



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.4.299>

УДК 004.3:004.9:550:528.8

До обґрунтування концептуальної моделі системи виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях

Попов М.А.¹, <https://orcid.org/0000-0003-1738-8227>

Ясько В.А.², <https://orcid.org/0000-0002-4905-083X>

Ляшенко А.С.², <https://orcid.org/0009-0006-3548-5150>

Дугін С.С.¹, <https://orcid.org/0000-0002-2960-3783>

Голубов С.І.^{1*}, <https://orcid.org/0000-0003-3711-598X>

Макаренко Є.О.¹, <https://orcid.org/0009-0002-6666-3627>

¹ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, вул. Олесь Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

²ДУ “Харківський національний університет внутрішніх справ”, просп. Льва Ландау, 27, м. Харків, 61080, Україна

У статті викладено обґрунтування концептуальної моделі системи виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів (ВНП) у прибережних акваторіях. Проаналізовано сучасні існуючі технічні рішення пошуку мін в акваторіях. Наведена структура системи виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях. Структура системи складається з таких основних частин: сенсорний блок, блок навігації та передавання даних, блок аналізу даних та приймання рішення. Ядро системи – сенсорний блок, у складі якого гідролокатор, лідарна система, аеромагнітометр та пристрій для оптичного знімання. Особливістю системи є адаптивний підхід до формування робочої конфігурації, а також використання для аналізу сигналів та прийняття рішень елементів штучного інтелекту. Напрями використання системи – гуманітарне розмінування, а також вирішення завдань інженерно-саперного супроводження десантно-посадкових операцій у районах морських та річкових акваторій. Під час виконання цих завдань БпЛА стають незамінним інструментом для розвідки міної обстановки. Вони підвищують безпеку, ефективність та швидкість виявлення ВНП, особливо в умовах бойових дій та після завершення конфлікту. Подальший розвиток технологій сенсорів, ШІ-аналітики та інтеграції з іншими системами зробить цей напрям ще більш ефективним у майбутньому.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, вибухонебезпечні предмети, водна акваторія, безпілотний літальний апарат, сонар, магнітометр, лідарна система.

© Попов М. О., Ясько В. А., Ляшенко А. С., Дугін С. С., Голубов С. І., Макаренко Є. О. 2025

Вступ

Механізм мінування територій через свою простоту і економічність надзвичайно широко використовується в ході сучасних воєн і військових конфліктів. Тому одним із життєво важливих завдань для будь-якої держави є повне очищення її території від мін та всіх можливих вибухонебезпечних предметів (авіаційних бомб, артилерійських боєприпасів, що не розірвалися, осколків ракет та ін.) (Горбулін, 2022).

Вирішення завдань з виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів пов'язане з необхідністю врахування цілого ряду проблем, починаючи з нестачі фахівців і техніки для розмінування та закінчуючи відносно невисокою

продуктивністю більшості існуючих технологій розмінування (Ясько, 2025).

Останнє зумовлено, з одного боку, необхідністю забезпечити надійну гарантію безпеки саперів, з другого боку – складністю автоматизації пошукових процесів. Зазначена проблема загострюється через великі масштаби замінованих площ, як це має місце в Україні. Згідно з даними UA National Mine Action Center (Центр протимінної діяльності, б.д.), близько 30% території нашої країни забруднено мінами та боєприпасами, що не розірвалися; понад 139 тис. кв. км суші та 14 тис. кв. км водних об'єктів потребують обстеження щодо розмінування.

*Corresponding author / Автор для кореспонденції: А. Andreiev / А. А. Андреев / artem.a.andreev@gmail.com

This is an Open Access article under the CC BY licenses (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Такі обстеження на території України та основну частину завдань з розмінування виконують фахівці спецпідрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій України (гуманітарне та оперативне розмінування) та Сил підтримки Збройних Сил України (воєнне та оперативне розмінування). Одне із завдань – очищення водних об'єктів (акваторій морів, річок, озер, водосховищ) від мін та інших небезпечних для життя людей і судноплавства предметів.

