



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.4.274>

УДК 004.3:004.9:550:528.8

Концепт гібридної технології дистанційного виявлення вибухонебезпечних предметів на прибережному мілководді акваторій

О. А. Щипцов¹, В. Г. Бахмутов², Є. Б. Поляченко², М. О. Попов³, С. А. Станкевич³, С. Г. Федосєнков¹, С. С. Дугін^{3*}, О. О. Щипцов¹

¹ ДУ “Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України”, просп. Академіка Глушкова, 42, лабораторний корпус В, Київ, 03187, Україна.

² Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України, просп. Палладіна, 32, Київ, 03142, Україна.

³ ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, вул. Олесь Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна.

Розглянуто проблему виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП) на прибережному мілководді акваторій. Описано технологічну частину судового програмно-технологічного комплексу для спеціалізованого синхронного моніторингу та безконтактного виявлення ВНП на прибережному мілководді акваторій. Запропоновано концепт гібридної технології дистанційного виявлення ВНП на прибережному мілководді акваторій з інноваційною складовою у частині аналізу та інтеграції гетерогенних даних. Застосування цієї технології підвищує безпеку операторів технологічного процесу, а також системи комплексного моніторингу та безконтактного виявлення вибухонебезпечних предметів. Описано структурні модулі судового програмно-технологічного комплексу, наведено сучасні технічні та програмні засоби, які можуть бути застосовані. Розглянуто деякі особливості методики застосування гідроакустичних засобів пошуку та ідентифікації ВНП.

Ключові слова: акваторія, виявлення вибухонебезпечних предметів, прибережне мілководдя, гібридна технологія, гетерогенні дані.

© О. А. Щипцов, В. Г. Бахмутов, Є. Б. Поляченко, М. О. Попов,
С. А. Станкевич, С. Г. Федосєнков, С. С. Дугін, О. О. Щипцов. 2024

Вступ

Загрози, які становлять міни та інші вибухонебезпечні предмети (ВНП), мають руйнівні наслідки як для цивільного населення, так і для військовослужбовців. Виявлення нинішніх ВНП є складним завданням, що потребує застосування передових технологій точного визначення та локалізації цих небезпек. Останніми роками було досягнуто багато далекосяжних результатів в інтеграції різних методів зондування, яка дає змогу підвищити ефективність систем виявлення ВНП (Lee J., 2023).

Залучення безпілотних літальних апаратів (БПЛА), розроблення нових методів моніторингу зони пошуку ВНП за допомогою сучасних датчиків, таких як георадари, магнітометри, металодетектори, тепловізори, багатоспектральні камери тощо, значно підвищили ефективність систем виявлення ВНП. Ці методи мають багато переваг, включно з можливістю автономного польоту, інтеграцією кількох датчиків, високою продуктивністю, суттєвим зниженням витрат і вимог до обслуговування, і, що найважливіше, безпекою операторів.

Нині в Україні вже імплементовано значну частину міжнародних стандартів протимінної

діяльності *International Mine Action Standards (IMAS)*¹, а також прийнято низку національних законодавчих і нормативно-правових актів (Кодекс ..., 2024; Наказ ..., 2016).

Указом Президента України від 17 липня 2024 р. № 468/2024 “Про рішення Ради національної безпеки і оборони України” від 17 липня 2024 р. “Про Стратегію морської безпеки України” затверджено Стратегію морської безпеки України (Указ ..., 2024). У пункті 27 Стратегії морської безпеки України серед інших визначено такі завдання:

створення “протимінної коаліції” за участю держав-членів НАТО, яка проводитиме розмінування регіону, зокрема українських морських просторів і річок, у післявоєнний період під егідою НАТО і ЄС;

проведення операцій зі знешкодження мін, установлених на українських морських просторах, річках та в акваторіях портів;

реалізація стабілізаційних заходів, зокрема щодо розмінування морських та інших акваторій;

налагодження співпраці та долучення до розмінувальної діяльності міжнародних центрів

¹ IMAS – це пакет із 42 стандартів, які містять детальний опис процедур і вимоги до проведення розмінування. У стандартах акумульовано багаторічний міжнародний досвід.

*E-mail: Dstas2389333d@i.ua

передового досвіду, зокрема з реалізації операцій у замкнених водоймах та на мілководді (*Operations in Confined and Shallow Waters, CSW COE*, м. Кіль, Федеративна Республіка Німеччина).

Законом “Про протимінну діяльність в Україні” передбачено, що однією з основних засад протимінної діяльності є ефективне використання науково-технічного потенціалу України у зазначеній сфері в інтересах національної економіки та безпеки населення.

За попередніми оцінками Державної служби з надзвичайних ситуацій України, на сьогодні вибухонебезпечними предметами забруднено близько 14 000 м² внутрішніх і морських українських акваторій. З огляду на такі реалії, науковці Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, Державної установи “Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України” та Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України об’єднали свої зусилля з метою створення модернізованої системи моніторингу та виявлення вибухонебезпечних предметів² на прибережному мілководді акваторій (Shchypstov O., 2019; Poliachenko I., 2023).

