

## ПРОЄКТНІ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ ДЛЯ ОХОРОНИ ТА ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

**Блінцов В. С.**, д.т.н., професор, професор кафедри автоматичного та електроустаткування Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна, e-mail: [bvs050803@ukr.net](mailto:bvs050803@ukr.net), ORCID: 0000-0002-3912-2174;

**Тарчук А. А.**, аспірант кафедри теорії та конструювання суден Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна, e-mail: [tarchuk1996@gmail.com](mailto:tarchuk1996@gmail.com), ORCID: 0009-0009-6904-2544;

**Трибулькевич В. В.**, викладач кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна, e-mail: [vika.trybulkevich@nuos.edu.ua](mailto:vika.trybulkevich@nuos.edu.ua), ORCID: 0000-0003-2251-6932.

*Сформульовано завдання підвищення ефективності охорони і захисту об'єктів морської критичної інфраструктури шляхом застосування спеціальних засобів морської робототехніки. Сформульовано основні види робіт, які можна виконувати з залученням засобів морської робототехніки. Вони включають надводне та підводне обстеження акваторій, спостереження за виявленими потенційно небезпечними предметами та технічну протидію цим предметам. Запропоновано основні етапи робіт щодо створення нових засобів робототехніки. Вони включають аналіз існуючих типів робіт, формування критеріїв ефективності їх застосування, обґрунтування нового архітектурно-конструктивного типу робота та задач його проектування. Для першого етапу робіт запропоновано множини засобів морської робототехніки та множини змінного начіпного обладнання, які доцільно залучати до охоронних робіт. Для другого етапу робіт запропоновано три критерії ефективності застосування робіт: їх продуктивність, якість робіт та економічна ефективність застосування. Для третього етапу робіт запропоновано удосконалений варіант автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм. Робот поєднує переваги традиційних автономних та прив'язаних ненаселених підводних апаратів. Він має високу продуктивність, постійний двосторонній зв'язок з судном забезпечення та може працювати на великих відстанях від нього. Для четвертого етапу робіт сформульовано задачі конструювання удосконаленого підводного апарата з радіобуєм, проєктні задачі його енергетики, інформатики та експлуатації. Результати дослідження утворюють науково-технічне підґрунтя проєкту створення удосконаленого варіанту морської робототехніки для ефективної охорони та захисту об'єктів морської критичної інфраструктури.*

**Ключові слова:** об'єкт морської інфраструктури; засіб морської робототехніки; підводний апарат; буксирований радіобуй.

DOI: 10.33815/2313-4763.2024.1.28.079-091

**Вступ.** До об'єктів морської критичної інфраструктури відносяться (МКІ, в англомовній літературі – Critical Maritime Infrastructure, CMI) об'єкти, які є стратегічно важливими для економіки і національної безпеки держави [1]. Порушення функціонування таких об'єктів може призвести до екологічних катастроф та завдати шкоди життєво важливим національним інтересам держави. Очевидно, що водні транспортні системи морських держав (у першу чергу, морський транспорт, морські та річкові шляхи та порти), видобувні споруди морського шельфу (морські стаціонарні нафтогазові платформи, підводні трубопроводи) та морські системи кабельного зв'язку (підводні кабелі) належать до об'єктів МКІ і повинні мати сучасну систему безпеки [2].

Забезпечення безпечного функціонування таких об'єктів у кризових ситуаціях природного чи антропогенного походження є актуальним науково-технічним завданням. Систему безпеки таких об'єктів доцільно будувати на основі комплексного застосування засобів морської робототехніки (ЗМР, в англомовній літературі – Marine Robotics, MR) – безпілотних літальних апаратів морського застосування, безекіпажних надводних і підводних апаратів, а також стаціонарних підводних апаратів донного базування [3].

**Постановка проблеми.** Охорона та захист об'єктів МКІ передбачає виконання наступної множини робіт  $J_{SMI}$  незалежно від технологій їх виконання:

- надводне обстеження захищених акваторій  $J_A$  на предмет виявлення стаціонарних чи рухомих надводних та підводних (підповерхневих) потенційно небезпечних предметів (ПНП), які несанкціоновано знаходяться на цих акваторіях;
- підводне обстеження  $J_O$  об'єктів МКІ, розміщених на захищених акваторіях, на предмет виявлення ПНП, які несанкціоновано встановлені на цих об'єктах;
- спостереження  $J_M$  за функціонуванням виявлених ПНП на предмет виявлення загроз об'єктам МКІ;
- технічна протидія  $J_R$  виявленим ПНП з метою недопущення нанесення шкоди об'єктам МКІ.

