

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ РОЗТАШУВАННЯ МІН

У статті розглядається проблема виявлення та аналізу розташування мін на території мінних полів. Запропоновано інтелектуальну систему, яка спрямована на підвищення безпеки під час розмінування. Для аналізу мінного поля розглядається нова інтелектуальна інформаційно-вимірвальна система. Ця система базується на використанні георадарів (БПЛА з датчиками), які забезпечують постійний моніторинг навколишнього простору. Аналіз поверхні відбувається за виміром електромагнітних хвиль високої роздільної здатності та інфрочервоного випромінювання. Розпізнавання мін відбувається за допомогою інтелектуальних методів. Під час розробки інтелектуальної системи велика увага приділяється підвищенню точності виявлення мін та інших загроз. Для досягнення цієї мети використовується машинне навчання. Це дозволяє оперативно виявляти міни та інші загрози, пов'язані з мінно-вибуховими пристроями.

Основна увага приділяється розробці алгоритмів обробки та аналізу даних, отриманих від датчиків. Обробка інформації з георадарів дозволяє операторам оперативно приймати рішення щодо маршрутів руху та заходів безпеки. Завдяки використанню георадарів та аналізу даних, отриманих від них, можливо збільшити швидкість та точність розмінування, знизити ризик вибухів та оптимізувати використання ресурсів саперних підрозділів. Висвітлено також питання інтеграції даної системи з існуючими інформаційними системами та можливістю подальшого їх розвитку.

Запропонована система дозволяє зменшити час на розмінування, що критично важливо в умовах активних бойових дій. Впровадження цієї технології сприятиме збереженню життів військових та цивільних осіб, що знаходяться в зоні конфлікту. Ця система може стати важливим кроком у забезпеченні безпеки військових підрозділів та допоможе покращити їхню боєдатність у сучасних умовах збройного конфлікту.

Ключові слова: інтелектуальна система, міни, георадар, аналіз даних, дерево прийняття рішень.

Вступ. На сьогоднішній день у нашій країні пошук мін є важливим та актуальним науково-прикладним завданням. Після українського контрнаступу літом минулого року військові та аналітики виділяють одну з основних проблем, що виникли перед ЗСУ: території перед російськими позиціями щільно заміновані, а українським військовим не вистачає спецтехніки для розчищення полів. "Не вдасться просто домогтися чогось тільки за допомогою танка та броні, тому що мінні поля занадто великі. Рано чи пізно танк зупиниться і буде знищений сконцентрованим вогнем", - пояснював в інтерв'ю The Washington Post колишній головнокомандувач ЗСУ генерал Валерій Залужний. "Наше просування справді йде не так швидко, як хотілося б. Ми хотіли б отримати дуже швидкі результати. Але насправді це практично неможливо", - зізнався в інтерв'ю ВВС главнокомандувач Олександр Сирський, також зазначивши велику кількість мінних полів на сході та півдні України. За різними оцінками, на Запорізькому напрямку густина мін сягає близько 1500 штук на квадратний кілометр [1]. Відомо, що пошук мін дуже затратний і пов'язані з ризиком життя людей, а помилки, допущені саперами, можуть призвести до великих втрат особового складу. На даний час процес пошуку мін переважно здійснюється традиційними методами за допомогою ручного мінного шукача чи механізованих тралів. Однак, застосування цих технічних засобів супроводжується тривалістю процесу розмінування та ризиком для життя водіїв тралів та саперів. Тому, в умовах великих втрат військових на мінних полях та великої кількості мін, розробка інформаційно-вимірвальної системи пошуку мін є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Загалом на сьогоднішній день відсутні універсальні способи пошуку мін. Кожен технічний спосіб пошуку мін вимагає відповідної підтримки дії оператора

(сапера). На цьому етапі інтелектуальні системи розпізнавання та класифікації мін перебувають на стадії розробки та випробування у низці зарубіжних країн. Такі системи у переважній більшості є секретними, а алгоритм їх роботи є закритим. Інтелектуальних систем вимірювання та аналізу даних мінних полів у нашій країні поки що немає. Сфера автономного виявлення мін потребує створення інтелектуальних систем пошуку, які поєднують технологію безпілотних систем (БПЛА) з спеціальними датчиками та платформу інтерфейсу для оператора (експертної системи), яка діє на основі методів штучного інтелекту.

Аналіз публікації. Аналіз останніх відкритих публікації показує перспективний напрямок у пошуку мін з використанням БПЛА. Так, польський благодійний фонд Fundacja POSTUP провів під Києвом тестування нової технології ідентифікації мін та вибухових предметів за допомогою БПЛА. Ця система сканування мін, вибухонебезпечних об'єктів називається магнітометр, який використовується разом з комерційним дроном Agras T16. За словами розробників, до БПЛА вставляється магнітометр - карбонова палиця довжиною трохи більше метра, на кінцях якої знаходяться два сенсори. Ці сенсори працюють із частотою 200 Гц. Коли БПЛА злітає, то магнітометр опускається на відстань приблизно два метри від нього. Це також дозволяє тримати найнижчу відстань від магнітометра до поля. Тобто, сам дрон літає на висоті трьох метрів від землі, а магнітометр знаходиться на відстані 0,3-0,7 метра від міноного поля. Засновник фонду "POSTUP" повідомив, що дані пишуться не лише з магнітометра, а й з БПЛА. Інформація з цих двох пристроїв заноситься у комп'ютер і обробляється [2]. Однак, на думку авторів, у якості недоліків даної системи можна вказати великі похибки, які пов'язані з впливом металевих елементів самого БПЛА на отримані результати та мала відстань знаходження його від землі, що небезпечно для літального апарату. Тому пошук нових технологій ефективного розмінування залишається актуальним завданням в умовах війни в нашій країні.

Разом з тим, аналіз відкритих наукових публікацій [2 - 4] дозволяє зробити низку гіпотез про перспективність впровадження методів інтелектуального аналізу даних та машинного навчання в інформаційно-вимірювальні системи оцінки параметрів ґрунту мінних полів, розміру мін та глибини їх залягання.