У цій статті викладено обґрунтування концептуальної моделі системи виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях, а також вирішення завдань інженерно-саперного супроводження десантних операцій у районах морських та річкових акваторій.

Існуючі технічні рішення пошуку мін в акваторіях

Сучасні технології виявлення мін в акваторіях ґрунтуються на вивченні розподілів сигналів у межах ближніх фізичних полів (акустичного, магнітного, оптичного, радіочастотного) та виявленні в них аномальних складових, зумовлених присутністю об'єктів пошуку (Афтаназів та ін., 2023; Блінцов & Надточий, 2024; Щипцов та ін., 2024). Сигнал реєструється певними технічними засобами (гідролокаторами, магнітометрами, лідарами та ін.), при цьому одні пристрої можуть розташовуватися безпосередньо у водному середовищі, інші – поза ним, у повітряному просторі. В останньому випадку кажуть про дистанційне виявлення небезпек.

Один із найбільш поширених підходів до виявлення об'єктів інтересу у воді оснований на використанні акустичного зондування (ехолокації). На сьогодні існує великий вибір приладів і систем, що дають змогу методом акустичного зондування обстежувати донну частину водойм, вести пошук об'єктів, визначати глибини, виконувати картографування, вирішувати завдання навігації тощо. Порівняно недавно з'явилися багатопроменеві технології, зокрема CHIRP, LiveScope, які дають змогу отримувати високоякісні зображення стану підводної обстановки.

Стосовно завдання виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях і, зокрема, на мілководді, перспективним є багатопроменевий ехолот SEABAT3 T50-R (компанія Teledyne RESON (сонар моделі 852). Однак послідовне зондування водного середовища за допомогою сонарів потребує значних витрат часу, особливо за потреби обстеження великих за розмірами ділянок акваторій. У таких випадках досить перспективним є проведення лідарного аерознімання акваторії або використання аеромагнітометрів.

Оптико-спектральна прозорість природного водного середовища (море, річка, озеро) сильно варіюється залежно від її стану та забруднюючих речовин, проте, зазвичай, мінімальне ослаблення оптичного випромінювання, що проходить, коливається в діапазоні 470–550 нм, що враховується під час вибору робочої довжини хвилі лазера. Тому

найчастіше для формування аерозображень водного середовища використовують Nd:YAG-лазер, що генерує випромінювання з довжиною хвилі 532 нм.

Відома система Magic Lantern Adaptation (MLA), що розроблена для Військово-морських сил США компанією Kaman Aerospace і призначена для виявлення та класифікації мінних полів та інших об'єктів, що заважають в зоні операцій з висадки десанту (Kaman Corporation, б.д.). До складу системи MLA входять імпульсний Nd:YAG-лазер з подвоєнням частоти, лазерний передавач, сканувальний пристрій, комплект із шести фотокамер, пристрій автоматичного розпізнавання цілей у реальному часі, апаратура двостороннього передавання даних, пристрій відстеження дна, апаратура глобальної навігаційної супутникової системи.

Останні модифікації системи MLA розраховані на застосування з борту БпЛА, звідки зображення, оброблені у реальному часі, за допомогою пристрою ATR передаються в реальному часі на наземну станцію. Система забезпечує виявлення мін з ймовірністю від 0,50 до 0,78 при ймовірності помилкової тривоги менше за 0,04.

На базі досвіду експлуатації системи MLA спеціалістами Northrop Grumman Corporation (США) створено бортову систему виявлення мін (Airborne Laser Mine Detection System – ALMDS) AN/AES-1, яка за допомогою лідара виявляє та локалізує поверхневі та приповерхневі якірні морські міни. (United States Navy, б.д.). Система AN/AES-1 інтегрована з вертольотом MH-60S для оперативного проведення розвідувальних заходів та оцінювання мінної загрози у прибережних зонах, вузьких протоках, вузьких проходах та районах висадки десантних суден.