Тобто, базова множина робіт  $J_{SMI}$  з охорони об'єктів МКІ має вид:

$$J_{SMI} = \{J_A; J_O; J_M; J_R\}. \quad (1)$$

Очевидно, що у загальному випадку для кожного виду робіт множини (1) має бути створено відповідний тип ЗМР, який би максимально повно відповідав технології виконання цієї роботи.

Тому задачу створення ЗМР  $T_{MR}$  з необхідними технічними характеристиками, призначених для охорони об'єктів МКІ, доцільно розв'язувати як послідовність наступних етапів:

- етап  $T_R$  – огляд і критичний аналіз існуючих типів ЗМР з позицій їх відповідності роботам множини (1);
- етап  $T_K$  – формування критеріїв ефективності застосування ЗМР для виконання робіт множини (1);
- етап  $T_C$  – обґрунтування вибору архітектурно-конструктивних типів ЗМР, які максимально повно відповідають вимогам критеріїв ефективності застосування ЗМР для виконання робіт множини (1);
- етап  $T_P$  – обґрунтування основних проєктних задач (внутрішнє проєктування), які необхідно розв'язати для створення ЗМР з необхідними технічними та експлуатаційними характеристиками для виконання робіт множини (1).

Множину етапів розв'язку задачі  $T_{MR}$  створення ЗМР для виконання робіт множини (1) по охороні об'єктів МКІ позначимо наступним відношенням:

$$T_{MR} = \{T_R; T_K; T_C; T_P\}. \quad (2)$$

Базова множина (1) робіт  $J_{SMI}$  з охорони та захисту об'єктів МКІ та множина етапів (2) задачі  $T_{MR}$  створення ЗМР для виконання робіт по охороні об'єктів МКІ утворюють план даного дослідження.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання створення і застосування АНПА з радіобуями давно знаходяться у полі зору науковців та інженерів провідних морських країн світу.

За призначенням сучасні АНПА-РБ укрупнено можна розділити на робочі, зв'язкові, інспекційні та розважальні.

Прикладом робочого АНПА-РБ є підводний апарат спільного виробництва італійської компанії «Pluto» та швейцарської компанії «idRobotica» [4]. АНПА-РБ складається з підводного апарата-робота «Pluto Plus ROV» та буксированого радіобуя. Підводний апарат-робот оснащений акумуляторним джерелом живлення і призначений для виконання широкого спектру підводних робіт – від підводної археології до пошуку та знешкодження морських мін. Наявність буксированого радіобуя надає апарату переваги АНПА (відсутність механічного зв'язку з судном забезпечення) та переваги НППА (можливості передачі підводної інформації та оперативного керування апаратом у реальному часі).

Радіобуй, що входить до складу АНПА-РБ, забезпечує зручний бездротовий зв'язок з береговим центром керування (БЦК) і дає змогу виконувати високоточні підводні місії у реальному часі. Радіобуй виконано у формі вертикального крила з мінімальним

гідродинамічним опором буксируванню та високою остійністю за рахунок використання кіля.

У комплект радіобуя входять:

- радіобуй з відповідними водонепроникними контейнерами для електроніки та акумуляторного джерела живлення;
- кабель-буксир (КБ), корінний кінець якого закріплений на барабані малогабаритної автоматичної кабельної лебідки (КЛ), яка встановлена на АНПА «Pluto Plus ROV»;
- антени зв'язку і керування (Wi-Fi, радіо, GPS);
- програмний пакет автоматичної навігації.

Радіобуй відстежує сигнали супутникової навігаційної системи GPS і дає можливість визначити підводне положення АНПА і передавати його на БЦК.

Недоліком цієї підводної системи є її громіздкість та складність експлуатації, особливо на стадіях розгортання/згортання системи.

