

**К. Ю. Мамедова<sup>1</sup>, С. В. Щур<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Україна

Проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056

<sup>1</sup>[e.mamedova.2023@gmail.com](mailto:e.mamedova.2023@gmail.com)

<sup>2</sup>[sofiaschur04@gmail.com](mailto:sofiaschur04@gmail.com)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0666-5009>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0009-3154-6800>

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ З ВИСОКИМ РИЗИКОМ МІННОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ІНФОРМУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ**

**K. Mamedova<sup>1</sup>, S. Shchur<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

37, Prospect Beresteyskiy Kyiv, 03056

<sup>1</sup>[e.mamedova.2023@gmail.com](mailto:e.mamedova.2023@gmail.com)

<sup>2</sup>[sofiaschur04@gmail.com](mailto:sofiaschur04@gmail.com)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0666-5009>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0009-3154-6800>

## **INTELLECTUAL INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING TERRITORIES WITH HIGH RISK OF MINE HAZARD FOR INFORMING THE POPULATION**

**Анотація.** У статті досліджується актуальне питання розробки та впровадження автоматизованих засобів для проведення гуманітарного розмінування територій, що постраждали внаслідок збройної агресії. Авторами запропоновано концепцію інтелектуальної системи, яка базується на поєднанні технологій комп’ютерного зору та безпілотних авіаційних платформ. Основна увага приділена архітектурі програмного комплексу, що дозволяє здійснювати моніторинг потенційно небезпечних ділянок у режимі реального часу без безпосереднього залучення фахівців до зони ризику. Проаналізовано сучасний стан забруднення українських земель вибухонебезпечними об’єктами та обґрунтовано необхідність переходу від ручних методів обстеження до дистанційних інтелектуальних рішень. Описана система включає модулі збору геопросторових даних, семантичного аналізу зображень та класифікації виявлених загроз. Очікується, що впровадження таких технологій дозволить значно скоротити час на первинне нетехнічне обстеження територій та мінімізувати загрозу життю саперів. Результати роботи можуть бути використані підрозділами ДСНС та міжнародними організаціями з протимінної діяльності.

**Ключові слова:** штучний інтелект, комп’ютерний зір, гуманітарне розмінування, безпілотні літальні апарати, автоматизація моніторингу, небезпечні об’єкти, геоінформаційні системи.

**Abstract.** The article explores the pressing issue of developing and implementing automated tools for humanitarian demining in territories affected by armed aggression. The authors propose a concept for an intelligent system based on the combination of computer vision technologies and unmanned aerial platforms. Primary focus is given to the software complex architecture, which enables real-time monitoring of potentially hazardous areas without direct specialist involvement in high-risk zones. The current state of Ukrainian land contamination by explosive objects is analyzed, justifying the transition from manual survey methods to remote intelligent solutions. The described system includes modules for geospatial data collection, semantic image analysis, and classification of detected threats. Implementing such technologies is expected to significantly reduce the time required for primary non-technical territorial surveys and minimize the life risks for deminers. The study's results can be utilized by State Emergency Service units and international mine action organizations.

**Keywords:** artificial intelligence, computer vision, humanitarian demining, unmanned aerial vehicles, monitoring automation, hazardous objects, geoinformation systems.

## **Вступ**

Проблема безпеки територій, що зазнали тривалих бойових дій, на сьогодні є однією з найбільш критичних для сталого розвитку України. Масштабне забруднення земель залишками засобів ураження, мінними полями та нездетонованими снарядами створює безпрецедентний виклик для екологічної, продовольчої та соціальної безпеки держави. За попередніми оцінками міжнародних експертів, значна частина сільсько-господарських угідь та лісових масивів наразі вилучена з господарського обігу через високу ймовірність наявності вибухонебезпечних предметів (ВНП).