Сучасні можливості виявлення мін на прибережному мілководді

Прибережне мілководдя від урізу води до двометрової ізобати – це така специфічна частина акваторії, при розмінуванні (гуманітарному розмінуванні) якої застосування традиційних методів виявлення ВВП (умовно “сухопутного” методу – за допомогою міношукачів і щупів, “морського” – за допомогою корабельних гідроакустичних приладів, морських магнітометрів або автономних габаритних підводних апаратів), особливо занурених у каламутне водне середовище на невеликих глибинах, є технічно проблемним; воно практично не забезпечує необхідних результатів щодо отримання достовірних, точних і повних даних (Рис. 1).

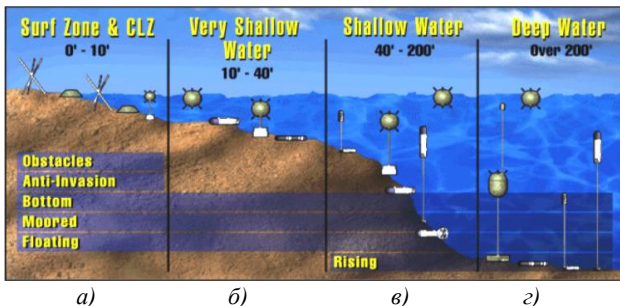


Рис. 1. Зони установки мін відповідно до шкали / градації глибин акваторії (джерело – ЗМІ):

а) ділянки прибережного мілководдя від урізу води до двометрової ізобати (глибини 0–2 м), де встановлюють донні та протидесантні міни;

б) мілководдя (глибини 3–12 м), де використовують донні, якірні та плавучі міни;

в) прибережні акваторії (глибини 12–60 м);

г) відкриті води (60 м і глибше), де використовують виринальні міни, оскільки ефективність донних мін, наприклад, проти надводних суден, стрімко знижується.

При цьому саме прибережне мілководдя, де вода підвищеної каламутності, зазнає найбільш щільного мінування протидесантними мінами. Протидесантні міни поділяються на донні і якірні. Заглиблення мін від поверхні води визначають з огляду на реалізацію їх спрацювання при дотику до об’єкта ураження (Рис. 2).

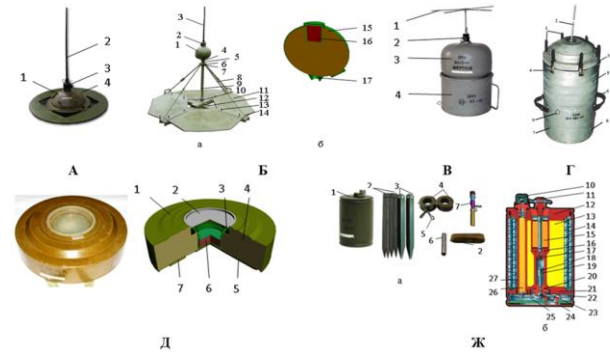


Рис. 2. Основні протидесантні міни:

А. Протидесантна міна ПДМ-1М:

1 – корпус міни із зарядом вибухової речовини; 2 – штанга; 3 – підрильник ВПДМ-1М; 4 – баластна плита.

Б. Міна ПДМ-2 на високій підставці:

(а – вигляд збоку; б – корпус міни із зарядом вибухової речовини (розріз);

1 – корпус міни із зарядом вибухової речовини; 2 – підрильник ВПДМ-2; 3 – штанга; 4 – контргайка; 5 – стрижень; 6 – тарілка; 7 – стопорний болт; 8 – розтяжка; 9 – труба; 10 – підп’ятник; 11 – лист; 12 – балка; 13 – штир; 14 – ручка; 15 – заряд вибухової речовини; 16 – додатковий детонатор; 17 – втулка).

В. Якірна річкова міна ЯРМ:

1 – хрестовина; 2 – підрильник ВРМ; 3 – корпус міни із зарядом вибухової речовини; 4 – якір.

Г. Виринальна річкова міна СРМ:

1 – бічні замкачі; 2 – штанга центрального замкача; 3 – поворотний диск; 4 – пружини; 5 – поплавок; 6 – ручка; 7 – корпус із зарядом ВР; 8 – трубка для виходу повітря; 9 – кришка вічка під підрильник ВПМП.

Д. Протитанкова міна ТМ-62 М:

(а – вигляд міни з підрильником МВЧ-62 у транспортному стані; б – розріз міни з пробкою);

1 – корпус; 2 – поліетиленова кришка; 3 – прокладка; 4 – заряд ВР; 5 – дно; 6 – додатковий детонатор; 7 – провудина для закріплення ручки.

