

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра інтелектуальних інформаційних систем

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

В. о. завідувача кафедри інтелектуальних
інформаційних систем

_____ Євген СІДЕНКО

« ____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КАРТОГРАФУВАННЯ
ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ НА ОСНОВІ
ДАНИХ БПЛА ТА ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітня програма «Інтелектуальні інформаційні системи»

Здобувач

_____ Валерій ЧУПИНА

« ____ » _____ 20__ р.

Керівник канд. техн. наук, доцент

_____ Євген СІДЕНКО

« ____ » _____ 20__ р.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Інтелектуальних інформаційних систем
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Освітній ступень	Магістр
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки
Освітня програма	Інтелектуальні інформаційні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри інтелектуальних
інформаційних систем

_____ Євген СІДЕНКО

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувача

Чупина Валерій Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: _____ інтелектуальна система картографування вибухонебезпечних предметів на основі даних БПЛА та глибинного навчання_____.

Керівник роботи: _____ Сіденко Євген Вікторович, в. о. зав. кафедри, канд. техн. наук, доцент_____.

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

Затверджена наказом ЧНУ ім. Петра Могили від «07» 07 2025 р. № 184.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «16» 12 2025 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні: _____ інтелектуальна система картографування, що автоматизує побудову небезпечних зон на основі вхідних точкових даних з БПЛА та результатів глибинного аналізу; початкові дані – просторові координати ймовірно виявлених вибухонебезпечних об'єктів._____.

4. Перелік питань, що підлягають розробці: аналіз предметної сфери протимінної діяльності та сучасних підходів до виявлення вибухонебезпечних предметів із використанням БПЛА та глибинного навчання, обґрунтування вибору технологій, алгоритмів та інструментальних засобів для побудови інтелектуальної системи картографування, а також розробку, програмну реалізацію та дослідження якості автоматизованих методів формування небезпечних полігонів і їх інтеграції у комплексну ГІС-інфраструктуру.

5. Перелік графічних матеріалів: презентація, рисунки, таблиці

Керівник роботи

(Особистий підпис)

Євген СІДЕНКО
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

(Особистий підпис)

Валерій ЧУПИНА
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата видачі завдання «28» червня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

кваліфікаційної роботи

Тема: Інтелектуальна система картографування вибухонебезпечних предметів на основі даних БПЛА та глибинного навчання

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Отримання завдання на виконання КР	27.06.2025	30.06.2025	
2	Аналіз предметної області та постановка задачі	1.07.2025	20.07.2025	
3	Огляд літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи, зокрема аналіз публікацій та аналогічних систем, дослідження методів збору та обробки даних БПЛА і глибинного навчання	21.07.2025	30.07.2025	
4	Огляд існуючих систем щодо картографування вибухонебезпечних предметів	01.09.2025	25.10.2025	
5	Реалізація обраних технологій з аналізом отриманих результатів	26.10.2025	21.11.2025	
6	Перший попередній захист КР на засіданні комісії кафедри	25.11.2025	26.11.2025	
7	Корегування роботи за результатами попереднього захисту	27.11.2025	05.12.2025	
8	Другий попередній захист КР на засіданні комісії кафедри	09.12.2025	09.12.2025	
9	Доробка та остаточне оформлення КР	10.12.2025	12.12.2025	
10	Подання КР, її електронної копії та інших документів (відгуку, рецензії) до захисту	15.12.2025	16.12.2025	

Керівник роботи

(Особистий підпис)

Євген СІДЕНКО
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

(Особистий підпис)

Валерій ЧУПИНА
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата складання календарного плану
«08» липня 2025 р.

АНОТАЦІЯ

кваліфікаційної роботи студента групи 601 ЧНУ ім. Петра Могили

Чупини Валерія Євгеновича

Тема: «Інтелектуальна система картографування вибухонебезпечних предметів на основі даних БПЛА та глибинного навчання»

Актуальність роботи полягає у створенні інтерактивної системи картографування вибухонебезпечних предметів, що дозволяє оперативно збирати, аналізувати та візуалізувати геопросторові дані з використанням БПЛА, технологій глибинного навчання та геоінформаційних систем.

Об'єктом роботи є процеси картографування вибухонебезпечних предметів.

Предметом роботи є методи збору, обробки та інтеграції геопросторових даних, алгоритми створення полігонів небезпечних територій і принципи побудови інтерактивної мапи у середовищі ArcGIS.

Метою роботи є створення інтерактивної системи автоматизованого картографування вибухонебезпечних предметів.

У результаті написання кваліфікаційної роботи було реалізовано повноцінну систему, що поєднує обробку даних з БПЛА, використання методів глибинного навчання та інструменти ГІС для побудови полігонів замінованих територій, з подальшою інтеграцією у систему управління інформацією в протимінній діяльності.

Робота складається з пояснювальної записки, та додатків. Пояснювальна записка включає вступ, чотири розділи та висновки. У вступі визначено актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження. У першому розділі проведено аналіз предметної області та огляд існуючих рішень. У другому розділі обґрунтовано моделі, методи та інформаційні технології для реалізації поставленої задачі. У третьому розділі розглянуто процес побудови геоінформаційної систем. У четвертому розділі описано логіку побудови полігонів, адміністрування та особливості експорту результатів. У висновках наведено підсумок виконаної роботи та її практичну значущість.

Кваліфікаційна робота складається з 71 сторінки (без додатків), містить 43 рисунки, 5 таблиць, 43 джерел посилання та 2 додатків.

Ключові слова: БПЛА, вибухонебезпечні предмети, ArcGIS, глибинне навчання, геоінформаційна система.

ABSTRACT

**qualification work of a student from group 601 of Petro Mohyla Black Sea
National University**

Chupyna Valerii

**Topic: "Intelligent system for mapping explosive objects based on UAV data and
deep learning"**

The relevance of the work lies in the creation of an interactive system for mapping explosive objects, which allows for the rapid collection, analysis, and visualization of geospatial data using UAVs, deep learning technologies, and geographic information systems.

The object of the work is the processes of mapping explosive objects.

The subject of the work is methods for collecting, processing, and integrating geospatial data, algorithms for creating hazardous polygons, and principles for building an interactive map in the ArcGIS environment.

The purpose of the work is to create an interactive system for automated mapping of explosive objects.

As a result of writing the thesis, a full-fledged system was implemented that combines data processing from UAVs, the use of deep learning methods, and GIS tools for constructing polygons of mined areas, with subsequent integration into the information management system in mine action.

The work consists of an explanatory note and appendices. The explanatory note includes an introduction, four chapters, and conclusions. The introduction defines the relevance of the topic and formulates the purpose, object, subject, and tasks of the study. The first chapter analyzes the subject area and reviews existing solutions. The second chapter substantiates the models, methods, and information technologies for implementing the task. The third chapter examines the process of building geoinformation systems. The fourth chapter describes the logic of building polygons, administration, and the specifics of exporting of results. The conclusions summarize the work performed and its practical significance.

The thesis consists of 71 pages (without appendices), contains 43 figures, 5 tables, 43 references, and 2 appendices.

Keywords: UAV, explosive objects, ArcGIS, deep learning, geographic information system.

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ.....	4
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ, ВИЗНАЧЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	8
1.1 Огляд та аналіз наявних аналогів та публікацій.....	9
1.2 Вимоги до програмної реалізації інтерактивної системи.....	18
Висновки до 1-го розділу	20
2 МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ.....	21
2.1 Методика збору інформації з використанням безпілотних літальних апаратів.....	21
2.2 Технології обробки вхідних даних засобами глибинного навчання...	24
2.3 Інформаційні технології для створення інтерактивної системи.....	27
Висновки до 2-го розділу	37
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КАРТОГРАФУВАННЯ	39
3.1 Опис вхідних даних та структури набору даних.....	39
3.2 Первинна обробка даних.....	41
3.3 Просторове групування (кластеризація)	42
3.4 Побудова опуклих полігонів небезпечних зон	46
3.5 Побудова мінімальних орієнтованих прямокутників на основі опуклих оболонок.....	51
Висновки до 3-го розділу	55
4 ЕКСПОРТ ПОЛІГОНІВ ТА ПОВОРОТНИХ ТОЧОК.....	56
4.1 Створення та публікація форми Survey123 Connect	56
4.2 Створення та append поворотних точок	58
4.3 Експорт точок через шаблон	60

Висновки до 4-го розділу	63
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
ДОДАТОК А Матеріали апробації роботи.....	72
ДОДАТОК Б Програмний код для генерації поворотних точок.....	73

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

БПЛА	–	безпілотні літальні апарати
ВНП	–	вибухонебезпечні предмети
ГІС	–	геоінформаційна система
ГУ ДСНС	–	головне управління державної служби з надзвичайних ситуацій
ЗСУ	–	збройні сили України
МСПМД	–	міжнародні стандарти протимінної діяльності (IMAS)
НАР	–	некерована авіаційна ракета
НСПМД	–	національні стандарти протимінної діяльності (NMAS)
НТО	–	нетехнічне обстеження
ПМД	–	протимінна діяльність
РЕБ	–	радіоелектронна боротьба
СУПМД	–	система управління інформацією про протимінну діяльність
(IM SMA)		
ТО	–	технічне обстеження
ІІІ	–	штучний інтелект
AI	–	Artificial Intelligence
API	–	Application Programming Interface
CHA	–	Confirmed Hazardous Area
CSV	–	Comma Separated Values
DBSCAN	–	Density Based Spatial Clustering Of Applications With Noise
DSM	–	Digital Surface Model
DTM	–	Digital Terrain Model
EO	–	Explosive Ordnance
EXIF	–	Exchangeable Image File Format
FGDB	–	File Geodatabase
FPV	–	First Person View
GIS	–	Geographic Information System

GPS	– Global Positioning System
GUID	– Globally Unique Identifier
IM	– Information Management
IMAS	– International Mine Action Standards
IMSMA	– Information Management System for Mine Action
ISO	– International Organization For Standardization
KML	– Keyhole Markup Language
NMAS	– National Mine Action Standards
NTS	– Non-Technical Survey
SHA	– Suspected Hazardous Area
TS	– Technical Survey
UTM	– Universal Transverse Mercator
WFS	– Web Feature Service
WMS	– Web Map Service

ВСТУП

Інтенсивне мінно-вибухове забруднення території України, спричинене повномасштабною війною, стало однією з найсерйозніших гуманітарних та екологічних проблем сучасності. У таких умовах важливою складовою процесу відновлення є створення цифрових інструментів, здатних оперативно збирати, аналізувати та відображати просторову інформацію про вибухонебезпечні предмети (ВНП). Одним із таких інструментів є інтерактивні системи картографування, що поєднують дані безпілотних літальних апаратів (БПЛА), технології глибинного навчання та геоінформаційні системи (ГІС).

Використання БПЛА у процесі гуманітарного розмінування дозволяє безпечно проводити обстеження великих територій, збирати зображення високої роздільності та оперативно виявляти потенційно небезпечні ділянки. Інтеграція цих даних у середовище ArcGIS Pro забезпечує точне картографування результатів, а подальше використання ArcGIS Online та Survey123 дає змогу організувати централізоване адміністрування, обмін інформацією та автоматизоване формування звітів для системи IMSMA Core.

Об’єкт роботи – процеси картографування вибухонебезпечних предметів.

Предмет роботи – методи збору, обробки та інтеграції геопросторових даних, алгоритми створення полігонів небезпечних територій і принципи побудови інтерактивної мапи у середовищі ArcGIS.

Мета кваліфікаційної роботи – створення інтерактивної системи автоматизованого картографування вибухонебезпечних предметів, яка забезпечує повний цикл: від збору польових даних до їх аналізу, візуалізації та експорту у стандартизовані формати гуманітарного розмінування.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- проаналізувати сучасні методи пошуку та ідентифікації ВНП із використанням БПЛА;
- дослідити наявні системи картографування вибухонебезпечних предметів і визначити їх недоліки;

- розробити вимоги до інтерактивної системи на основі стандартів IMAS та архітектури ArcGIS;
- обґрунтувати вибір форматів зберігання даних, методів глибинного навчання та засобів автоматизації;
- реалізувати інтелектуальну систему формування полігонів небезпечних ділянок і забезпечити інтеграцію результатів з IMSMA Core
- протестувати розроблену систему.

Практичне значення – створення технологічної основи для впровадження інтерактивних мап, що можуть використовуватися саперними підрозділами ДСНС України, інженерними службами ЗСУ та міжнародними гуманітарними організаціями для оперативного планування, звітності та координації дій з розмінування.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ, ВИЗНАЧЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Унаслідок повномасштабного військового вторгнення територія України зазнала значного мінно-вибухового забруднення, що створює серйозні ризики для життя людей та суттєво ускладнює процеси відновлення і господарського використання земель. Попри активне впровадження сучасних технологій виявлення вибухонебезпечних предметів із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та методів глибинного навчання, подальші етапи залишаються переважно ручними. Відсутність автоматизованих рішень ускладнює об'єднання даних обстеження, їх узгодження з іншими етапами нетехнічного обстеження, та формування звітів для інтеграції у національну систему управління інформацією в протимінній діяльності (СУПМД). Проблематика картографування потенційно замінованих ділянок

За даними ГУ ДСНС України, станом на початок 2024 року потенційно забрудненими ВВП залишається близько 156 тис. км². Це на 18 тис. км² менше, ніж було на початку 2023 року [1]. Якщо припустимо, що темпи розмінування залишатимуться стабільними, то для повного розмінування 156 тис. км² знадобиться приблизно 9 років. Проте інші дослідження [24] показують, що на повне розмінування може піти до 70 років. Така велика різниця в прогнозах впливає з неможливості отримання достовірної інформації щодо стану земель на територіях не підконтрольних Україні [22].

У широкому розумінні розмінування включає дослідження, картографування та маркування мінних полів, а також фактичне розмінування землі. Існує два основних видів розмінування: оперативне та гуманітарне. Оперативне розмінування – це процес знешкодження небезпечних об'єктів лише на стратегічно важливих шляхах для безпечного просування військових та критичних формувань. Гуманітарне розмінування спрямоване на повне очищення землі та водойм на задану глибину для їх подальшого безпечного використання людьми у повсякденному житті.

1.1 Огляд та аналіз наявних аналогів та публікацій

1.1.1 Аналіз методик сканування територій із використанням БПЛА

Проблематика замінованих територій залишається однією з найактуальніших для України й, за оцінками експертів, зберігатиме таку актуальність протягом наступних десятиліть. Відповідно, за останні роки проведено низку досліджень, спрямованих на вдосконалення процесів виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП) за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Згідно з [26], ефективність різних методів пошуку ВНП значною мірою залежить від типу місцевості, погодних умов і технічного оснащення платформи. Найпоширенішим є візуальний метод (рис. 1.1), який забезпечує швидке охоплення великих територій та є економічно доцільним, оскільки не потребує спеціальних сенсорів. Його головна перевага – оперативність, що критично важливо при аналізі великих площ потенційно забруднених територій. Недоліками залишаються залежність від освітлення, погодних умов та можливість виявлення лише відкритих ВНП.



Рисунок 1.1 – Ідентифікація ВНП візуальним методом

Тепловізійний метод (рис. 1.2) [23] дає змогу фіксувати об'єкти, що мають іншу теплову інерцію порівняно з оточенням, тому він особливо ефективний у сутінках або на світанку. Його обмеження полягають у часовій залежності (ефективність лише при значних температурних контрастах) і високій вартості інфрачервоних сенсорів.

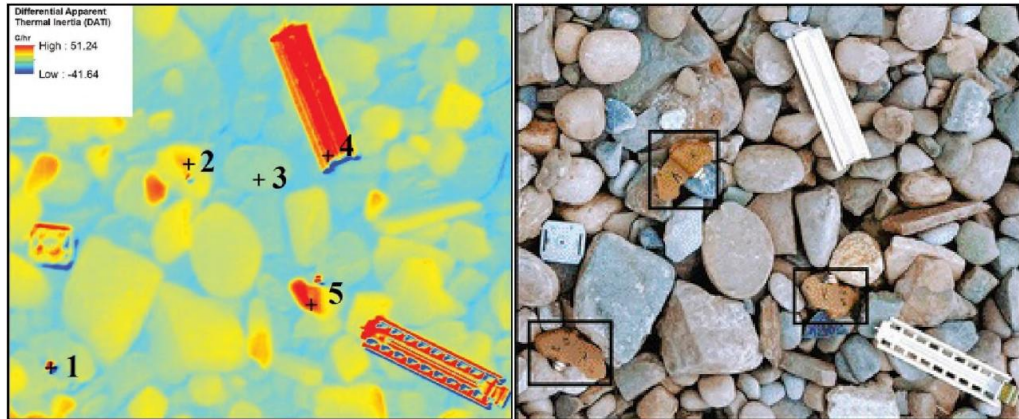


Рисунок 1.2 – Приклад ідентифікації ВНП тепловізійним методом

Мультиспектральна зйомка (рис. 1.3) дозволяє виділяти об'єкти з різними спектральними характеристиками, проте, як зазначено в [23], контрастність таких об'єктів часто є недостатньою, а обладнання – дорогим.

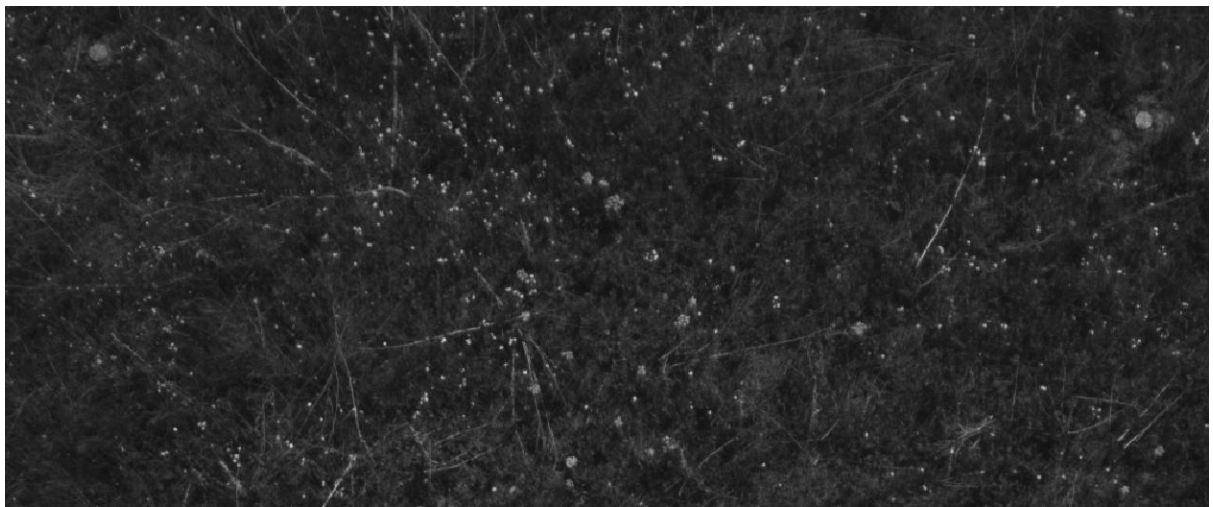


Рисунок 1.3 – Приклад ідентифікації ВНП за допомогою мультиспектральної камери

Магнітометричний метод (рис. 1.4) базується на реєстрації локальних змін магнітного поля, спричинених наявністю феромагнітних матеріалів. У 2024 році автори статті [14] запропонували об'єднання магнітометричних даних із результатами оптичного аналізу, що дозволило підвищити надійність виявлення ВПП, зокрема мін серії ТМ-62 і МОН-100. Для обробки оптичних зображень застосовувалась згорткова нейронна мережа YOLOv8, а для магнітометричних сигналів – статистичне виявлення аномалій. Результати обох методів інтегрувались за байєсівським принципом для формування єдиної карти ймовірності наявності ВПП. Такий підхід продемонстрував значне зростання точності у випадках, коли візуальні ознаки частково відсутні або об'єкт прихований рослинністю.