Прикладами компаній, які в останні роки активно займаються розробкою лідарних систем для встановлення на БпЛА, є Fugro (Нідерланди), RIEGL (Австрія) та ASTRALiTe (США). Ці компанії пропонують як легкі (вагою трохи більше 15 кг), так і надлегкі (трохи більше 5 кг) лідарні системи. Легкі системи – RIEGL VQ-840-G та Fugro RAMMS. Компанія ASTRALiTe пропонує надлегку лідарну систему, яка встановлюється на дроні DJI Matrice 600 Pro. Ця модель орієнтована на використання в районах мілководдя від сантиметрової глибини до глибин понад 5,0 м і забезпечує формування зображень з детальністю до 0,15 м.

Із зростанням забрудненості водного середовища ефективність виявлення мін за допомогою матеріалів лідарного аерознімання падає. У подібних ситуаціях може проводитися обстеження акваторій за допомогою обладнання для аеромагнітного знімання. Наприклад, таким обладнанням є німецький комплекс MagDrone R4 компанії SENSYS (JBUAS, 2022; SENSYS, 2023). Це п'ятиканальний магнітометр, призначений для встановлення на дроні, що складається з п'яти тривісних флюксейт-датчиків у паралельній конфігурації, що дає змогу точно визначати просторові градієнти магнітного поля. Робоча частота приладу становить 200 Гц, оптимальна відстань сенсорів від поверхні води або ґрунту становить близько 50 см, а відстань між

трасами – 2,5 м, що забезпечує обстеження площі 3–4 га за годину. Прилад живиться від літій-іонного акумулятора напругою 18 В, має масу близько 3 кг і може бути встановлений на БпЛА з вантажопідйомністю понад 1,5 кг. Дані, отримані з MagDrone R4, обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MAGNETO і можуть імпортуватися у системи GIS або Matlab для побудови магнітних карток. Технічні характеристики MagDrone R4 підтверджують його придатність для оперативного обстеження мілководних зон з високою просторовою розрізненістю.

У лінійці MagDrone є також й інші комплекси, а саме R3 (MagDrone R3, 2023) та R1 (MagDrone R1, 2023). MagDrone R1 складається лише з одного тривісного флюксгейт-датчика на підвісі, який може виконувати вимірювання з частотою 1 кГц. Комплекс R3 є вдосконаленою версією R1 – має два автономних магнітометричних датчики та включає в себе систему точного позиціонування GPS і логер для запису отриманих даних. Частота 200 Гц дає змогу відокремити корисний сигнал від сторонніх шумів, тому датчик може працювати біля джерел електричних завад (зокрема поряд з електричними моторами БпЛА). Завдяки широкому діапазону вимірювань аж до 75000 нТ та високій точності комплекс може виявляти дрібні металеві предмети на глибині кількох метрів. Вага приладу становить всього 884 г, тому як база може бути використаний будь-який дрон, здатний підіймати до 1 кг корисного навантаження.

Американський ринок виробників магнітометричних комплексів представлений компанією Geometrics та комплексом MagArrow II (MagArrow II, 2025). На відміну від лінійки MagDrone, у ньому використовується сенсор з лазерно-накачанним цезієм-133. Такі датчики мають низку суттєвих переваг над флюксгейтами, зокрема вищу точність, частоту дискретизації, менший рівень шуму. Діапазон роботи MagArrow II становить 20000–100000 нТ, частота 1000 Гц, точність вимірювань – 0,005 нТ. Комплекс прикріплюється за допомогою підвісу до БпЛА та складається з датчика, системи GPS, логера з об'ємом пам'яті 32 Гб, датчика акселерометра-гіроскопа та WiFi-модуля для вивантаження даних. Загальна маса приладу становить 1,2 кг.