Ж. Протиміномна міна ОЗМ-72:

(а – загальний вигляд комплексу; б – розріз не остаточно спорядженої міни);

1 – міна; 2 – кілочки дерев’яні; 3 – кілочки металеві; 4 – котушки з дротяними розтяжками; 5 – трос з карабінами; 6 – капсуль-детонатор № 8-А; 7 – підрильник МУВ-4; 8 – напрямний стакан; 9 – втулка з капсулем-запалювачем і кулькою; 10 – ковпачок; 11 – пробка; 12 і 21 – кришки; 13 – заряд вибухової речовини; 14 – корпус з осколками; 15 – додатковий детонатор; 16 – нейтральна втулка; 17 – втулка з капсулем-запалювачем; 18 – ударник; 19 – бойова пружина; 20 – втулка; 22 – натяжний трос; 23 – п’ята ударника; 24 – запобіжний ковпачок; 25 – камера; 26 – викидний заряд; 27 – трубка; 28 – капронова стрічка.

² Терміни у цій статті вжито у значеннях, визначених Законом України “Про протимінну діяльність в Україні”.

Висадка десанту під час вирішення протидесантних і протидиверсійних завдань (Рис. 3).



Рис. 3. Фотофрагменти висадки десанту на прибережному мілководді

Неприсосованість чинних методів і технічних засобів для пошуку та виявлення ВВП на прибережному мілководді акваторій (від урізу води до двометрової ізобати) потребує розроблення та впровадження нетрадиційних підходів і кардинально інших технологій.

Одним з них є метод одночасного застосування сенсорів різної фізичної природи для моніторингу прибережного мілководдя акваторії та дистанційного виявлення ВВП з використанням спеціалізованого судна та суднового програмно-технологічного комплексу, до складу якого включено окремі структурні модулі – легкі пошукові БПЛА палубного базування.

Щодо формування суднового програмно-технологічного комплексу для моніторингу та безконтактного виявлення мін та інших ВВП на прибережному мілководді акваторії

Для координації роботи та виявлення розташування БПЛА судновий програмно-технологічний комплекс для моніторингу та безконтактного виявлення мін та інших ВВП на прибережному мілководді акваторії (далі – судновий моніторинговий комплекс) має бути оснащений системою глобального позиціонування (GPS). За цих умов при виявленні ВВП і визначенні координат його положення судновий оператор протимінної діяльності позначає ВВП на заздалегідь завантаженому планшеті району обстеження прибережного мілководдя акваторії та надсилає дані через інтернет користувачеві.

Однак досягти достатнього рівня достовірності, точності та повноти даних у багатьох випадках не вдається через обмеженість, неповноту та акустичне забруднення (зашумленість) даних від бортових сенсорів БПЛА. При обстеженні прибережного мілководдя, де зазвичай підвищена каламутність води, ці проблеми проявляються більш явно та часто.

Перевага пропонованого методу полягає у здійсненні синхронного моніторингу заданої ділянки прибережного мілководдя акваторії, виявленні та фіксуванні місця розташування ВВП одночасно кількома БПЛА, оснащеними трьома типами бортових сенсорів.

Розрахунково це дасть змогу одномоментно комплексно обробити та проаналізувати дані від кількох джерел і забезпечить високу ефективність виявлення занурених мін та інших ВВП.

Теоретично для цього придатні три типи бортових сенсорів, які закріплюють на легких пошукових БПЛА, – це цифрові камери оптичного діапазону, прецизійні магнітометри та гідроакустичні датчики (зокрема гідроакустичний датчик, прикріплений до троса, який опускають з БПЛА за допомогою бортової електролебідки).

Усі зазначені типи бортових сенсорів передбачено спільно випробувувати у тестовому режимі в складі суднового моніторингового комплексу.

Результати тестових випробувань будуть покладені в основу обґрунтування модернізованої методики моніторингу та безконтактного виявлення ВВП на прибережному мілководді акваторій.

Ідею дослідження та принципову схему суднового моніторингового комплексу показано на Рис. 4.

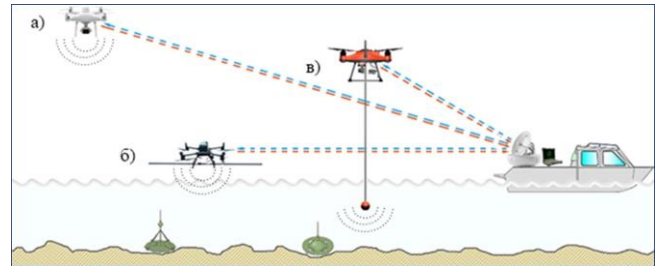


Рис. 4. Принципова схема суднового програмно-технологічного комплексу для спеціалізованого синхронного моніторингу та безконтактного виявлення вибухонебезпечних предметів на прибережному мілководді акваторій (від урізу води до двометрової ізобати) з трьома типами бортових сенсорів на легких пошукових БПЛА: а) цифровими камерами оптичного спектра; б) прецизійними магнітометрами; в) гідроакустичними датчиками

Наводимо короткий опис окремих структурних модулів суднового моніторингового комплексу.

Структурний модуль оптичних засобів виявлення ВВП (Рис. 5).