Традиційні підходи до розмінування, що ґрунтуються на ручному обстеженні за допомогою металошукачів та залученні спеціально навчених тварин, демонструють недостатню ефективність в умовах сучасного масштабу забруднення. Такі методи є надзвичайно тривалими, дорогими та, що найважливіше, несуть пряму загрозу життю персоналу. Саме тому розробка інтелектуальних систем автоматизованого моніторингу та дистанційного виявлення загроз є безальтернативним шляхом прискорення процесів відновлення безпечного життєвого середовища.

## **Аналіз публікацій та постановка задачі**

Проблема виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів в умовах сучасних збройних конфліктів стимулювала появу низки цифрових ініціатив. Детальний аналіз існуючого програмного забезпечення демонструє, що наразі на ринку домінують переважно інформаційно-довідкові системи та базові інструменти для односторонньої комунікації громадян із державними службами [1].

Зокрема, мобільний застосунок «MineFree» [2] забезпечує цивільне населення можливістю надсилати дані про підозрілі знахідки, прикріплюючи фотоматеріали та координати глобального позиціонування. Програма містить вбудовану картографічну основу та базу

знань, проте її ключовим недоліком є повна відсутність алгоритмів автоматичного семантичного розпізнавання зображень. Уся відповідальність за верифікацію загрози лягає на оператора.

Інша державна платформа «Розмінуємо Україну» [3] фокусується переважно на статистичному обліку. Її функціонал зводиться до ведення реєстрів операторів протимінної діяльності, публікації офіційних зведень та надання інформації щодо компенсаційних механізмів. Ця система взагалі не передбачає інтерактивної взаємодії з користувачем у форматі подачі оперативних повідомлень із місця подій.

Схожі обмеження притаманні й сервісу «Розмінування України», який, хоча й дозволяє переглядати зони потенційної небезпеки та містить інструкції з безпечної поведінки, не здатен здійснювати автоматизовану оцінку ризиків чи машинну класифікацію знайдених боєприпасів.

Отже, існуючі рішення [4] працюють здебільшого як статичні цифрові довідники або прості форми зворотного зв'язку. Тому виникає гостра необхідність розробки інтелектуального продукту нового покоління.

**Постановка задачі:** метою даного дослідження є проектування та програмна реалізація комплексної веб-орієнтованої інформаційної системи (включаючи клієнтський PWA-застосунок та серверну частину), яка б дозволила не лише збирати просторові дані про загрози, але й автоматично класифікувати типи боєприпасів за допомогою згорткових нейронних мереж, розраховувати зони ураження інструментами геоаналітики та здійснювати превентивне інформування населення за допомогою геолокаційних push-сповіщень.

## **Мета роботи**

Метою даного дослідження є проектування та опис функціональної структури автоматизованої інформаційної системи, призначеної для дистанційного відстеження та ідентифікації підозрілих

предметів на територіях із мінною небезпекою. Проєкт спрямований на підвищення оперативності збору даних про стан забруднених ділянок та зниження ризиків для спеціалістів, що здійснюють гуманітарне розмінування.

### **Розвиток концепції регіональних ситуаційних центрів у контексті гуманітарного розмінування та моніторингу територій**

Актуальність розробки інтелектуальних систем моніторингу територій з високим ризиком мінної небезпеки обумовлена не лише технічними викликами, а й необхідністю створення цілісної організаційної структури управління даними. У цьому контексті запропонована система є логічним розвитком та спеціалізованим розширенням концепції інтелектуальної системи «CONTROL\_TEE», що базується на створенні регіональних ситуаційних центрів (РСЦ) із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [5, 6, 7, 8].

### **1. Організаційна синергія та архітектурна інтеграція**

Згідно з концепцією, викладеною в роботі [1], регіональний ситуаційний центр виступає як координаційна ланка між замовниками (державними структурами, ДСНС, муніципалітетами) та виконавцями (групами БПЛА та роботизованими комплексами). Впровадження інтелектуальної інформаційної системи моніторингу мінної небезпеки в архітектуру РСЦ дозволяє трансформувати ситуаційний центр з інструменту загального спостереження на спеціалізований орган управління безпекою територій.

