

ПИТАННЯ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ТЕРОРИСТИЧНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДІЯЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-124-130

УДК 623.454.36:550.8.053

¹Бас Олег Володимирович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-2401-9457>

¹Землянський Олег Миколайович (доктор технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-2728-6972>

¹Мирошник Олег Миколайович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0001-8951-9498>

²Авраменко Олександр Васильович (доктор технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна

²Національний університет оборони України, Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКУВАННЯ НАЗЕМНИХ МІН БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Метою статті є представлення експериментального методу, який дозволяє виявляти та розпізнавати міни, що знаходяться на землі, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БпЛА), які мають на борту спеціалізовані металошукачі. Пропонується використати вказаний спосіб, для підвищення ефективності сканування місцевості на наявність металевих об'єктів, які можуть бути наземними мінами, а також накопичувати отримані результати для створення масивів даних, про певний тип мін та їх ідентифікації. Описаний алгоритм використовується для обробки та аналізу даних отриманих від спеціалізованих металошукачів, щоб відрізнити міни від інших металевих предметів та визначити їх тип та місце розмінування. Запропонований метод є перспективним для розв'язання проблеми гуманітарного розмінування, оскільки він повинен підвищити його ефективність під час застосування безпілотних систем пошуку наземних мін, а також дозволить підвищити рівень безпеки оператора під час виявлення мін.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, наземні міни, гуманітарне розмінування, металодетектор, ефективність, нейромережа.

Вступ

Розмінування території є передумовою безпечного та нормального життя для мільйонів українців, які постраждали від наслідків війни. Це складне завдання охоплює не лише виявлення та ліквідацію наземних мін, а й відновлення інфраструктури, сільського господарства.

Наземні міни – це вид зброї, який часто залишається на територіях після завершення військових конфліктів. Вони представляють значну небезпеку для людей та навколишнього середовища, оскільки їх дії можуть призвести до травм, смерті або забруднення територій. Внаслідок ведення військових дій на території України, де активно використовуються міни, багато земель стали непридатними для життя або господарювання. Тому виникає актуальна

проблема в створенні засобів автоматизованого пошуку та проведення робіт по розмінуванні. Кожен такий засіб має ґрунтуватися на відповідному методі пошуку та інструменті, який забезпечує реалізацію роботи [1-4].

Розроблення роботизованих засобів, які на сьогоднішній день використовуються для гуманітарного розмінування, не лише є перспективним напрямком, але й необхідність для очищення великих територій України від наземних мін. Тому створення спеціалізованого металошукача для БпЛА, за допомогою якого можливе виконання завдання по гуманітарному розмінування дистанційно, дозволить підвищити ефективність безпечного виявлення наземних мін.

Для гуманітарного розмінування за допомогою безпілотних літальних апаратів зі

спеціалізованими металошукачами необхідно розробити та науково обґрунтувати метод пошуку та ліквідації наземних мін. У цій роботі ми пропонуємо експериментальний метод, який базується на аналізі сигналів металошукачів та використанні алгоритмів на основі отриманих масивів даних, про певний тип мін для ідентифікації та класифікації мін.

Аналізуючи найновіші дослідження та публікації, було виявлено застосування безпілотних систем із металошукачами для виявлення та ідентифікації наземних мін, що використовуються під час гуманітарного розмінування. Цими питаннями активно займаються як вчені з України, так і за кордоном: Кириленко В. А., Нероба В. Р., Смольков О. Ю., Коцюрuba В. І., Мосов С. П., Гунбін К. Ю., Станкевич С. А., Вороч Б. О., Гусяков О. М., Gerda M. I.

У статті, авторства Мосова С.П. та Нероби В.Р., під назвою “Напрями застосування безпілотної авіації для виконання завдань розмінування: світовий досвід”, здійснено огляд сучасних практик країн світу у використанні БпЛА для ведення розвідки мінних полів, їх ідентифікації та безпечного усунення. Одним з напрямів вказано підхід, що базується на використанні міношукачів, які встановлюються як корисне навантаження на безпілотною. Інший підхід базується на застосуванні багатоспектральної апаратури, що встановлюється на безпілотною, для ведення розвідки мінної обстановки й виявлення мін. Ще одним з підходів є застосування інфрачервоної апаратури, що встановлюється на безпілотною і реагує на різницю температур між міною та поверхнею місцевості [5].