Виклад основного матеріалу. Наукова новизна запропонованої прикладної та подальшої експериментальної розробки полягатиме у синтезі методів активного зондування поверхні із застосуванням електромагнітних хвиль (надсмугових зондувальних сигналів) та інфрачервоного випромінювання (температурних полів) у процесах пошуку вторинних факторів, що супроводжують пошук мін у поверхневому шарі ґрунту землі. Передбачається, що отримані дані будуть аналізуватись інтелектуальною системою розпізнавання (програмний інтерфейс експертної системи на основі нечіткої логіки та нейронних мереж).

У [5] пропонується підхід до інформаційно-інтелектуального пошуку мін за допомогою спостереження з БПЛА за допомогою встановленому на ному георадару. Для отримання зображень мін розглядається нова інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система аналізу і контролю температурної поверхні ґрунту мінного поля за допомогою інфрачервоного випромінювання, а також система з антен для виміру електромагнітних хвиль високої роздільної здатності. Датчики температури поверхні ґрунту та антени георадару встановлені на БПЛА.

На сьогоднішній день існують георадари, які використовуються в сільському господарстві для аналізу температури і вологості ґрунту або в системах діагностики технічного стану трубопроводів у комунальному господарстві. Дані пристрої оснащені окремими сенсорами і працюють над суто цивільними завданнями. Автори пропонують використовувати аналогічний пристрій зарубіжного виробника з оснащенням його додатковими датчиками та алгоритмами розпізнавання мін.

Принцип дії запропонованої системи полягає в тому, що при пошуку мін георадаром встановленому на БПЛА з датчиками, об'єктом пошуку є ділянка ґрунту мінного поля, яка характеризується певним просторовим розподілом відбитого електромагнітного поля та температури. Однак, на характеристики відбитого магнітного поля впливають не тільки міни, а й сторонні об'єкти, наприклад, уламки, каміння і т. п. Основна проблема, що стоїть перед оператором, полягає в розпізнаванні мін від інших предметів на мінному полі. Це завдання

можна вирішити шляхом автоматичного розпізнавання за допомогою інтелектуальних методів, а також людини-експерта. Для вирішення завдань розпізнавання мін спочатку пропонується провести серію експериментів на полігоні або лабораторії. Перед початком пошуку мін у пам'яті георадара розміщують радіолокаційні образи мін та характеристики ґрунту в районі пошуку. Антена георадара випромінює сигнал, приймає відображення та порівнює амплітуду відгуку із встановленим порогом виявлення (еталонним значенням, яке визначено у лабораторії). При порівнянні встановленого порога, контролер повідомляє оператору на екрані комп'ютера інформацію про схожість. Далі процес зондування повторюється до повної класифікації предмета. Другою ознакою розпізнавання є різниця температури ґрунту землі з міною і без неї. За наявності металеві міни температура ґрунту буде значно відрізнятися. Тому дані від датчика температури також враховуватимуться інтелектуальною системою. Ще однією важливою ознакою розпізнавання міни може бути її розмір (діаметр від 20 - 35 см), глибина залягання (15 – 30 см) та форма (коло, прямокутник, пелюстка). Ці показники також можна визначити за допомогою георадарів та програми для зондування Planner [6]. Таким чином, пропонується проведення серії експериментів із запам'ятовування еталонних даних (електромагнітних коливань, температури, розміру та глибини залягання) для навчання інтелектуальної системи розпізнавання піхотних та протитанкових мін. Програма розпізнавання працюватиме з урахуванням методів навчання нейронних мереж із вчителем [7].

Імітаційний експеримент. Для проведення імітаційного експерименту використовують дані [6]. Технологія, що використовується георадаром, являє собою високочастотний (від 10 МГц до 1000 МГц) діапазон електромагнітних хвиль високої роздільної здатності для отримання зображень ґрунтів і підземних структур. Антена використовується для передачі та відновлення радіолокаційних імпульсів, що генеруються генератором імпульсів. Потім відбитий імпульс обробляється для отримання зображень профілю ґрунту.

Основне застосування - це отримання зображень профілю ґрунту та визначення розташування мін. Георадар забезпечує високу роздільну здатність зображення ґрунтового профілю та карти. Згідно з проведеним аналізом (рис.1) для розпізнавання мін за аналізованими параметрами (глибина залягання та розмір міни) підходить георадар марки Raptor з частотою 170 МГц. [8].