Певні напрацювання в галузі створення магнітометричних приладів має Україна. Вченими Львівського центру Інституту космічних досліджень НАН України та Державного космічного агентства України розроблено лінійку магнітометрів (Львівський центр Інституту космічних досліджень, б.д.). Одним із флюксгейт-датчиків є LEMI-26 (LEMI-26, n.d.). Він може використовуватись для автономних вимірювань як на літальних, так і на плавучих апаратах. Технічні характеристики (діапазон вимірювань до 65000 нТ, частота 100 Гц) і комплектність (наявність вбудованого нахиломіру, системи GPS та логера об'ємом до 32 Гб) роблять його конкурентноспроможним на міжнародному рівні.

Отже, нині є досить велика база високотехнологічних приладів та систем, здатних реєструвати сигнали різної фізичної природи, спільний аналіз яких дає змогу дистанційно оцінювати водно-об'єктову обстановку. Процес оброблення таких сигналів значною мірою автоматизований, проте через наявність різного роду шумів і завад прийняття рішень щодо виявлених об'єктів зазвичай потребує безпосередньої участі людини.

Нещодавні досягнення у робототехніці, мікроелектроніці, штучному інтелекті відкривають нові можливості для створення нових та удосконалення існуючих систем виявлення мін та подібних вибухонебезпечних предметів (Kunichik & Tereshchenko, 2022; Levchenko et al., 2021). Дослідження показують, що застосування методів оброблення даних з машинним навчанням, використання нейронних мереж для генерації навчальних наборів та класифікації сприяє зниженню кількості хибної тривоги та кращому відокремленню реальних вибухонебезпечних предметів від донної металевої “шуми”. Такі підходи вже застосовуються у дослідницьких проєктах для створення датасетів, розробки та налаштування алгоритмів класифікації. Це особливо важливо для українських умов, де фон металевого мусора та неоднорідність дна особливо впливають на точність виявлення об'єктів.

Необхідно відзначити, що на сьогодні системи виявлення мін та подібних вибухонебезпечних предметів з використанням елементів штучного інтелекту рядом компаній вже створені або перебувають на стадії розроблення та випробувань. Так, для дистанційного виявлення підозрілих об'єктів на мінних полях і в зонах конфліктів американська компанія Save Pro Group пропонує платформу SpotlightAI, що функціонує на основі технології штучного інтелекту. (Safe Pro AI, б.д.). Японська корпорація NEC Corporation заявляє (Defense Mirror, 2023) про створення технології виявлення мін за допомогою штучного інтелекту, яка здатна виявляти міни з точністю близько 90%. Індійською компанією DRDO's NavaL Science & Technological Laboratory (NSTL) розроблена система, що включає сонар і оптичну камеру і дає змогу виявляти і визначати тип міни в реальному масштабі часу (Defense Mirror, 2024). Розпізнавання типу міни здійснюється без участі людини за допомогою технології штучного інтелекту.

Проте, доводиться зазначити, що випробування систем дистанційного виявлення мін з використанням елементів штучного інтелекту свідчать, що поки що їх можливості не повною мірою відповідають міжнародним стандартам протимінної діяльності IMAS, а також вимогам інших нормативних документів у галузі гуманітарного та воєнного розмінування. Тому актуальним завданням є проведення подальших наукових досліджень, спрямованих на удосконалення відомих методів та систем дистанційного виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів, підвищення їх технологічного рівня і подальшого масштабування. Нижче розглядається структура

системи виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях.

Структура системи виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях

Структура системи складається з таких основних частин: сенсорний блок, блок навігації та передавання даних, блок аналізу даних та приймання рішення (БАДПР). Ядро системи – сенсорний блок, у складі якого гідролокатор, лідарна система, аеромагнітометр та пристрій для оптичного знімання. Особливістю системи є адаптивний підхід до формування робочої конфігурації, а також використання для аналізу сигналів та прийняття рішень елементів штучного інтелекту.

Послідовність виконання операції виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у прибережних акваторіях зображена на Рис. 1.



Рис. 1. Послідовність виконання операції виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів

При постановці завдання на обстеження задаються такі параметри:

ділянка акваторії, що підлягає обстеженню, а також прилегла до неї частина суходолу;
терміни виконання завдання;
форма подання результатів проведеного обстеження тощо.