Автори розглядають різні технічні підходи, такі як використання міношукачів, багатоспектральної та інфрачервоної апаратури для виявлення мін. Проте важливо не лише розвивати технічні засоби, але й створювати методики їх застосування, адаптовані до умов сьогодення, з метою ефективного вирішення завдання щодо розмінування забруднених територій.

У своїй статті “Методологія розробки вимог до системи робототехніки для розмінування” Гусяков О.М., на основі дослідження процесів розмінування та встановлених підходів до формулювання вимог для військового озброєння та техніки, пропонує методику, яка включає в себе розробку тактико-технічних характеристик та технічного опису для систем робототехніки у сфері розмінування. Також пропонується ідеальне поєднання спеціалізованого обладнання для виявлення та нейтралізації вибухових пристроїв, а також оптимальні характеристики для пристроїв, що дозволяють дистанційно виявляти та знешкодувати вибухонебезпечні елементи. Описано ключові етапи методології, яка дозволяє всебічно обґрунтувати вимоги до робототехнічних систем розмінування [6].

Аналізуючи процеси розмінування та існуючі методики, автор пропонує новий підхід до формулювання вимог для робототехнічних систем,

що включає розробку специфікацій та технічних описів. Важливим є знаходження оптимального співвідношення між спеціалізованим обладнанням для виявлення і нейтралізації вибухових пристроїв та характеристиками пристроїв для дистанційного розмінування. Методологія передбачає детальне обґрунтування кожного аспекту вимог, що є ключовим для створення ефективних робототехнічних систем розмінування.

В [7] описано загальний підхід до виявлення наземних мін за допомогою БпЛА, оснащених декількома датчиками оптичної візуалізації. Висота аерофотозйомки БпЛА обирається таким чином, щоб у межах місця встановлення міни було зафіксовано достатню кількість пікселів. Ця обставина забезпечує статистичну репрезентативність виявлення кожним окремим датчиком. Далі виконується зіставлення даних на рівні прийняття рішень для різних датчиків. Наведено попередні оцінки ймовірності виявлення наземних мін різними статистичними методами на мультиспектральних та інфрачервоних зображеннях.

У науковій статті [8] автор аналізує переваги використання військових БпЛА для розмінування територій, зокрема для виявлення мін та саморобних вибухових пристроїв. Основні переваги БпЛА включають зниження ризику для людей, підвищення швидкості та точності пошуку, а також зменшення витрат по розмінуванню. Важливість дослідження підкреслюється суттєвою замінованістю територій України через війну та значну присутність БпЛА у військових операціях, де вони використовуються для розвідки.

У статті [9], на основі аналізу тематичних джерел, визначено ключове питання систематизації умов і чинників, що впливають на роботу безпілотною літального апарату коптерного типу з оптичними датчиками діапазону довжин хвиль. Обрано методику вирішення цього питання. Досліджено умови та чинники, що впливають на датчики, встановлені на БпЛА, і визначено параметри аерознімання для виявлення наземних мін. Використано набір прикладних математичних моделей для встановлення цих параметрів. Визначення основних параметрів дозволило уточнити і систематизувати умови та чинники, що впливають на роботу датчиків. До них відносяться: екологічні умови, сезон, час дня, кваліфікація пілота, метеорологічні умови, турбулентність, місцевість, вітрові пориви, засоби придушення радіосигналу, вібрації носія, маскування мін тощо.

Застосування БпЛА з багаточисельними датчиками оптичної візуалізації може значно підвищити точність та ефективність процесу виявлення наземних мін. Регулювання висоти польоту для оптимального зображення та використання статистичних методів для аналізу даних можуть сприяти більш точному виявленню та ідентифікації мін, що є важливим для безпеки та успішного розмінування територій [10-13].