Підводні радіобуї зв'язкового призначення спершу з'явилися як засоби комунікації підводних човнів (ПЧ) з береговими військово-морськими базами [5, 6]. Вони забезпечували оперативний радіообмін без необхідності спливати на поверхню моря і, таким чином, гарантували прихованість факту перебування ПЧ, який веде операцію у ворожих водах.

Конструктивно такі системи зв'язку склались з розташованих на палубі ПЧ лебідки з кабель-буксиром (КЛ), «гаражу» для зберігання РБ (ГРБ) та механізму утримання та випуску-прийому (МУВП) РБ.

Недоліком таких систем є їх великі масо-габарити та складність експлуатації.

До АНПА-РБ розважального призначення належить підводний апарат «Gladius Advanced Pro» фірми «Chasing Innovation» (КНР) [7]. Завдяки простим у управлінні елементам керування, сенсорам освітлення та вбудованим алгоритмам якості зображення цей вид ЗМР дає змогу непідготовленому оператору знайомитись з підводним світом, знімаючи високоякісні фото- та відеозображення з берегової смуги або з борту будь-якого судна, призначеного для відпочинку та туризму.

Недоліком АНПА-РБ цього типу є відсутність можливості встановлювати будь-яке зовнішнє начіпне обладнання.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка науково-технічного підґрунтя для створення сучасних засобів морської робототехніки, призначених для ефективної охорони і захисту об'єктів морської критичної інфраструктури від підводних загроз.

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення поставленої мети у роботі використано методи системного підходу, які передбачають врахування взаємного впливу усіх значущих складових новостворюваного інноваційного технічного об'єкта, метод декомпозиції завдань роботизації на окремі види підводних робіт та метод декомпозиції при формулюванні розв'язку задач множини  $T_{MR}$  створення ЗМР для охорони і захисту об'єктів МКІ.

Розглянемо послідовно розв'язок сформульованих вище етапів робіт множини (2).

Етап  $T_R$  – огляд і критичний аналіз існуючих типів ЗМР.

Аналіз науково-технічної та виробничої літератури, а також практичний досвід авторів у розробці та впровадженні засобів морської робототехніки свідчить, що для охорони об'єктів морської критичної інфраструктури доцільно залучати наступні види цієї техніки:

– безпілотні літальні апарати (БПЛА, в англійській літературі – Unmanned Aerial Vehicle, UAV) – для оперативного візуально-оптичного обстеження морських акваторій у реальному часі з метою виявлення ознак несанкціонованого проникнення на захищені акваторії надводними плавзасобами [8, 9];

– ненаселені самохідні прив'язні підводні апарати (НППА, в англійській літературі – Remotely Operated Vehicle, ROV) – для виконання інспекційних, картографічних та інструментальних підводних робіт на захищеній акваторії у реальному часі [10, 11];

– ненаселені буксировані підводні апарати (НБПА, в англійській літературі – Towed Unmanned Vehicle, TUV) – для високопродуктивного обстеження у реальному часі невеликих за площею ділянок морського дна з метою виявлення несанкціонованого розміщення технічних засобів, які можуть становити загрозу об'єктам МКІ [12, 13];

– автономні ненаселені підводні апарати (АНПА, в англійській літературі – Autonomous Unmanned Vehicle, AUV) – для високопродуктивного обстеження у реальному часі великих за площею ділянок морського дна з метою виявлення несанкціонованого розміщення технічних засобів, які можуть становити загрозу об'єктам МКІ [14, 15];

– безекіпажні надводні судна (БНС, в англійській літературі – Unmanned Surface Vehicle, USV) – як носії UAV, ROV, TUV та AUV, що реалізують безлюдні технології висвітлення надводної та підводної обстановки на захищеній акваторії [14–16];

– безекіпажні підводні апарати донного базування (в англійській літературі – Unmanned Bottom Vehicles, UBV) – для тривалого спостереження за підводною обстановкою на заданій акваторії [17].