Під час планування операції важливе значення мають такі чинники, як стан забрудненості води, а також рівень загальної безпеки у районі дослідження. Дуже корисною є інформація про можливі типи мін у цій акваторії.

Виходячи з вимог поставленого завдання та наявної інформації про можливі в акваторії типи мін, вибирається відповідна робоча конфігурація системи для проведення пошукових заходів у водному середовищі (Рис. 2).



Рис. 2. Складові елементи системи і можливі робочі конфігурації

При малих рівнях забрудненості водного середовища для обстеження можуть

використовуватися лідарна система, гідролокатор і камера для підводного знімання. Якщо вода каламутна, для пошуку об'єктів залучаються аеромагнітометр і гідролокатор.

Дані зондування, одержувані кожним приладом, передаються в реальному масштабі часу на приймальну станцію, де виконується їх машинний аналіз. Блок-схема організації аналізу сукупності сенсорних даних, отримуваних в процесі обстеження, показана на Рис. 3.

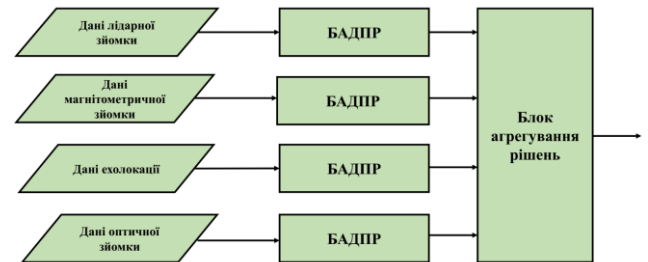


Рис. 3. Блок-схема організації аналізу сенсорних даних

Дані, отримані кожним сенсором, аналізуються окремо за допомогою відповідних алгоритмів у блоці БАДПР і формується сукупність часткових рішень щодо поточного об'єкта, яка виражається у імовірнісній формі, тобто як імовірність наявності підозрілого об'єкта. Сформовані таким чином ймовірності одним із відомих способів агрегуються в єдине рішення. Аналіз та формування рішень виконуються із застосуванням інструментарію штучного інтелекту. Необхідно відзначити, що розпізнавання типу об'єкта-міни потребує наявності достатньо об'ємного датасету.

Результати аналізу міної обстановки в акваторії оформлюються за допомогою певної комп'ютерної програми (наприклад, GlobalMapper), в кінцевий інформаційний продукт у вигляді електронної карти району обстеження, а також може створюватися планшет.

Для проведення аналізу і класифікування може бути використана геоінформаційна платформа, розглянута в (Pопов et al., 2024). Геоплатформа містить базу даних з характеристиками мін, їх магнітні і оптичні сигнатури, логіко-обчислювальний блок та ін.

Висновки

Проведений огляд стану проблеми дає змогу сформулювати такі рекомендації для подальших операцій з виявлення мін та інших вибухонебезпечних предметів у водних акваторіях України. По-перше, для масштабних первинних обстежень оптимальним є поєднання дрономагнітометрії та лідарного знімання з подальшим залученням сонарних технологій – такий двоетапний підхід дає баланс між оперативністю та точністю. По-друге, важливо інвестувати в створення баз даних і датасетів для різних типів мін і боєприпасів (з урахуванням глибини та орієнтації), що дасть змогу покращити якість класифікації знайдених підозрілих предметів; ці бази найкраще формувати на полігонах з контролем глибини і типів

макетів. По-третє, автоматизація оброблення та аналізу величезних обсягів даних за рахунок впровадження технологій машинного і глибокого навчання значно зменшить кількість хибних тривог.

Отже, необхідна розробка більш ефективних методів виявлення і знешкодження мін та інших вибухонебезпечних предметів на основі новітніх наукових розробок та досліджень. Перспективним напрямом є інтеграція автономних платформ з сучасними сенсорними системами, що дає змогу проводити масштабні обстеження без залучення персоналу у небезпечних умовах. Додатково, використання цифрових моделей, інструментарію штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматичного аналізу та класифікації об'єктів, підвищуючи точність і зменшуючи кількість хибних рішень.