У цій ієрархії система «CONTROL\_TEE» забезпечує загальну інфраструктуру: сховища даних, сертифікацію БПЛА та протоколи обміну інформацією в межах «Smart City» або «Smart Region». Натомість, інтелектуальна система моніторингу мінної небезпеки виступає як цільовий аналітичний модуль, що спеціалізується на розпізнаванні патернів забруднення територій та

ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

### **2. БПЛА як засіб оперативного збору даних та розпізнавання образів**

Використання БПЛА як основних виконавців у структурі РСЦ [6] створює технічну базу для гуманітарного розмінування. Автоматизований моніторинг, що здійснюється за допомогою дронів, інтегрованих у систему «CONTROL\_TEE», дозволяє отримувати мультиспектральні зображення високої роздільної здатності. Це є критично важливим для процесів розпізнавання образів, де на основі сучасних алгоритмів машинного зору проводиться детектування мін, нерозірваних боєприпасів та ознак мінування (зміна рельєфу, деформація рослинного покриву тощо).

Інтеграція системи моніторингу в РСЦ дозволяє реалізувати двосторонній зв'язок: ситуаційний центр формує польотні завдання на основі звернень населення або даних інтерактивних карт, а БПЛА, виконуючи сканування, передають дані у реальному часі для подальшої обробки інтелектуальною підсистемою.

### **3. Соціально-економічне значення в умовах воєнного та післявоєнного стану**

В період відновлення, безпека територій є першочерговою умовою ревіталізації народного господарства. Величезні площі сільськогосподарських угідь, лісових масивів та житлових районів залишаються забрудненими вибухонебезпечними предметами.

Використання регіональних ситуаційних центрів як хабів для моніторингу мінної небезпеки дозволяє:

1) забезпечити безпеку повернення населення: шляхом оперативного інформування через мобільні додатки (MineFree) та оновлення загальнодоступних карт;

2) відновити агропромисловий комплекс: систематичне обстеження полів за допомогою БПЛА, інтегрованих у систему «CONTROL\_TEE», значно пришвидшує

процес сертифікації земель як безпечних для обробки;

3) підвищити економічну ефективність: автоматизація моніторингу знижує ризику для життя професійних саперів та зменшує вартість первинного нетехнічного обстеження територій.

Таким чином, запропонована система моніторингу мінної небезпеки не є автономним інструментом, а виступає критично важливим елементом глобальної цифрової трансформації регіональної безпеки. Вона демонструє практичне застосування теорії ситуаційного управління для вирішення найбільш гострої проблеми сучасної України – очищення територій від наслідків бойових дій.

### **Опис програмної реалізації та роботи системи**

Запропонований програмний комплекс функціонує як багаторівнева система обробки інформації. На першому етапі здійснюється завантаження та препроцесинг візуальних даних, отриманих з безпілотних авіаційних платформ, оснащених камерами високої роздільної здатності або тепловізорними сенсорами.

Основні етапи роботи алгоритму:

1) геопросторова прив'язка: кожен кадр або відеопотік проходить процедуру реєстрації координат, що дозволяє точно визначити місцезнаходження виявленого об'єкта на цифровій мапі;

2) інтелектуальний аналіз: використовується навчена нейронна мережа для виявлення ознак, характерних для типових ВВП (протитанкові міни, артилерійські снаряди, гранати). Система автоматично сегментує зображення, виділяючи області інтересу;

3) візуалізація та звітність: програма формує інтерактивну карту забруднення, де об'єкти маркуються за рівнем небезпеки, – користувач (сапер або аналітик) отримує доступ до детальної інформації про кожен зафіксований об'єкт через зручний веб-інтерфейс.

Завдяки використанню сучасних бібліотек обробки зображень, система здатна функціонувати навіть при обмежених обчислювальних ресурсах на

мобільних станціях моніторингу, що дозволяє розгортати її безпосередньо в польових умовах.