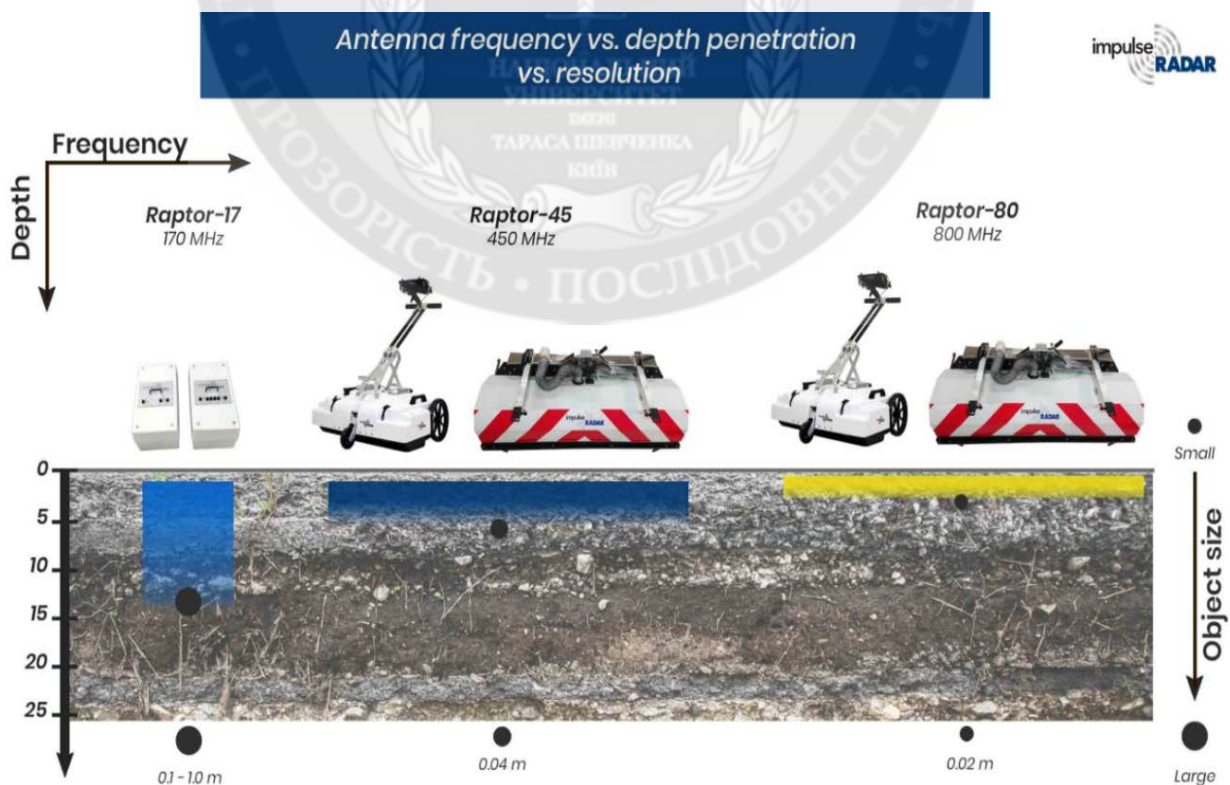


Рисунок 1 - Порівняльний аналіз запропонованих рішень

Пропонується проведення віртуального експерименту у програмі інтелектуального аналізу даних Orange [7] з метою розробки та перевірки експертної системи класифікації даних, отриманих за допомогою БПЛА (георадару). Із застосуванням інформації щодо результатів зондування антени георадару над підземними об'єктами (аналіз розташування трубопроводів) було отримано знімок георадару, наведений на рис. 2. На рисунку виділено об'єкти, придатні для розробки та навчання інтелектуальної системи розпізнавання мін. Об'єкти, що підходять під основні критерії піхотних і протитанкових мін (глибина залягання, розмір і форма), виділені колом (1) (див. рис.2). Об'єкти, що відрізняються від критеріїв, виділені прямокутником (2).

Аналітична система Orange – це програма з відкритим вихідним кодом для машинного навчання та візуалізації даних, що має великий набір дослідницьких функцій. Програмний продукт Orange, що розробляється Лабораторією біоінформатики Люблянського університету, призначена для інтелектуального аналізу даних, статистичних досліджень та візуалізації даних [9].

Метою моделювання є створення експертної системи класифікації об'єктів, пред'явлених до аналізу, за критеріями, знайденими за допомогою георадару: розмір, глибина залягання, форма, температура. На початковому етапі система, що розробляється, використовує алгоритми дерева рішень і логістичної регресії [10,11].

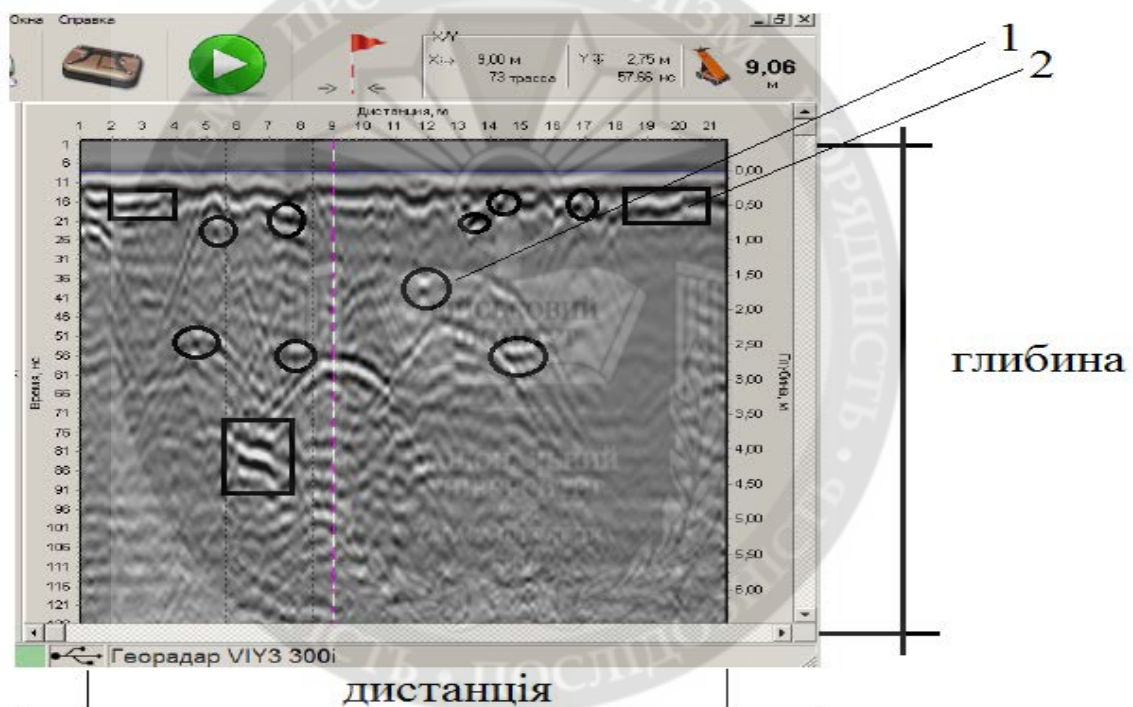


Рисунок 2 - Знімок георадару під час аналізу підземних комунікацій

Дерево прийняття рішень (також називають деревом класифікації або регресійним деревом) – засіб підтримки прийняття рішень, що використовується в машинному навчанні, аналізі даних та статистиці. Структура дерева є "листя" та "гілки". На ребрах ("гілках") дерева рішення записані ознаки, від яких залежить цільова функція, на "листях" записані значення цільової функції, а інших вузлах – ознаки, за якими відрізняються випадки. Щоб класифікувати новий випадок, треба спуститись по дереву до листа і видати відповідне значення [10]. Подібні дерева рішень широко використовують у інтелектуальному аналізі даних. Мета полягає в тому, щоб створити модель, яка передбачає значення цільової змінної на основі декількох змінних на вході. Кожен лист є значення цільової змінної, зміненої в ході руху від кореня по ребрах дерева до листа. Кожен внутрішній вузол зіставляється з однією з вхідних змінних. В інтелектуальному аналізі даних дерева рішень можуть бути використані як математичні та