Надалі важливим завданням є створення науково обґрунтованих стандартів і протоколів для проведення дистанційного зондування акваторій та знешкодження мін та інших вибухонебезпечних предметів, що забезпечить комплексну безпеку водного середовища та відновлення екосистем.

Впровадження таких підходів сприятиме не лише захисту людей, але й сталому використанню водних ресурсів, формуючи надійний фундамент для розвитку інноваційних технологій у сфері міної безпеки. При цьому БПЛА стають незамінним інструментом для розвідки міної обстановки, вони підвищують безпеку, повноту та швидкість виявлення вибухонебезпечних предметів, особливо в умовах бойових дій.

Внесок авторів: Концептуалізація – Попов М. О., Дугін С. С. та Ясько В. А.; методологія – Попов М. О., Ясько В. А.; дослідження – Дугін С. С., Ляшенко А. С. та Макаренко Є. О.; оброблення даних – Ляшенко А. С. та Макаренко Є. О.; написання – підготовка оригінального тексту – Дугін С. С.; написання – рецензування та редагування – Попов М. О., Ясько В. А., Дугін С. С., Ляшенко А. С., Макаренко Є. О. та Голубов С. І.; візуалізація – Голубов С. І. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Фінансування: Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Доступність даних: Не застосовується.

Подяки: Автори висловлюють щирі подяку та вдячні рецензентам та редакторам за цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи.

Конфлікти інтересів: Автори заявляють, що не мають конфлікту інтересів.

Author Contributions: Conceptualization – Popov M. O., Dugin S. S. and Yasko V. A.; methodology – Popov M. O., Yasko V. A.; investigation – Dugin S. S., Lyashenko A. S. and Makarenko Ye. O.; data curation – Lyashenko A. S. and Makarenko Ye. O.; writing – original draft preparation – Dugin S. S.; writing – review and editing – Popov M. O., Yasko V. A., Dugin S. S., Lyashenko A. S., Makarenko Ye. O. and Golubov S. I.; visualization – Golubov S. I. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: The authors express their sincere gratitude to the reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and attention to the work.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Література

- Афтаназів, І. С., Строган, О. І., Шевчук, А. О. (2023). Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін. *Науковий вісник НЛТУ України*, 33(3), 83–89. <https://doi.org/10.36930/40330312>.
- Блінцов, В. С., Надточий, А. В. (2024). Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. *Суднобудування та морська інфраструктура*, (1), 4–16. [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).01](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).01).
- Горбулін, В. П. (2022). Світова глобальна проблема розмінування: український вектор. *Вісник НАН України*, (2), 3–14. <https://doi.org/10.15407/vsn2022.02.003>.
- Львівський центр Інституту космічних досліджень. (б.д.). *Векторний ферозондовий магнітометр LEMI-026*. <https://www.isr.lviv.ua/lemi026ua.htm>.
- Центр протимінної діяльності. (б.д.). *Про нас*. <https://ua-npmac.org/>.
- Щипцов, О. А., Бахмутов, В. Г., Поляченко, Є. Б., Попов, М. О., Станкевич, С. А., Федосєнков, С. Г., Дугін, С. С., Щипцов, О. О. (2024). Концепт гібридної технології дистанційного виявлення вибухонебезпечних предметів на прибережному мілководді акваторій. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 11(4), 4–12. <https://doi.org/10.36023/ujsr.2024.11.4.274>.
- Ясько, В. А. (2025). Застосування технологій автоматизованого виявлення мін з використанням безпілотних літальних апаратів. В *Актуальні проблеми діяльності складових сектору безпеки і оборони України в умовах особливих правових режимів: поточний стан та шляхи вирішення : збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 467–469). Вид-во НАНУ.
- Defense Mirror. (2023, April 5). *Japanese NEC's AI-based technology can predict landmine presence with 90% accuracy*. https://defensemirror.com/news/33913/Japanese_NEC_s_AI_Based_Technology_can_Predict_Landmine_Presence_with_90_Accuracy.
- Defense Mirror. (2024, January 8). *India's DRDO develops intelligent underwater vehicles for mine detection*. https://defensemirror.com/news/40537/India_s_DRDO_Develops_Intelligent_Underwater_Vehicles_for_Mine_Detection.
- JB Unmanned Aerial Systems. (n.d.). *SENSYS MagDrone R4*. Retrieved December 27, 2025, from <https://jbuas.com/products/sensys-magdrone-r4/>.
- Kaman Corporation. (n.d.). *K-MAX Medium-to-Heavy Lift Unmanned Aerial System*. Retrieved from <https://kaman.com/>.
- Kunichik, O. V., Tereshchenko, V. M. (2022). Analysis of modern methods of search and classification of explosive objects. *Artificial Intelligence*, (2), 52–60. <https://doi.org/10.15407/jai2022.02.052>.
- Levchenko, A., Podorozhnyak, A., Liubchenko, N. (2021). Tools and methods for explosive objects detection using artificial intelligence and computer vision. In *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2020* (pp. 367–376). Springer.
- Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Dugin, S., Golubov, S., Andreiev, A., Lysenko, A., Saprykin, I. (2024). Concept of a geoinformation platform for landmines and other explosive objects detection and mapping with UAV. *Radioelectronic and Computer Systems*, (4), 207–216. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.4.17>.
- Safe Pro AI. (n.d.). *Automated landmine detection with AI*. <https://safeproai.com>.