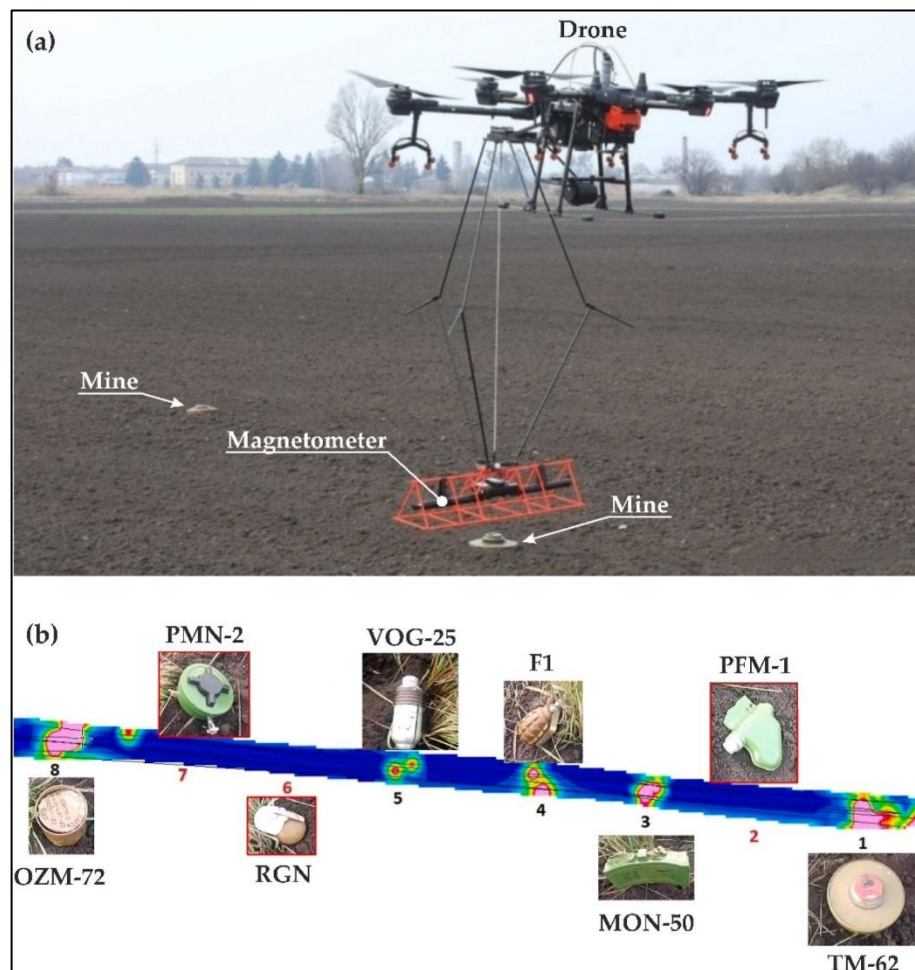


Рисунок 1.4 – Приклад ідентифікації магнітометричним методом

Крім того, у статті [14] підкреслюється роль геоінформаційних систем (ГІС) у післяобробці даних БПЛА. Автори наголошують, що системи типу ArcGIS Pro та IMSMA Core забезпечують не лише візуалізацію, а й стандартизований обмін просторовими даними, що є критично важливим для формування звітів про небезпечні ділянки та подальшої інтеграції інформації в національні бази.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця методів пошуку ВНП із використанням БПЛА

Метод	Переваги	Недоліки
Візуальний пошук	Охоплення великої площі. Дешевий у використанні, не потребує додаткових сенсорів.	Виявляє лише відкриті ВНП. Залежний від освітлення та погодних умов.
Тепловізійний пошук	Виявлення об’єктів із відмінними тепловими характеристиками.	Ефективний лише при значних температурних контрастах. Висока вартість обладнання.
Георадар	Може виявляти неметалеві ВНП.	Складна реалізація, висока вартість, залежність від типу ґрунту.
Магнітометричний пошук	Виявлення феромагнітних об’єктів навіть під землею. Простота та дешевизна реалізації.	Не виявляє неметалеві ВНП. Складність обробки сигналів, вплив радіоперешкод.
Мультиспектральна зйомка	Виявлення об’єктів із різними спектральними характеристиками.	Низька контрастність, висока вартість сенсорів.

Кінець таблиці 1.1

Оптико-магнітометрична інтеграція	Підвищена точність виявлення за рахунок об'єднання різних сенсорів. Формування карти ймовірностей на основі Bayesian fusion.	Потребує складної обробки даних та калібрування сенсорів.
-----------------------------------	---	---

Таким чином, сучасні дослідження демонструють тенденцію до інтеграції різних сенсорних підходів – оптичного, тепловізійного, магнітометричного та георадару – з метою підвищення точності, надійності та швидкості гуманітарного розмінування. Найбільш перспективним напрямом розвитку є створення комплексних автоматизованих систем, які поєднують виявлення ВНП, аналіз даних і картографування в єдиний цифровий процес. Саме на цьому етапі автоматизації картографування фокусується дана робота.

1.1.2 Огляд існуючих систем картографування вибухонебезпечних предметів

Згідно з міжнародними стандартами IMAS 07.11 "Land Release" [33] та IMAS 08.10 "Non-technical and Technical Survey" [34], процес гуманітарного розмінування включає три ключові етапи: збір інформації, картографування результатів обстежень та офіційне підтвердження статусу територій як очищених або забруднених. Саме картографування виступає центральною ланкою між етапом технічного обстеження та управлінням операціями, оскільки забезпечує просторову ідентифікацію небезпечних ділянок, визначення їх меж, фіксацію атрибутивних даних і подальшу інтеграцію у національну систему управління інформацією про протимінну діяльність (IMSMA Core).

Таким чином, системи картографування ВВП виконують не лише функцію візуалізації, а й є ключовим елементом процесу прийняття рішень, що визначає ефективність гуманітарного розмінування.

Розглянемо декілька підходів спрямованих на картографування ВВП:

- наземні апаратно-програмні рішення, орієнтовані на безпечне дистанційне виявлення об'єктів (Короєв, 2023) [27];
- інтелектуальні системи аерозйомки з використанням комп'ютерного зору (Ралло, 2024) [28];
- геоінформаційні системи інтеграції польових даних (Чикота, 2022) [29];
- комплексні інтерактивні ГІС-рішення на основі даних БПЛА (Чупина, 2024) [35].

У роботі Короєва (2023) запропоновано RC-модель для дистанційного картографування вибухонебезпечних пристроїв, оснащену металодетектором, GPS-модулем і системою передачі даних на сервер. Розробка дозволяє формувати локальні карти у реальному часі, забезпечуючи безпечну роботу оператора поза зоною ризику (рис. 1.5).

Разом із тим, система має обмежене покриття території (до 100 метрів) і залежить від стабільності радіоканалу, що обмежує її ефективність для масштабних задач гуманітарного розмінування.

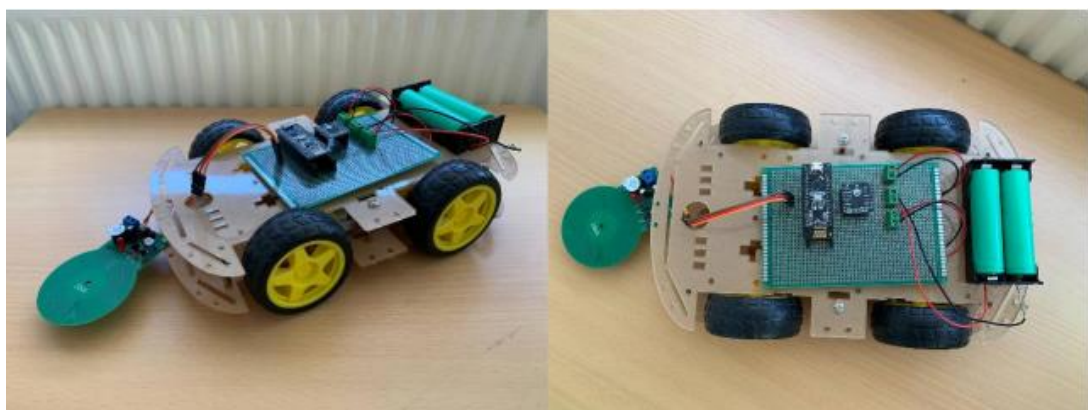


Рисунок 1.5 – Шасі металодетектора розробленого в роботі Короєва (2023)

У роботі Ралло (2024) розроблено систему автоматизованої обробки аерофотозйомки, отриманої з FPV-дронів, для побудови ортофотопланів і подальшого виявлення ВНП. У проєкті використано алгоритми SIFT, SuperPoint та SuperGlue для визначення ключових точок, а також методи гомографії для створення суцільних мозаїк (рис. 1.6).

Автор доводить, що застосування відкритих алгоритмів комп'ютерного зору може забезпечити якісну альтернативу дорогим комерційним рішенням (Pix4D, DJI Terra) і суттєво зменшити витрати на попереднє картографування територій. Проте система не має інтеграції з геоінформаційними платформами, а її функціонал зводиться до побудови зображень без подальшого структурування даних у форматі ГІС.

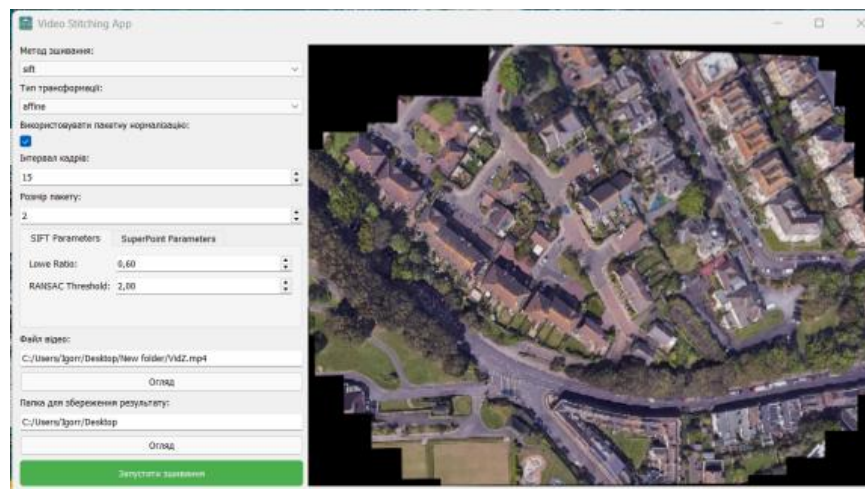


Рисунок 1.6 – Інтерфейс програмного забезпечення розробленого у роботі Ралло (2024)

У дослідженні Чикоти (2022) створено інтерактивну ГІС-систему моніторингу вибухонебезпечних територій, засновану на використанні відкритих платформ ArcGIS Online, QGIS та Leaflet (рис. 1.7). Система реалізує функції збору, візуалізації та оновлення інформації про небезпечні зони, з можливістю інтеграції польових спостережень через форми Survey123.

Особливістю рішення є орієнтація на стандарти IMSMA та використання відкритих протоколів WMS/WFS, що дозволяє обмінюватися даними між різними установами. Основним недоліком є відсутність автоматизації етапу побудови полігонів небезпечних ділянок, які здебільшого формуються вручну.

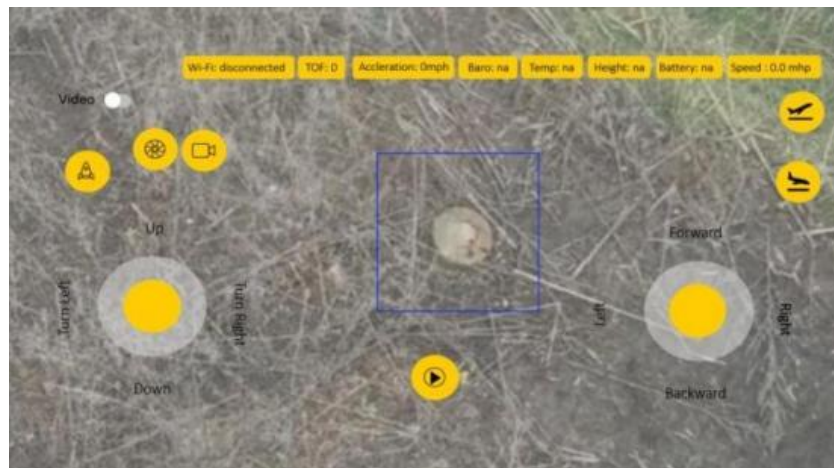


Рисунок 1.7 – Процес виявлення ВНП з роботи Чикоти (2022)

У попередній роботі автора (Чупина, 2024) реалізовано повноцінну інтерактивну ГІС-систему картографування ВНП, що об'єднує процеси збору, обробки та публікації даних, отриманих із безпілотних літальних апаратів. Система побудована на єдиній екосистемі ArcGIS Pro – ArcGIS Online – Field Maps Designer – ArcGIS Field Maps, що забезпечує наскрізну інтеграцію між польовим збором даних і хмарним середовищем.

Особливості системи:

- використання File Geodatabase (FGDB) як формату збереження даних, що підтримує домени, підтипи та багатокористувацьке редагування;
- автоматизований імпорт геотегованих фотографій ВНП за допомогою ArcPy;
- формування та редагування полігонів небезпечних ділянок безпосередньо в ArcGIS Pro з подальшим експортом у вебформат;
- інтеграція з хмарними сховищами (Google Drive) для зберігання зображень високої роздільності;

– можливість додавання нових точок і атрибутів через мобільний застосунок Field Maps, у тому числі в офлайн-режимі.

Це рішення забезпечує повний цикл обробки даних – від збору фото з БПЛА до їх геоприв’язки, сортування, класифікації та візуалізації у вигляді інтерактивної мапи.

В табл. 1.2 надані основні характеристики кожної з зазначених систем.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика систем картографування ВНП

Параметр	Короєв (2023)	Ралло (2024)	Чикота (2022)	Чупина (2024)
Тип системи	RC-модель із металодетектором	FPV-дрон із алгоритмами комп’ютерного зору	ГІС-платформа моніторингу	Інтерактивна ГІС-система ArcGIS
Джерело даних	Металодетекція, GPS	Фото/відео з БПЛА	Польові звіти, WMS/WFS	Геотеговані фото з БПЛА
Покриття території	Локальне	Масштабне	Залежить від джерел	Масштабне
Рівень автоматизації	Низький	Високий (обробка зображень)	Середній	Високий (обробка + інтеграція)
Інтеграція з ГІС	Часткова	Відсутня	Повна	Повна (з FGDB)
Основне призначення	Локальне виявлення	Формування ортофотопланів	Моніторинг і звітність	Автоматизоване картографування та адміністрування
Технологічна основа	Власне апаратне рішення	Python, OpenCV	ArcGIS Online, QGIS	ArcGIS Pro, ArcPy, Field Maps

Проведений аналіз показує, що кожна з розглянутих систем картографування вибухонебезпечних предметів має власну концепцію побудови та вирішує окремі завдання процесу гуманітарного розмінування.

Наземні апаратно-програмні рішення забезпечують безпечне локальне обстеження територій, системи аерозйомки орієнтовані на швидке отримання просторових даних, геоінформаційні платформи спрямовані на облік і візуалізацію результатів, а інтерактивні ГІС-системи інтегрують процеси збору та адміністрування у єдине середовище.

Кожен підхід має свої сильні сторони та обмеження, а подальший розвиток систем картографування полягає у поступовій інтеграції цих рішень для створення єдиних технологічних платформ, сумісних із міжнародними стандартами IMAS [32] та національною інформаційною системою IMSMA Core.

1.2 Вимоги до програмної реалізації інтерактивної системи

Розглянувши сучасні підходи до картографування вибухонебезпечних предметів (ВНП) та результати порівняння існуючих систем, можна сформулювати вимоги до створюваної інтерактивної системи.

Основна мета розробки полягає в автоматизації процесу побудови карт забруднених територій на основі даних, отриманих із безпілотних літальних апаратів, та інтеграції цих результатів у геоінформаційне середовище ArcGIS Pro з можливістю подальшої передачі до IMSMA Core.

Система має забезпечити безперервний цикл – від обробки знімків і виявлення ВНП до формування полігону забрудненої ділянки, його атрибутивного опису та експорту у формат, придатний для подання у національну систему протимінної діяльності.

Розроблена інтерактивна система повинна відповідати наступним функціональним вимогам:

- автоматичне формування полігонів забруднених територій на основі вхідних даних (точок виявлення ВНП, буферних зон або кластеризації);

- відображення та редагування даних у геоінформаційному середовищі з підтримкою точкових, лінійних та полігональних об'єктів;
- виведення інформації про об'єкти – їхній тип, статус, фото, координати та інші атрибути;
- можливість додавання або редагування об'єктів через настільний клієнт;
- експорт отриманих результатів у формати, сумісні з IMSMA Core та іншими системами гуманітарного розмінування.

Основні технічні вимоги до розробленої системи:

- мова програмування: Python;
- інтерфейс користувача: графічний;
- середовище реалізації: ESRI ArcGIS Pro та ESRI ArcGIS Online;
- вихідні дані: звіт про стан інтернет-конференцій (стабільність, швидкість завантаження тощо) та про фізичний стан комп'ютера (ЦП, пам'ять тощо).

Етапи реалізації для досягнення поставленої мети в роботі:

- вибір та обґрунтування методики створення полігонів на основі точкових даних з БПЛА;
- розроблення алгоритму автоматичного створення полігону із заданим буфером навколо точок ВНП;
- розроблення структури бази геоданих FGDB із доменами для класифікації типів ВНП;
- розроблення модуля автоматичного створення поворотних точок полігону з обчисленням їх координат, азимутів та відстаней між вершинами
- налаштування зв'язку між настільним середовищем (ArcGIS Pro) і веб-порталом (ArcGIS Online);
- тестування розробленої системи.

Основні вимоги до користувачів розробленої системи адміністрування та користування інтерактивною системою:

- базові навички роботи з ГІС та розуміння принципів просторової інформації;

- наявність аккаунту ESRI з ліцензією на використання ArcGIS Pro;
- ознайомлення з правилами інформаційної безпеки та обмеженнями поширення даних, визначеними для національних систем протимінної діяльності.

Сформульовані вимоги визначають архітектуру майбутньої інтерактивної системи, її функціональні можливості та технологічну основу. Використання екосистеми ArcGIS забезпечить узгодженість між етапами збору, обробки, картографування та обміну даними, а також відповідність міжнародним вимогам IMAS [31] щодо стандартизації просторової інформації у сфері гуманітарного розмінування.

Висновки до 1-го розділу

У першому розділі було проаналізовано предметну область та існуючі рішення систем картографування в сфері протимінної діяльності. В результаті аналізу різних підходів до створення таких систем визначено основні вимоги до їх функціональності, структури даних та принципів інтеграції з національними інформаційними платформами.

Було розглянуто публікації, присвячені методам пошуку вибухонебезпечних предметів із використанням безпілотних літальних апаратів, а також проведено порівняння сенсорних технологій, що застосовуються для виявлення ВНП. Із проаналізованих джерел підтверджено ефективність комбінованого підходу, який поєднує оптичні, тепловізійні та магнітометричні методи.

Результатом проведеної роботи стало обґрунтування актуальності дослідження та формування чітких вимог до програмної реалізації інтерактивної системи автоматизованого картографування. За основу подальшої розробки взято структуру та напрацювання з попередньої роботи автора на суміжну тематику.

2 МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

Система створення інтерактивної системи складається з таких етапів як збір інформації, її обробка та імплементація до геоінформаційних систем. Основною методикою збору інформації було обрано візуальний метод пошуку із використанням БПЛА. Переваги цього методу були розглянуті в першому розділі.

2.1 Методика збору інформації з використанням безпілотних літальних апаратів

Для збору інформації використовувалися БПЛА наступних моделей:

- DJI Mavic 3E;
- DJI Mavic 3M.

Дані БПЛА класу «enterprise» серії DJI Mavic 3 з камерою 4/3 CMOS на 20 МП, механічним затвором та інтервалом зйомки близько 0,7 с; передбачено можливість встановлення модуля RTK для підвищення абсолютної точності позиціонування до 1 см [36]. Створення місій у застосунку DJI Pilot 2 [36] дає змогу налаштовувати перекриття, висоту, швидкість і кут нахилу стабілізатору відповідно до вимог знімання. Камера на етапі збору даних орієнтується вертикально вниз (кут 90° донизу).

Процес організовано послідовно. Спочатку виконується ручний політ-розвідка для оперативного огляду ділянки, фіксації потенційних ВНП і первинної оцінки умов знімання. На цьому етапі формується базова картина місцевості, уточнюються межі ділянки інтересу, визначаються зони, що потребують детальнішого покриття. Кожен кадр містить геотеги EXIF з координатами БПЛА у момент спрацьовування затвора; за умови знімання вниз і помірної висоти центр кадру задовільно апроксимує місцеположення зображеної ділянки, а остаточне уточнення координат виконується під час подальшої фотограмметричної обробки з підвищеним перекриттям. Режим експозиції підбирається з урахуванням швидкості платформи та вітрових умов, щоб уникнути змазу (скорочення

витримки, контроль ISO та/або зменшення швидкості маршруту) [37]. За потреби виконується точкова повторна зйомка проблемних місць з меншою висотою для зменшення GSD і підвищення чутливості алгоритмів детекції.