Незважаючи на кількість досліджень [14-20], які охоплюють використання БпЛА для

розпізнавання наземних об'єктів та мін, методологія точного виявлення та ідентифікації мін за допомогою БПЛА все ще потребує додаткового вивчення та розвитку. Це особливо актуально для сучасної України, де наслідки російсько-української війни призводять до значного мінного забруднення територій. А тому розробка більш досконалих технічних рішень та алгоритмів, які б дозволили БПЛА не тільки виявляти міни, але й точно ідентифікувати їх типи та стан. Це включає в себе вдосконалення сенсорних технологій, обробки зображень та штучного інтелекту. Крім того, важливо розробити комплексні навчальні програми для операторів БПЛА, з метою ефективного використання цих технологій в умовах реального бойового середовища. Такий підхід не тільки підвищить безпеку військових та цивільних осіб, але й сприятиме швидкому та ефективному розмінуванню територій.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу, метод порівняння та аналогій, статистичні методи, розрахунки ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій та прогнозна оцінка можливих наслідків.

Результати

При обиранні металодетектора, що інтегрується з БПЛА, необхідно враховувати специфіку місцевості, яка може бути замінована. БПЛА, оснащений металодетектором, має літати на висоті, достатній для уникнення контакту з рослинністю, щоб запобігти пошкодженню обладнання та самого апарату. Використання такого обладнання у місцевостях з густою рослинністю, на кшталт садів чи лісів, може бути обмеженим або неможливим через ризик пошкодження.

Використання металодетекторів у відкритих районах може бути ускладнене через висоту рослинного покриву, зокрема трави, яка може перешкоджати належному розташуванню пошукової котушки над землею. Це означає, що металодетектори, які мають обмежену чутливість,

у такому випадку можуть виявитися малоефективними.

Деякі міни та вибухові пристрої не включають у себе металеві частини, які б могли бути легко ідентифіковані за допомогою металодетекторів. Це унеможливує ефективне застосування БПЛА з металодетекторами для виявлення таких типів мін. Особливо, коли мова йде про вибухові пристрої невеликих розмірів.

Під час розмінування відкритих територій, застосування БПЛА із вбудованими міношукачами вимагає інтегрованого використання всіх доступних ресурсів. З огляду на обмеження використання БПЛА з міношукачами, важливо здійснювати обстеження великих ділянок з метою виявлення мін різного типу та боєприпасів, що не вибухнули. Під час виявлення потенційно небезпечних об'єктів слід проводити їх фотографування та відеозапис, визначати їх розташування та проводити ідентифікацію. Однак, через різні фактори, включаючи маскування та природні зміни, точна ідентифікація металевих об'єктів може бути ускладнена, що збільшує ризик помилок на основі фото та відеоматеріалів. Тому пропонується підхід до виявлення та ідентифікації мін за допомогою БПЛА, який буде детально описаний у подальшому.

На першому кроці методу, для виявлення не ідентифікованого об'єкту металодетектором здійснюють рух БПЛА заданим маршрутом на висоті від поверхні h_{II} . На деякому проміжку траєкторії БПЛА від точки $A_{II}(x_{II}, y_{II})$ до $A_K(x_K, y_K)$ вимір рівня сигналу металодетектора S показує перевищення заданого значення вхідного сигналу - S_D , що свідчить про наявність металевого предмету. За отриманими координатами (рис. 1) можна провести визначення проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу вздовж основної траєкторії руху БПЛА - l_x .

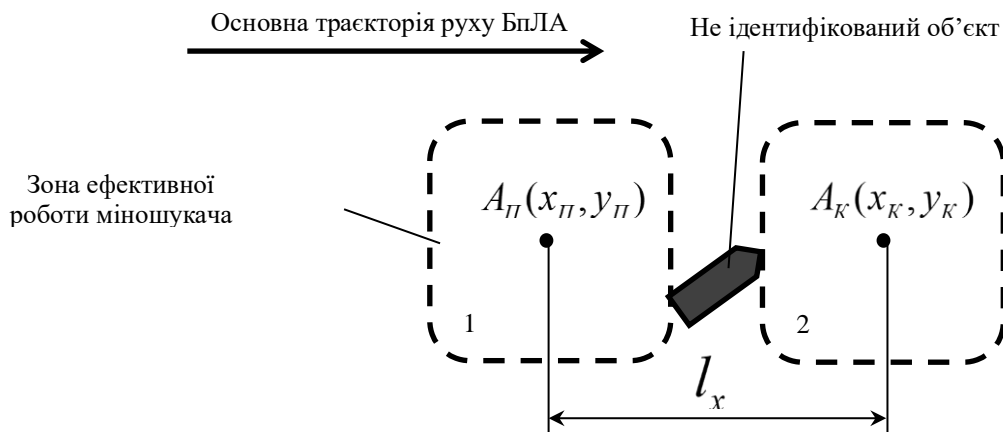


Рисунок 1. Визначення проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу вздовж основної траєкторії руху БПЛА