Рис. 5. Квадрокоптери з багатоспектральною камерою (а), з дуальною камерою видимого/інфрачервоного діапазонів (в), а також захищена портативна робоча станція (б)

Застосування оптичних засобів виявлення ВВП (Лялько В., 2015; Попов М., 2022; Роров М., 2022) потребує використання такого технічного обладнання:

легких БПЛА коптерного типу, які обладнано повнокольоровою та багатоспектральною (4–6 робочих діапазонів) цифровими камерами;

легких БПЛА коптерного типу, які обладнано повнокольоровою та інфрачервоною (теплого діапазону) цифровими камерами;

захищених портативних графічних робочих станцій з програмним забезпеченням для аналізу, інтеграції одержуваних даних і документування результатів.

Структурний модуль магнітометричних засобів виявлення ВВП (Рис. 6).



Рис. 6. Модуль магнітометричних засобів виявлення ВВП з магнітометром *MagArrow*

Застосування магнітометричних засобів виявлення ВВП (Poliachenko I., 2023; Чорний С., 2024) потребує використання такого технічного обладнання:

БпЛА типу *DJI Agras T30*; магнітометра типу *SensysMagDroneR3* (*SensysMagDroneR4*) з системою виносного обладнання для закріплення магнітометра на БпЛА (наприклад, *MinesEye Proprietary Extender* (патент № а202302941) та реєстратора даних *MinesEye* (Poliachenko I., 2023)); системи геопозиціонування *RTK GNSS*; генератора 11 кВт;

інших моделей магнітометрів (наприклад, *MagArrow*);

адаптації методики проведення комплексних польових досліджень з виявлення наземних мін за допомогою магнітометрів на базі БпЛА, включно з необхідним програмним забезпеченням, стосовно обстежень прибережного мілководдя акваторій;

базу даних боєприпасів, які найчастіше зараз використовують на території України та виявляють магнітометричною апаратурою.

Доречно зазначити, що на базі магнітної станції “Демидів” Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України вже обладнано спеціальний стенд і створено полігон, який також охоплює акваторію озера, для проведення тестових магнітометричних досліджень та створення бази даних із залученням різних типів макетів боєприпасів, зокрема протитанкових (ТМ-62), протипіхотних (*PFM-1*, *OZM-72*), морських (ПДМ) мін та інших ВВП з огляду на їх встановлення на різних глибинах.

Також слід відзначити, що інформативність магнітних засобів базується на відмінності магнітних властивостей розшукуваних ВВП (наприклад, мін) від властивостей навколишнього природного середовища (зокрема це річкові, озерні та морські осадові відкладення), що відображається у магнітних аномаліях над заліззовмісними об’єктами. Це дає змогу окреслювати межі цих джерел, проектувати їх розташування на поверхню води, будувати планшети (карти), що важливо для планування подальших дій на досліджуваному прибережному мілководді акваторій.

Структурний модуль гідроакустичних засобів виявлення ВВП (Рис. 7).



Рис. 7. Фрагмент спеціалізованого синхронного моніторингу та безконтактного виявлення металевієї протидесантної міни ПДМ-1М (заглиблення міни від поверхні води до її штанги від 0,1 до 0,9 м) на потенційно забрудненому ВВП прибережному мілководді акваторії: використання портативного багатопроменевого гідролокатора (разом із належним програмним забезпеченням) у складі пошукового БпЛА

Застосування гідроакустичних засобів виявлення ВВП (Гончар А., 2014; Щипцов О., 2019; Щипцов О., 2019) потребує використання такого технічного обладнання:

спеціалізованого судна (наприклад, можна використати науково-дослідне судно “Анатолій Гончар” НАН України, оснащене гідроакустичним комплексом);

моніторингового комплексу у складі адаптованих: БпЛА типу *WSD4* (з відповідним програмним забезпеченням); багатопроменевого ехолота *SEABAT³ T50-R* з випромінювачем *TC2187*; багатопроменевого гідролокатора *BV5000 3D* (або ультрамініатюрного сканувального цифрового сонара моделі 852); дистанційно керованого підводного апарата *Chasing M2 PRO*, оснащеного двочастотним гідролокатором *Oculus M750d*; програмного забезпечення *HYPACK* та ін.

Перераховані структурні блоки судового моніторингового комплексу розрахунково дають змогу:

підсилити рівень безпеки судових операторів протимінної діяльності, які на борту судна (без заходу в потенційно небезпечну зону прибережного мілководдя акваторії) зможуть дистанційно провести необхідне обстеження заданої ділянки, використовуючи спеціально обладнані БпЛА;

провести спеціалізований синхронний моніторинг прибережного мілководдя акваторії з метою виявлення ВВП та одночасно здійснити тестування повноти змісту розробленої методики застосування гідроакустичних засобів пошуку та ідентифікації. Проведення моніторингу оператор скеровує дистанційно як із базового судна, так і з берегового укриття;

³ Виробником багатопроменевих ехолотів *SEABAT* є данська компанія *Teledyne RESON*.