обчислювальні методи, щоб допомогти описати, класифікувати і узагальнити набір даних, які можуть бути записані наступним чином:

$$(x, Y) = (x_1, x_2, \dots, x_n, Y).$$

Залежна змінна Y є цільовою змінною (міна), яку необхідно проаналізувати, класифікувати та узагальнити. Вектор x складається з вхідних змінних x_n (розмір, глибина залягання, форма, температура), які використовуються для виконання цього завдання.

Для аналізу вхідної інформації складено програму бінарної класифікації з алгоритмом дерева рішень (рис.3)

На початковому етапі була розроблена база даних (рис.4) на основі інформації про характеристики піхотних (типів ОЗМ, ПФМ, МОН, ПМН) та протитанкових мін (тип ТМ 57, М 21, М 15), що використовуються армією країни-агресора [12].

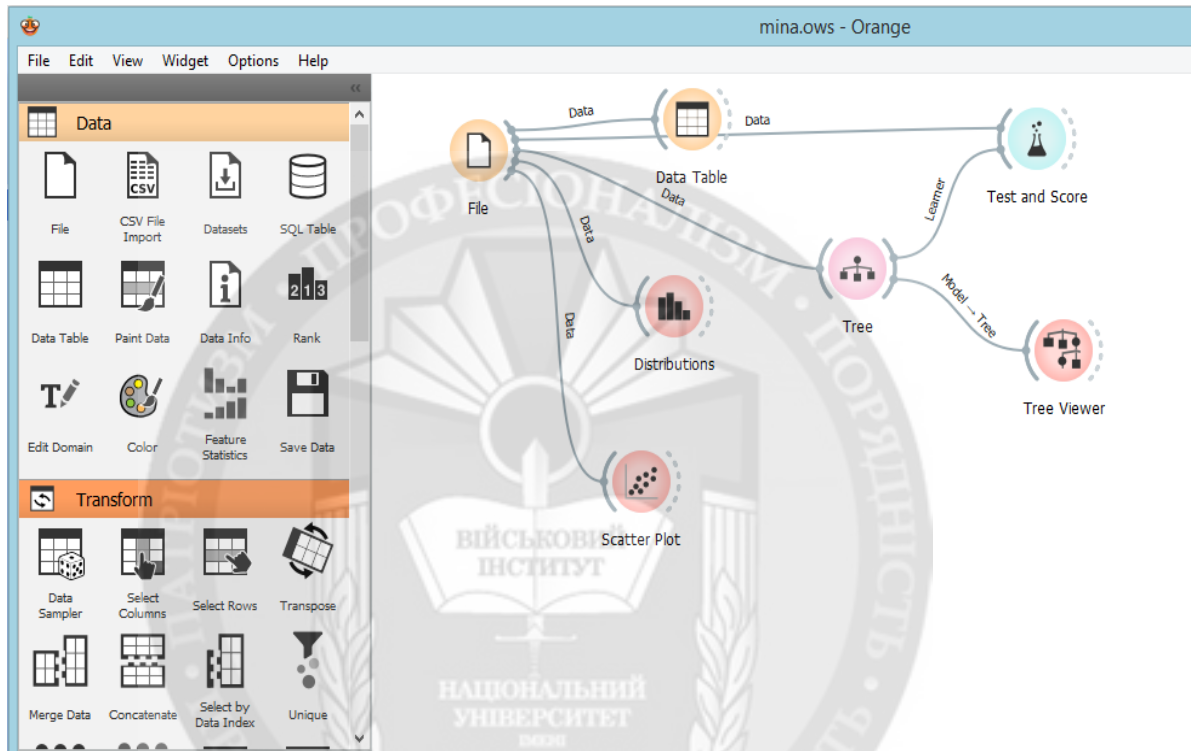


Рисунок 3 - Програма бінарної класифікації

Для перегляду бази даних використовується програмний модуль Data Table (рис. 4).

| | міна | розмір, см | глибина, см | температура, С | форма |
|----|------|------------|-------------|----------------|-------------|
| 1 | так | 20 | 20 | 20 | коло |
| 2 | ні | 50 | 25 | 20 | квадрат |
| 3 | так | 25 | 30 | 20 | прямокутник |
| 4 | ні | 5 | 10 | 15 | трекутник |
| 5 | так | 25 | 25 | 18 | коло |
| 6 | так | 30 | 20 | 18 | коло |
| 7 | ні | 45 | 21 | 16 | ромб |
| 8 | так | 35 | 30 | 20 | коло |
| 9 | так | 35 | 25 | 25 | прямокутник |
| 10 | так | 40 | 35 | 22 | коло |
| 11 | так | 40 | 25 | 16 | прямокутник |
| 12 | так | 35 | 25 | 15 | лепесток |
| 13 | так | 25 | 25 | 23 | коло |
| 14 | ні | 10 | 15 | 15 | лепесток |
| 15 | ні | 16 | 10 | 16 | ромб |
| 16 | так | 35 | 20 | 22 | коло |
| 17 | ні | 23 | 20 | 24 | пряма |
| 18 | ні | 10 | 22 | 15 | кріва |
| 19 | ні | 10 | 45 | 20 | коло |
| 20 | так | 25 | 25 | 20 | лепесток |
| 21 | ні | 16 | 15 | 18 | ромб |
| 22 | так | 35 | 25 | 23 | коло |
| 23 | ні | 23 | 50 | 24 | пряма |
| 24 | ні | 15 | 34 | 15 | кріва |
| 25 | ні | 50 | 45 | 20 | коло |
| 26 | так | 25 | 35 | 21 | лепесток |

Рисунок 4 - Фрагмент бази даних характеристик мін для бінарної класифікації

На рис. 5 представлені модулі Distributions, де можна побачити розподіл характеристик представлених для класифікації об'єктів.