Для забезпечення високої продуктивності та масштабованості програмного комплексу було обрано сучасну клієнт-серверну парадигму на базі MERN-стеку. Клієнтська частина реалізована у вигляді прогресивного веб-застосунку (PWA) з використанням бібліотеки React, що гарантує кросплатформність та можливість роботи в умовах нестабільного інтернет-з'єднання. Серверна логіка побудована на середовищі Node.js із фреймворком Express.js, а для збереження неструктурованих даних (профілів користувачів, логів заявок) застосовано документо-орієнтовану базу даних MongoDB.

Для наочної демонстрації взаємодії між модулями системи, хмарними сервісами та базою даних на рисунку 1 наведено UML-модель.

Як видно зі схеми рисунку 1, серверна частина виступає інтеграційним ядром, яке маршрутизує запити до зовнішніх інтелектуальних API: моделі машинного зору YOLO12, геокодера Google Maps API та просторового аналізатора Turf.js.

### **Інтелектуальний модуль розпізнавання загроз**

Ключовою науковою новизною системи є впровадження підсистеми комп'ютерного зору для автоматичної ідентифікації типів вибухонебезпечних предметів. Як базову архітектуру було обрано згорткову нейронну мережу YOLO12-m (середнього розміру), яка демонструє оптимальний баланс між швидкістю інференсу та точністю детекції. Модель пройшла етап донавчання (transfer learning) на вузькоспеціалізованому датасеті зображень боєприпасів, підготовленому в середовищі Roboflow.

В роботі наведено графіки ефективності навчання моделі (втрати обмежувальної рамки, втрати класифікації, точність та повнота), математично ці метрики спираються на матрицю помилок (Confusion Matrix).

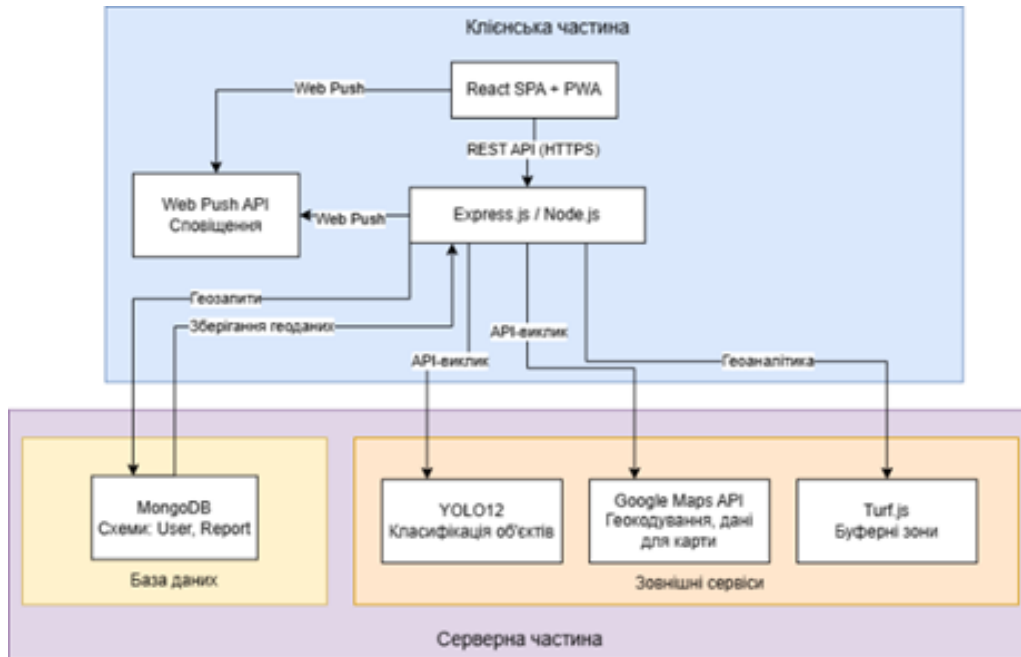


Рис. 1. Концептуальна архітектура та схема інформаційної взаємодії компонентів роботизованої системи моніторингу

Ефективність класифікації кожного типу боєприпасу оцінюється за допомогою F1-міри, яка є гармонічним середнім між точністю (Precision) та повнотою (Recall):

$$F_1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (1)$$

де  $Precision = \frac{TP}{TP + FP}$ ,

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

( $TP$  – істинно позитивні,  $FP$  – хибно позитивні,  $FN$  – хибно негативні спрацювання мережі).