Величину цього проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу можна визначити з рівняння:

$$l_x = \sqrt{(x_{II} - x_K)^2 + (y_{II} - y_K)^2}, \quad (1)$$

На другому кроці визначають значення координати x_{II} , через яку проходить умовна вертикальна вісь розміщення об'єкту ідентифікації. Для цього використовують наступне рівняння:

$$x_{II} = \frac{x_{II} + x_K}{2}, \quad (2)$$

Далі необхідно здійснити кілька повторних вимірів змінюючи висоту та напрям руху БПЛА. Спочатку БПЛА повертають у точку перетину основного напрямку траєкторії та умовної вертикальної вісі. Далі змінюють напрям руху на 90° та віддаляють БПЛА від об'єкту ідентифікації доки не знизиться рівень сигналу нижче S_D та змінюють напрям руху на 180° (рис. 2).

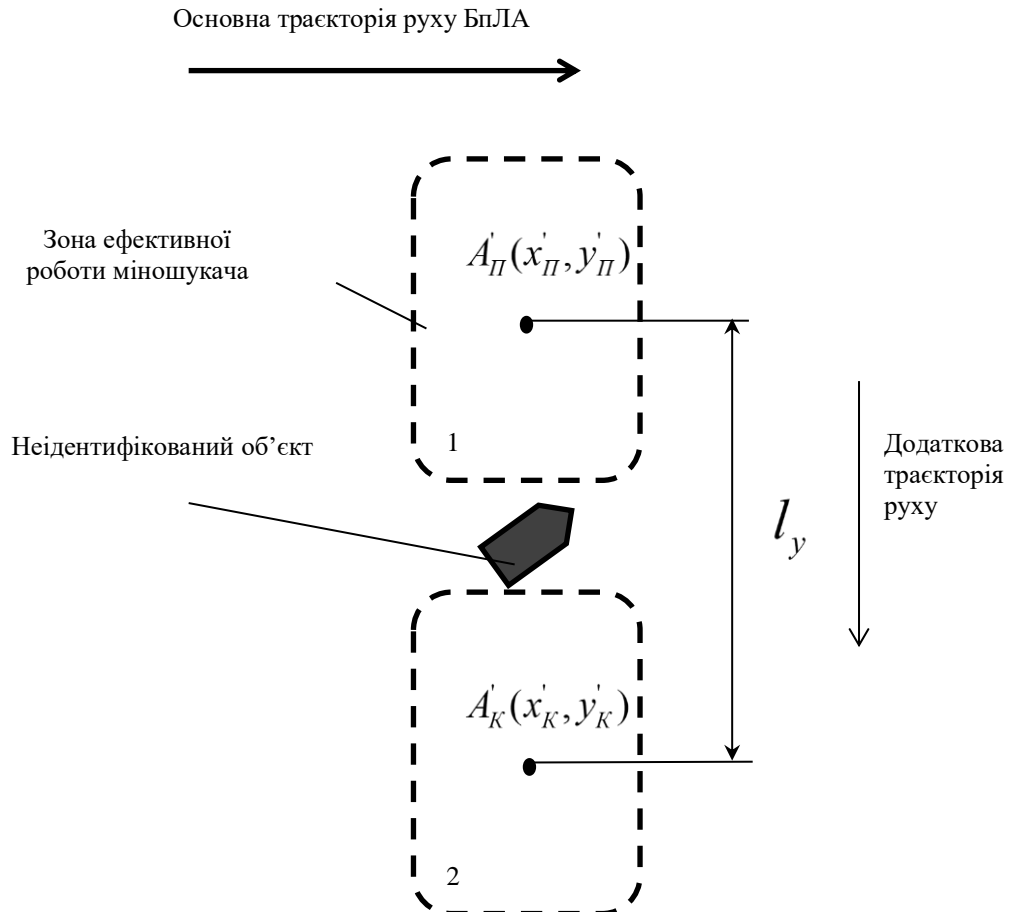


Рисунок 2. Визначення проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу вздовж додаткової траєкторії руху БПЛА

Під час прольоту над об'єктом ідентифікації визначають координати початку перевищення рівня сигналу $A'_{II}(x'_{II}, y'_{II})$ та закінчення $A'_{K}(x'_K, y'_K)$.