SENSYS. (2023). *MagDrone R4: 5-channel Fluxgate Magnetometer for UAVs* [Technical description]. <https://sensysmagnetometer.com/>.

United States Navy. (n.d.). *AN/AES-1 Airborne Laser Mine Detection System (ALMDS)*. America's Navy. <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2166762/anaes-1-airborne-laser-mine-detection-system-almlds/>.

Reference

- Aftanaziv, I. S., Strohan, O. I., & Shevchuk, A. O. (2023). Search for floating mines by unmanned aerial vehicles. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(3), 83–89. <https://doi.org/10.36930/40330312>.
- Blintsov, V. S., Nadochyi, A. V. (2024). Humanitarian demining of shallow waters: technologies and robotic support. *Sudnobuduvannia ta morskia infrastruktura*, (1), 4–16. [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).01](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).01).
- Defense Mirror. (2023, April 5). *Japanese NEC's AI-based technology can predict landmine presence with 90% accuracy*. https://defensemirror.com/news/33913/Japanese_NEC_s_AI_Based_Technology_can_Predict_Land_mine_Presence_with_90_Accuracy.
- Defense Mirror. (2024, January 8). *India's DRDO develops intelligent underwater vehicles for mine detection*. https://defensemirror.com/news/40537/India_s_DRDO_Develops_Intelligent_Underwater_Vehicles_for_Mine_Detection.
- Horbulin, V. P. (2022). World global problem of demining: Ukrainian vector. *Visnyk NAN Ukrainy*, (2), 3–14. <https://doi.org/10.15407/visn2022.02.003>.
- JB Unmanned Aerial Systems. (n.d.). *SENSYS MagDrone R4*. Retrieved December 27, 2025, from <https://jbuas.com/products/sensys-magdrone-r4/>.
- Kaman Corporation. (n.d.). *K-MAX Medium-to-Heavy Lift Unmanned Aerial System*. Retrieved from <https://kaman.com/>.
- Kunichik, O. V. & Tereshchenko, V. M. (2022). Analysis of modern methods of search and classification of explosive objects. *Artificial Intelligence*, (2), 52–60. <https://doi.org/10.15407/jai2022.02.052>.
- Levchenko, A., Podorozhnyak, A., & Liubchenko, N. (2021). Tools and methods for explosive objects detection using artificial intelligence and computer vision. In *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2020* (pp. 367–376). Springer.
- Lviv Centre of Institute of Space Research. (n.d.). *LEMI-026 specifications*. <https://www.isr.lviv.ua/lemi026ua.htm>.
- Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Dugin, S., Golubov, S., Andreiev, A., Lysenko, A., & Saprykin, I. (2024). Concept of a geoinformation platform for landmines and other explosive objects detection and mapping with UAV. *Radioelectronic and Computer Systems*, (4), 207–216. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.4.17>.
- Safe Pro AI. (n.d.). *Automated landmine detection with AI*. <https://safeproai.com>.
- SENSYS. (2023). *MagDrone R4: 5-channel Fluxgate Magnetometer for UAVs*. <https://sensysmagnetometer.com/>.
- Shchypytsov, O. A., Bakhmutov, V. G., Poliachenko, Y. B., Popov, M. O., Stankevich, S. A., Fedoseienkov, S. G., Dugin, S. S., & Shchypytsov, O. O. (2024). Concept of hybrid technology for remote detection of explosive objects in coastal shallow waters. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 11(4), 4–12. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.4.274>.
- Ukrainian National Mine Action Authority. (n.d.). *About us*. <https://ua-nmac.org/en/>.
- United States Navy. (n.d.). *AN/AES-1 Airborne Laser Mine Detection System (ALMDS)*. America's Navy. <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2166762/anaes-1-airborne-laser-mine-detection-system-almlds/>.
- Yasko, V. A. (2025). Application of technologies for automated mine detection using unmanned aerial vehicles. In *Aktualni problemy diialnosti skladovykh sektoru bezpeky i oborony Ukrainy v umovakh osoblyvykh pravovykh rezhymiv: potochnyi stan ta shliakhy vyirshennia: Tezy dopovidei II Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii* (pp. 467–469). NANGU.