Якщо під час ручного огляду підтверджено підозри на наявність ВНП, запускається автоматизований політ із перекриттям 20/20 (поздовжнє/бокове). Мета – швидко зібрати набір окремих різких знімків для подальшої обробки методами глибинного навчання (детекція/класифікація) з мінімальними витратами часу в полі (рис. 2.1). Параметри експозиції та швидкість місії узгоджуються так, щоб забезпечити різке зображення на робочій висоті й швидкості [37].

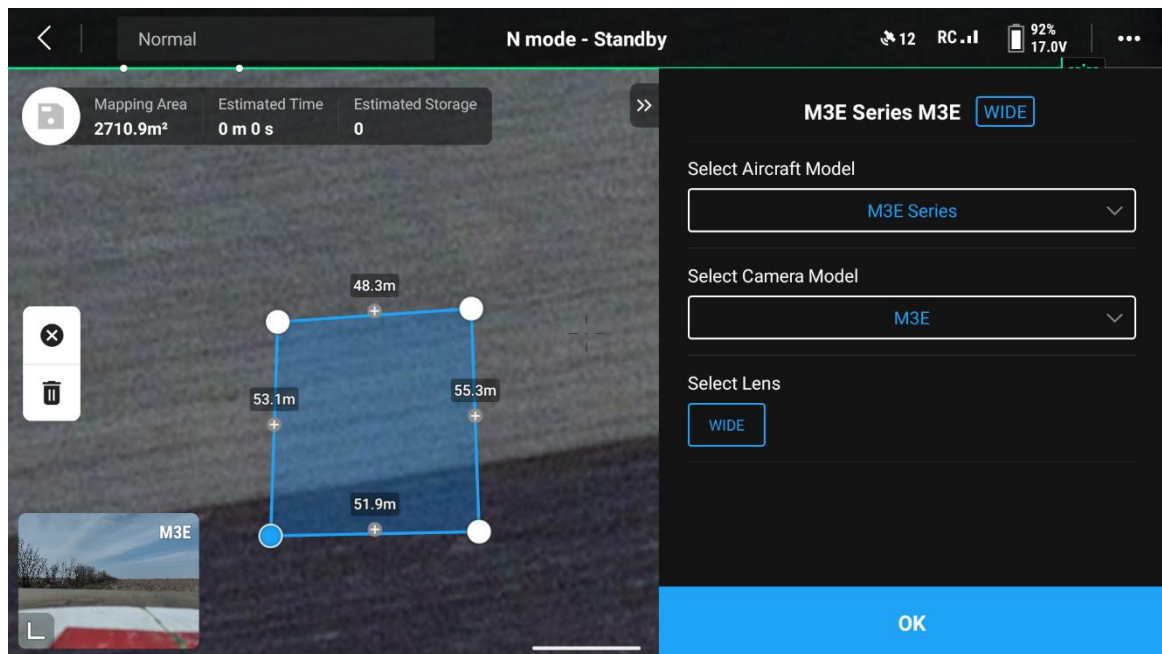


Рисунок 2.1 – Створення польотної місії

За наявності завдання створити ортомозаїку, для точної просторової прив'язки виконується другий автоматизований політ із підвищеним перекриттям 70/80, що забезпечує достатню кількість спільного матеріалу між кадрами для надійного вирівнювання. На однорідних поверхнях, за густої рослинності, повторюваних структур чи складного рельєфу перекриття доцільно збільшувати до 80/80 і вище; для коридорних місій фронтальне перекриття зазвичай підвищують до ~85 % [37]. Висота польоту визначається від вимог до GSD (Ground Sampling

Distance), який залежить від фокусної відстані, розміру пікселя сенсора та висоти знімання; вибір висоти забезпечує баланс між деталізацією, площею покриття та безпекою виконання. Проте зазвичай вона не має перевищувати 20 м

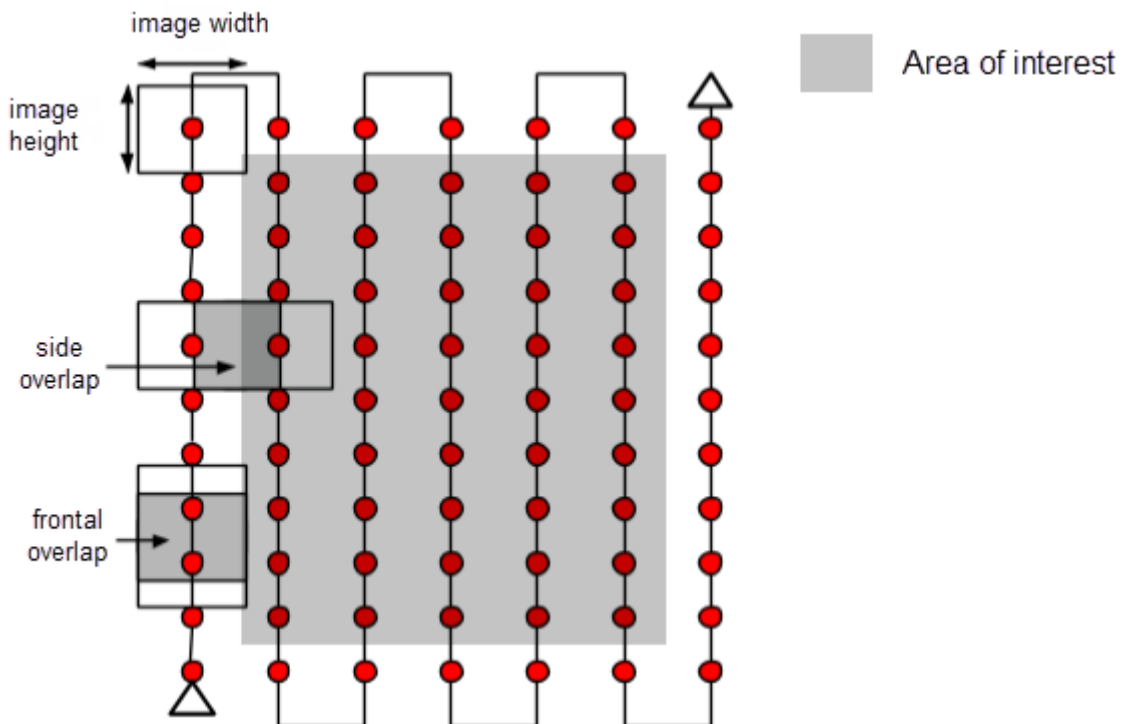


Рисунок 2.2 – Структура автоматизованого польоту з перекриттям

На рис. 2.2 зображено «ідеальний» план отримання фотозображень за версією Pix4D [37]

Таким чином, послідовність ручний огляд – швидкий автоматизований політ 20/20 – автоматизований політ 70/80 поєднує оперативне виявлення підозрілих об’єктів із отриманням матеріалу придатної якості для подальшого картографування: перший крок локалізує ділянки інтересу, другий дає оптимізований набір знімків для алгоритмів глибинного навчання, третій формує ортопродукцію з необхідною точністю просторової прив’язки – відповідно до узагальнених настанов із планування місій і збору даних.

2.2 Технології обробки вхідних даних засобами глибинного навчання

У цьому підрозділі описано два взаємодоповнюючі процеси: пошук ВНП на сирих фотознімках із низьким перетином за допомогою SafePro AI та формування ортомозаїки із знімків з високим перетином в ArcGIS Pro. На виході маємо точковий шар знахідок і високоточну ортомозаїку для подальшого аналізу та побудови полігонів небезпечних територій.

2.2.1 Пошук ВНП за знімках з низьким перетином засобами глибинного навчання

Знімки з низьким перетином застосовуються для швидкого охоплення площі в умовах ручного або напівавтоматичного польоту. Фотографії завантажуються на платформу SafePro AI [38], де відбувається автоматизований пошук вибухонебезпечних предметів (ВНП) сучасними детекторами глибинного навчання. Типова послідовність включає попередню нормалізацію зображень і тайлінг великих кадрів, інференс однією чи кількома моделями (класи детекції: міни, суббоекприпаси, артснаряди, НАР тощо), фільтрацію за порогом довіри, придушення немаксимумів (NMS) та постпроцесинг.

Оскільки дані про небезпечні території потрібні якомога швидше, недоцільно щоразу проєктувати «з нуля» нові моделі під окремі ділянки робіт. Практичніше донавчати одну чи кілька перевірених архітектур на нових даних (transfer learning), досягаючи потрібної якості значно швидше й із меншими витратами. SafePro AI дотримується саме такої парадигми: ядро детекторів регулярно підсилюється вибірками зі світових кейсів, а в Україні сервісом користуються оператори гуманітарного розмінування (рис. 2.3) [43], які постійно «підживлюють» датасет новими прикладами і тим самим покращують узагальнювальну здатність моделей [39], [38].

SAMPLE OF REAL-WORLD LANDMINE & UXO DETECTIONS | SEPTEMBER 2025



SAMPLE OF REAL-WORLD LANDMINE & UXO DETECTIONS | AUGUST 2025

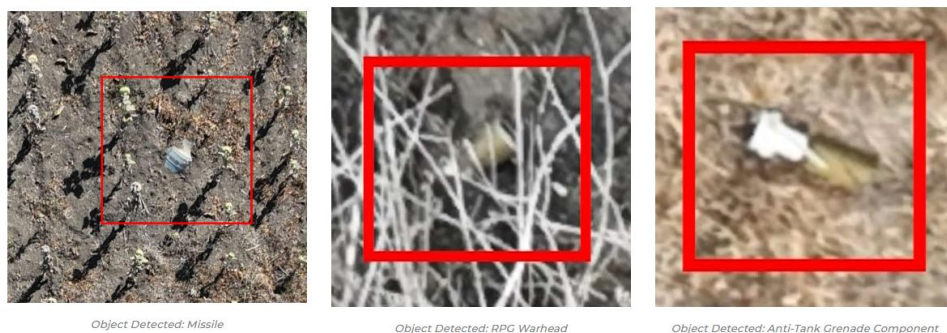


Рисунок 2.3 – Приклади ідентифікованих ВНП за допомогою SafePro AI

Важливим є коректна геоприв'язка кожної детекції. SafePro AI зчитує координати з EXIF-тегів знімка і, зважаючи на параметри камери й висоту, переносить центр вікна детекції у географічні координати сцени. Це дає змогу одразу формувати просторові точки. За наявності можливості встановлення RTK-модуля на БПЛА, а також при використанні опорних наземних точок (GCP), точність геоприв'язки зростає; якщо RTK/GCP відсутні, помилки згладжують усередненням по серіях кадрів і ручною валідацією.

Далі працює принцип «людина в контурі»: оператор переглядає спрацьовування, уточнює класи, видаляє хибнопозитивні та об'єднує дублікати. Результати експортуються у векторні формати для ГІС – GeoJSON/CSV/FGDB/Shape; кожна детекція – це точка з атрибутами: клас ВНП, довіра моделі, посилання на оригінальне фото, ідентифікатор серії, службові поля контролю якості.

2.2.2 Створення ортомозаїки з знімків з високим перетином

Знімки з високим перетином призначені для фотограмметричної реконструкції та отримання метрично коректної ортомозаїки. В ArcGIS Pro процес починається зі створення Ortho Mapping Workspace, завантаження знімків і налаштування сенсора (фокусна, розмір пікселя, висота польоту, тип платформи). Далі виконується аеротриангуляція (виявлення ключових точок, зв'язування знімків, оцінювання внутрішньої та зовнішньої орієнтації), опційне введення GCP/контрольних точок для підвищення точності, формування щільної хмари точок (MVS), побудова DSM/DTM та генерація ортомозаїки з керуванням швами і балансуванням експозиції. Завершує етап звіт якості (RMSE по GCP/контрольних, відсоток зв'язаних пар, покриття) і публікація як мозаїчний датасет або растровий шар у подальшу роботу ГІС [42].

У Pix4D послідовність близька за змістом і реалізована через «магістр-процес»: Initial Processing (keypoints, bundle adjustment), Point Cloud and Mesh (щільна хмара, сітка, класифікація), DSM, Orthomosaic and Index. Сильні сторони Pix4D – зручне введення GCP, докладний Quality Report із графіками зв'язків, розподілами помилок і картою швів, а також готові профілі під різні сценарії (агро, будівництво, інспекція) [37].

ArcGIS Pro вирізняється безшовною інтеграцією з FGDB/Enterprise Geodatabase, роботою з мозаїчними датасетами, правилами орто-швів, публікацією вебшарів і подальшим аналізом у тій самій екосистемі (ArcGIS Online/Field Maps). Pix4D приваблює прозорим Quality Report «з коробки», дуже зрозумілим майстром обробки та зручними інструментами контролю GCP. За належного перетину знімків, коректного калібрування камери та використання GCP/RTK відмінності в точності ортомозаїки визначатимуться передусім якістю польоту й налаштувань, а не класом ПЗ

Перший процес (знімки з низьким перетином + SafePro AI) повертає точковий шар підтверджених/верифікованих знахідок із посиланнями на джерельні зображення, класами ВНП і метаданими якості. Другий (знімки з високим

перетином + ArcGIS Pro) формує ортомозаїку та похідні продукти (DSM/DTM), які створюють картографічний базис для точок із SafePro AI: на ортомозаїці зручно перевіряти контекст, планувати контури небезпечних полігонів, маршрути доступу та генерувати друковані звіти. Обидва продукти зберігаються в єдиній файловій базі геоданих і можуть бути безпосередньо опубліковані для подальшого використання

2.3 Інформаційні технології для створення інтерактивної системи

2.3.1 File Geodatabase – як система зберігання геоданих

Для реалізації інтелектуальної системи картографування вибухонебезпечних предметів було обрано File Geodatabase (FGDB) як основну базу даних (рис. 2.4). Це рішення ґрунтується на необхідності забезпечити високу швидкість, масштабованість, можливість багатокористувацької роботи та повну інтеграцію з програмним середовищем ArcGIS Pro, ArcGIS Online

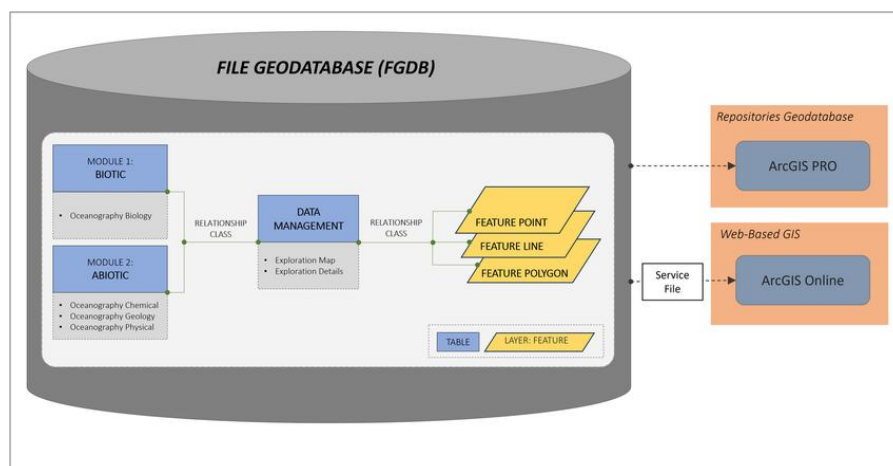


Рисунок 2.4 – Структура File Geodatabase

Формат FGDB поєднує реляційну структуру з просторовою аналітикою, що дозволяє зберігати в одному середовищі як геометрію об'єктів (точки, лінії, полігони), так і атрибутивні дані, домени, підтипи, зв'язки між таблицями та метадані. На відміну від форматів KML/KMZ або Shapefile, які призначені

переважно для візуалізації або обміну даними, FGDB забезпечує повноцінне управління геоінформацією, включно з валідацією даних, контролем змін і можливістю аналітичної обробки великих масивів.

Основні переваги FGDB:

- масштабованість: підтримка обсягів даних до кількох терабайт, що дозволяє зберігати великі набори геоданих без втрати продуктивності;
- висока продуктивність: ефективна обробка запитів і просторових операцій, оптимізована для аналітичних задач;
- інтегрованість: повна сумісність з екосистемою ESRI, що дає можливість плавного переходу між настільною, веб- і мобільною версіями системи;
- цілісність даних: використання доменів, підтипів і правил топології для забезпечення стандартизації й запобігання помилкам;
- можливість реплікації: підтримка версіонування, що дозволяє багатьом користувачам одночасно вносити зміни;
- зручність резервного копіювання: просте дублювання файлів бази без необхідності додаткових сервісів.

Для обґрунтування вибору FGDB проведено порівняння з іншими популярними форматами зберігання геопросторових даних: Shapefile, GeoPackage (GPKG) та KML/KMZ. В табл. 2.1 наведено порівняльну характеристику вказаних форматів.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця методів збереження даних

Критерій	File Geodatabase (FGDB)	Shapefile (SHP)	GeoPackage (GPKG)	KML/KMZ
Тип структури	Реляційна, багатотаблична	Окремі файли для кожного шару	SQLite база	XML / ZIP (для KMZ)

Кінець таблиці 2.1

Підтримка типів даних	Точки, лінії, полігони, растри, таблиці, домени	Точки, лінії, полігони	Точки, лінії, полігони, растри	Точки, лінії, полігони
Обсяг даних	До 1 ТБ на набір (терабайти загалом)	До 2 ГБ	До 140 ТБ	До 2 ГБ (обмеження XML)
Швидкодія	Висока (індексація + бінарне зберігання)	Середня	Висока	Низька при великих обсягах
Можливість редагування	Повна, з контролем версій	Обмежена	Повна	Мінімальна
Підтримка метаданих	Так (ISO 19115)	Ні	Так	Базова
Багатокористувацький доступ	Так, через версіонування або ArcGIS Server	Ні	Обмежений	Ні
Сумісність з ArcGIS	Повна (рідний формат)	Повна	Часткова	Часткова
Використання в мобільних ГІС	Так (через Field Maps)	Частково	Так	Так, лише для перегляду
Призначення	Професійне зберігання та аналітика	Просте обмінне середовище	Альтернатива FGDB, відкрита	Візуалізація та обмін даними

На основі проведеного порівняння встановлено, що File Geodatabase є найоптимальнішим рішенням для задач, які передбачають інтенсивну роботу з

великими наборами геоданих, розширену атрибутивну структуру, редагування в реальному часі та інтеграцію з інструментами глибинного аналізу. Використання Python та бібліотеки ArcPy для роботи з File Geodatabase

2.3.2 Python та ArcPy

Мова Python є ключовим інструментом автоматизації в середовищі ArcGIS Pro та забезпечує зв'язок між усіма компонентами системи – базою даних File Geodatabase (FGDB), аналітичними модулями, веб-сервісами та користувацьким інтерфейсом. Її використання дозволяє об'єднати процеси збору, аналізу, трансформації та публікації геопросторових даних у єдину керовану систему.

Основою роботи з просторовими даними є модуль ArcPy, що надає доступ до всіх інструментів геообробки ArcGIS. За його допомогою виконуються операції імпорту даних із геотегованих знімків, створення класів об'єктів, генерації полігонів, буферизації, валідації атрибутів і формування підсумкових звітів.

Для взаємодії з хмарними сервісами застосовується ArcGIS API for Python, який забезпечує керування контентом організації, оновлення веб-шарів, роботу з Hosted Feature Layers, перевірку консистентності бази та експорт результатів.

Додатково використовуються бібліотеки загального призначення (pandas, numpy, matplotlib), що дозволяють здійснювати статистичну обробку та візуалізацію даних.

Типовими задачами, які виконуються за допомогою Python, є імпорт польових даних із БПЛА до FGDB, стандартизація назв вибухонебезпечних предметів відповідно до доменів, побудова полігонів небезпечних зон, оновлення шарів у хмарному сховищі ArcGIS Online, а також автоматичне створення аналітичних звітів для підрозділів розмінування.

Завдяки автоматизації цих процесів забезпечується сталість структури даних, відсутність людських помилок, підвищення швидкодії системи та можливість масштабування бази без втрати продуктивності.

Таким чином, Python виступає універсальним інструментом управління всіма етапами життєвого циклу даних – від збору польових спостережень до їх публікації у вигляді інтерактивної мапи в мережі ArcGIS Online.

2.3.3 Python Notebooks у ArcGIS Pro та ArcGIS Online

Середовище Jupyter Notebook у системі ArcGIS забезпечує інтегрований підхід до документування, автоматизації та візуалізації обробки геопросторових даних. Його використання дозволяє поєднати код, пояснення та результати в одному інтерактивному середовищі, що робить роботу дослідника відтворюваною й зручною для командної співпраці.

