелерів та інших деталей, що обертаються. Слід оберегати від ударів БПЛА та його пульт управління [20].

Під час виконання робіт з фотограметричної зйомки забороняється:

- відлучатися з робочого місця без відома керівника [20];
- залишати без нагляду БПЛА [20];
- користуватися відкритим вогнем [20].

У разі поганого самопочуття припинити роботу, повідомити свого керівника і звернутися до лікаря [20].

6.4. Вимоги охорони праці по закінченню роботи

Після виконання завдання відповідно до наряду треба очистити БПЛА та здати на зберігання у визначене місце. Впорядкувати робоче місце і не залишати робоче обладнання по від'їзду з місця зйомки. Зняти ЗІЗ, оглянути, впорядкувати та прибрати у спеціально призначене місце. Повідомити свого керівника про всі порушення та зауваження, виявлені в процесі роботи, та вжити необхідні заходи щодо їх усунення [20].

6.5. Правила безпеки щодо породних відвалів

Закладання нових та експлуатація діючих породних відвалів, а також їх гасіння, розробка та розбирання здійснюються відповідно до проектів або розділів проектів будівництва (реконструкції, ліквідації) шахт та збагачувальних фабрик [21].

На діючих породних відвалах застосовуються ефективні заходи щодо запобігання їх займанню та вітровій ерозії [21].

Не дозволяється експлуатація породних відвалів, які горять. Породні відвали, які горять, підлягають обов'язковому гасінню [21].

Для породних відвалів заввишки понад 10 м установлюється механічна захисна зона. За контуром механічної захисної зони повинні встановлюватися знаки, що забороняють вхід до зони [21].

Не допускається розміщення житлових, виробничих та інших будинків та споруд із постійною або тимчасовою присутністю людей у межах механічної захисної зони (крім будинків та споруд, пов'язаних із експлуатацією відвалів) [21].

У межах механічної зони, але не ближче ніж за 10 м від проектного контуру відвалів заввишки до 28 м і не ближче ніж за 50 м від проектного контуру відвалів заввишки більше ніж 28 м дозволяється розміщувати лише інженерні комунікації. При цьому на період виконання робіт на інженерних комунікаціях роботи на відвалах повинні зупинятися [21].

Максимальна висота породних відвалів визначається з умов стійкості їхніх укосів та несучої здатності основи. Експлуатація породних відвалів заввишки понад 100 м дозволяється лише з дозволу органу Держнаглядохоронпраці України [21].

Породні відвали, що закладаються наново, повинні бути плоскої форми. Доцільно розміщувати їх у балках, ярах та відроблених кар'єрах із забезпеченням відводу та пропуску дощових та паводкових вод з обов'язковим зняттям родючого шару [21].

Закладання нових породних відвалів або будівництво лікувально-профілактичних, культурно-побутових та житлових будинків потрібно здійснювати із залишенням санітарно-технічної зони завширшки не менше ніж 500 м, а для діючих породних відвалів, які не горять, санітарна зона встановлюється за узгодженням з територіальним органом Держнаглядохоронпраці України, установою Держсанепідемслужби в області (місті, районі) і місцевим органом виконавчої влади - не ближче ніж межа механічної захисної зони. Відстань від породних відвалів до стволів (шурфів) повинна бути не менше ніж 200 м [21].

Породні відвали слід розташовувати з підвітряного боку (для вітрів переважного напрямку) відносно житлових будинків, приміщень громадського та комунального призначення, а також стволів (шурфів) [21].

Не дозволяється розміщувати породні відвали на площах з незатампованими свердловинами та шурфами, на виходах пластів вугілля з потужністю наносів до 5 м, а також на майданчиках, підроблення яких несе за собою утворення провалів на поверхні [21].

Провали від ведення гірничих робіт можуть використовуватися для розміщення гірничих порід за умови бортування провалів та засипання розкритих корінних порід глинистими наносами шаром завтовшки не менше ніж 5 м, а також за відсутності протікання (підсосів) повітря через провали до гірничих виробок і небезпеки раптового осідання провалів у процесі їх заповнення, що визначається на підставі маркшейдерського прогнозу [21].