Динаміку цих показників у процесі тренування мережі відображено на графіках рисунку 2.

Інтеграція моделі в серверне середовище дозволяє системі в режимі реального часу обробляти завантажені користувачем фотографії та повертати передбачений клас об'єкту разом із коефіцієнтом впевненості (Confidence Score). Приклад інтерфейсу застосунку показано на рисунку 3.

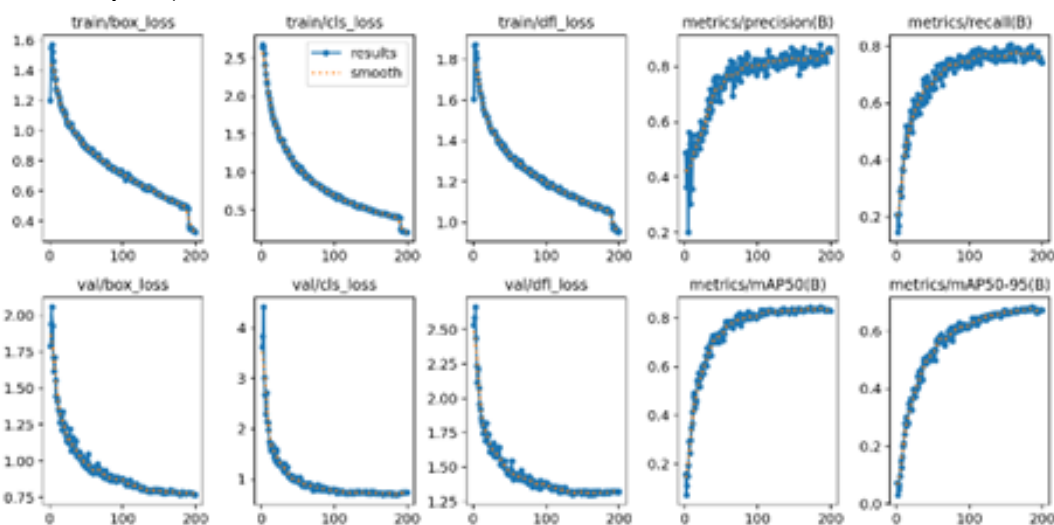


Рис. 2. Динаміка функцій втрат (Loss) та ключових класифікаційних метрик під час тренування нейромережевої моделі YOLO12-m

### Модуль просторової геоаналітики та візуалізації

Просторовий аналіз та картографічна візуалізація реалізовані за допомогою бібліотек React Leaflet та Turf.js. Кожна підтверджена заявка трансформується у

просторовий об'єкт на карті. Для забезпечення безпеки цивільного населення система автоматично (або за участі оператора) розраховує буферні зони ураження.