У ArcGIS Pro ноутбуки використовуються для локальної роботи з даними, коли необхідний повний доступ до бази FGDB, растрових шарів та інструментів геообробки. Вони інтегровані в проєкт .arpx, що дає змогу безпосередньо взаємодіяти з картами, макетами та шарами (рис. 2.5). Основним модулем є ArcPy, який застосовується для складних просторових операцій – від буферизації та злиття полігонів до валідації топології та генерації підсумкових атрибутів. ArcGIS Pro Notebooks підтримують ізольоване середовище conda, що гарантує стабільність та сумісність під час перенесення проєктів між комп'ютерами.

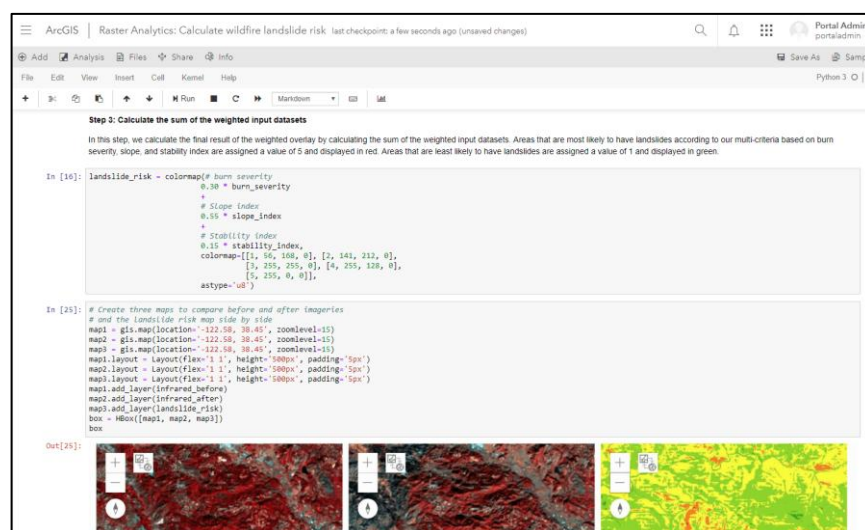


Рисунок 2.5 – Інтерфейс ArcGIS Notebooks

Такі ноутбуки доцільно використовувати для задач, пов’язаних із побудовою полігонів «hazardous area», оптимізацією шарів, розрахунками відстаней та аналітикою на великих масивах даних.

Хмарні ArcGIS Online Notebooks, навпаки, орієнтовані на адміністрування та підтримку актуальності даних у вебсередовищі. Вони працюють безпосередньо у браузері та використовують лише ArcGIS API for Python, що надає доступ до вмісту організації, оновлення Hosted Feature Layers, редагування атрибутів, публікації та експорту даних.

Такі ноутбуки зберігаються як об’єкти порталу, що забезпечує можливість спільної роботи, версіонування, контролю змін і прозорості дій. Їх застосування особливо ефективно для щоденних перевірок консистентності бази, синхронізації між чернетковими та публічними шарами, генерації коротких звітів або резервного копіювання шарів.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика середовищ ArcGIS Notebook

Критерій	ArcGIS Pro Notebook (локально)	ArcGIS Online Notebook (хмарно)
Інструменти	ArcPy, ArcGIS API for Python, повний доступ до FGDB	ArcGIS API for Python, веб-шари
Доступ до даних	Локальні файли, FGDB, растри	Веб-шари, дані в організації
Рівень обчислень	Високий (GPU/CPU, великі масиви)	Помірний, орієнтований на адміністрування
Призначення	Геообробка, аналітика, моделювання	Автоматизація, звітність, контроль якості
Тип виконання	Локально у середовищі ArcGIS Pro	У браузері через портал ArcGIS Online

Кінець таблиці 2.2

Можливість спільного доступу	Через проєкт .aprx або репозиторій	Безпосередньо через портал
Рівень інтеграції з FGDB	Повний (редагування, оновлення)	Відсутній (робота через сервіси)

У підсумку, ArcGIS Pro Notebooks доцільно використовувати для складних локальних обчислень, що потребують взаємодії з FGDB або ArcPy, тоді як ArcGIS Online Notebooks забезпечують гнучке хмарне середовище для підтримки, моніторингу та адміністрування інтерактивної мапи. Обидва середовища взаємодоповнюють одне одного, утворюючи повноцінний інструментарій для розробки, супроводу та публікації інтелектуальної системи картографування.

2.3.4 Використання ArcGIS Pro як основного редактору File Geodatabase

ArcGIS Pro [5] є центральним програмним середовищем для створення, редагування та управління базами геоданих у форматі File Geodatabase (FGDB). Це сучасна настільна ГІС-платформа від компанії Esri, що поєднує потужні інструменти аналітики, візуалізації, картографічного дизайну та автоматизації. Її архітектура орієнтована на інтеграцію з іншими сервісами екосистеми ArcGIS, такими як ArcGIS Online та Survey123, що робить її основним компонентом усієї системи.

На рис. 2.8 зображено інтерфейс в ArcGIS Pro. Завдяки можливості інтеграції з Python та наявності великої кількості інструментів, робота з табличними, векторними та растровими даними максимально спрощується.

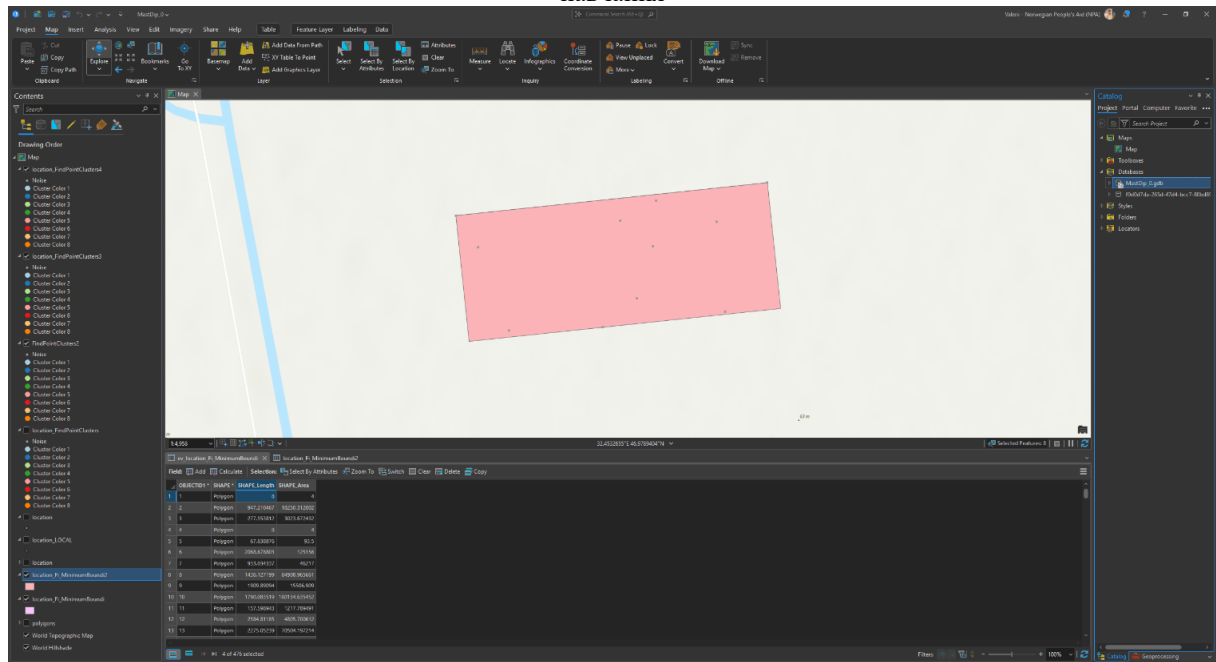


Рисунок 2.6 – Інтерфейс програми ArcGIS Pro

ArcGIS Pro дозволяє об'єднувати в межах одного проєкту всі необхідні елементи – карти, макети, бази геоданих, таблиці, діаграми, моделі геообробки та Python-ноутбуки. Така структура спрощує управління складними наборами просторових даних і забезпечує повну відтворюваність робочих процесів. Контекстно-залежний інтерфейс програми динамічно адаптується до типу вибраного об'єкта (рис. 2.6), надаючи користувачеві тільки ті інструменти, які є актуальними для конкретного етапу роботи – редагування шарів, аналізу, символіки чи просторових відношень.

Особливу роль ArcGIS Pro відіграє у підготовці та супроводі файлової бази геоданих FGDB, яка виступає основою для подальшої публікації даних у хмарному середовищі. Саме тут відбувається створення класів об'єктів, визначення просторових зв'язків, доменів, топологічних правил, а також перевірка цілісності й узгодженості даних перед експортом.

Інтеграція з мовою Python через модуль ArcPy дозволяє автоматизувати більшість цих операцій – від генерації атрибутів до побудови буферних зон і оновлення зв'язків між шарами. Використання Python у поєднанні з інструментами ModelBuilder робить ArcGIS Pro не лише редактором, а й гнучким середовищем

розробки для створення інтелектуальних алгоритмів обробки геопросторових даних.

Завдяки повній сумісності з форматами ESRI, готові набори даних FGDB можуть бути безпосередньо опубліковані як веб-шари у ArcGIS Online або ArcGIS Enterprise без втрати атрибутивної структури, символіки та метаданих. Це дає можливість виконувати усі етапи підготовки даних – від первинного імпорту та редагування до аналітики й візуалізації – у межах єдиного середовища, без використання сторонніх інструментів.

Таким чином, ArcGIS Pro виступає основним робочим середовищем для створення, адміністрування та аналітичної обробки файлової бази геоданих. Його інтеграція з Python, підтримка багатошарової структури проєктів і сумісність із хмарними сервісами ArcGIS забезпечують безперервність усього життєвого циклу геоданих – від польового збору до публікації на інтерактивній мапі.

2.3.5 Використання ArcGIS Online як інтегрованої хмарної системи роботи з даними

ArcGIS Online – це хмарна платформа компанії Esri, що забезпечує централізоване зберігання, обробку та обмін геопросторовими даними (рис. 2.7). Вона виступає основною ланкою між настільними додатками ArcGIS Pro, мобільними застосунками (Field Maps, Survey123) та інструментами аналітики, створюючи єдине середовище для управління інформаційними ресурсами.

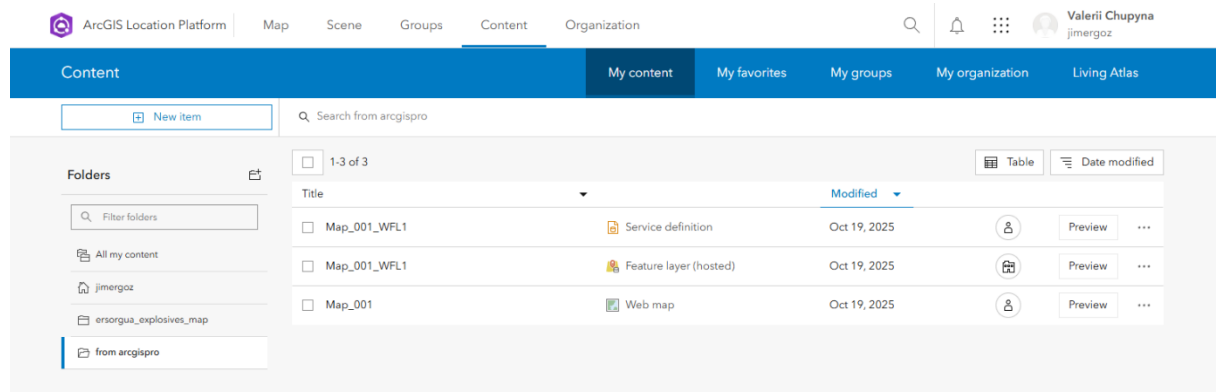


Рисунок 2.7 – Інтерфейс порталу ArcGIS Online

На відміну від локальних систем, де всі операції виконуються безпосередньо з файлів FGDB, ArcGIS Online працює з веб-шарами (Hosted Feature Layers), що зберігаються у хмарному сховищі. Це дозволяє користувачам отримувати доступ до актуальних даних у режимі реального часу, незалежно від місця розташування чи типу пристрою. Оновлення, внесені через ArcGIS Pro або Field Maps, миттєво синхронізуються з порталом, забезпечуючи єдину структуру даних для всієї організації.

Завдяки підтримці ArcGIS API for Python, у середовищі ArcGIS Online можна реалізовувати сценарії автоматизації – від щоденного оновлення шарів і контролю цілісності до експорту вибірок або формування звітів. Усі ці дії виконуються без необхідності локального програмного забезпечення, що значно спрощує адміністрування системи та знижує вимоги до апаратного забезпечення.

2.3.6 Використання Survey123 та Survey123 Connect

ArcGIS Survey123 – це інструмент екосистеми Esri, призначений для створення динамічних форм збору та представлення даних у середовищі ArcGIS. У межах даної роботи Survey123 використовується не як польовий додаток, а як компонент автоматизованої системи експорту даних з мапи у документ Word.

Основним елементом у цьому процесі є Survey123 Connect (рис. 2.8), який дозволяє створювати та налаштовувати шаблони опитувань у форматі XLSForm, а також пов'язувати їх із шарами, опублікованими в ArcGIS Online. Завдяки цій інтеграції кожен об'єкт на мапі може бути автоматично підставлений у форму, після чого дані експортуються у формат Word за заздалегідь підготовленим шаблоном.

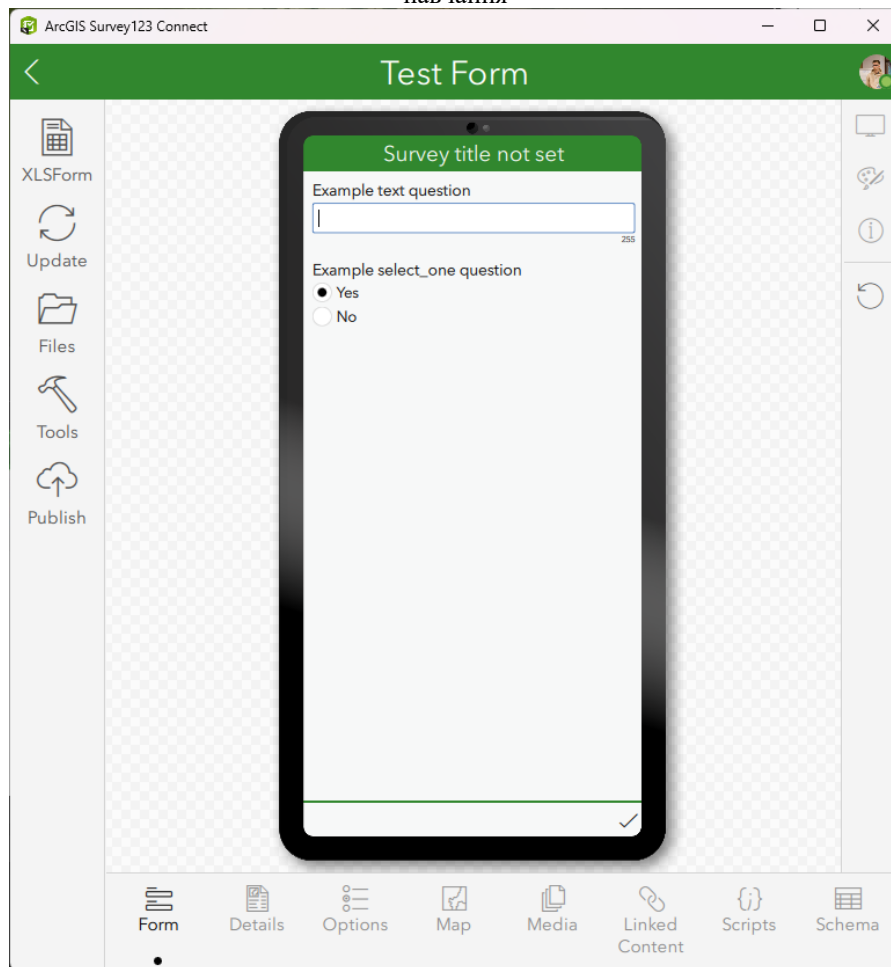


Рисунок 2.8 – Інтерфейс Survey123 Connect

Такий підхід забезпечує уніфікований вигляд звітів для всіх об'єктів, автоматизує заповнення текстових полів і вставку фотографій, що зберігаються у хмарному сховищі. У результаті користувач отримує готовий структурований звіт без необхідності ручного редагування даних, що значно спрощує підготовку документації для звітності та передачі інформації підрозділам розмінування.

Висновки до 2-го розділу

У розділі обґрунтовано комбінований підхід: швидка детекція ВНП на знімках з низьким перекриттям та подальша обробка в ArcGIS Pro. Основою зберігання даних обрано File Geodatabase (FGDB), що забезпечує масштабованість, домени/підтипи й повну інтеграцію з ArcGIS. Python/ArcPy автоматизує імпорт,

формування буферів і полігонів, публікацію шарів. ArcGIS Notebooks використовуються для локальної аналітики (Pro) і хмарного адміністрування (Online). ArcGIS Online забезпечує централізоване зберігання та синхронізацію, Survey123 – автоматизований експорт звітів у Word. Запропонована технологічна схема відповідає IMAS та IMSMA Core і слугує базою для наступного етапу – алгоритму автоматизованого формування полігонів небезпечних ділянок.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КАРТОГРАФУВАННЯ

У цьому розділі описано процес розробки системи картографування, що поєднує дані з БПЛА та дані отримані після використання методів глибинного навчання. Нижче детально розглянуто всі етапи цього процесу – від характеристики вхідних даних до публікації отриманих результатів у вигляді веб-шару.

3.1 Опис вхідних даних та структури набору даних

Вхідні дані для системи подані у форматі FGDB – файлової геобазы даних компанії Esri, що слугує контейнером для наборів просторових даних. Зокрема, у FGDB міститься точковий шар, кожен об'єкт якого відповідає виявленому вибухонебезпечному предмету. Кожна точка має просторову та атрибутивну інформацію. Просторова інформація це координати X та Y в датумі WGS1984 (рис. 3.1) географічної системи координат.

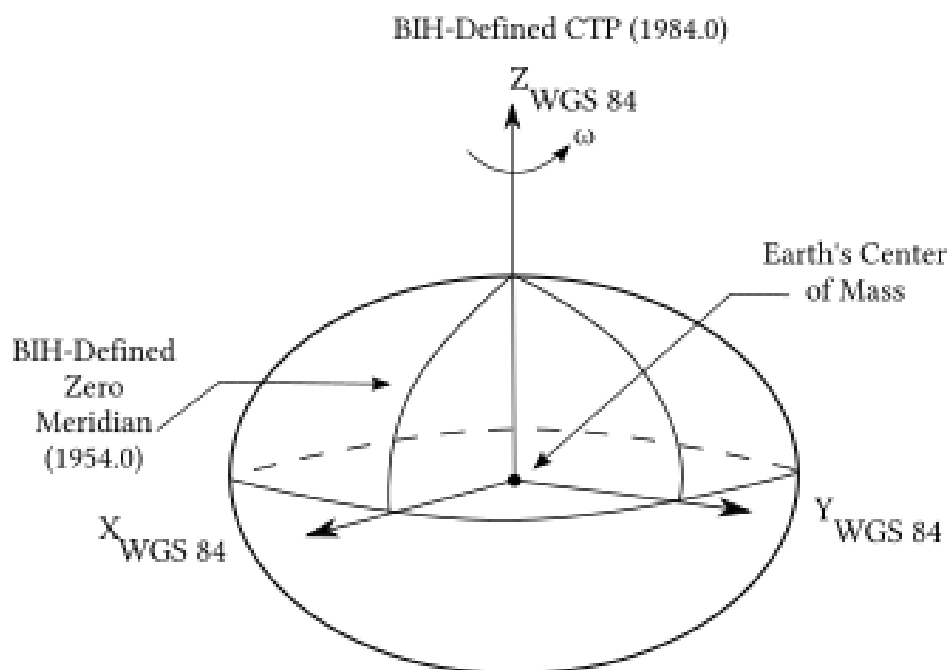


Рисунок 3.1 – Схема датума WGS1984

До структури атрибутів належать:

- класифікація ВНП (тип, категорія, підкатегорія, модель вибухонебезпечного предмета);
- місцезнаходження – адміністративна прив’язка (область, район, громада та населений пункт);
- кількість – у випадку скупчення кількох однотипних ВНП в одному місці
- глибина – поле обов’язкове після закінчення робіт з розмінування, так як не завжди можливо визначити глибину під час нетехнічного обстеження.