У разі виявлення ознак деформації в процесі експлуатації, гасіння та розбирання породного відвалу роботи повинні бути призупинені до розробки спеціальних заходів щодо подальшого безпечного ведення робіт [21].

Під час гасіння породних відвалів, які горять, здійснюється вимірювання концентрації оксиду вуглецю та сірчистого ангідриду на робочих місцях перед початком кожної зміни. За наявності шкідливих газів у кількості, що перевищує допустимі норми, повинні вживатися заходи, що гарантують безпеку робіт [21].

Списання породного відвалу з числа тих, що горять, оформлюється актом комісії з представників шахти, територіального органу Держнаглядохоронпраці України, установи Держсанепідемслужби в області (місті, районі), Мінприроди України, МакНДІ, НДІГС та (за погодженням) представників місцевих органів виконавчої влади за наявності акта температурної зйомки. Акт складається в такій кількості примірників, яка дорівнює кількості представлених у комісії органів. Один примірник залишається на шахті, інші передаються до зазначених організацій, де зберігаються у встановленому порядку [21].

Не допускається:

- а) складання в породні відвали неостиглої золи котельних установок та легкозаймистих матеріалів (лісу, тирси, паперу, обтирального матеріалу та ін.) [21];
- б) експлуатація териконів без оснащення їх східцями [21];
- в) ведення робіт із гасіння та розбирання відвалів у нічний час [21];

г) проведення на породних відвалах будь-яких робіт, пов'язаних із присутністю людей під час зливових опадів та грози [21];

г) розміщення на породних відвалах шламонакопичувачів [21];

д) подавання води до тріщин та порожнин від вигоряння на відвалі без додаткових заходів безпеки [21];

е) виконання робіт з формування, гасіння та розбирання породних відвалів одним працівником [21];

є) піднімання (спускання) працівників у скіпах (вагонетках) на терикон [21];

ж) самовільне розбирання породних відвалів[21].

Усі породні відвали підлягають рекультивації (озелененню). На діючих плоских породних відвалах рекультивація повинна здійснюватися з відставанням не більше ніж на один ярус [21].

У разі вивезення вугілля та породи канатними дорогами, автомобільним, конвеєрним та рейковим транспортом не дозволяється складання та вивантаження їх у невизначених місцях [21].

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи вирішено актуальне завдання з розробки методики зйомки деградованих територій вугільних шахт на основі порівняльного аналізу доступних на ринку комерційно-готових продуктів безпілотної авіації, технологічних і програмних рішень.

Геодезичне знімання з безпілотного літального апарату (БПЛА) є новим інструментом вимірювання, що впевнено займає нові позиції в геоматичних дослідженнях. Об'єктом дослідження магістерської роботи обрано породні відвали вугільних шахт, що є типовими деградованими територіями області. Такі роботи зараз переважно виконуються як на діючих підприємствах, так і на територіях колишньої господарської діяльності шахт.

Аналіз літературних джерел вказує, що дослідження порушених внаслідок ведення гірничих робіт територій шахт є одним з важливих напрямків геодезичних спостережень в світі. Щодо українського досвіду, то найбільш широко методи дистанційного зондування ділянок порушених гірничими роботами розвинуті в Криворізькому регіоні при відстеженні осідань поверхні над старими гірничими виробками шахт. А також для фотограмметричних досліджень в кар'єрах (зокрема для геометризації запасів).

В роботі проведено аналіз сучасних методів вимірювання і визначено, що розміри деградованих територій вугільних шахт знаходяться в межах області дослідження сучасних безпілотних літальних систем. Порівняльний аналіз дозволив дійти висновку, що для об'єкту дослідження магістерської роботи більше підходить метод фотограмметрії, ніж ЛІДАР. Запропоновано обладнання для виконання зйомок в склад якого входять платформа БПЛА, камера, блок керування і навігації, автопілот.