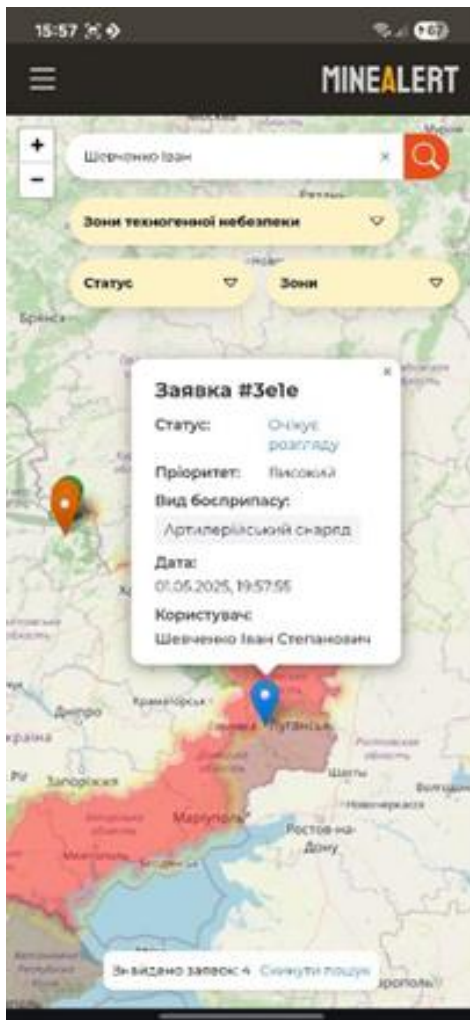


Рис. 3. Результат роботи модуля комп'ютерного зору: успішна ідентифікація протитанкової міни з розрахунком рівня впевненості

Алгоритми формування зон небезпеки поділяються на два типи:

1) радіальні буфери: застосовуються для поодиноких об'єктів, – система формує два концентричні кола: зону гарантованого ураження та зону можливого розльоту уламків (встановлюється в метрах залежно від класифікованого типу боєприпасу);

2) полігональні масиви: використовуються у випадку фіксації замінованих полів або масового скупчення залишків ракетно-артилерійського озброєння, – за допомогою алгоритмів Turf.js адміністратор створює

складний полігон навколо небезпечної локації.

Процес формування та редагування полігональної зони високого ризику в адміністративній панелі системи показано на рисунку 4.

Крім того, система інтегрує додаткові інформаційні шари: зони хімічного та радіаційного забруднення, рівні руйнування інфраструктури, а також геополітичні дані з відкритого API DeepState (відображення ліній зіткнення та окупованих територій).

### **Система автентифікації та превентивного оповіщення**

З огляду на критичність інформації, система вимагає суворої ідентифікації користувачів. Реєстрація та вхід реалізовані через інтеграцію з державним сервісом BankID НБУ. Це повністю виключає

можливість масового генерування фейкових повідомлень ботами та підвищує загальний рівень довіри до зібраних просторових даних. Захист сесій забезпечується технологією JSON Web Tokens (JWT).