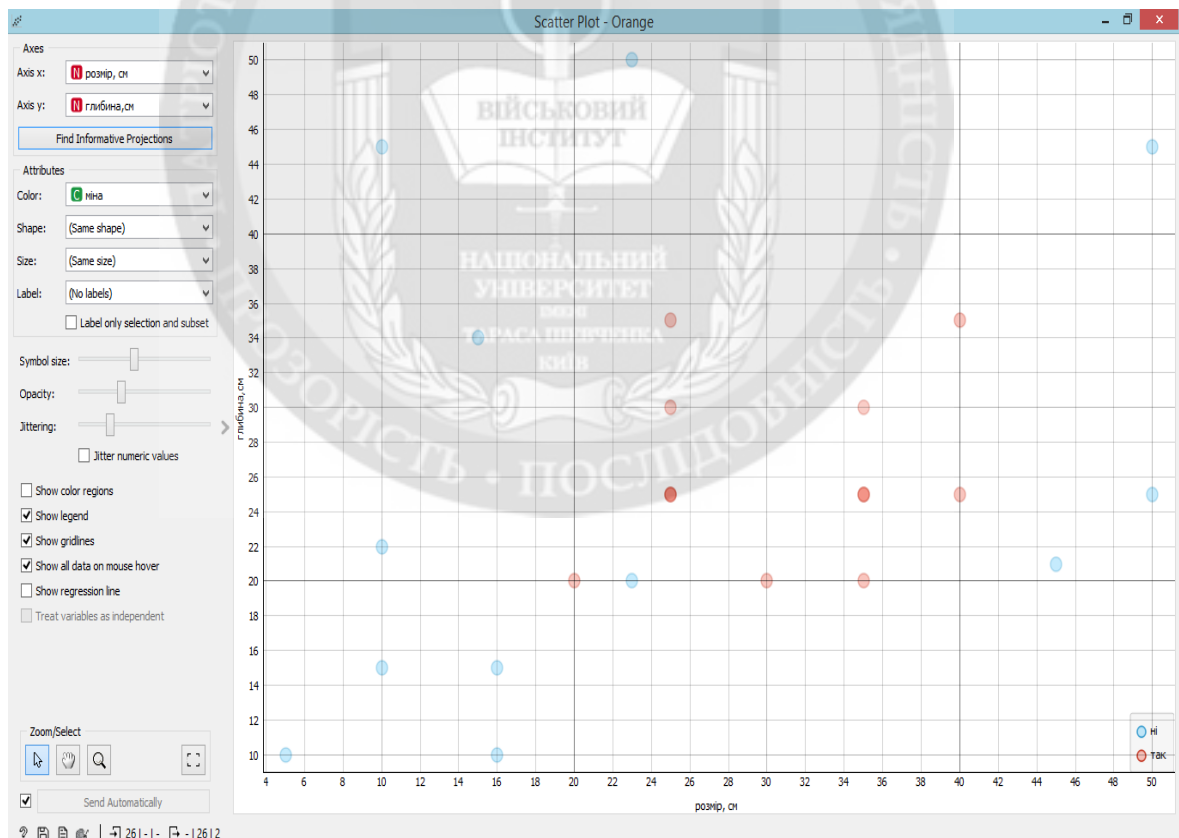


Рисунок 5 - Розподіл досліджуваних об'єктів за розміром та глибиною залягання

З метою побудови дерева використовуються модуль Test and Score (рис. 6) для оцінки якості моделі та модуль Tree з граничним значенням розрахунку дерево – 84 %. Показник адекватності моделі AUC = 0.84 (рис.6). Показник AUC (Area Under the ROC Curve) – це міра, яка дозволяє підсумовувати продуктивність моделі одним числом, вимірюючи площу під

кривою ROC. AUC коливається від 0 до 1, де більш високе значення AUC вказує на більш високу продуктивність отриманої математичної моделі [13].

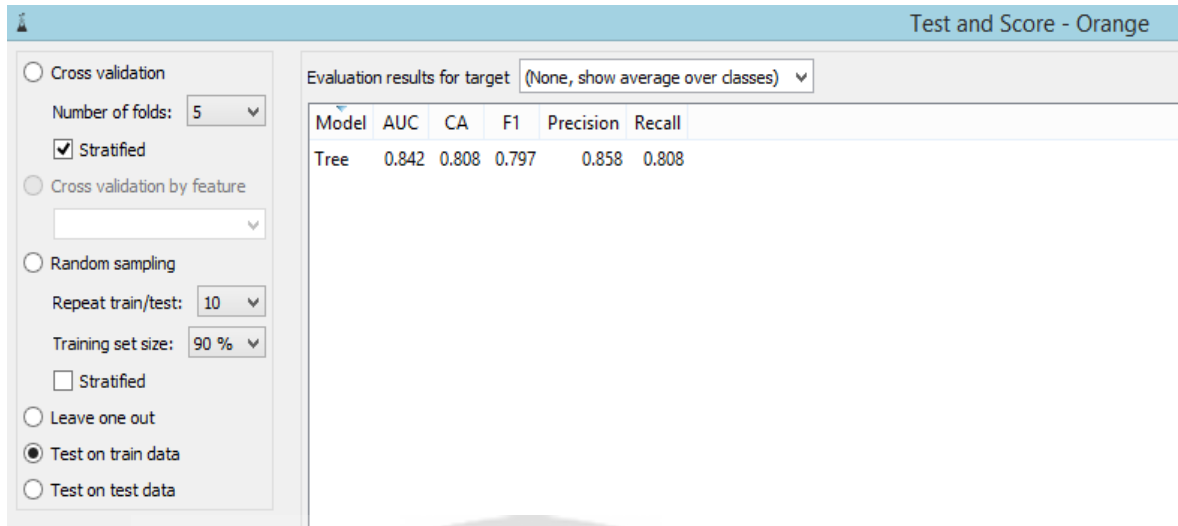


Рисунок 6 - Модуль Test and Score (аналіз якості моделі класифікації)

Розроблене програмою дерево рішення для класифікації представлено на рис. 7.