укласти моніторингові планшети обстежених ділянок акваторії, де буде підтверджено наявність мінної небезпеки, з подальшим камеральним складанням відповідних карт для оборонних потреб з планування десантних операцій, а також для потреб гуманітарного розмінування.

Зазначимо, що запропонований спеціалізований синхронний моніторинг прибережного мілководдя акваторії обов'язково має включати два основні етапи: перший – обстеження заданої потенційно замінованої ділянки акваторії з метою виявлення ВВП та фіксації їхніх координат; другий – контрольний моніторинг та обстеження після проведення розмінування заданої ділянки прибережного мілководдя акваторії.

Також передбачено розроблення, впровадження і масштабування застосування пакета програмного забезпечення (наприклад, *UMISOFTTM DC* компанії *ECA Group*), яке забезпечить одночасне керування групою БПЛА з метою заощадження часу обстеження, матеріальних витрат та мінімізації ризиків для операторів під час виконання місій моніторингового виявлення ВВП на заданих ділянках прибережного мілководдя акваторії.

Про деякі особливості методики застосування гідроакустичних засобів пошуку та ідентифікації ВВП

Візуалізацію підводної обстановки прибережного мілководдя акваторії (на ділянках від урізу води до двометрової ізобати) в системі реального часу від багатопроменевого гідролокатора *Oculus M-Series*⁴ отримують з геоприв'язкою за допомогою *GPS*.

Бортова передавальна апаратура БПЛА взаємодіє з судновим спеціалізованим ноутбуком, на який встановлено відповідну програму *HYPACKsweep* (чи аналогічну їй).

У процесі моніторингу судновий оператор протимінної діяльності отримує дані про виявлені ВВП і зберігає їх в електронному журналі цілей, визначає координати ВВП, за якими наносить на план-схему полігона положення виявленого ВВП у вигляді відповідних точок (у заданій ділянці акваторії, яку вважають потенційно забрудненою ВВП), будує електронну карту району обстеження за допомогою комп'ютерної програми *GlobalMapper* та формує планшет встановленого формату (Рис. 8).

За основу можуть бути обрані електронні моніторингові планшети та карти Державної установи “Держгідрографія”.

Оператор протимінної діяльності засобами інтернет передає електронну версію моніторингового планшета обстежуваного полігона уповноваженим користувачам для:

використання при складанні моніторингових карт обстежених акваторій, у яких підтверджена мінна небезпека, в інтересах забезпечення оперативною та актуальною інформацією процесу гуманітарного розмінування;

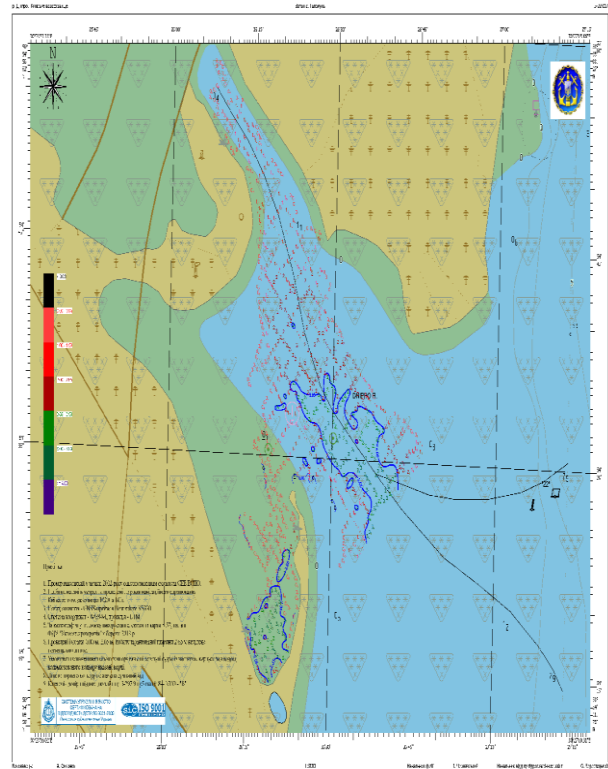


Рис. 8. Зразок моніторингового планшета

сприяння наповненню державної централізованої інформаційної бази даних, яка функціонує в рамках Системи управління інформацією про протимінну діяльність (*IMSMA*)⁵, оперативними та актуальними даними про підтверджену мінну небезпеку у відповідних акваторіях.

На завершення наголосимо, що в цій публікації розглянуто лише технологічну частину суднового програмно-технологічного комплексу для спеціалізованого синхронного моніторингу та безконтактного виявлення ВВП на прибережному мілководді акваторій. Її основна мета та напрям діяльності – збір моніторингових даних.

Друга частина проекту з розроблення гібридної технології для дистанційного виявлення вибухонебезпечних предметів стосується безпосередньої роботи з моніторинговими даними: оперативного та синхронного аналізу, інтеграції, визначення якості та візуалізації даних тощо, отриманих від описаних вище структурних модулів (Щипцов О., 2021). Акцент буде зроблено на дослідженні багатогранних керунків застосування штучного інтелекту та розроблення програмних модулів з інноваційною складовою для потреб синхронного розпізнавання зображень від декількох джерел, впровадження алгоритмів машинного навчання та ін.