Тоді множина засобів морської робототехніки  $MR$ , яку доцільно залучати до робіт щодо забезпечення безпеки захищених акваторій та розташованих на них об'єктів МКІ, буде мати вид:

$$MR = \{MR_{UAV}; MR_{ROV}; MR_{TUV}; MR_{AUV}; MR_{USV}; MR_{ABV}\}. \quad (3)$$

До отриманої множини слід додати множину  $ME$  змінного начіпного обладнання, яке можна встановлювати на ті чи інші ЗМР – пошукові прилади та інструментальні засоби, за допомогою яких можна здійснювати пошук ПНП. До такого обладнання відносяться:

– гідроакустичні та магнітометричні прилади  $ME_D$  – сонари, профілографи, магнітометри, високоякісні підводні фото- та відеокомплекси [17, 18];

– підводні інструменти  $ME_T$  – маніпулятори, різачи тросів, гідромонітори для розмиву ґрунту [19];

– обладнання для забезпечення надводного та підводного протистояння порушникам  $ME_I$  – засоби нелетального та летального впливу на порушників [20].

Множину  $ME$  запишемо відношенням:

$$ME = \{ME_D; ME_T; ME_I\}. \quad (4)$$

Таким чином, множини (3) і (4) характеризують існуючі можливості застосування конкретних типів ЗМР та їх начіпного обладнання для охорони і захисту об'єктів МКІ.

Етап  $T_k$  – формування критеріїв ефективності застосування ЗМР.

Застосування будь-якого типу морського робота для виконання робіт згідно множині (1) необхідно оцінювати за допомогою системи критеріїв ефективності  $EC$ . У більшості випадків це дасть змогу кількісно оцінити рівень роботизації інженерного комплексу з видобування енергоносіїв  $IC$ .

До основних критеріїв ефективності доцільно віднести:

– продуктивність виконання робіт множини (1)  $EC_P$ ;

– якість виконання робіт множини (1)  $EC_Q$ ;

– економічна ефективність застосування конкретного засобу морської робототехніки з множин (3) і (4)  $EC_E$ .

Практичний досвід авторів у впровадженні засобів морської робототехніки у морську практику свідчить, що на кількісні показники вказаних критеріїв суттєво впливає рівень її автоматизації, який визначається режимами керування (3).

У підсумку, множина критеріїв ефективності  $EC$  може бути представлена наступними основними критеріями:

$$EC = \{EC_P; EC_Q; EC_E\}. \quad (5)$$

Вказані критерії у подальшому можуть доповнюватись, виходячи з реального стану морської видобувної галузі та рівня розвитку техніки.



Таким чином, множини (1) та (3)–(5) утворюють інформаційну основу для оцінки доцільності залучення конкретних типів морських роботів (3) та їх начіпного обладнання (4) у роботах, пов'язаних з охороною і захистом об'єктів МКІ.

На практиці це може бути реалізовано у вигляді тривимірної матриці «Робота  $J_{SMI}$  – Тип ЗМР  $MR$ , оснащений зовнішнім начіпним обладнанням  $ME$  – Критерій ефективності  $ES$ », яка показує можливість та доцільність застосування конкретного типу засобу морської робототехніки та його зовнішнього начіпного обладнання для охорони і захисту об'єктів МКІ.

Етап  $T_C$  – обґрунтування вибору архітектурно-конструктивних типів ЗМР.

Розглянемо тепер можливі архітектурно-конструктивні типи засобів надводної та підводної робототехніки та їх приладове оснащення, яке необхідне для успішного застосування такої техніки за призначенням.

До традиційних архітектурно-конструктивних типів такої техніки, яка здебільшого використовується на цих об'єктах, належать:

– безпілотні літальні апарати – квадрокоптерного типу, оскільки це визначається умовами запуску та повернення після польоту; такі БПЛА оснащені здебільшого фото- і відеоапаратурою; їх перевагою є оперативність передачі інформації про надводну обстановку на захищеній акваторії до БЦК, а недоліком – суттєві обмеження по масогабаритах щодо розміщення зовнішнього начіпного обладнання;

– телекеровані прив'язні ненаселені підводні апарати – класу «міні» з масою до 100 кг, які мають 3–6 рушійних пристроїв, оснащені фото- та відеокамерами, гідроакустичними приладами та магнітометрами, а також приладами для метрологічної інспекції підводних конструкцій, відбірниками проб ґрунту та маніпуляторами для виконання обмеженого переліку технічних робіт під водою [21]; їх перевагою також є оперативність передачі інформації про підводну обстановку на захищеній акваторії до БЦК, а недоліком – обмеження по дальності (дистанція, на яку НППА може відійти від судна забезпечення, обмежена довжиною його кабель-тросу);