На третьому кроці визначають координати точки $A_{II}(x_{II}, y_{II})$ - умовного центру розміщення об'єкту ідентифікації. Для цього використовують значення x_{II} отримане з (2) та обчислюють значення y_{II} за наступним рівнянням:

$$y_{II} = \frac{y'_{II} + y'_K}{2} \quad (3)$$

Далі розміщують БПЛА над точкою $A_{II}(x_{II}, y_{II})$ та здійснюють рух вгору та визначають висоту h_K на якій спостерігають зниження вимірюваного сигналу нижче S_D .

Для спрощення подальшого опрацювання визначають розміри зони в якій відбувалося перевищення рівня сигналу у вигляді прямокутника із сторонами довжиною l_x та l_y , яку визначають за наступним рівняннями 4, 5:

$$l_y = \sqrt{(x'_П - x'_К)^2 + (y'_П - y'_К)^2} \quad (4)$$

В результаті отримують чисельні значення параметрів l_x, l_y та h_K . Для подальшого практичного використання запропонованого методу необхідно провести створення бази значень параметрів l_x, l_y та h_K для відомих вибухонебезпечних предметів (ВНП) у вигляді сукупності нечітких правил такого виду:

якщо
 $l_x \in Lx_i \& l_y \in Ly_i \& h_K \in Hk_i$, то $p \in P_i$, $i = \overline{1, n}$ (5)

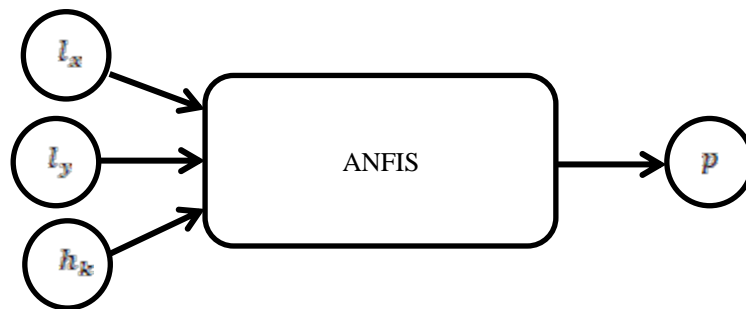


Рисунок 3. Модель ідентифікації ВНП за допомогою БПЛА на основі мережі ANFIS

Обговорення

На даній стадії критично важливо зібрати дані про вихідні характеристики усіх типів, доступних для аналізу. Хоча конструкція деяких ВНП може відрізнятися лише незначно, їх вага та розміри, як правило, не відхиляються настільки, щоб це перевищувало межі помилок вимірювань. Тому слід класифікувати ВНП за групами, а стратегії піротехнічних бригад мають бути розроблені з урахуванням найбільш ризикованих умов для кожної групи ВНП.

Висновки

Розвиток методик використання БПЛА з міношукачами відкриває нові перспективи для розмінування. Експериментальний підхід, що включає точне визначення місцезнаходження металевих об'єктів за допомогою БПЛА, може значно підвищити ефективність ідентифікації мін. Використання нейро-нечіткої мережі ANFIS для аналізу даних дозволить покращити точність виявлення. Подальший розвиток полягатиме у створенні більш точних алгоритмів для обробки даних та розширенні бази даних для навчання мережі, що дозволить адаптувати систему до різноманітних умов розмінування та забезпечити її високу надійність у різних середовищах.

Список використаних джерел

1. Миронова Н. Fundacja POSTUP і “Львівська політехніка” автоматизують розмінування України: як це працюватиме. The Page. URL: <https://thepage.ua/ua/news/rozminuvannya-ukrayini-navisho-poyednuvati-bpla-skanuvannya-ta-nazemni-platformi> (дата звернення: 20.02.2024).

Виходячи з вищевказаних зауважень і міркувань, як модель (5) запропоновано використовувати нечітку нейромережу як технологію, що інтегрує в собі переваги нейромережі та її навчання, можливості представлення експертних висновків та їх інтерпретації.