В результаті запропоновано методику проведення геодезичного знімання породного відвалу вугільної шахти. Наведено приклад робіт на всіх

етапах для умов породного відвала блока 2 шахти Степова. Проведено підрахунок об'ємів робіт планування відвалу за місяць.

Наведені заходи з охорони праці і техніки безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР)), 2022, №3-4, ст.27.
2. Закон України «Про охорону земель» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 39, ст.349.
3. Закон України «Про землеустрій» (Відомості Верховної Ради України (ВВР)), 2003, № 36, ст. 282.
4. Кодекс України про надра (Відомості Верховної Ради України (ВВР)), 1994, № 36, ст. 340). Введений в дію Постановою ВР № 133/94-ВР від 27.07.94, ВВР, 1994, № 36, ст. 341.
5. Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів «Про затвердження Класифікації видів цільового призначення земель», 23.07.2010, №548.
6. Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I. (2006) Close range photogrammetry: Principles, methods and applications. Whittles, pp. 1-510.
7. Eisenbeiß, H. (2009) UAV photogrammetry. Zurich, Switzerland: ETH.
8. Nex F., Remondino F. (2014) UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6,(1), 1-15. DOI:10.1007/s12518-013-0120-x.
9. RPAS. Remotely piloted aircraft systems. 2013. TheGlobal perspective. 2012/2013. 10 th Edition. June2013, Bluenburgh & CO. Available at: <http://uvs-info.com/index.php/>
10. Salvini R., Vanneschi C., Riccucci S., Francioni M., and Gullì D. (2015) Application of an integrated geotechnical and topographic monitoring system in the Lorano marble quarry (Apuan Alps, Italy). *Geomorphology*, 241, 209–223.
11. McLeod T., Samson C., Labrie M. (2013) Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine. *Geomatica*, 67, 173–180.

12. Xiang J., Chen J., Sofia G. (2018) Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey. *Environ Earth Sci*, 77, (6), 220–237.
13. Haas F., Hilger L., Neugirg F (2016) Quantification and analysis of geomorphic processes on a recultivated iron ore mine on the Italian island Elba using long-time ground-based LiDAR and photogrammetric data by an UAV. *Nat Hazard Earth Sys*, 3, (10), 6271–6319.
14. Francioni M., Salvini R., Stead D. (2015) An integrated remotesensing-GIS approach for the analysis of an open pit in the Carrara marble district, Italy: slope stability assessment through kinematic and numerical methods. *Comput Geotech*, 67, 46–63.
15. Salvini R., Mastrorocco G., Esposito G. (2018) Use of a remotely piloted aircraft system for hazard assessment in a rocky mining area (Lucca, Italy). *Nat Hazard Earth Sys*, 18, (1), 1–35.
16. Vosselman G., Mass H.G. (2010) Airborne and terrestrial laser scanning. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Department of Earth Observation Science, UT-I-ITC-ACQUAL, CRC Press.
17. Coccia S., Marwan A., E. (2022) Combination of UAV-Borne Lidar and UAV-Borne Photogrammetry to Assess Slope Stability. 7th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'22), 107, 8.
18. Delgado-Reivan, X., Paredes-Miranda, C., Loaiza, S., Echeverria, M.D.P.V., Mulas, M., Jordá-Bordet, L. (2023) Stability Analysis of Rocky Slopes on the Cuenca–Girón–Pasaje Road, Combining Limit Equilibrium Methods, Kinematics, Empirical Methods, and Photogrammetry. *Remote Sens.*, 15, 862.
19. Vanneschi C., Eyre M., Francioni M. Coggan J. (2017) The Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring and Characterization of Slope Instability. *Procedia Engineering*, 191, 150 – 157.
20. Інструкція з охорони праці для оператора наземних засобів керування безпілотним літальним апаратом:

<https://ohoronapraci.com.ua/instructions/656370-instrukciya-z-okhoroni-praci-operatora-nazemnikh-zasobiv-keruvannya>

21. Про затвердження Правил безпеки у вугільних шахтах Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 16 листопада 2004 року N 257.