Таблиця 3.1 – Мінімальні вимоги до даних про ВНП з ДСТУ 8820-3:2024

Блок інформації	Поле даних	Ім’я поля (системне)	Тип поля	Примітка
ВНП (зв’язана таблиця)	Тип ВНП	eo_type	Text	Домен
	Категорія ВНП	eo_cat	Text	Домен
	Підкатегорія ВНП	eo_sub	Text	Домен
	Географічне місцезнаходження	eo_location	Point	WGS 84 (географічна або проєкційна)
	Кількість	quantity	Number	
	Глибина	depth	Number	см

На таблиці 3.1 наведені мінімальні вимоги до даних про ВНП з ДСТУ 8820-3:2024. Таким чином, дані, отримані з БПЛА та оброблені моделлю глибинного навчання, представлені у вигляді геоінформаційного шару точок, готового для подальшого ГІС-аналізу. Збереження цих даних у форматі FGDB забезпечує їх цілісність та ефективну роботу в середовищі ArcGIS Pro, підтримуючи повну модель геоданих (геометрію і атрибути) та зручність доступу до них.

3.2 Первинна обробка даних

Дані про місцезнаходження ВНП не є публічною інформацією згідно до ДСТУ 8820:2024, подальші рисунки будуть використовувати реальний датасет ВНП з прихованими координатами, вимкненою фоновною мапою та північ буде зміщена під випадковий кут.

Перед виконанням просторового групування даних здійснюється первинна обробка, метою якої є відфільтрувати з вихідного шару точки, що не відносяться до власне вибухонебезпечних предметів. У наборі даних можуть бути присутні точки з наступними класами:

- класифікація ВНП (тип, категорія, підкатегорія, модель вибухонебезпечного предмета);
- видимі міни або ВНП;
- уламки фрагменти;
- місце нещасного випадку;
- прямі звіти про мінування;
- інші.

Для наступних кроків будуть використані лише точки видимих ВНП та точки доказів. Інші докази, які слід виключити з аналізу було відфільтровано інструментом Definition Query в ArcGIS Pro – спеціальний запит, який дозволяє визначити умови відбору підмножини об'єктів шару за атрибутами. Застосувавши цей механізм до точкового шару, ми встановили критерій, що залишає об'єкти лише з бажаними типами (рис. 3.2).

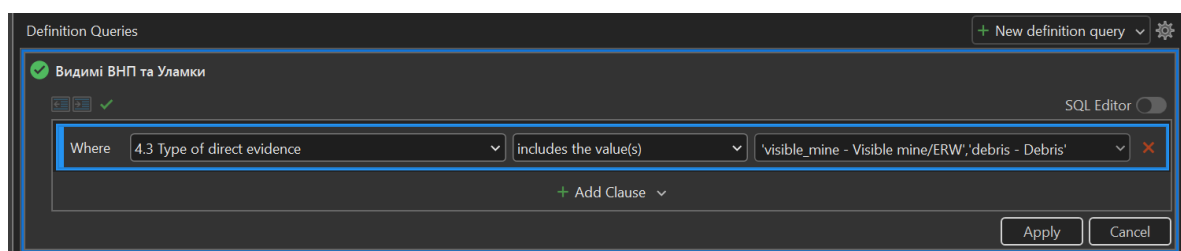


Рисунок 3.2 – Приклад простої definition query в ArcGIS Pro

Таким чином було відфільтровано набір даних. За допомогою символізації дві категорії що залишились були відокремлені різними кольорами (рис. 3.3). Детальніше про символізацію буде в підрозділі 3.4

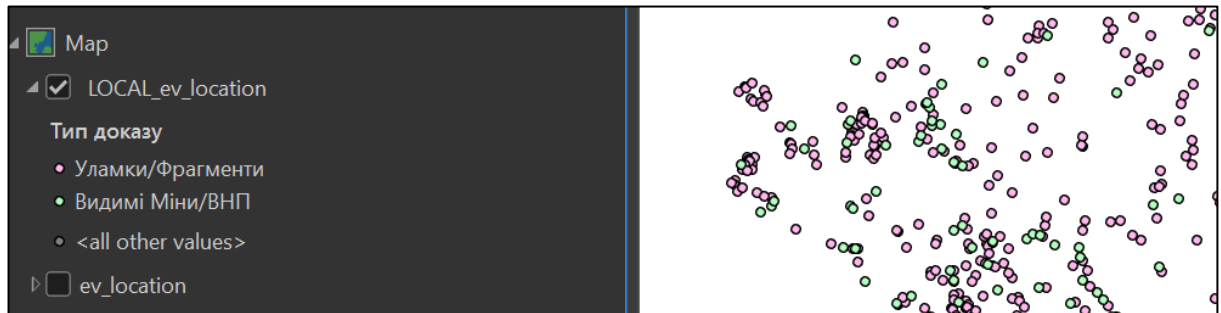


Рисунок 3.3 – Фрагмент мапи з відфільтрованими точками

Важливо зазначити, що *definition query* впливає не тільки на візуалізацію, але й на подальшу обробку даних: усі наступні інструменти ГІС будуть застосовуватися лише до підмножини точок, що задовольняють заданим умовам. Таким чином забезпечується чистота даних для аналізу – ми працюємо лише з обраними точками, відсіявши хибні спрацьовування чи несуттєві дані.

3.3 Просторове групування (кластеризація)

На вході цього етапу маємо точковий шар, сформований за даними з БПЛА та за результатами глибинного аналізу. Окремі ВНП можуть розташовуватися групами, ланцюжками або поодинокі. Для переходу до полігонів необхідно виявити саме скупчення точок, які можна інтерпретувати як єдині небезпечні ділянки. Цю задачу вирішуємо методами кластеризації, застосованими вже не до зображень, а до геоданих.

Для кластеризації використано алгоритм DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), реалізований у вигляді інструменту Density-based Clustering в ArcGIS Pro. У рамках загальної AI-концепції DBSCAN можна розглядати як легковаговий, але інтелектуальний модуль просторової аналітики, що доповнює глибинну модель (рис. 3.4).

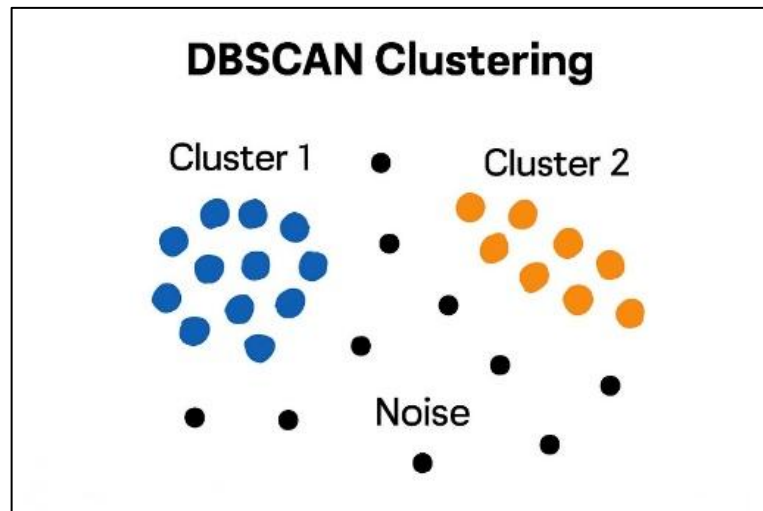


Рисунок 3.4 – Візуалізація роботи методу DBSCAN

Алгоритм DBSCAN має низку важливих переваг: він не потребує наперед задавати кількість кластерів, коректно виділяє групи будь-якої форми та працює з поняттям «просторової густини». Точки об'єднуються в кластер, якщо вони знаходяться ближче одна до одної, ніж певний поріг (радіус кластера) і одночасно утворюють «густу» групу – не менше за задану мінімальну кількість точок (MinPts).

Точки, що не відповідають цим умовам (ізольовані або надто віддалені), розглядаються як «шум» і не включаються до жодного кластера.

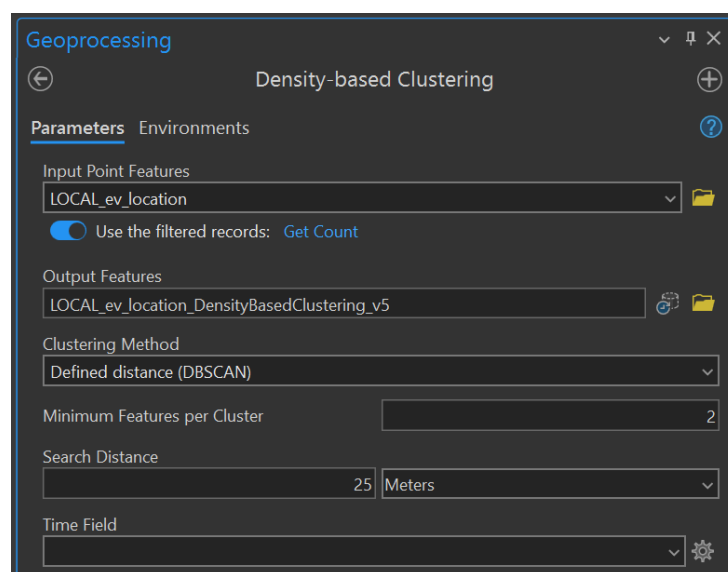


Рисунок 3.5 – Інструмент географічного аналізу Density-based Clustering в ArcGIS Pro

Параметри DBSCAN підбираються з урахуванням масштабів місії та характеру розподілу об'єктів. Радіус пошуку (epsilon) задає максимальну відстань між точками, за якої вони вважаються сусідами і можуть бути віднесені до одного кластера. У нашому випадку цей радіус відображає типову відстань між мінами або боєприпасами, що вважаються частиною однієї ділянки забруднення.

Мінімальне число точок (MinPts) визначає, скільки детекцій мають утворити групу, щоб вона вважалась кластером (рис. 3.5). Для нашого завдання ми обрали поріг $\text{MinPts} = 2$, щоб групувати навіть пари близько розташованих мін і одночасно відсікати одиничні «випадкові» знахідки (рис. 3.6).

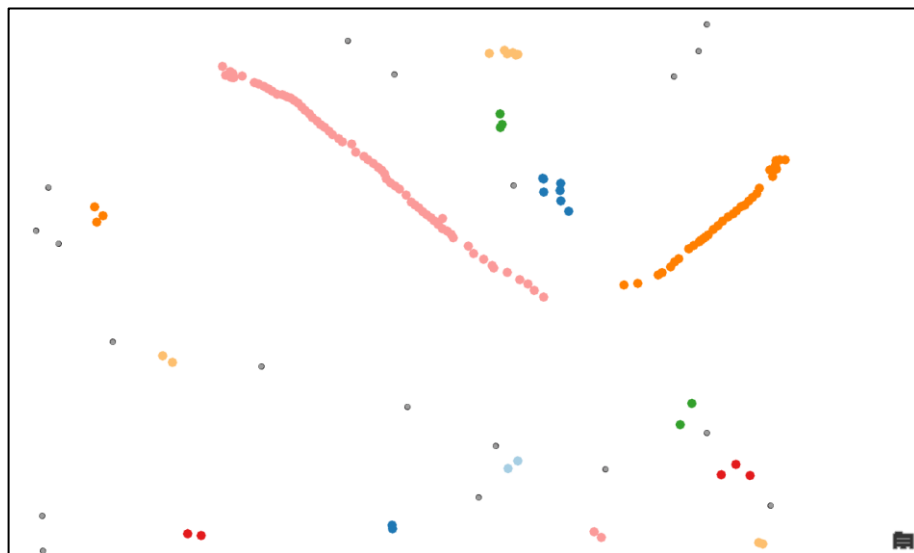
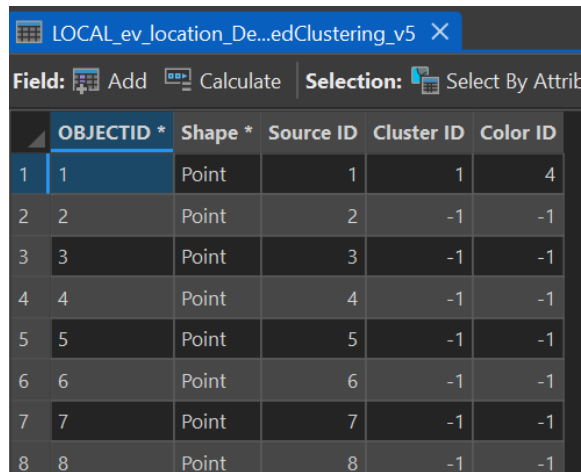


Рисунок 3.6 – Приклад роботи DBSCAN на реальному фрагменті мапи: виділені кластери ВНП та точки-шум

Кластеризація реалізована засобами ArcGIS Pro. Інструмент Density-based Clustering з пакету просторової статистики аналізує вхідний набір точок (за їх координатами, а за потреби й часом виявлення) і створює вихідний набір, де кожному об'єкту призначено ідентифікатор кластера в полі CLUSTER_ID (рис. 3.7). Точки, які не ввійшли до жодного кластера, отримують спеціальне значення

(наприклад, -1), що позначає їх як шумові. В результаті маємо той самий точковий шар, але доповнений атрибутом належності до кластеру.



	OBJECTID *	Shape *	Source ID	Cluster ID	Color ID
1	1	Point	1	1	4
2	2	Point	2	-1	-1
3	3	Point	3	-1	-1
4	4	Point	4	-1	-1
5	5	Point	5	-1	-1
6	6	Point	6	-1	-1
7	7	Point	7	-1	-1
8	8	Point	8	-1	-1

Рисунок 3.7 – Фрагмент таблиці атрибутів кластеризованого точкового шару з полем CLUSTER_ID

На практиці визначені DBSCAN кластери добре відображають реальні скупчення ВВП: якщо кілька мін або боєприпасів виявлені в межах заданого радіуса, вони потрапляють до одного кластера. Поодинокі знахідки або утворюють кластери з однієї точки (якщо $\text{MinPts} = 1$), або позначаються як шум (якщо $\text{MinPts} \geq 2$). У нашому методі акцент робиться на полігональному окресленні зон скупчень, тому одиничні точки-шум розглядаються як такі, що не формують значущої «зони» (для них достатньо точкового позначення на карті й окремої обробки при плануванні робіт).

З концептуального погляду, на цьому етапі вихід глибинної мережі переводиться з рівня окремих точок до рівня просторових шаблонів – скупчень ВВП. Глибинна модель працює на рівні зображення, а DBSCAN – на рівні простору, тому їх послідовне використання дозволяє поєднати сильні сторони обох підходів: високу чутливість до візуальних ознак.

3.4 Побудова опуклих полігонів небезпечних зон

Після того як кожна точка отримала належність до певного кластера, наступним кроком є побудова опуклого полігона навколо набору точок цього кластера. Такий полігон повинен відобразити контур небезпечної зони, використовуючи інформацію про просторове розташування детекцій.

Ми обираємо саме опуклу оболонку (convex hull), оскільки вона забезпечує:

- гарантоване потрапляння всіх детекцій глибинної моделі, зарахованих до кластера, всередину полігона (рис. 3.8);
- компактний та інтерпретований контур, який легко використовувати для розрахунку площі, координат поворотних точок, довжин сторін та генерації текстових звітів;
- простоту реалізації стандартними інструментами ГІС без додаткових налаштувань.

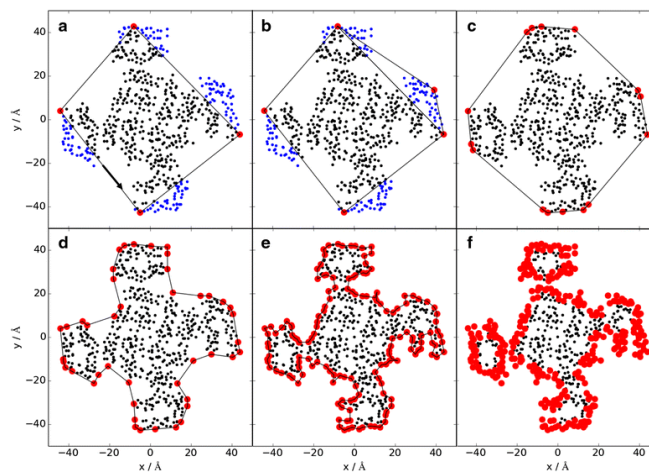


Рисунок 3.8 – Схема побудови опуклої оболонки навколо групи точок кластера

Побудова опуклих полігонів реалізується за допомогою геообробного інструменту Minimum Bounding Geometry в ArcGIS Pro (рис. 3.9) із параметром Geometry Type = Convex Hull та групуванням за полем CLUSTER_ID. Для кожної групи точок (кластера) інструмент обчислює опуклу оболонку – мінімальний опуклий полігон, що містить усі точки цієї групи. У результаті в автоматичному

режимі формується новий полігональний шар, де кожен запис відповідає одній небезпечній ділянці, виявленій на основі результатів глибинного аналізу та кластеризації.

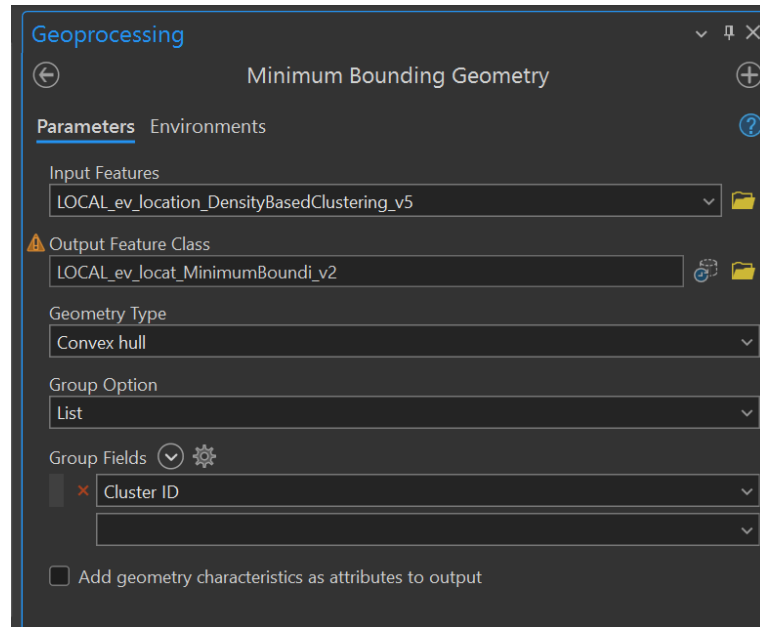


Рисунок 3.9 – Minimum Bounding Geometry в ArcGIS Pro

Форма отриманих полігонів безпосередньо пов'язана з просторовим «відбитком» виходу нейронної мережі: якщо детекції розташовані компактно, полігон наближається до округлої чи овальної форми; якщо ж утворюють витягнуту структуру (наприклад, мінна смуга вздовж дороги), опукла оболонка також буде витягнутою. Таким чином, полігони не є абстракцією «зі стелі», а геометрично відображають поведінку глибинної моделі у просторі.

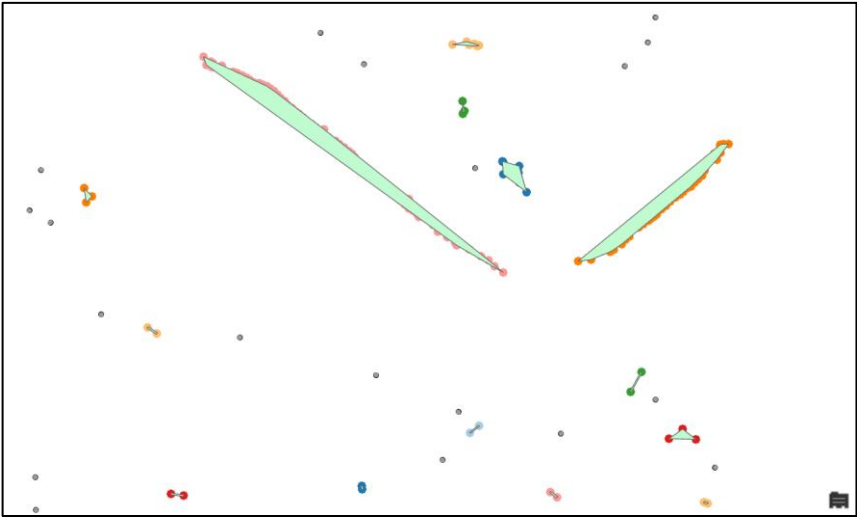


Рисунок 3.10 – Порівняння реального розташування мін на полі та відповідної опуклої оболонки

На цьому етапі також виконується збагачення атрибутів полігонального шару. До нього додаються:

- унікальний ідентифікатор кластера;
- кількість точок (детекцій) усередині кожного полігона;
- площа полігона в квадратних метрах.