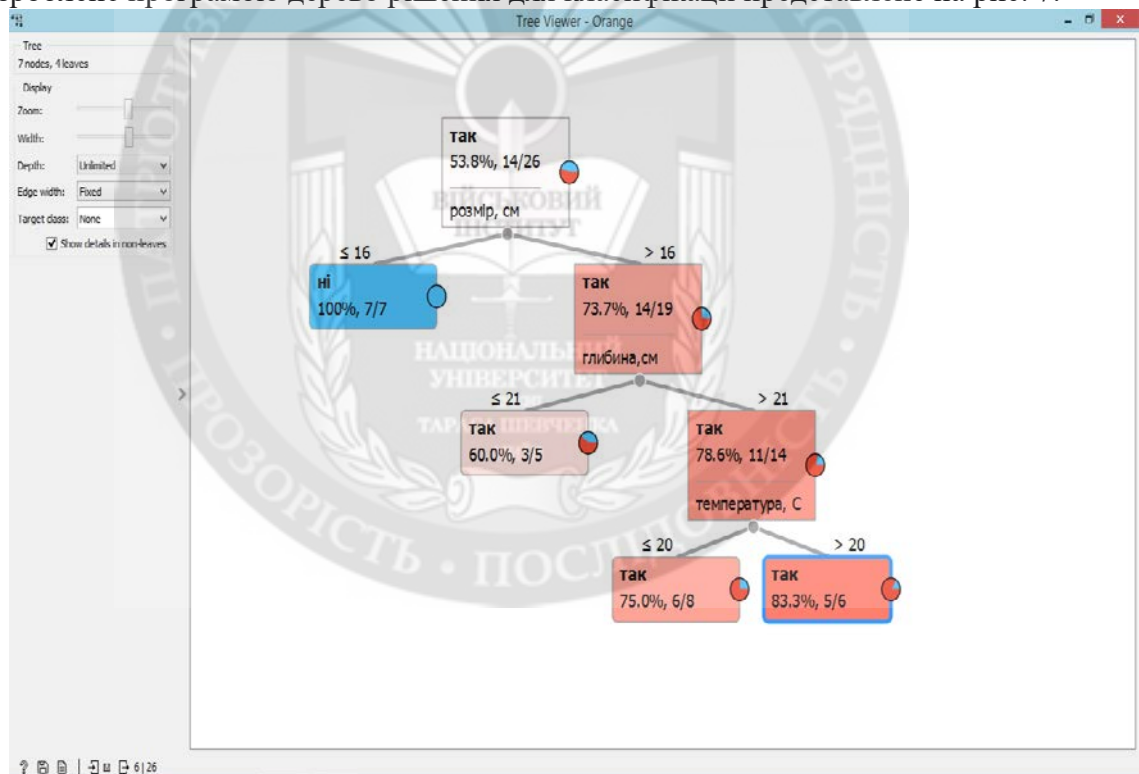


Рисунок 7 - Дерево рішень бінарної класифікації (клас міни та клас відсутності мін)

На початковому етапі дерево аналізує розмір пред'явленого предмета (протитанкової міни М 15), далі відбувається аналіз глибини залягання об'єкта, який з високою ймовірністю підходить під розмір на першому етапі (74 %). Якщо глибина залягання протитанкової міни більше 21 см, то з ймовірністю 79 % це може бути міна і для остаточного аналізу та класифікації дерево рішень (експертна система) проводить останнє порівняння з встановленою температурою (в умовах заданої температури ґрунту 20⁰ С). При температурі, вище за порогове значення, ймовірність, що пред'явлений об'єкт на знімку георадару – це протитанкова міна, складає 83 %.

Для повного аналізу даних використовувалася функція побудови дерева рішень без обмежень за кількістю гілок і листів з урахуванням параметрів форми об'єкта класифікації (рис. 8). На думку авторів, представлені дерева рішень будуть ефективним засобом допомоги оператору БПЛА із встановленим георадаром щодо пошуку мін.

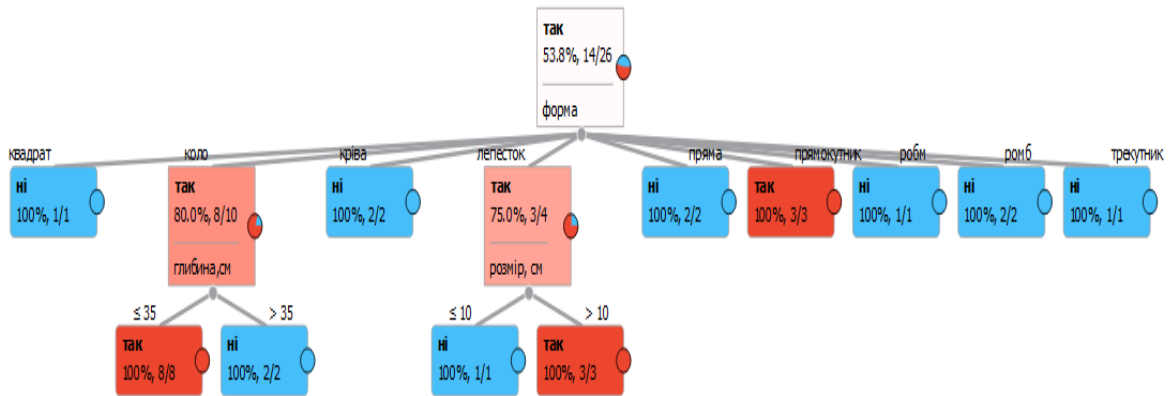


Рисунок 8 - Дерево рішень, що враховує всі вхідні параметри об'єкта класифікації

Також для отримання більш повного аналізу при класифікації невідомих об'єктів і віднесення їх до мін різного типу був використаний блок логічної регресії (Logistic Regression) Блок реалізує функцію прогнозу ймовірності віднесення нового об'єкта до класу мін чи не мін (рис. 9).