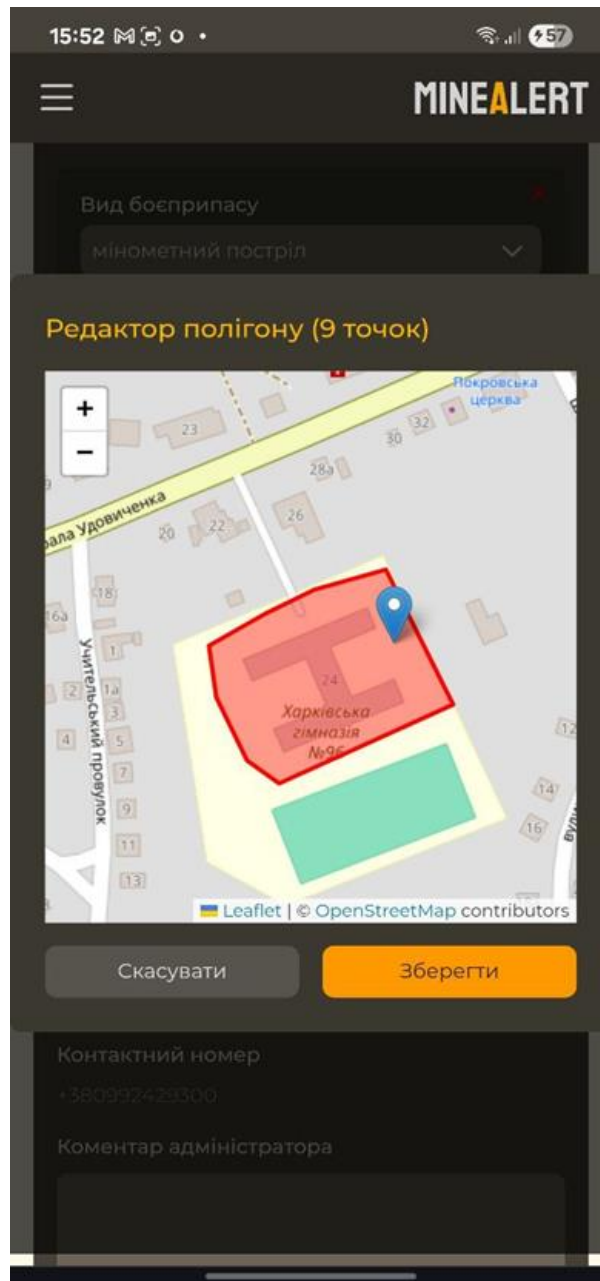


Рис. 4. Приклад редагування полігону

Однією з найважливіших функцій є система превентивного інформування на базі Web Push API та технології Service Worker. Застосунок у фоновому режимі відстежує координати пристрою користувача (за умови надання відповідних дозволів). Якщо алгоритм фіксує перетин

координат користувача із розрахованим полігоном небезпеки або наближення до нього на критичну відстань, система негайно генерує push-сповіщення на екран мобільного пристрою (рисунок 5).

Розроблено особистий кабінет користувача для керування параметрами фонових геолокаційних push-сповіщень.

Такий підхід трансформує застосунок із пасивного інструменту збору даних в активну систему порятунку життів, що діє на випередження.

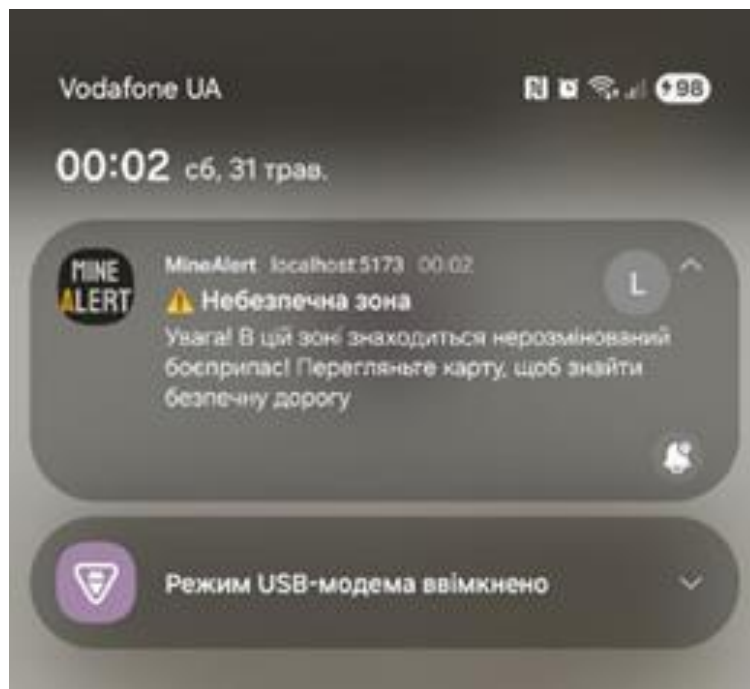


Рис. 5. Приклад push-сповіщення на екрані мобільного пристрою

### **Висновки**

Проведене дослідження підтверджує, що інтеграція технологій штучного інтелекту в процеси гуманітарного розмінування є критично необхідною для вирішення проблеми мінного забруднення в Україні. Розроблена концепція автоматизованого моніторингу як складова мережі РСЦ інтелектуальної системи «Управління\_ТЕП» демонструє потенціал до значного прискорення обстеження великих територій.

Основними перевагами запропонованого підходу є:

- 1) повна дистанційність процесу первинного виявлення, що гарантує безпеку персоналу;
- 2) висока деталізація та точність фіксації координат небезпечних об'єктів;
- 3) можливість створення єдиної бази даних для стратегічного планування очищення земель.