LOCAL_ev_locat_MinimumBoundi_v3					
Field: Add Calculate Selection: Select By Attributes					
	OBJECTID *	Shape *	Cluster ID	Shape_Length	Shape_Area
1	2	Polygon	1	0.000259	0
2	3	Polygon	2	0.007346	0.000001
3	4	Polygon	3	0.000472	0
4	5	Polygon	4	0.000072	0
5	6	Polygon	5	0.000578	0
6	7	Polygon	6	0.001476	0
7	8	Polygon	7	0.000266	0
8	9	Polygon	8	0.00124	0
9	10	Polygon	9	0.000282	0

Рисунок 3.11 – Фрагмент атрибутивної таблиці полігонального шару небезпечних зон до збагачення

Усе це формує узагальнені «об'єкти знань» інтелектуальної системи: кожен полігон – це не лише геометрія, а й концентрована інформація про результат роботи глибинної мережі та подальшої просторової аналітики. Полігональні небезпечні зони стають базовими одиницями для звітності, аналізу ризиків та подальшого перетворення в прямокутні контури.

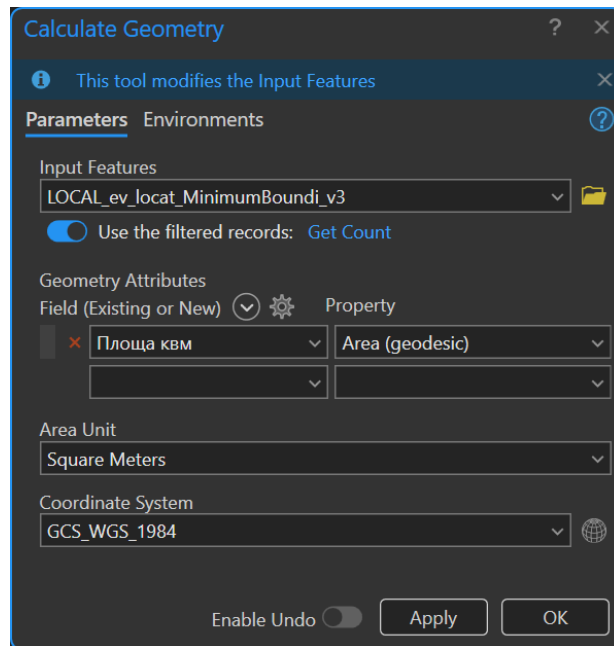


Рисунок 3.12 – Геокалькуляція площі кожного кластеру в датумі WGS1984

Для прорахунку кількості ВНП що потрапили до кластеру було використано інструмент Summarize within, що накладає шар полігонів на інший шар, щоб підсумувати кількість точок, довжину ліній або площу полігонів у кожному полігоні, а також обчислити статистику полів атрибутів про об'єкти в полігонах.

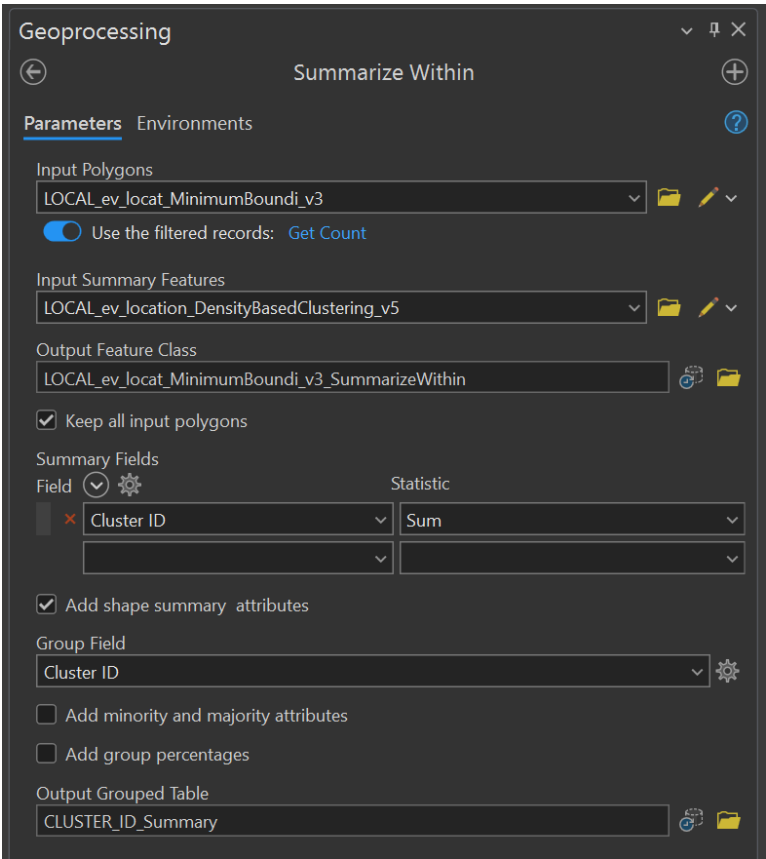


Рисунок 3.13 – Підрахунок кількості доказів в кожному кластері через Summarize within

За результатом використання цих інструментів ми отримали всю необхідну, на даному етапі, інформацію. Подальша класифікація відбуватиметься вже на етапі експорту.

	OBJECTID *	Shape *	Cluster ID	Площа квм	Кількість доказів	Shape_Length	Shape_Area	Sum	Cluster ID	Count of Points	JOIN ID
1	1	Polygon	1	22	3	0.000259	0		3	3	1
2	2	Polygon	2	4494	39	0.007346	0.000001		78	39	2
3	3	Polygon	3	33	2	0.000472	0		6	2	3
4	4	Polygon	4	3	2	0.000072	0		8	2	4
5	5	Polygon	5	134	5	0.000578	0		25	5	5
6	6	Polygon	6	197	18	0.001476	0		108	18	6
7	7	Polygon	7	18	2	0.000266	0		14	2	7
8	8	Polygon	8	332	27	0.00124	0		216	27	8
9	9	Polygon	9	19	2	0.000282	0		18	2	9
10	10	Polygon	10	1	3	0.000265	0		30	3	10
11	11	Polygon	11	42	2	0.000593	0		22	2	11
12	12	Polygon	12	729	12	0.001368	0		144	12	12
13	13	Polygon	13	31	3	0.00038	0		39	3	13

Рисунок 3.14 – Фрагмент атрибутивної таблиці полігонального шару небезпечних зон після збагачення

3.5 Побудова мінімальних орієнтованих прямокутників на основі опуклих оболонок

Маючи для кожного кластера опуклу оболонку та її орієнтацію, наступним логічним кроком є перехід до строго прямокутного представлення небезпечної зони. Прямокутні контури мають низку практичних переваг: їх простіше описувати координатами поворотних точок, за ними зручно будувати таблиці азимутів та довжин сторін, а також такі межі легше відтворювати на місцевості під час маркування територій.

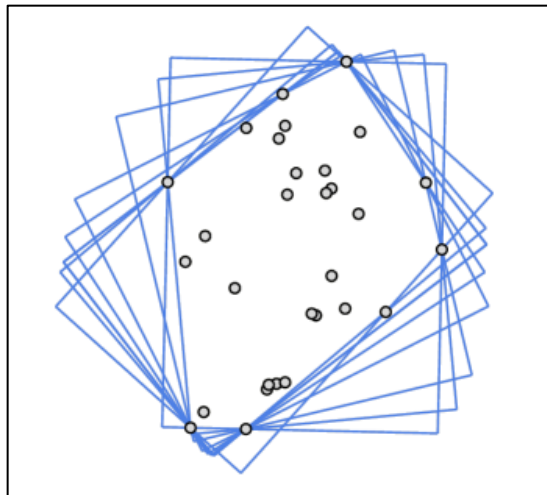


Рисунок 3.15 – Приклад переходу від опуклого полігона кластера до мінімального орієнтованого прямокутника, що його охоплює.

Перед створенням прямокутних полігонів було використано екстраполяцію кластерів на 25 метрів. Для цього було застосовано інструмент Buffe. Для полігонів така буферизація дає контури, що не є близькими до прямокутних, але забезпечують додатковий запас з метою виключення можливості некоректного створення ділянок через пропущені докази ВНП

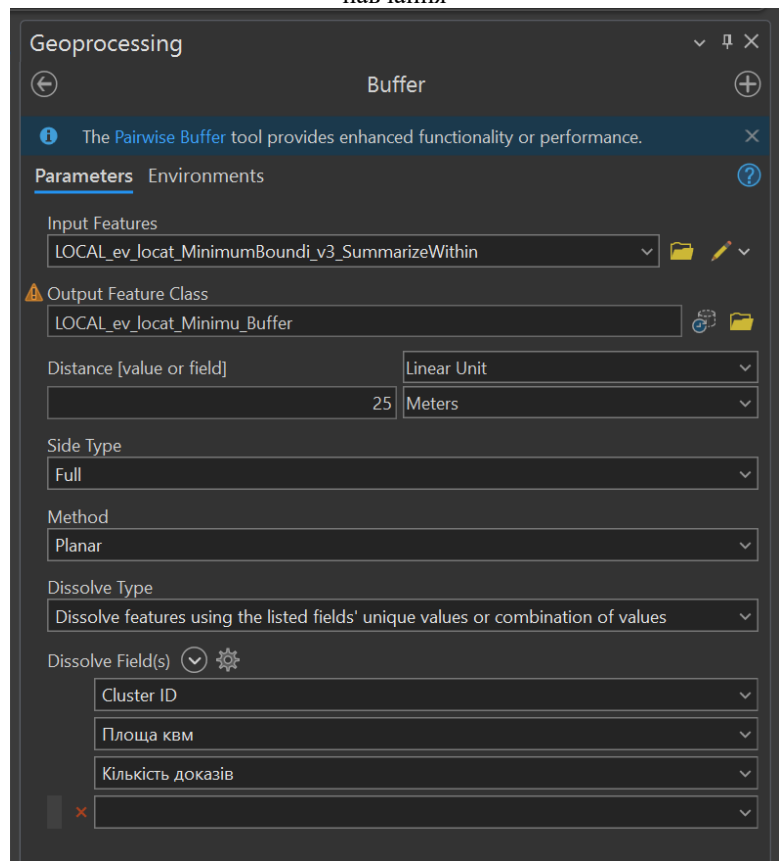


Рисунок 3.16 – Інструмент Buffer

У результаті буферизації вихідні контури було розширено та перетворено на згладжені, округлені полігони. Це забезпечило додатковий безпековий запас і зробило межі зон більш плавними для подальшого використання.

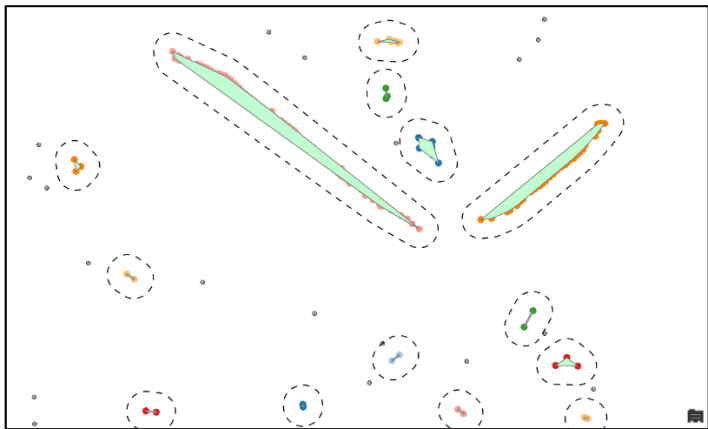


Рисунок 3.17 – Порівняння буферу з оригінальними доказами та проміжними кластерами

Для побудови прямокутників знову використовується інструмент Minimum Bounding Geometry, але з іншим типом геометрії. Якщо на попередньому кроці ми будували Convex Hull, то тепер застосовуємо опцію Rectangle by Area або Rectangle by Width. Ці варіанти дозволяють сформувати орієнтований прямокутник мінімальної площі (або мінімальної ширини), що повністю містить вхідний об'єкт.

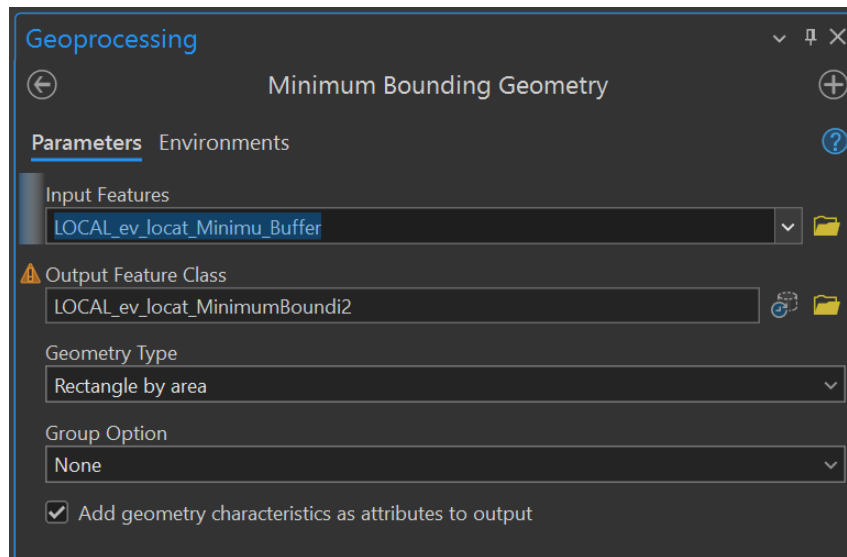


Рисунок 3.18 – Інтерфейс налаштування інструмента Minimum Bounding Geometry для режиму Rectangle by Area

Вибір вхідних даних. Як вхідний шар для інструмента Minimum Bounding Geometry використовується отриманий раніше шар опуклих полігонів. Це дає змогу будувати прямокутник не безпосередньо за точками, а за вже узагальненою формою кластера (буферизованого), що додатково «згладжує» локальні артефакти розташування окремих детекцій:

- Geometry Type встановлюється у значення Rectangle by Area (прямокутник найменшої площі, що охоплює фігуру) або, альтернативно, Rectangle by Width;
- Group Option задається як None, оскільки кожен convex hull уже відповідає одному кластеру і обробляється окремо;
- увімкнено опцію Add geometry characteristics as attributes to output, завдяки чому у вихідний полігональний шар додаються поля MBG_Width, MBG_Length,

MBG_Orientation, які описують геометрію прямокутника: довжину та ширину його сторін і орієнтацію довшої сторони.

Після запуску інструмента система розраховує для кожного вхідного convex hull мінімальний орієнтований прямокутник, який його повністю охоплює. Цей прямокутник:

- має чотири вершини, координати яких легко отримати з атрибутів і використати надалі (наприклад, для побудови таблиці поворотних точок);
- орієнтований уздовж головної осі кластера (кут MBG_Orientation), яка часто узгоджується з фізичною геометрією забруднення (смуга мін уздовж дороги, поле, лісосмуга тощо);
- зберігає інтуїтивний зв'язок із результатами глибинної моделі: чим витягнутіша група детекцій, тим витягнутішим буде прямокутник; чим компактніше скупчення – тим ближчий прямокутник до квадрата.

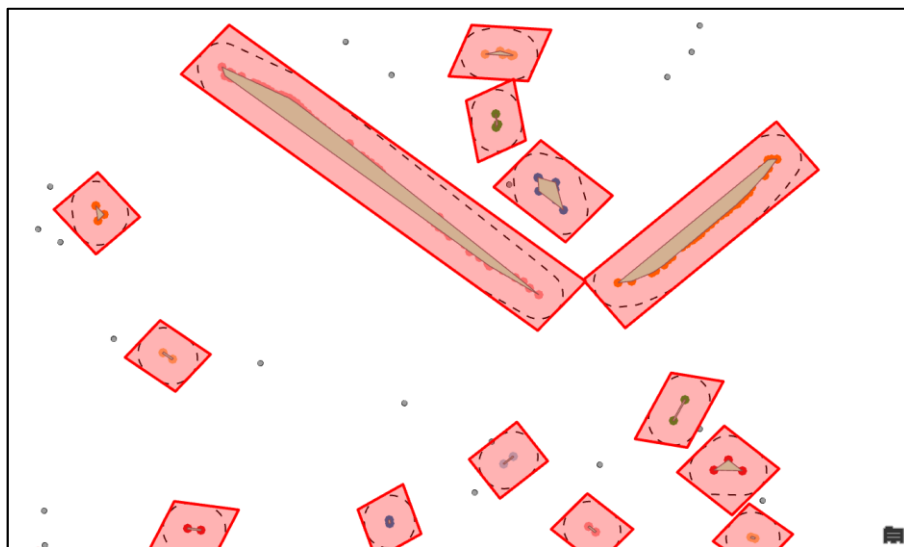


Рисунок 3.19 – Карта з орієнтованими прямокутниками, побудованими для небезпечних зон.

Завдяки опції додавання геометричних характеристик прямокутник «сам себе описує» в атрибутах: MBG_Length, MBG_Width, MBG_Orientation можуть

використовуватись як в аналітиці (порівняння розмірів зон, аналіз напрямку мінних смуг), так і в подальшій генерації звітної інформації.

Цей крок можна розглядати як фінальну просторову «надбудову» над результатами глибинного навчання, яка перетворює їх у окреслені небезпечні зони, придатні для використання у планах розмінування, та формалізованих звітах.

Висновки до 3-го розділу

У висновку після виконання описаних етапів система проходить наступний ланцюжок перетворень:

Вихід глибинної моделі – точковий шар доказів ВНП. Просторове групування точок алгоритмом DBSCAN – виділені кластери та шум. Побудова опуклих оболонок (convex hull) для кожного кластера – полігональний шар небезпечних зон. Буферизація полігонів – безпечно розширені зони. Формування мінімальних орієнтованих прямокутників на основі опуклих буферів – регулярні контури з чіткою геометрією.

Отримані орієнтовані прямокутники безпосередньо пов'язані з просторовим розподілом глибинної моделі, мають просту структуру (чотири поворотні точки) та зручні для експорту в табличний і текстовий вигляд (координати вершин, довжини сторін, азимути). Вони легко інтегруються в стандартизовані форми звітності та процедури планування робіт з гуманітарного розмінування, створюючи ланцюжок переходу від «пікселів знімка» до чітко окреслених і документованих небезпечних територій.

4 ЕКСПОРТ ПОЛІГОНІВ ТА ПОВОРОТНИХ ТОЧОК

У цьому розділі описано процес розробки підсистеми для створення та експорту поворотних точок полігонів небезпечних територій, що були створені в попередніх етапах. Нижче детально розглянуто всі етапи цього процесу – від створення форми Survey123, створення точок, підготовки шаблону та експорту текстового документу.

4.1 Створення та публікація форми Survey123 Connect

Для організації збору чи підтвердження даних щодо створених полігонів була розроблена нова форма в ArcGIS Survey123 Connect. Форма не буде використовуватись за прямим призначенням, а буде лише оболонкою, створеною для досягнення двох цілей:

- публікація зв'язаних шарів як Feature Service в ArcGIS Online без необхідності ручного налаштування зв'язків;
- можливість подальшого створення шаблонів експорту даних.

Форму створено через XLSForms. Це дозволяє редагувати більшість налаштувань через Microsoft Excel. А сам застосунок (рис.4.1) допомагає одразу бачити результат.

Point #	Point name (from)	to Point	Magnetic bearing	True bearing	Distance (m)	UTM X	UTM Y	UTM Zone and Band	Latitude	Longitude
						428058				

Рисунок 4.1 – Інформація про поворотні точки в інтерфейсі Survey123 Connect

Додавши всі необхідні поля зазначені в додатку Б було опубліковану форму (рис. 4.2)

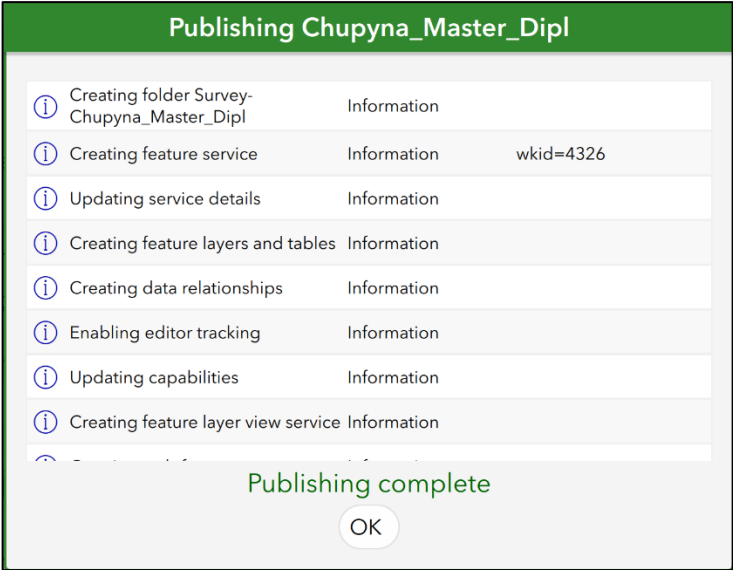


Рисунок 4.2 – Успішна публікація форми Survey123

Таким чином, у підрозділі створено та опубліковано форму Survey123, яка під час публікації забезпечила створення шару об’єктів для збору інформації про полігони та точки (їх геометрії та атрибути).