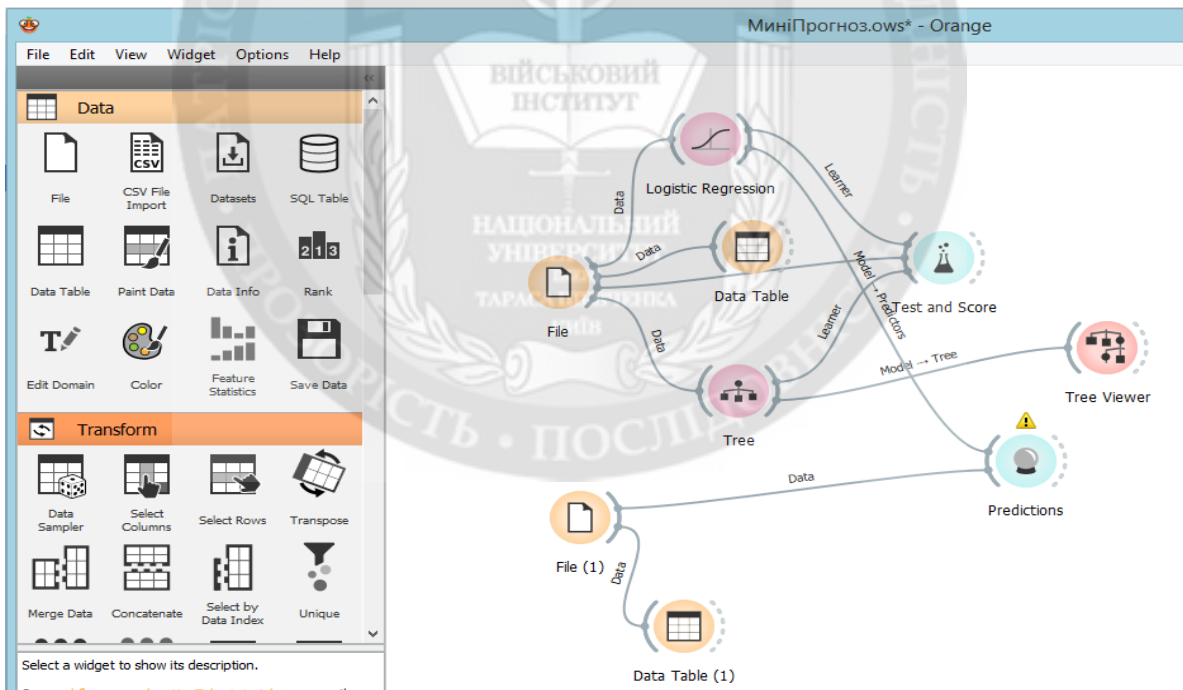


Рисунок 9 - Програма класифікації з функцією прогнозування

Показник AUC прогновної моделі дорівнює 0,7 і можна вважати прийнятним (рис. 10).

| <input type="radio"/> Cross validation Number of folds: 5 <input checked="" type="checkbox"/> Stratified <input type="radio"/> Cross validation by feature <input type="text"/> <input checked="" type="radio"/> Random sampling Repeat train/test: 10 Training set size: 75 % | | Evaluation results for target (None, show average over classes) | | | | |
|---|-------|---|-------|-----------|--------|--|
| Model | AUC | CA | F1 | Precision | Recall | |
| Tree | 0.853 | 0.786 | 0.775 | 0.809 | 0.786 | |
| Logistic Regression | 0.707 | 0.686 | 0.687 | 0.689 | 0.686 | |

Рисунок 10 - Показники точності використовуваних математичних моделей

Для перевірки ефективності прогнозу було проведено експеримент із пред'явленням програмі класифікації файлу з новими даними (тестовими) (рис. 11, рис. 12).

| Data Table (1) - Orange | | | | | |
|-------------------------|------|------------|-------------|----------------|-------|
| | міна | розмір, см | глибина, см | температура, С | форма |
| 1 | ? | 35 | 40 | 20 | коло |

a)

| | міна | розмір, см | глибина, см | температура, С | форма |
|---|------|------------|-------------|----------------|---------|
| 1 | ? | 5 | 50 | 18 | квадрат |

b)

Рисунок 11. Дані тестових файлів №1 (a) та №2 (b) для визначення ймовірності віднесення до одного з класів

Результатом аналізу тестового файлу № 1 є можливість 99 % віднесення його до класу мін. Файл № 2 було віднесено до класу не мін із ймовірністю 100 % (рис.12).

| Predictions - Orange | | | | | | |
|----------------------------|------------------|-------------------------|-------------|----------------|-------|------|
| Show probabilities for | | Shown regression error: | | | | |
| Classes known to the model | | Difference | | | | |
| Logistic Regression | міна | розмір, см | глибина, см | температура, С | форма | |
| 1 | 0.99 : 0.01 → ні | ? | 35 | 40 | 20 | коло |

a)

| Predictions - Orange | | | | | | |
|------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|----------------|-------|---------|
| Show probabilities for | Classes known to the model | Shown regression error: | | Difference | | |
| Logistic Regression | міна | розмір, см | глибина, см | температура, С | форма | |
| 1 | 1.00 : 0.00 → ні | ? | 5 | 50 | 18 | квадрат |

b)

Рисунок 12. Прогнозні дані щодо тестового файлу №1 (a) та файлу №2 (b)

Таким чином, можна зробити висновок, що представлена система класифікації даних георадару з високим ступенем ймовірності проводить аналіз пред'явлених об'єктів та відносить їх бінарному класу.