Автори статті висловлюють впевненість, що науково-технічний потенціал Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії

⁴ Багатопроміневий гідролокатор *Oculus M-Series* надає дані обстеження високої розрізняювальної здатності (до 2 мм) для формування зображення донної поверхні у системі реального часу.

⁵ *IMSMA* – програмне забезпечення, розроблене для підтримки потреб фахівців у сфері протимінної діяльності при прийнятті рішень, проведенні моніторингу та підготовці звітності.

наук України”, Державної установи “Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України” та Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України надалі буде залучено до реалізації “Плану заходів з реалізації Стратегії морської безпеки України” (затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 листопада 2024 р. № 1162-р), а саме: цілі 7 “Подолання наслідків ведення бойових дій, техногенних та екологічних катастроф, запобігання забрудненню Азовського і Чорного морів, річок, поліпшення їх екологічного стану”. Власне для наукового супроводу та обґрунтування, тестування та своєчасного впровадження сучасної модернізованої методології виявлення ВНП у рамках практичної реалізації завдання 53 “Проведення операції із знешкодження мін, установлених державою-агресором в українських морських просторах, річках та портах” і призначена ця авторська розробка гібридної технології спеціалізованого синхронного моніторингу, дистанційного пошуку та ідентифікації ВНП на прибережному мілководді акваторій від урізу води до двометрової ізобати.

Висновок

Розмінування територій є однією з глобальних світових проблем, яка має тепер ще й “український вектор” (Горбулін В., 2022). Розв’язання цієї складної задачі потребує об’єднання зусиль науковців і фахівців-практиків для розроблення нових інноваційних підходів і наукоємних технологій (Щипцов О., 2024). У статті розглянуто сучасні проблемні аспекти розмінування у частині виявлення ВНП на прибережному мілководді акваторій.

Запропоновано концепт гібридної технології (з інноваційною складовою) для дистанційного виявлення ВНП, застосування якої підвищує безпеку судових операторів протимінної діяльності; системи комплексного моніторингу та безконтактного виявлення вибухонебезпечних предметів. Описано потенційні структурні модулі судового програмно-технологічного комплексу для моніторингу та безконтактного виявлення мін та інших ВНП на прибережному мілководді акваторії, наведено сучасні технічні та програмні засоби, які можуть бути застосовані для пошуку та/або ідентифікації ВНП. Розглянуто деякі особливості методики застосування гідроакустичних засобів пошуку та ідентифікації ВНП.

Author Contributions: Conceptualization, O. A. Shchiptsov, M. O. Popov and V. G. Bakhmutov; methodology, M. O. Popov; formal analysis, O. A. Shchiptsov; investigation, S. A. Stankevich, E. B. Polyachenko and S. S. Dugin; data curation, S. G. Fedoseenkov and O. O. Shchiptsov; writing – original draft preparation, O. A. Shchiptsov, M. O. Popov; writing – review and editing, O. A. Shchiptsov, M. O. Popov, V. G. Bakhmutov and S. S. Dugin; visualization, S. S. Dugin. 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: We are grateful to reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and attention to the work.

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

Внесок авторів: Концептуалізація – О. А. Щипцов, М. О. Попов та В. Г. Бахмутов, методологія – М. О. Попов, формальний аналіз – О. А. Щипцов, дослідження – С. А. Станкевич, Є. Б. Поляченко та С. С. Дугін; оброблення даних – С. Г. Федосєєнков та О. О. Щипцов; підготовка тексту статті: авторський рукопис – О. А. Щипцов, М. О. Попов; рецензування та редагування – О. А. Щипцов, М. О. Попов, В. Г. Бахмутов та С. С. Дугін; візуалізація – С. С. Дугін. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Фінансування: Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Доступність даних: Не застосовується.

Подяки: Вдячні рецензентам та редакторам за цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи.

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

Література

- Гончар, А. І., Федосєєнков, С. Г., Шличек, Л. І. (2014). Гідроакустичні методи та засоби морських інформаційних технологій. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України*, тези доповідей V науково-технічної конференції, 217–218.
- Горбулін, В. П. (2022). Світова глобальна проблема розмінування: український вектор. *Вісник НАН України*, 2, 3–13. doi: <https://doi.org/10.15407/vsn2022.02.003>
- Кодекс цивільного захисту України. Розд. III ст. 17. (2024). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
- Лялько, В. І., Попов, М. О., Щипцов, О. А., Станкевич, С. А., Целішев, І. Ю. (2015). Методи аерокосмічного моніторингу в задачах забезпечення безпеки об’єктів територіального моря та берегової лінії України. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки* (с. 452). Київ: Видавничий дім Дмитра Бураго.
- Попов, М. О., Станкевич, С. А., Мосов, С. П. (2022). Виявлення наземних мін із використанням комплексу датчиків повітряного моніторингу оптичного діапазону. *Цивільна безпека: Державне управління та кризовий менеджмент*, 1, 37–55. doi: <https://doi.org/10.33269/sbcs.2022.1.37-55>
- Про прийняття міжнародних стандартів з протимінної діяльності як національних нормативних документів України. № 230. (2016): наказ ДП Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0230774-16#Text>
- Про протимінну діяльність в Україні (2024): Закон України. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19#Text>
- Про організацію робіт з виявлення, знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів на території України та взаємодію під час їх виконання. № 405/223/625/455. (2008): наказ МНС, Міноборони, Мінтрансв’язку та Адміністрації ДПСУ. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0591-08#Text>
- Про Стратегію морської безпеки України. № 468/2024 (2024): Указ Президента України. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/468/2024#Text>