Title		
☐	Chupyna_Master_Dipl_results	 Feature layer (hosted, view)
☐	Chupyna_Master_Dipl	 Form
☐	Chupyna_Master_Dipl_form	 Feature layer (hosted, view)
☐	Chupyna_Master_Dipl	 Feature layer (hosted)

Рисунок 4.3 – Новостворені об’єкти на порталі ArcGIS Online

На рис. 4.3 можна помітити що під час публікації та поширення форми, крім самої форми було створено Feature layer (базу даних) та два шари посилання (view).

Останні необхідні для надання відмінних прав доступу до різних груп. До прикладу автор форми має повний доступ, а група користувачів має доступ тільки до перегляду, або до перегляду та змін, але без видалення об'єктів.

4.2 Створення та `append` поворотних точок

Для того щоб згенерувати поворотні точки – тобто вершини раніше створених полігонів та додати їх до окремого шару використовувався написаний Python-скрипт у середовищі ArcGIS Pro Notebooks (ArcPy). Скрипт автоматизує перетворення полігональних об'єктів у набір точок, що представляють їхні вершини. Для кожного полігону визначається орієнтація контурів: обробляються лише кільця, що йдуть за годинниковою стрілкою, що є обов'язковим за національними та міжнародними стандартами з протимінної діяльності. Вершини такого контуру зчитуються послідовно та записуються як окремі точки у новий клас об'єктів. Кожна точка отримує інформацію про те, з якого полігону вона походить і яким є її порядковий номер уздовж контуру. Таким чином виходить впорядкована послідовність геометричних точок, що точно відтворюють форму початкового полігону.

На наступному етапі виконується просторове збагачення цих точок. Координати кожної вершини перераховуються у дві системи: WGS84 (широта/довгота, EPSG:4326) та UTM (універсальна поперечна проєкція Меркатора). Для UTM автоматично визначається номер зони та півкульна WKID, який формується за правилом:

- для північної півкулі – 326xx
- для південної – 327xx,

xx – номер шестиградусної зони, обчислений з довготи. Це дозволяє отримати метричні координати easting і northing, придатні для точних вимірювань відстаней у місцевій картографічній площині.

Скрипт також обчислює навігаційні параметри між кожними двома сусідніми вершинами. За допомогою геодезичних функцій визначається істинний азимут

(true bearing) – кут між напрямком на наступну вершину та меридіаном. Потім до нього додається значення магнітного відхилення, щоб отримати магнітний азимут, більш корисний у польових вимірюваннях. Крім того, розраховується геодезична дистанція між точками – реальна довжина дуги на поверхні Землі, а не просто евклідова відстань у проекції. Результат – вихідний клас точок із повною геометричною та навігаційною інформацією, готовою для аналізу, польових робіт або інтеграції в геоінформаційні системи (рис.4.4).

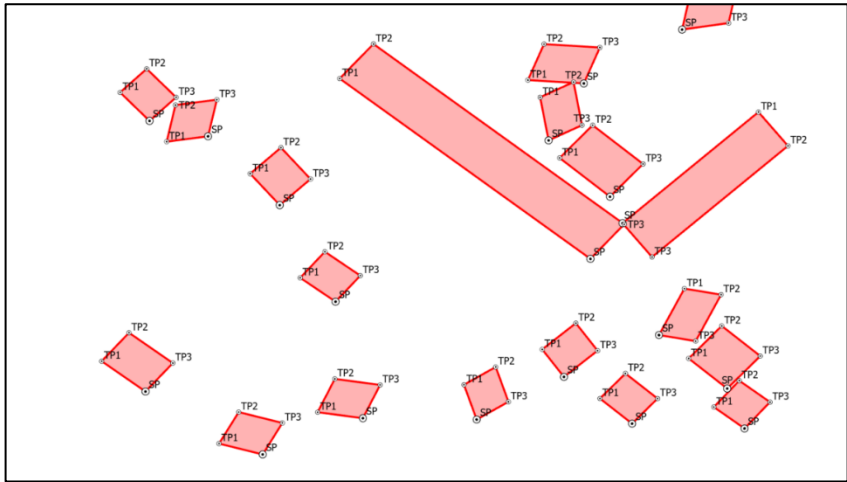


Рисунок 4.4 – Поворотні точки полігонів

До кожної точки заповнена вся необхідна інформація в таблиці атрибутів. В якості опису точки за замовчуванням заповнено ІД самого полігону. Координати довжини, довготи та UTM Northing були сховані з рис. 4.5 через конфіденційність інформації про конкретне знаходження точок.

STEP3STEP5haz_poly.vertices

Field: AddCalculateSelection: Select By AttributesZoom ToSwitchClearDeleteCopy

	OBJECTID	Shape	PolyID	OrderID	point_description	parentglobalid	counter	utm_easting	gps_accuracy	utm_zone	task_lrp	pointtype	pointname	topoint	tbearing	mbearing	distance
1	1	Point	1	1	A	[B20478A0-C41C	1	438687	0	36T	A	start_point	SP	TP1	62	55	58
2	2	Point	1	2	A	[B20478A0-C41C	2	438738	0	36T	A	turning_point	TP1	TP2	166	159	60
3	3	Point	1	3	A	[B20478A0-C41C	3	438752	0	36T	A	turning_point	TP2	TP3	243	236	58
4	4	Point	1	4	A	[B20478A0-C41C	4	438700	0	36T	A	turning_point	TP3	SP	346	339	60

Рисунок 4.5 – Таблиця атрибутів поворотних точок полігону

Програмний код скрипту використаного для цього етапу можна знайти в додатку Б

За допомогою геопросторового інструменту Append (рис. 4.6) новостворені точки були перенесені в шар, що був створений за допомогою форми Survey123. Для коректного переносу точок було обрано вказання відношень полів вручну, так як структури вхідного та вихідного шару не є повністю ідентичними.

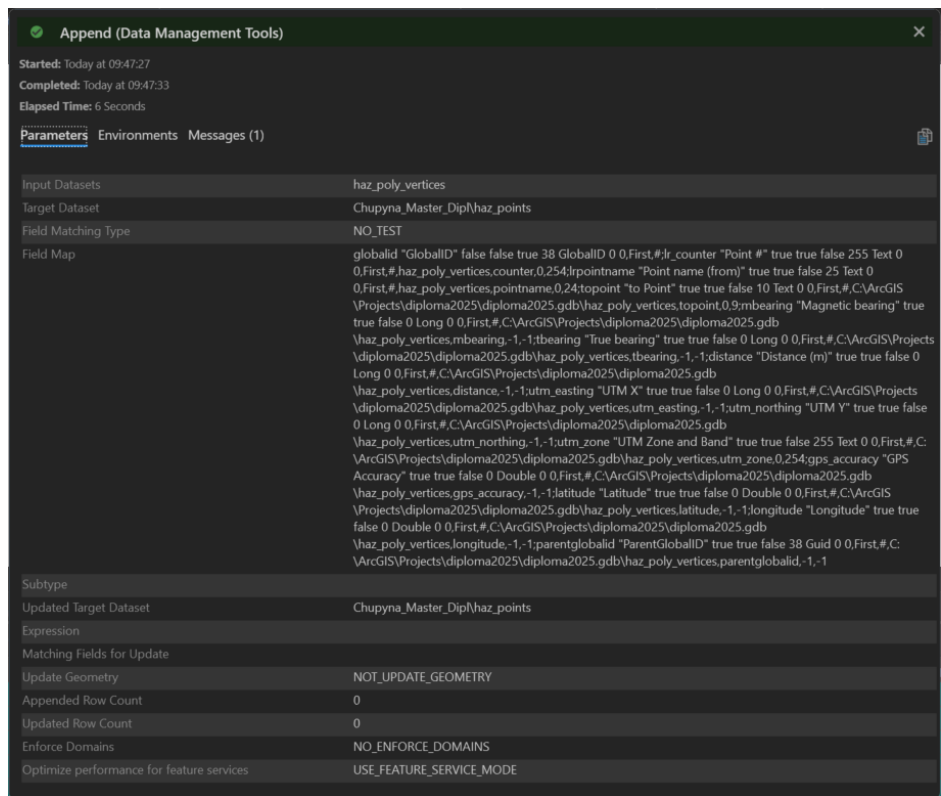


Рисунок 4.6 – Append поворотних точок до web шару

Таким чином web шар наразі містить полігони то його поворотні точки. Що полігони, що точки мають табличну інформацію для забезпечення відповідності ДСТУ мінімальним вимогам до даних.

4.3 Експорт точок через шаблон

Експорт координат поворотних точок полігонів небезпечних територій до структурованого табличного вигляду доцільно реалізовувати через Survey123

шаблони звітів у форматі .docx. Такий підхід забезпечує стандартизований вихідний документ для подальшого використання (звітність, передача координат суміжним підрозділам, архівування) та мінімізує ручне копіювання даних.

Після публікації шару частина полів заповнюється автоматично системою: зокрема CreationDate (дата/час заповнення), Creator (ідентифікатор користувача, що створив запис), а також службові ідентифікатори та поля редагування (GlobalID, EditDate, Editor). Це дозволяє виводити у звіті не лише геометрію та атрибути, а й контрольовані метадані походження запису.

Практична модель експорту будується як:

- головний запис (полігон/небезпечна ділянка);
- пов’язані записи (набір поворотних точок), що виводяться повторюваним блоком.

У шаблонах Survey123 це реалізується через repeat section: блок, який повторюється для кожного елемента пов’язаного набору точок. У наведеному шаблоні на рис. 4.7 таким повторюваним набором є lr_points, а кожен рядок таблиці відповідає одній поворотній точці.

Форма для експорту полігонів та точок

Submitted By: \${Creator}

Submitted Time: \${CreationDate}

Creation Time: \${date|format: "MMMM D, YYYY h:mm A"}

Від From	До To	Азимут (Магнітний) Magnetic bearing	Азимут (Істинний) True bearing	Відстань (м) Distance	Long/UT M X	Lat/ UTM Y
\${#lr_p oints}\${ lrpoint name}	\${topoi nt}	\${mbearing}	\${tbearing}	\${distance}	\${utm_ea sting useGroup ing:false}	\${utm_northi ng useGrouping :false}\${{/}
Загальна обчислена площа(всі полігони) (кв.м.): Total area (all polygons) (sq.m)					\${manual_area useGrouping:false}	

Рисунок 4.7 – Шаблон звіту для експорту поворотних точок

Після розроблення шаблону його слід додати до налаштувань відповідної форми в порталі Survey123. Після цього в меню «Дані» налаштувань форми

необхідно вибрати потрібні полігони для експорту та ініціювати процес формування звіту, натиснувши кнопку «Генерувати» (рис.4.8).

Рисунок 4.8 – Інтерфейс експорту звіту

Отриманий файл міститиме в собі одну, чи декілька таблиць з заповненими даними (рис. 4.9). Формат таблиці готовий до використання в звіті про створення нової небезпечної території.

Форма для експорту полігонів та точок						
Submitted By: ValChu						
Submitted Time: 8 December 2025 22:34						
Creation Time: December 9, 2025 10:29 AM						
Від From	До To	Азимут (Магнітний) Magnetic bearing	Азимут (Істинний) True bearing	Відстань (м) Distance	Long/UT M X	Lat/ UTM Y
SP	TP1	55	62	58	438687	
TP1	TP2	159	166	60	438738	
TP2	TP3	236	243	58	438752	
TP3	SP	339	346	60	438700	
Загальна обчислена площа(всі полігони) (кв.м.):					3376	
Total area (all polygons) (sq.m)						

Рисунок 4.9 – Приклад експортованого звіту

Шаблон поєднує контрольні метадані, табличний список точок (пов'язані записи) та підсумкову метрику (площа), забезпечуючи готовий до обміну документ.

Висновки до 4-го розділу

У розділі описано повний процес експорту полігонів небезпечних територій та їхніх поворотних точок – від створення і публікації форми Survey123 до отримання стандартизованого вихідного документа. Публікація форми забезпечила автоматичне створення пов'язаних веб-шарів у ArcGIS Online та уніфіковану структуру зберігання геометричних і атрибутивних даних без необхідності ручного налаштування зв'язків.

Автоматизована генерація поворотних точок за допомогою Python скрипта в ArcGIS Pro дозволила коректно відтворити геометрію полігонів, виконати перерахунок координат у різних системах та обчислити необхідні навігаційні параметри. Використання шаблонів звітів Survey123 для експорту у форматі .docx забезпечило формування структурованого та готового до практичного використання документа, що поєднує метадані, таблицю поворотних точок і підсумкові показники території.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнуто поставлену мету – розроблено та обґрунтовано інтерактивну систему автоматизованого картографування вибухонебезпечних предметів, яка забезпечує повний технологічний цикл обробки геопросторових даних: від збору вихідної інформації з використанням безпілотних літальних апаратів до формування стандартизованих картографічних і текстових матеріалів, придатних для інтеграції в систему управління інформацією в протимінній діяльності та використання в гуманітарному розмінуванні.

У роботі підтверджено актуальність проблеми мінно-вибухового забруднення території України та доведено доцільність застосування сучасних геоінформаційних технологій у поєднанні з методами глибинного навчання для її вирішення. Проведений аналіз наукових публікацій і наявних рішень показав, що більшість існуючих систем або зосереджуються лише на етапі виявлення вибухонебезпечних предметів, або обмежуються візуалізацією результатів без достатньої автоматизації процесу картографування та підготовки звітної документації. Це обґрунтувало необхідність створення комплексної системи, здатної інтегрувати всі етапи в єдине цифрове середовище.

У першому розділі було проаналізовано сучасні методи пошуку ВВП із використанням БПЛА та сенсорних технологій, а також виконано порівняння існуючих систем картографування. За результатами аналізу визначено, що найбільш перспективним є комбінований підхід, який поєднує візуальну аерозйомку, методи глибинного навчання та геоінформаційні системи, сумісні з міжнародними стандартами IMAS. На основі цього сформульовано функціональні й технічні вимоги до розроблюваної інтерактивної системи.

У другому розділі обґрунтовано вибір моделей, методів та інформаційних технологій для реалізації поставленої задачі. Запропоновано комбіновану методику збору даних з використанням БПЛА, що включає швидке обстеження територій та отримання знімків із різним рівнем перекриття для подальшої обробки. Показано

ефективність застосування глибинного навчання для автоматизованого виявлення ВНП та формування точкового шару доказі

Як основу зберігання геопросторових даних обрано File Geodatabase, що забезпечує масштабованість, цілісність даних, підтримку доменів, підтипів і просторових зв'язків. Використання мови Python та модуля ArcPy дозволило автоматизувати ключові етапи обробки даних, зменшити вплив людського фактора та підвищити відтворюваність результатів. Окремо обґрунтовано роль ArcGIS Pro, ArcGIS Online та Notebook-середовищ як взаємодоповнювальних компонентів єдиної системи.

У третьому розділі реалізовано моделювання та проектування алгоритмічної частини системи. Запропоновано послідовний підхід переходу від точкових результатів глибинної моделі до узагальнених полігональних об'єктів небезпечних територій. Застосування алгоритму DBSCAN дозволило автоматично виявляти просторові скупчення ВНП та відокремлювати поодинокі знахідки. На основі кластерів побудовано опуклі оболонки, які відображають реальний просторовий розподіл детекцій, а подальша буферизація та формування мінімальних орієнтованих прямокутників забезпечили створення регулярних і формалізованих контурів небезпечних зон. Отримані полігони мають чітку геометрію, зручні для подальших розрахунків, аналізу та документування.

Четвертий розділ присвячено розробці підсистеми експорту полігонів і їхніх поворотних точок. Створення спеціалізованої форми Survey123 та використання шаблонів звітів у форматі .docx дозволили автоматизувати підготовку структурованих документів, що містять координати вершин, навігаційні параметри та контрольні метадані. Реалізований механізм забезпечує відповідність мінімальним вимогам ДСТУ та стандартам IMAS, а також значно спрощує процес підготовки звітності для гуманітарного розмінування.

У цілому, розроблена система демонструє практичну реалізацію наскрізного цифрового процесу: від «пікселів аерознімка» до формалізованого полігону небезпечної території та готового текстового звіту. Запропоновані підходи можуть

бути використані саперними підрозділами ДСНС України, інженерними службами ЗСУ та міжнародними гуманітарними організаціями для оперативного планування, аналізу ризиків і координації робіт з розмінування. Подальший розвиток системи може бути спрямований на розширення підтримки сенсорних даних, удосконалення алгоритмів кластеризації та глибшої інтеграції з системою управління інформацією в протимінній діяльності у режимі двостороннього обміну даними.

Результати кваліфікаційної роботи пройшли апробацію під час Всеукраїнської науково практичної конференція молодих вчених, аспірантів і студентів «Інтелектуальні інформаційні технології» (Миколаїв, 04 – 05 грудня 2025 р.).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 156 тисяч квадратних кілометрів території України наразі потенційно небезпечні та потребують обстеження й розмінування – ДСНС – Медіацентр Україна. URL: <https://mediacenter.org.ua/uk/156-tisyach-kvadratnih-kilometriv-teritoriyi-ukrayini-narazi-potentsijno-nebezpechni-ta-potrebuyut-obstezhennya-j-rozminuvannya-dsns/> (дата звернення: 18.10.2025).
2. ArcGIS Online. URL: <https://www.arcgis.com/index.html> (дата звернення: 09.06.2024).
3. Bajić M., Potočnik B. UAV thermal imaging for unexploded ordnance detection by using deep learning. *Remote sensing*. 2023. Vol. 15, Is. 4. P. 967–982. DOI: 10.3390/rs15040967.
4. Camacho-Sanchez C., Yie-Pinedo R., Galindo G. Humanitarian demining for the clearance of landmine-affected areas. *Socio-Economic planning sciences*. 2023. Vol. 88. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.seps.2023.101611.
5. ArcGIS Pro. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview> (Last accessed: 18.10.2025).
6. Drone data management and flight analysis. URL: <https://airdata.com/> (Last accessed: 18.10.2025).
7. Google Earth. URL: <https://www.google.com/earth/about/versions/> (дата звернення: 18.10.2025).
8. Ustymenko, V., Rohozian, Y., Trehub, O., Liashenko, P., Zablodska, D. Economic and legal dimension of humanitarian demining of Ukraine: problem and research prospects. *Amazonia Investiga*. 2023. Vol. 12, No. 65. P. 287–295. DOI: 10.34069/ai/2023.65.05.27.
9. Kasianchuk A., Lastivka H. Promising areas of integration of artificial intelligence technologies in unmanned aerial vehicles. *16th International conference correlation optics (COR2023)*. Chernivtsi, Ukraine, Sept. 18–21, 2023. P. 1–5. DOI: 10.1117/12.3008983.
10. Krivtsun V., Nanivska L. Factors affecting the demining process. *Social*

Development and Security. 2023. Vol. 13, No. 5. P. 38–44.
DOI: 10.33445/sds.2023.13.5.5.

11. Shoba P. Explosive detection – an integrated technique. *International Journal of Applied Science and Engineering Research*. 2012. Vol. 1, No. 5. P. 669–677.
DOI: 10.6088/ijaser.0020101068.

12. Poliachenko, I., Kozak, V., Bakmutov, V., Cherkes, S., Varava, I. Preliminary results of UAV magnetic surveys for unexploded ordnance detection in Ukraine: effectiveness and challenges. *Geofizicheskiy zhurnal*. 2023. Vol. 45, No. 5. P. 126–140. DOI: 10.24028/gj.v45i5.289117.

13. Prepare for high-accuracy data collection. URL: <https://doc.arcgis.com/en/field-maps/latest/prepare-maps/high-accuracy-data-collection.htm> (Last accessed: 18.10.2025).

14. Hutsul T., Khobzei M., Tkach V., Krulikovskiy O., Moisiuk O., Ivashko V., Samila A. Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: ukrainian case. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, Is.7. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29142.

15. Support for DJI Mavic 3. URL: <https://www.dji.com/global/support/product/mavic-3> (Last accessed: 18.10.2025).

16. Your premier destination for drone magnetic solutions and drone magnetic services. URL: <https://umagsolutions.com/> (Last accessed: 18.10.2025).