Для створення навчальної вибірки під час наступних досліджень необхідно створити масив даних l_x, l_y та h_K на основі рівняння (4), в якості моделі для ідентифікації ВНП може бути використана нейро-нечітка мережа ANFIS, структура якої зображена на рисунку 3. Вибір цієї мережі зумовлений специфікою та особливостями завдання, що вирішується.

2. Ukrinform TV. БПЛА для проведення гуманітарного розмінування, 2023. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=J-UpMPDgQgY> (дата звернення: 20.02.2024).

3. В Україні створять центр гуманітарного розмінування. АрміяInform – Інформаційне агентство АрміяInform. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/02/13/v-ukrayini-stvoryat-centr-gumanitarnogo-rozminuvannya/> (дата звернення: 20.02.2024).

4. Задорожний В., Файфура М., Цегельник В. Виклики і потреби України під час розмінування території, що постраждали від війни у 2022 році. Молодий вчений. 2023. № 1 (113). С. 10–13. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-1-113-3>.

5. Мосов С., Нероба В. Напрями застосування безпілотної авіації для виконання завдань розмінування: світовий досвід / Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. Home Page. URL: <https://doi.org/10.32453/3.v79i1.105>.

6. Гусяков О. М. Методика комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування. Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 2(54). С. 77–82. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.10>.

7. Попов М. О., Станкевич С. А., Мосов С. П., Титаренко О. В., Топольницький М. В., Дугін С. С. "Виявлення мін за допомогою оптичного злиття даних на основі БПЛА", IEEE EUROCON 2021 - 19th International Conference on Smart Technologies, Львів, Україна, 2021, pp. 175-178, doi: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535553.

8. Стратонов В. Перспективи застосування військових бпла українського виробництва для робіт з розмінування території. Наука і техніка сьогодні. 2023. № 5(19). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5\(19\)-107-121](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5(19)-107-121).

9. Станкевич С., Мосов С., Ворович Б. Систематизація умов і факторів, які впливають на застосування безпілотної літального апарата коптерного типу під час

виявлення наземних мін. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського. 2022. С. 82–89. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2021-3-73/82-89>.

10. Aftanaziv I. S., Strogan O. I., Shevchuk A. O. Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін. Scientific Bulletin of UNFU. 2023. Т. 33, № 3. С. 83–89. URL: <https://doi.org/10.36930/40330312> (дата звернення: 10.04.2024).

11. Вдосконалення розмінювального мінно-пошукового комплексу / I. S. Aftanaziv та ін. Transportdevelopment. 2023. № 2(17). С. 90–104. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.08> (дата звернення: 10.04.2024).

12. Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін методами кінематичного проектування / I. S. Aftanaziv та ін. Transportdevelopment. 2022. № 3(14). С. 143–165. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.11> (дата звернення: 10.04.2024).

13. Попов, М. О. (2022). Технологія дистанційного виявлення мін на основі аналізу матеріалів зйомки з безпілотних літальних апаратів: стан та перспективи: Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 6 квітня 2022 року. Вісник НАН України, (5), 56–62. <https://doi.org/10.15407/visn2022.05.056>.

14. Микійчук М. М. Аналіз методів керування безпілотними літальними апаратами [Електронний ресурс] / М. М. Микійчук, Н. С. Зіганшин // – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jan/20507/005.pdf>.

15. Стасенко Д. В., Яковина В. С. Аналіз наявних методів і засобів удосконалення навігації БПЛА з використанням штучного інтелекту. Scientific Bulletin of

UNFU. 2023. Т. 33, № 4. С. 78–83. URL: <https://doi.org/10.36930/40330411> (дата звернення: 10.04.2024).

16. Шевчук В. В., Кривошеєв В. В., Швець М. М. Вимоги до системи боротьби з безпілотними літальними апаратами. Інтерактивні моделі розвитку науково-освітнього простору у сфері безпеки та оборони. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони 2023. № 2(47). С. 133–138. <https://sit.nuou.org.ua/article/view/285170>.

17. Мельниченко В. С., Левченко М. А., Паталаха В. Г. Проблемні питання боротьби з безпілотними літальними апаратами противника зенітними засобами та можливі шляхи їх вирішення. Повітряна міць України. 2021. № 1 (1). С. 114–117. <http://sap.nuou.org.ua/article/view/241545>.