Подальші кроки у цьому напрямку передбачають вдосконалення алгоритмів розпізнавання об'єктів, що знаходяться під шаром ґрунту або густою рослинністю, а

також інтеграцію мультиспектральних сенсорів у апаратну частину комплексу.

### **Література**

1. Про протимінну діяльність в Україні: Закон України від 06.12.2018 № 2642-VIII. Відомості Верховної Ради України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19>
2. Мобільний застосунок MineFree для інформування про мінну небезпеку. <https://www.minefree.info/>
3. Програма «Розмінуємо Україну». Міністерство економіки України. <https://demine.gov.ua/>
4. Інтерактивна мапа територій, що потребують розмінування. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. <https://mine.dsns.gov.ua/>
5. Писаренко Ю. В., Мелкумян К. Ю., Варава, І. А., Коваль О. С., Чумакова Н. Ф. Про організацію регіональних ситуаційних центрів інтелектуальної системи «CONTROL\_TEA» з використанням БПЛА // Штучний інтелект. – 2022. – 1. – С. 275-281. <https://doi.org/10.15407/jai2022.01.275>.
6. J. Pisarenko, and E. Melkumyan, The Structure of the Information Storage "CONTROL\_TEA" for UAV Applications, IEEE 5th International Conference "Actual Problems of Unmanned Aerial

Vehicles Developments (APUAVD)" (October 22-24, 2019), pp.274–277.  
<https://doi.org/10.1109/APUAVD47061.2019.8943938>.

7. Писаренко В.Г., Ногін М.В., Крячок О.С., Писаренко Ю.В., Варав І.А., Коваль О.С. Про комплексні інтелектуальні технології управління техно-екологічними подіями в акваторії // Ж. «Проблеми програмування». – 2022. – № 3-4. Спеціальний випуск. – С. 437-445.  
<https://doi.org/10.15407/pp2022.03-04.437>.

8. Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Гульчак О.Е., Чоботок Т.І., Бойко А.Г. Практичний досвід створення технічних систем з елементами штучного інтелекту // «Штучний інтелект». – №1. – 2021. – 26(2). – С. 95-101.  
<https://doi.org/10.15407/jai2021.01.095>

### References

1. On mine action in Ukraine: Law of Ukraine dated 06.12.2018 No. 2642-VIII. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19>.

2. Mobile application MineFree for informing about mine danger.  
<https://www.minefree.info/>

3. The program "Demining Ukraine". Ministry of Economy of Ukraine.  
<https://demine.gov.ua/>

4. Interactive map of territories requiring demining. State Emergency Service of Ukraine.  
<https://mine.dsns.gov.ua/>

5. Pysarenko, Y. V., Melkumyan, K. O., Varava, I. V., Koval, O. S., & Chumakova, N. F. (2022). On the organization of regional situational centers of the intellectual system "CONTROL\_TEA" using UAVs. *Artificial Intelligence*, (1), PP. 275-281.

<https://doi.org/10.15407/jai2022.01.275>

6. Pisarenko, J., & Melkumyan, E. (2019). The structure of the information storage "CONTROL\_TEA" for UAV applications. *IEEE 5th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, 274–277.

<https://doi.org/10.1109/APUAVD47061.2019.8943938>.

7. V.G. Pisarenko, N.V. Nogin, A.S. Kryachok, J.V. Pisarenko, I.A. Varava, A.S. Koval. (2022) About complex intelligent technologies for techno-ecological events control in the water area. *Prombles in programming*, 3-4, PP. 437-445.

<https://doi.org/10.15407/pp2022.03-04.437>

8. V.G. Pisarenko, J.V. Pisarenko, O.E. Gulchak, T.I. Chobotok, A.G. Boyko. (2021) Practical experience in the technical systems creating with the artificial intelligence elements. *Artificial Intelligence*, (1), PP. 95-101.

<https://doi.org/10.15407/jai2021.01.095>

The article has been sent to the editors 18.05.26.

After processing 28.05.26.

Submitted for printing 30.06.26

Copyright under license CCBY-SA4.0.