- Про упорядкування робіт з виявлення, знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів. № 2294. (1999): постанова Кабінету Міністрів України. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2294-99-%D0%BF#Text>
- Чорний, С. В., Дугін, С. С., Станкевич С. А., Попов М. О., Голубов, С. І. (2024). Прототип бортового магнітометра БПЛА для виявлення мін на суходолі. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 11 (3), 17–21. doi: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.3.269>
- Щипцов, О. А. (2024). *Національні наукові інтереси України на морі: від витоків до перспектив*. Київ: Наукова думка.
- Щипцов, О. А. (2021). Цифровий вектор розвитку України: формування національної індустрії океанографічних геопросторових даних. *Геофізический журнал*, 43 (1), 266–275.
- Щипцов, О. А., Анцелевич, Г. О., Стефанов, Г. С., Щипцов, О. О. (2019). *Міжнародне морське право: Правовий статус науково-дослідних суден*. Київ: ДУ "Гідрофізичний центр НАН України"; Одеса: Фенікс.
- Щипцов, О. А., Федосєєнков, С. Г., Шундель, О. І. (2019). Теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження виявлення циліндричних об'єктів гідроакустичними засобами. *Геоінформатика*, 4 (72), 96–105.
- Щипцов, О. А., Щипцов, О. О. (2019). Наука про океан у наступному десятилітті. *Океанографічний журнал*, 1 (12), 5–40.
- Lee, J., Lee, H., Ko, S., Ji, D., Hyeon, J. (2023). Modeling and implementation of a joint airborne ground penetrating radar and magnetometer system for landmine detection. *Remote Sensing*, 15, 3813. doi: <https://doi.org/10.3390/rs15153813>
- Poliachenko, I., Kozak, V., Bakhmutov, V., Cherkes, S., Varava, I. (2023). Preliminary results of UAV magnetic surveys for unexploded ordnance detection in Ukraine: Effectiveness and challenges. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(5), 126–140. doi: <https://doi.org/10.24028/gj.v45i5.289117>
- Popov, M. O., Stankevich, S. A., Mosov, S. P., Titarenko, O. V., Dugin, S. S., Golubov, S. I., & Andreiev, A. A. (2022). Method for minefields mapping by imagery from unmanned aerial vehicle. *Advances in Military Technology*, 17(2), 211–229. doi: <https://doi.org/10.3849/aimt.01722>
- References**
- Chornyi, S. V., Duhin, S. S., Stankevych, S. A., Popov, M. O., Holubov, S. I. (2024). Prototyp bortovoho mahnetometra BPLA dlia vyivlennia min na sukhodoli. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*, 11 (3), 17–21. doi: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.3.269>
- Honchar, A. I., Fedoseienkov, S. H., Shlychek, L. I. (2014). Гідроакустичні методи та засоби морських інформаційних технологій. *Problemi pytannia rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Zbroinykh Syl Ukrainy*, tezy dopovidei V naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 217–218.
- Horbulin, V. P. (2022). Svitova hlobalna problema rozminuvannia: ukrainskyi vektor. *Visnyk NAN Ukrainy*, 2, 3–13. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2022.02.003>
- Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. Article 17 Chapter 4 Section III. (2024). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
- Lee, J., Lee, H., Ko, S., Ji, D., Hyeon, J. (2023). Modeling and implementation of a joint airborne ground penetrating radar and magnetometer system for landmine detection. *Remote Sensing*, 15, 3813. doi: <https://doi.org/10.3390/rs15153813>
- Lialko, V. I., Popov, M. O., Shchypstov, O. A., Stankevych, S. A., Tselyshev, I. Yu. (2015). Metody aerokosmichnoho monitorynhu v zadakhakh zabezpechennia bezpeky ob'ektiv terytorialnoho moria ta berehovoii linii Ukrainy. *Problemi pytannia rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki*. Kyiv: Vydavnychi dim Dmytra Buraho.
- Pro orhanizatsiiu robiz z vyivlennia, zneshkodzhennia ta znyschennia vybukhonebezpechnykh predmetiv na terytorii Ukrainy ta vzaiemodii pid chas yikh vykonannia. No. 405/223/625/455 (2008): nakaz MNS, Minoborony, Mintransviazku ta Administratsii DPSU. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0591-08#Text>
- Pro pryiniattia mizhnarodnykh standartiv z protymynnoi diialnosti yak natsionalnykh normatyvnykh dokumentiv Ukrainy. No. 230. (2016): nakaz Derzhavnoho pidpriemstva "Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti" Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0230774-16#Text>
- Poliachenko, I., Kozak, V., Bakhmutov, V., Cherkes, S., Varava, I. (2023). Preliminary results of UAV magnetic surveys for unexploded ordnance detection in Ukraine: Effectiveness and challenges. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45 (5), 126–140. doi: <https://doi.org/10.24028/gj.v45i5.289117>
- Popov, M. O., Stankevich, S. A., Mosov, S. P. (2022). Vyivlennia nazemnykh min iz vykorystanniam kompleksu datchykyv povitrianoho monitorynhu optychnoho diapazonu. *Tsyvilna bezpeka: Derzhavne upravlinnia ta kryzovyi menedzhment*, 1, 37–55. doi: <https://doi.org/10.33269/sbcs.2022.1.37-55>
- Popov, M. O., Stankevich, S. A., Mosov, S. P., Titarenko, O. V., Dugin, S. S., Golubov, S. I., & Andreiev, A. A. (2022). Method for minefields mapping by imagery from unmanned aerial vehicle. *Advances in Military Technology*, 17 (2), 211–229. doi: <https://doi.org/10.3849/aimt.01722>
- Pro protymynnu diialnist v Ukraini. (2024): Zakon Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19#Text>
- Pro Stratehiu morskoi bezpeky Ukrainy. No. 468/2024 (2024) : Ukaz Prezydenta Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/468/2024#Text>
- Pro uporiadkuvannia robiz z vyivlennia, zneshkodzhennia ta znyschennia vybukhonebezpechnykh predmetiv. No. 2294. (1999): postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2294-99-%D0%BF#Text>
- Shchypstov, O. A. (2024). *Natsionalni naukovi interesy Ukrainy na mori: vid vytokiv do perspektiv*. Kyiv: Naukova dumka.
- Shchypstov, O. A. (2021). Tsyfrovyi vektor rozvytku Ukrainy: formuvannia natsionalnoi industrii okeanohrafichnykh heoprostorovykh danykh. *Heofizychnyi zhurnal*, 43 (1), 266–275.
- Shchypstov, O. A., Antselevych, H. O., Stefanov, H. S., Shchypstov, O. O. (Eds.). (2019). *Mizhnarodne morskoe pravo: Pravovyi status naukovo-doslidnykh suden*. Kyiv: DU "Hidrofizychnyi tsentr NAN Ukrainy"; Одеса: Фенікс.
- Shchypstov, O. A., Fedoseienkov, S. H., Shundel, O. I. (2019). Teoretychne obgruntuvannia ta eksperymentalne pidtverdzhennia vyivlennia tsylindrychnykh ob'ektiv hidroakustychnymy zasobamy. *Heoinformatyka*, 4 (72), 96–105.
- Shchypstov, O. A., Shchypstov, O. O. (2019). Наука про океан у наступному десятилітті. *Океанографічний журнал*, 1 (12), 5–40.