18. Аргюшин Л., Кононов О., Невзгляденко Ю. Аналіз перспектив реалізації групового застосування безпілотних літальних апаратів військового призначення. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2024. № 19(26). С. 42–48. URL: <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-5>.

19. Лаврівський М. З. Розвиток безпілотних літальних апаратів в Україні та світі для виконання завдань цивільного захисту / М. З. Лаврівський, А. П. Гавриш // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Вип. 27(1). – С. 151–153. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlut_2017_27.

20. Krivtsun, V., Zbrutskyi, O., & Kovalchuk, V. (2023). Дослідження процесів виявлення вибухонебезпечних предметів індукційним та радіохвильовим методами на основі результатів однофакторних експериментів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 26, 73–80. <https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.09>.

¹Oleh Bas (Candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-2401-9457>

¹Oleh Zemlianskyi (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-2728-6972>

¹Oleh Myroshnyk (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-8951-9498>

²Oleksandr Avramenko (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

¹*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine*

²*National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

INCREASING THE EFFICIENCY OF PROTECTION STORAGE FACILITIES OF AMMUNITION (AVIATION MEANS OF ATTACK) FROM EMERGENCY SITUATIONS BY IMPROVING STORAGE CONDITIONS

The purpose of the article is to present an experimental method that allows you to detect and recognize landmines with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs), which have specialized metal detectors on board. It is proposed to use the indicated method to increase the efficiency of scanning the area for the presence of metal objects that may be land mines, as well as to accumulate the obtained results to create data arrays about a certain type of mines and their identification. The described algorithm is used to process and analyze data from specialized metal detectors to distinguish mines from other metal objects and to determine their type and location. The proposed method is promising for solving the problem of humanitarian demining, as it should increase its effectiveness when using unmanned landmine search systems, as well as allow increasing the operator's safety level during mine detection.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, land mines, humanitarian demining, metal detector, efficiency, neural network.*