– буксировані ненаселені підводні апарати – типу «планер», оснащені фото- та відеокамерами, гідроакустичними приладами та магнітометрами для виконання пошукових і картографічних робіт [21]; перевагою застосування НБПА є висока продуктивність проведення підводних пошукових робіт на великих за площею акваторіях у порівнянні з АНПА, а недоліком – неможливість оперативного обстеження виявлених ПНП;

– автономні ненаселені підводні апарати – малого класу з масою до 100 кг, оснащені фото- та відеокамерами, гідроакустичними приладами та магнітометрами [21]; перевагою АНПА є відсутність кабельного зв'язку з судном забезпечення і, значить, можливість обстежувати великі за площею акваторії, а недоліком – відсутність оперативного контролю з БЦК;

– безекіпажні надводні судна – малорозмірні судна, оснащені відповідними системами автоматичного керування і зв'язку та навігаційним обладнанням, яке забезпечує безаварійну їх експлуатацію; до переваг використання БНС належать висока продуктивність підводних пошукових робіт та наявність оперативного зв'язку з БЦК, а також можливість виконання функцій судна-носія для БПЛА, НППА, НБПА та АНПА, а недоліком – неможливість оперативного обстеження виявлених ПНП;

– безекіпажні підводні апарати донного базування – малого і середнього класів з масою до 500 кг, оснащені гідроакустичною апаратурою активного типу (сонари) та пасивного типу (гідрофони), а також спливаючими радіобуями [21]; перевагами цього типу ЗМР є можливість оперативного радіозв'язку з БЦК, а недоліком – неможливість оперативного обстеження виявлених ПНП.

Попередній аналіз технічних характеристик наведених вище ЗМР свідчить, що надводне обстеження захищених акваторій та протидія надводним порушникам достатньо повно виконується за допомогою БПЛА та БНС. Контроль підводного простору захищених акваторій (водної товщі та донної поверхні) з метою виявлення ПНП є значно складнішим і

вимагає значно більшого типорозмірного ряду ЗМР для обстеження та протидії зловмисникам.

До основних експлуатаційних вимог щодо роботизованих технологій захисту об'єктів МКІ від загроз з-під води належать:

- можливість обстежувати великі за площею акваторії без обмежень щодо дистанції між ЗМР та БЦК (властивість АНПА і недолік НППА та НБПА);
- наявність постійного двохстороннього зв'язку між ЗМР та БЦК (властивість НППА та НБПА і недолік АНПА);
- можливість застосування усього необхідного для таких задач переліку зовнішнього начіпного обладнання згідно множині (4).

Таким чином, оптимальним для застосування у задачах охорони і захисту об'єктів МКІ є такий тип ЗМР, який об'єднує переваги автономних і прив'язних підводних роботів та який має широку номенклатуру зовнішнього начіпного обладнання для виявлення ПНП та протидії ним.

Враховуючи той факт, що більшість об'єктів ЗМР розташовані на прибережних мілководних акваторіях з глибинами до 50–100 метрів, найбільш повно вказаним вище вимогам відповідають автономні ненаселені підводні апарати з радіобуями (АНПА-РБ) [22]. Тому розглянемо їх більш детально.

Пропонований в [22] АНПА має форму прямого паралелепіпеда, округленого по краях для зменшення сил гідродинамічного опору (рис. 1).