Висновки. На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що наукова новизна запропонованої прикладної та подальшої експериментальної розробки полягатиме у поєднанні методів активного зондування поверхні із застосуванням електромагнітних хвиль (надсмугових зондувальних сигналів) та інфрачервоного випромінювання (температурних полів) у процесах пошуку вторинних факторів, що супроводжують пошук мін у поверхневому шарі ґрунту мінного поля. Отримані дані аналізуються запропонованою інтелектуальною системою (програмний інтерфейс з експертної системи для допомоги прийняття рішень оператором БПЛА з встановленим георадаром). При успішній роботі запропонованої інформаційної системи буде необхідно проведення додаткових розробок при класифікації мін різного типу, а також розробки методичних інструкцій з проектування, налаштування та експлуатації інформаційно-вимірювальної системи пошуку мін. Можна зазначити, що заявлене дослідження є важливим та актуальним проектом в умовах воєнних дій у нашій країні. Вирішення поставленого завдання дозволить зберегти тисячі життів нашим військовим. Також, проблема розмінування і після війни залишиться актуальною на кілька десятиліть.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Головнокомандувач ЗСУ опублікував статтю про те, як перемогти противника. Вечірній Київ. URL: <https://vechirniy.kyiv.ua/news/94449/>.
2. На Київщині провели тестування системи виявлення мін на основі БПЛА. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3685433-na-kiivsini-proveli-testuvanna-sistemi-viavlenna-min-na-osnovi-bpla.html>.
3. Belkhamsa Z., Wafa A. Measuring Organizational Information Systems Success: New Technologies and Practices. Universiti Malaysia Sabah, Malaysia, 2021. 366 p.
4. Kalsi H.S. Electronic instrumentation. Third edition. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education, 2020. 829 p.
5. Георадар ВІЙ-5-37. Інтрон-Сет. URL: <https://intron-set.com.ua/product/georadar-viy5-37>
6. Planner. ВІЙ. URL: <https://viy.ua/r/software/planner.htm>
7. Mikhailenko V.S., Kharchenko R.Yu. Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations. Automatic Control and Computer Sciences, 2014, Vol. 48, № 6, P. 334-344.
8. Raptor. ImpulseRadar. URL: <https://impulseradargpr.com/raptor/>
9. SAP Analytics Cloud. SAP. URL: https://help.sap.com/docs/SAP_ANALYTICS_CLOUD
10. Orange Data Mining. URL: <https://orangedatamining.com/>
11. Logistic Regression. AWS. URL: <https://aws.amazon.com/what-is/logistic-regression/>
12. Повертаюсь додому. Як виглядають міни, які там могли залишити окупанти? Радіо Свобода. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/31793284.html>
13. SAP Analytics Cloud. SAP. URL: https://help.sap.com/docs/SAP_ANALYTICS_CLOUD

REFERENCES:

1. The Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine published an article about how to defeat the enemy. Vechirniy Kyiv. Available at: <https://vechirniy.kyiv.ua/news/94449/> [in Ukrainian]

2. Mine detection system based on UAV tested in Kyiv region. Ukrinform. Available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3685433-na-kiivsini-proveli-testuvanna-sistemi-viavlenna-min-na-osnovi-bpla.html> [in Ukrainian]
3. Belkhamza, Z. and Wafa, A. (2021) Measuring Organizational Information Systems Success: New Technologies and Practices. Universiti Malaysia Sabah, Malaysia.
4. Kalsi, H.S. (2020) Electronic instrumentation. 3rd edn. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
5. Intron-Set (2024) Georadar VIY-5-37. Available at: <https://intron-set.com.ua/product/georadar-viy5-37>
6. VIY (2024) Planner. Available at: <https://viy.ua/r/software/planner.htm>
7. Mikhaïlenko, V.S. and Kharchenko, R.Yu. (2014) 'Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations', Automatic Control and Computer Sciences, 48(6), pp. 334–344.
8. ImpulseRadar (2024) Raptor. Available at: <https://impulseradargpr.com/raptor/>
9. Orange Data Mining (2024) Orange Data Mining. Available at: <https://orangedatamining.com/>
10. Staw, A. (2024) MITER Lecture 05. Available at: http://www.andriystav.cc.ua/Downloads/MITER/Lecture_05.pdf
11. AWS (2024) Logistic Regression. Available at: <https://aws.amazon.com/what-is/logistic-regression/>
12. Returning home. What mines left by occupiers might look like? Radio Svoboda. Available at: <https://www.radiosvoboda.org/a/31793284.html> [in Ukrainian]
13. SAP (2024) SAP Analytics Cloud. Available at: https://help.sap.com/docs/SAP_ANALYTICS_CLOUD

Dr.Sci. tech. Prof. Mikhaïlenko V., Dr.Sci. tech. Prof.Gvozdeva I., Dr.Sci. tech. Prof. Gunchenko Y., Ph.D. Korenkova H., Ph.D. Shevchenko T.

INTELLIGENT SYSTEM FOR ANALYZING MINE PLACEMENT

The article addresses the problem of detecting and analyzing the placement of mines in minefields. An intelligent system is proposed, aimed at enhancing safety during demining operations. A new intelligent information-measuring system for minefield analysis is considered. This system is based on the use of ground-penetrating radar (UAVs with sensors) that provide continuous monitoring of the surrounding area. Surface analysis is performed using high-resolution electromagnetic waves and infrared radiation. Mine detection is achieved through intelligent methods. During the development of the intelligent system, great attention is paid to improving the accuracy of mine detection and other threats. Machine learning is used to achieve this goal. This allows for the rapid detection of mines and other threats related to explosive devices.

The main focus is on developing algorithms for processing and analyzing data obtained from sensors. Information processing from ground-penetrating radars enables operators to make quick decisions regarding movement routes and safety measures. Using ground-penetrating radars and analyzing the data obtained from them can increase the speed and accuracy of demining, reduce the risk of explosions, and optimize the use of resources by sapper units. The article also addresses the integration of this system with existing information systems and the possibility of their further development.

The proposed system reduces the time required for demining, which is critically important in active combat conditions. Implementing this technology will help save the lives of military personnel and civilians in conflict zones. This system can become an important step in ensuring the safety of military units and improve their combat effectiveness in modern armed conflict conditions.

Keywords: intelligent system, mines, ground-penetrating radar, data analysis, decision tree.