References

1. Myronova N. Fundacija POSTUP i "Lvivska politehnika" avtomatyzuiut rozminuvannia Ukrainy: yak tse pratsiuvatyme. The Page. URL: <https://thepage.ua/ua/news/rozminuvannya-ukrayini-navisho-poyednuvati-bpla-skanuvannya-ta-nazemni-platformi> (data zvernennia: 20.02.2024).
2. Ukrinform TV. BPLA dlia provedennia humanitarnoho rozminuvannia, 2023. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=J-UpMPDgQgY> (data zvernennia: 20.02.2024).
3. V Ukraini stvoriat tsentr humanitarnoho rozminuvannia. ArmiiaInform – Informatsiine ahentstvo ArmiiaInform. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/02/13/v-ukrayini-stvoryat-czentr-gumanitarnogo-rozminuvannya/> (data zvernennia: 20.02.2024).
4. Zadorozhnyi V., Faifura M., Tsehelnik V. Vyklyky i potreby ukrainy pid chas rozminuvannia terytorii, shcho postrazhdaly vid viiny u 2022 rotsi. Molodyi vchenyi. 2023. № 1 (113). S. 10–13. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-1-113-3>.
5. Mosov S., Neroba V. Napriamy zastosuvannia bezpilотноi aviatsii dlia vykonannia zavdan rozminuvannia: svitovyi dosvid / Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Serii: viiskovi ta tekhnichni nauky. Home Page. URL: <https://doi.org/10.32453/3.v79i1.105>.
6. Husliakov O. M. Metodyka kompleksnogo obruntuuvannia vymoh do robototekhnichnogo kompleksu rozminuvannia. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. 2018. № 2(54). S. 77–82. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.10>.
7. Popov M. O., Stankevych S. A., Mosov S. P., Tytarenko O. V., Topolnytskyi M. V., Duhin S. S. "Vyavlennia min za dopomohoiu optychnoho zlyttia danykh na osnovi BPLA", IEEE EUROCON 2021 - 19th International Conference on Smart Technologies, Lviv, Ukraina, 2021, pp. 175-178, doi: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535553.
8. Stratonov V. Perspektyvy zastosuvannia viiskovykh bpla ukrainskoho vyrobnytstva dlia robot z rozminuvannia terytorii. Nauka i tekhnika sohodni. 2023. № 5(19). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5\(19\)-107-121](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5(19)-107-121).
9. Stankevych S., Mosov S., Vorovych B. Systematyzatsiia umov i faktoriv, yaki vplyvaiut na zastosuvannia bezpilотноho litalnogo aparata kopternoho typu pid chas vyavlennia nazemnykh min. Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen NUOU imeni Ivana Cherniakhovskoho. 2022. S. 82–89. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2021-3-73/82-89>.
10. Aftanaziv I. S., Strogan O. I., Shevchuk A. O. Poshuk bezpilотноmy litalnymy aparatamy plavuchykh min. ScientificBulletinof UNFU. 2023. T. 33, № 3. S. 83–89. URL: <https://doi.org/10.36930/40330312> (data zvernennia: 10.04.2024).
11. Vdoskonalennia rozminovuvalnogo minno-poshukovoho kompleksu / I. S. Aftanaziv ta in. Transportdevelopment. 2023. № 2(17). S. 90–104. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.08> (data zvernennia: 10.04.2024).
12. Poshuk bezpilотноmy litalnymy aparatamy plavaiuchykh min metodamy kinematychnoho proektuvannia / I. S. Aftanaziv ta in. Transportdevelopment. 2022. № 3(14). S. 143–165. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.11> (data zvernennia: 10.04.2024).
13. Popov, M. O. (2022). Tekhnolohiia dystantsiinoho vyavlennia min na osnovi analizu materialiv zionky z bezpilотноykh litalnykh aparatyv: stan ta perspektyvy: Stenohrama dopovidi na zasidanni Prezydii NAN Ukrainy 6 kvitnia 2022 roku. Visnyk NAN Ukrainy, (5), 56–62. <https://doi.org/10.15407/visn2022.05.056>.
14. Mykyichuk M. M. Analiz metodiv keruvannia bezpilотноmy litalnymy aparatamy [Elektronnyi resurs] / M. M. Mykyichuk, N. S. Zihanshyn// – 2019. – Rezhym dostupu do resursu: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jan/20507/005.pdf>.
15. Stasenko D. V., Yakovyna V. S. Analiz naiavnykh metodiv i zasobiv udoskonalennia navihatsii BPLA z vykorystanniam shtuchnogo intelektu. ScientificBulletinof UNFU. 2023. T. 33, № 4. S. 78–83. URL: <https://doi.org/10.36930/40330411> (data zvernennia: 10.04.2024).
16. Shevchuk V. V., Kryvosheiev V. V., Shvets M. M. Vymohy do systemy borotby z bezpilотноmy litalnymy aparatamy. Interaktyvni modeli rozvytku naukovo-osvitnogo prostoru u sferi bezpeky ta oborony. Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony2023. № 2(47). S. 133–138. <https://sit.nuou.org.ua/article/view/285170>.
17. Melnychenko V. S., Levchenko M. A., Patalakha V. H. Problemni pytannia borotby z bezpilationallymy litalnymy aparatamy protyvnyka zenitnymy zasobamy ta mozhylyvi shliakhy yikh vyrishennia. Povitriana mits Ukrainy. 2021. № 1 (1). S. 114–117. <http://sap.nuou.org.ua/article/view/241545>.
18. Artiushyn L., Kononov O., Nevzghliadenko Yu. Analiz perspektyv realizatsii hrupovoho zastosuvannia bezpilationallymy litalnykh aparatyv viiskovoho pryznachennia. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo naukovo-doslidnogo instytutu aviatsii. 2024. № 19(26). S. 42–48. URL: <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-5>.
19. Lavrivskiy M. Z. Rozvytok bezpilationallymy litalnykh aparatyv v Ukraini ta sviti dlia vykonannia zavdan tsyvilnogo zakhystu / M. Z. Lavrivskiy, A. P. Havrys // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. - 2017. - Vyp. 27(1). - S. 151-153. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2017_27.
20. Krivtsun, V., Zbrutskiy, O., &Kovalchuk, V. (2023). Doslidzhennia protsesiv vyavlennia vybukhonebezpechnykh predmetiv induktsiinym ta radiokhvylovym metodamy na osnovi rezultativ odnofaktornykh eksperymentiv. Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiediialnosti, 26, 73-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.09>.