17. Understanding Bluetooth Range. URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/key-attributes/range/#:~:text=Bluetooth%20technology%20uses%20the,for%20low-power%20wireless%20connectivity> (Last accessed: 18.10.2025).

18. Tuohy M., Baur J., Steinberg G., Pirro J., Mitchell T., Nikulin A., Frucci J., de Smet T. Utilizing UAV-based hyperspectral imaging to detect surficial explosive ordnance. *The Leading Edge*. 2023. Vol. 42, Is. 2. P. 98–102. DOI: 10.1190/tle42020098.1.

19. Аеророзвідка. Аварійно-рятувальна служба Українського Червоного Хреста. URL: <https://www.ers.org.ua/index.php/diialnist/aerorozvidka> (дата

звернення: 18.10.2025).

20. Інтерактивна мапа територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами. *Сервіс протимінної діяльності ДСНС*. URL: <https://mine.dsns.gov.ua/> (дата звернення: 18.10.2025).

21. Інформування про небезпеки від ВНП та навчання з попередження ризикам. *Міністерство оборони України*. URL: <https://ua.imsma.org/portal/apps/webappviewer/index.html?id=784c0f78654241298aec487f4bce7fd9&locale=uk> (дата звернення: 18.10.2025).

22. Про затвердження Змін до Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією : наказ Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України від 23.04.2024 р. № 120. Офіційний вісник України. 2024. № 41Ю С. 114.

23. Чередниченко О. Ю., Паламарчук Н. А., Шемендюк О. В., Мартинюк В. В. Синтез системи виявлення вибухонебезпечних предметів на базі безпілотного літального апарата. *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки*. 2023. № 3. С. 163–170. DOI: 10.58254/viti.3.2023.18.163.

24. Україна є нині найбільш замінованою державою світу – Міндовкілля. URL: <https://ukr.radio/news.html?newsID=103576> (дата звернення: 18.10.2025).

25. Чупина В. Є., Обухова К. О. Створення інтерактивної мапи вибухонебезпечних об'єктів з використанням рухомих комп'ютерних систем. Інформаційні технології та інженерія : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. Миколаїв, 31 січ. – 02 лют. 2024 р. Миколаїв : Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили, 2024. С. 29–32.

26. Якотюк В. С., Момот А. С. Аналіз ефективності методів пошуку вибухонебезпечних предметів із використанням БПЛА. Секція 6. Новітні технології у проектуванні роботизованих систем в неруйнівному контролі, технічній та медичній діагностиці : Всеукр. науково-практ. конф. студентів, м. Київ, 21 груд. 2023 р. Київ, 2023. С. 373–376. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65419> (дата звернення: 18.10.2025).

27. Короєв Р. В. РС-модель для картографування вибухонебезпечних пристроїв : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр». Миколаїв, 2023. 98 с.

28. Ралло І. В. Інтелектуальна система картографування за допомогою БПЛА. 2024. 110 с.

29. Чикота В. Ю. Розроблення програмної підсистеми локації та картографування територій, забруднених вибухонебезпечними предметами на базі ОС Android : Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи. 2022. 104 с.

30. Glossary of mine action terms, definitions and abbreviations. International Mine Action Standards: IMAS. URL: <https://www.mineactionstandards.org/standards/04-10/> (date of access: 18.10.2025).

31. Information management for mine action. International Mine Action Standards: IMAS. URL: <https://www.mineactionstandards.org/standards/05-10/> (date of access: 18.10.2025).

32. International mine action standards. Home - International Mine Action Standards: IMAS. URL: <https://www.mineactionstandards.org/standards/> (date of access: 18.10.2025).

33. Land release. International Mine Action Standards: IMAS. URL: <https://www.mineactionstandards.org/standards/07-11/> (date of access: 18.10.2025).

34. Non-technical survey. International Mine Action Standards: IMAS. URL: <https://www.mineactionstandards.org/standards/08-10/> (date of access: 18.10.2025).

35. Чупина В. Є. Створення інтерактивної мапи вибухонебезпечних предметів на основі даних з безпілотних апаратів : кваліфікаційна робота. 2024. 81 с.

36. Support for DJI mavic 3 enterprise series - DJI global. DJI. URL: <https://www.dji.com/global/support/product/mavic-3-enterprise> (date of access: 2025 р.

18.10.2025).

37. Best practices and capabilities for PIX4Dcloud. Pix4D Documentation. URL: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/14988429657117> (date of access: 18.10.2025).

38. Artificial intelligence. Safepro AI. URL: <https://safeproai.com/artificial-intelligence-landmine-detection-through-drones/> (date of access: 18.10.2025).

39. L N. K. Transfer learning for object detection. Medium. URL: <https://medium.com/@nkrishnan.laksh/transfer-learning-for-object-detection-a499b7bdd12b> (date of access: 18.10.2025).

40. GIS APIs | ArcGIS APIs & SDKs for Developers. GIS Software for Mapping and Spatial Analytics | Esri. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/open-vision/initiatives/developer-api> (date of access: 18.10.2025).

41. ArcGIS survey123 resources | tutorials, documentation, videos & more. GIS Software for Mapping and Spatial Analytics | Esri. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-survey123/resources> (date of access: 18.10.2025).

42. Create map tile package (data management)–arcgis pro | documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.4/tool-reference/data-management/create-map-tile-package.htm> (date of access: 18.10.2025).

43. NPA Ukraine conducts pilot project with safe pro AI for automated... Norwegian People's Aid. URL: <https://www.npaid.org/mine-action-and-disarmament/news/npa-ukraine-conducts-pilot-project-with-safe-pro-ai-for-automated-processing-of-drone-imagery> (date of access: 18.10.2025).

ДОДАТОК А

Матеріали апробації роботи

Всеукраїнська науковопрактична конференція молодих вчених, аспірантів і
студентів

«Інтелектуальні інформаційні технології»

УДК 004.62

Чупина В. Є., Сіденко Є. В.
*Чорноморський національний університет
ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна*

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КАРТОГРАФУВАННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ БПЛА ТА ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

Інтенсивне мінування територій України від час повномасштабної війни призвело до формування великих площ потенційно небезпечних земель, які потребують обстеження та гуманітарного розмінування. За даними ДСНС, ориєнтовно 156 тис. км² території країни є потенційно забрудненими вибухонебезпечними предметами (ВНП) [1]. Це ставить перед операторами протимінної діяльності задачу не лише оперативного виявлення ВНП, а й побудови точних, стандартизованих карт небезпечних зон, що відповідають вимогам міжнародних стандартів IMA5 та можуть інтегруватися у національній інформаційній системі менеджменту протимінної діяльності.

Метою роботи є розробка інтелектуальної системи картографування вибухонебезпечних предметів на основі даних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та результатів глибинного навчання. Система поєднує автоматизоване виявлення ВНП за знімками з низьким перетинком [2] за допомогою сервісів глибинного навчання, та подальшу просторову аналітику в середовищі ГІС. Запропонований підхід дозволяє перетворювати множини точкових детекцій глибинної моделі [3] на структуровані полігональні представлення небезпечних зон, придатні для використання у плануванні операцій розмінування та створенні формалізованих звітів.

Вхідні дані формуються під час послідовного UAV-обстеження ділянки. Спочатку виконується ручний політ-розвідка з метою оперативного огляду місцевості, уточнення меж ділянки інтересу та фіксації потенційних ВНП. Кожен кадр містить EXIF-координати, що забезпечує базову геоприв'язку. Далі для цієї ж території виконується зйомка з підвищеним перетинком, яка слугує основою для побудови високоточної ортомозаїки в ArcGIS Pro [5].

9. Інтелектуальна система класифікації екологічних показників з урахуванням дисбалансу клавіс. **Кулішова Є. С., Калініна І. О.** *Чорноморський національний університет.*

10. Інформаційна система розпізнавання емоцій з використанням нейроної мережі. **Пятік С. П., Сіденко Є. В.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

11. Інформаційна система аналізу тенденцій зміни клімату за супутниковими даними. **Романюк А. В., Гожий В. О.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

12. Інтелектуальна система генерації зображень по текстовому опису. **Скисюк О. М., Гожий О. П.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

13. Система інтерпретації медичних діагностичних моделей на основі методів ХАІ. **Стипаненко С. В., Кондратенко Г. В., Сіденко Є. В.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

14. Інтелектуальна система керування доставкою вантажів в динамічному середовищі за допомогою БПЛА на базі Unity. **Фомченко О. В., Козлов О. В.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

15. Інтелектуальна система картографування вибухонебезпечних предметів на основі даних БПЛА та глибинного навчання. **Чупина В. Є., Сіденко Є. В.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

16. Інформаційна система з оцінки готовності старту до масштабування. **Шаврина І. О., Кулаковська І. В.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

17. Dynamic reconfiguration and task redistribution technology. **Shvets Y. O., Malakhov E. V., Odesa I. I.** *Mechnykov National University.*

18. Особливості побудови інтелектуальної системи контролю параметрів ПММ. **Шини С. І.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

19. Інтелектуальна система первинної діагностики COVID-19 на основі Naive Bayes. **Ясник О. М.** *Чорноморський національний університет ім. Петра Могили.*

20. Особливості аналізу і синтезу адаптивної подієво-орієнтованої SDN-моделі підвищення продуктивності та відмовостійкості IoT-систем. **Девятіриков Р. І., Мельничук С. В., Воробець Г. І.** *Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.*

ДОДАТОК Б

Програмний код для генерації поворотних точок

```
import arcpy
import os
from collections import defaultdict

# --- Parameters from script tool ---
in_polygons = arcpy.GetParameterAsText(0)          # Input polygon layer
declination_deg = float(arcpy.GetParameterAsText(1) or -7.0)
overwrite = arcpy.GetParameter(2)                  # Boolean
task_id = arcpy.GetParameterAsText(3)              # TaskID string

# --- ENVIRONMENT ---
arcpy.env.overwriteOutput = overwrite

# --- Helpers -----
def ensure_closed(coords):
    if not coords:
        return coords
    if coords[0] != coords[-1]:
        return coords + [coords[0]]
    return coords

def extract_rings(geom):
    rings = []
    for part in geom:
        ring = []
        for pnt in part:
            if pnt:
                ring.append((pnt.X, pnt.Y))
            else:
                if len(ring) >= 3:
                    rings.append(ensure_closed(ring))
                ring = []
        if len(ring) >= 3:
            rings.append(ensure_closed(ring))
    return rings

def shoelace_orientation(coords):
    ring = coords[:-1]
    n = len(ring)
    area2 = 0.0
    for i in range(n):
        x1, y1 = ring[i]
        x2, y2 = ring[(i + 1) % n]
        area2 += (x1 * y2 - x2 * y1)
    return "CCW" if area2 > 0 else "CW"

def build_polygon(coords, sr):
    arr = arcpy.Array([arcpy.Point(x, y) for x, y in coords])
    return arcpy.Polygon(arr, sr)

def label_point(poly):
    try:
        pt = poly.labelPoint
        if pt: return pt
    except: pass
    try:
        pt = poly.trueCentroid
```

```

        if pt: return pt
    except: pass
    ext = poly.extent
    return arcpy.Point((ext.XMin + ext.XMax) / 2.0, (ext.YMin + ext.YMax) / 2.0)

def utm_zone_number(lon):
    return int((lon + 180) // 6) + 1

def utm_band_letter(lat):
    if lat < -80 or lat > 84:
        return ""
    bands = "CDEFGHJKLMNPQRSTUVWXYZ"
    idx = int((lat + 80) // 8)
    return bands[idx]

def compute_labels(order_id, last_order):
    if order_id == 1:
        return "start_point", "SP", ("TP1" if last_order >= 2 else "SP")
    else:
        pointtype = "turning_point"
        pointname = f"TP{order_id-1}"
        topoint = f"TP{order_id}" if order_id < last_order else "SP"
        return pointtype, pointname, topoint

# --- MAIN -----

# Filter input polygons by task_id if provided
if task_id:
    query = f"lr_taskid = '{task_id}'"
    in_layer = "in_layer"
    arcpy.management.MakeFeatureLayer(in_polygons, in_layer, query)
else:
    in_layer = in_polygons

sr = arcpy.Describe(in_layer).spatialReference

# Output name: add taskID if provided
default_gdb = arcpy.env.workspace or arcpy.env.scratchGDB

safe_taskid = None
if task_id:
    safe_taskid = task_id.replace("-", "_").replace(" ", "_")
    if safe_taskid[0].isdigit():
        safe_taskid = "T" + safe_taskid
    if len(safe_taskid) > 50:
        safe_taskid = safe_taskid[:50]

base_name = os.path.basename(in_polygons)
if safe_taskid:
    base_name = f"{base_name}_{safe_taskid}_vertices"
else:
    base_name = f"{base_name}_vertices"

out_points = os.path.join(default_gdb, base_name)

# Create output feature class
arcpy.management.CreateFeatureclass(
    out_path=os.path.dirname(out_points),
    out_name=os.path.basename(out_points),
    geometry_type="POINT",
    spatial_reference=sr
)

```

```
# Base fields
arcpy.management.AddField(out_points, "PolyID", "LONG")
arcpy.management.AddField(out_points, "OrderID", "LONG")
arcpy.management.AddField(out_points, "point_description", "TEXT",
field_length=255)
arcpy.management.AddField(out_points, "parentglobalid", "GUID")

# Enrichment fields
arcpy.management.AddField(out_points, "counter", "TEXT", field_length=255)
arcpy.management.AddField(out_points, "utm_easting", "LONG")
arcpy.management.AddField(out_points, "utm_northing", "LONG")
arcpy.management.AddField(out_points, "latitude", "DOUBLE")
arcpy.management.AddField(out_points, "longitude", "DOUBLE")
arcpy.management.AddField(out_points, "gps_accuracy", "DOUBLE")
arcpy.management.AddField(out_points, "utm_zone", "TEXT", field_length=255)
arcpy.management.AddField(out_points, "task_lrp", "TEXT", field_length=25)
arcpy.management.AddField(out_points, "pointtype", "TEXT", field_length=25)
arcpy.management.AddField(out_points, "pointname", "TEXT", field_length=25)
arcpy.management.AddField(out_points, "topoint", "TEXT", field_length=10)
arcpy.management.AddField(out_points, "tbearing", "LONG")
arcpy.management.AddField(out_points, "mbearing", "LONG")
arcpy.management.AddField(out_points, "distance", "LONG")

# --- Copy polygon fields if present ---
field_lookup = {f.name.lower(): f.name for f in arcpy.ListFields(in_layer)}
use_polygon_id = "polygon_id" in field_lookup
use_global_id = "globalid" in field_lookup
use_lr_taskid = "lr_taskid" in field_lookup

search_fields = ["OID@", "SHAPE@"]
if use_polygon_id:
    search_fields.append(field_lookup["polygon_id"])
if use_global_id:
    search_fields.append(field_lookup["globalid"])
if use_lr_taskid:
    search_fields.append(field_lookup["lr_taskid"])

insert_fields = ["SHAPE@XY", "PolyID", "OrderID", "point_description",
"parentglobalid"]

poly_task_map = {}

with arcpy.da.InsertCursor(out_points, insert_fields) as icur, \
    arcpy.da.SearchCursor(in_layer, search_fields) as scur:

    for row in scur:
        idx = 0
        oid = row[idx]; idx += 1
        shape = row[idx]; idx += 1
        polygon_id_val = row[idx] if use_polygon_id else None
        if use_polygon_id: idx += 1
        polygon_gid_val = row[idx] if use_global_id else None
        if use_global_id: idx += 1
        lr_taskid_val = row[idx] if use_lr_taskid else None

        if use_lr_taskid:
            poly_task_map[oid] = lr_taskid_val

        order = 1
        rings = extract_rings(shape)
        if not rings:
```

```

        continue

    ring_objs = []
    for r in rings:
        orient = shoelace_orientation(r)
        poly = build_polygon(r, sr)
        ring_objs.append({"coords": r, "poly": poly, "orient": orient,
"area_abs": abs(poly.area)})

    outers = [ro for ro in ring_objs if ro["orient"] == "CW"]
    holes = [ro for ro in ring_objs if ro["orient"] == "CCW"]
    if not outers and holes:
        outers, holes = holes, []

    assignments = {id(o): {"outer": o, "holes": []} for o in outers}
    for h in holes:
        h_pt = label_point(h["poly"])
        cands = [o for o in outers if o["poly"].contains(h_pt)]
        if cands:
            best = min(cands, key=lambda o: o["area_abs"])
            assignments[id(best)]["holes"].append(h)

    for key in assignments:
        outer = assignments[key]["outer"]
        outer_coords = outer["coords"]
        hole_list = assignments[key]["holes"]

        for xy in outer_coords[:-1]:
            icur.insertRow([xy, oid, order, polygon_id_val, polygon_gid_val]);
order += 1

        if len(hole_list) >= 1:
            loop_xy = outer_coords[-1]
            icur.insertRow([loop_xy, oid, order, polygon_id_val,
polygon_gid_val]); order += 1

        if len(hole_list) == 1:
            for xy in hole_list[0]["coords"]:
                icur.insertRow([xy, oid, order, polygon_id_val,
polygon_gid_val]); order += 1
            elif len(hole_list) >= 2:
                for h in hole_list:
                    for xy in h["coords"]:
                        icur.insertRow([xy, oid, order, polygon_id_val,
polygon_gid_val]); order += 1
                    for i in range(len(hole_list) - 1, 0, -1):
                        back_xy = hole_list[i - 1]["coords"][0]
                        icur.insertRow([back_xy, oid, order, polygon_id_val,
polygon_gid_val]); order += 1

# --- Enrichment phase ---
WGS84 = arcpy.SpatialReference(4326)

rows = []
with arcpy.da.SearchCursor(out_points, ["OID@", "PolyID", "OrderID", "SHAPE@"],
sql_clause=(None, "ORDER BY PolyID, OrderID")) as scur2:
    for r in scur2:
        rows.append(r)

by_poly = defaultdict(list)
for oid, pid, ordv, geom in rows:
    by_poly[pid].append((oid, ordv, geom))

```

```
updates = {}
for pid, items in by_poly.items():
    items.sort(key=lambda t: t[1])
    last = items[-1][1]
    for i, (oid_row, ordv, geom) in enumerate(items):
        wgs = geom.projectAs(WGS84)
        lon = wgs.firstPoint.X
        lat = wgs.firstPoint.Y
        zone = utm_zone_number(lon)
        band = utm_band_letter(lat)
        utm_wkid = 32600 + zone if lat >= 0 else 32700 + zone
        utm_sr = arcpy.SpatialReference(utm_wkid)
        utm_pt = geom.projectAs(utm_sr).firstPoint
        easting = int(round(utm_pt.X))
        northing = int(round(utm_pt.Y))
        pointtype, pointname, topoint = compute_labels(ordv, last)
        geom_next = items[(i + 1) % len(items)][2]
        raw_deg, dist_m = geom.angleAndDistanceTo(geom_next, method="GEODESIC")
        true_deg = (raw_deg + 360.0) % 360.0
        magnetic_deg = (true_deg + declination_deg) % 360.0

        updates[oid_row] = {
            "counter": str(ordv),
            "utm_easting": easting,
            "utm_northing": northing,
            "latitude": lat,
            "longitude": lon,
            "gps_accuracy": 0.0,
            "utm_zone": f"{zone}{band}",
            "task_lrp": poly_task_map.get(pid, task_id),
            "pointtype": pointtype,
            "pointname": pointname,
            "topoint": topoint,
            "tbearing": int(round(true_deg)),
            "mbearing": int(round(magnetic_deg)),
            "distance": int(round(dist_m))
        }

with arcpy.da.UpdateCursor(out_points, [
    "OID@",
    "counter", "utm_easting", "utm_northing", "latitude", "longitude", "gps_accuracy", "utm_
zone",
    "task_lrp", "pointtype", "pointname", "topoint", "tbearing", "mbearing", "distance"
]) as ucurs:
    for row in ucurs:
        oid_row = row[0]
        vals = updates.get(oid_row)
        if not vals:
            continue
        row[1] = vals["counter"]
        row[2] = vals["utm_easting"]
        row[3] = vals["utm_northing"]
        row[4] = vals["latitude"]
        row[5] = vals["longitude"]
        row[6] = vals["gps_accuracy"]
        row[7] = vals["utm_zone"]
        row[8] = vals["task_lrp"]
        row[9] = vals["pointtype"]
        row[10] = vals["pointname"]
        row[11] = vals["topoint"]
        row[12] = vals["tbearing"]
```

```
row[13] = vals["mbearing"]  
row[14] = vals["distance"]  
ucur.updateRow(row)
```

```
arcpy.AddMessage(f"    r Finished creating enriched vertices-to-points at  
{out_points}")
```