TOWARDS SUBSTANTIATION OF THE CONCEPTUAL MODEL OF THE MINES AND OTHER EXPLOSIVE OBJECTS IN COASTAL SHALLOW WATER AREAS DETECTION SYSTEM

Popov M. O.¹, <https://orcid.org/0000-0003-1738-8227>

Yasko V. A.², <https://orcid.org/0000-0002-4905-083X>

Liashenko A. S.², <https://orcid.org/0009-0006-3548-5150>

Dugin S. S.¹, <https://orcid.org/0000-0002-2960-3783>

Holubov S. I.¹, <https://orcid.org/0000-0003-3711-598X>

Makarenko Ye. O.¹, <https://orcid.org/0009-0002-6666-3627>

¹ State Institution “Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Olesya Honchara str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine

² State Institution “Kharkiv National University of Internal Affairs”, Lev Landau Avenue, 27, Kharkiv, 61080, Ukraine

The paper is devoted to the substantiation of the conceptual model of the system for detecting mines and other explosive objects in coastal waters. The current existing technical solutions for searching for mines in water areas are analyzed. The structure of the system for detecting mines and other explosive objects in coastal waters is given. The structure of the system consists of the following main parts: a sensor unit, a navigation and data transmission unit, a data analysis and decision-making unit. The core of the system is a sensor unit, which includes a sonar, a lidar system, an aeromagnetometer and a device for optical imaging. A feature of the system is an adaptive approach to forming the working configuration, as well as the use of artificial intelligence elements for signal analysis and decision-making. The directions of use of the system are humanitarian demining, as well as solving the tasks of engineering and sapper support of landing operations in sea and river areas. Unmanned aerial vehicles have become indispensable tools for reconnaissance of mine-contaminated areas, increasing the safety, efficiency, and speed of detecting explosive objects, especially during and after armed conflicts. Further development of sensor technologies, AI analytics, and system integration will make this field even more effective in the future.

Keywords: humanitarian demining, explosive objects, water area, unmanned aerial vehicle, sonar, magnetometer, lidar system

Рукопис статті отримано 10.12.2025

Надходження остаточної версії: 17.12.2025

Публікація статті: 30.12.2025

Received 10.12.2025

Revised 17.12.2025

Accepted 30.12.2025