THE CONCEPT OF A HYBRID TECHNOLOGY FOR REMOTE DETECTION OF EXPLOSIVE OBJECTS IN COASTAL SHALLOW WATER AREAS

O. A. Shchypstov¹, V. G. Bakhmutov², Y. B. Polyachenko², M. O. Popov³, C. A. Stankevich³, S. G. Fedoseenkov¹, S. S. Dugin³, O. O. Shchypstov¹

¹ *State installation Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Akademika Glushkova Ave., 42, laboratory building B. Kyiv, 03187, Ukraine*

² *Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Palladin Ave., 32, Kiev, 03142 Ukraine.*

³ *State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine", Olesia Honchara Str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine*

The problem of detecting explosive objects in coastal shallow water areas is considered. Only the technological part of a single ship software and technological complex for specialized synchronous monitoring and non-contact detection of explosive objects in coastal shallow water areas is considered. The emphasis was placed on the study of multifaceted directions of applying artificial intelligence and developing software modules with an innovative component for the needs of synchronous recognition of images from multiple sources, the implementation of machine learning algorithms, etc. The concept of a hybrid technology for remote detection of explosive objects in coastal shallow water areas (with an innovative component in the processing, analysis and integration of heterogeneous data) is proposed, the use of which ensures increased safety for operators of the technological process. The use of this technology ensures increased safety for operators of the technological process; as well as a system of complex monitoring and non-contact detection of explosive objects. Potential structural modules of the system are described, modern technical and software tools that can be applied are presented. Some features of the methodology for using hydroacoustic means to search and identify explosive objects are considered.

Keywords: water area, detection of explosive objects, coastal shallow water, hybrid technology, heterogeneous data.

*Рукопис статті отримано 30.11.2024
Надходження остаточної версії: 17.12.2024
Публікація статті: 30.12.2024*