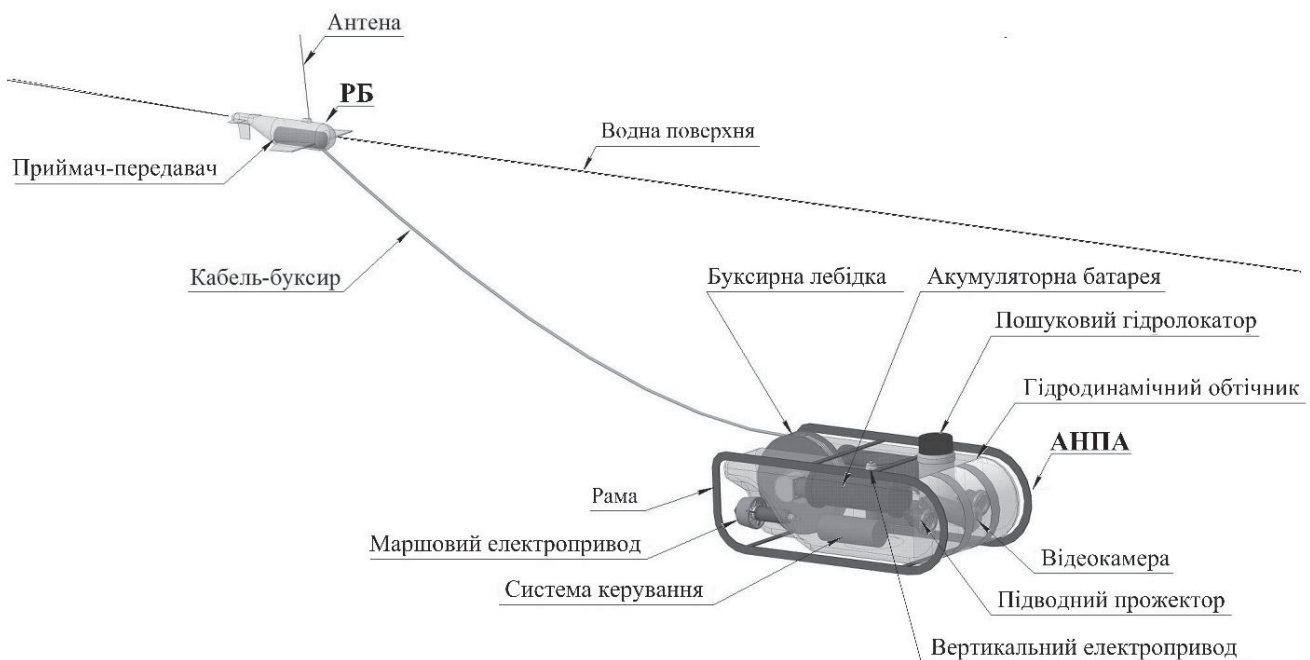


Рисунок 1 – Автономний ненаселений підводний апарат з радіобуєм за [22]

В якості зовнішнього начіпного обладнання підводний апарат має радіобуй (РБ) з відповідною радіоапаратурою, за допомогою якої забезпечується двохсторонній радіозв'язок з БЦК. Горизонтально розташовані несучі поверхні (крила) РБ забезпечують йому утримання на поверхні моря під час буксирування. До складу обладнання АНПА входить автоматична буксирна лебідка кабель-буксиру, що забезпечує необхідну його довжину при різних робочих глибинах і швидкостях руху. Інші складові АНПА та РБ наведені на рис. 1.

Такі підводні апарати-роботи поєднують переваги «класичних» АНПА (незалежність їх роботи від дистанції до судна-носія) з перевагами «класичних» НППА (можливість керування підводним роботом та отримання від нього інформації про підводну обстановку у реальному часі).

До недоліків розглянутої конструкції належать:

- складність експлуатації АНПА-РБ, особливо на початку і в кінці місії, обумовлена необхідністю розгортати і згорнути складну морську систему у складі двох твердих тіл, з'єднаних гнучким зв'язком (кабель-буксиром);
- низька продуктивність АНПА-РБ з-за малої швидкості підводного руху, обмеженої швидкістю буксирування РБ.

Пропонується вдосконалення АНПА-РБ (за рис. 1) таким чином, щоб підвищити його продуктивність при виконанні пошукових та обстежувальних робіт на великих за площею акваторіях. Зокрема, доцільною є реалізація режиму традиційного підводного руху АНПА без буксирування РБ. Такий режим вбачається основним при виконанні автоматично керованих підводних пошукових місій на великих за площею акваторіях, коли постійний оперативний радіозв'язок з БЦК не є обов'язковим до моменту виявлення та автоматичної ідентифікації ПНП.

Архітектурно-конструктивний тип пропонованого варіанту АНПА-РБ для виконання задач охорони і захисту об'єктів МКІ наведено на рис. 2.

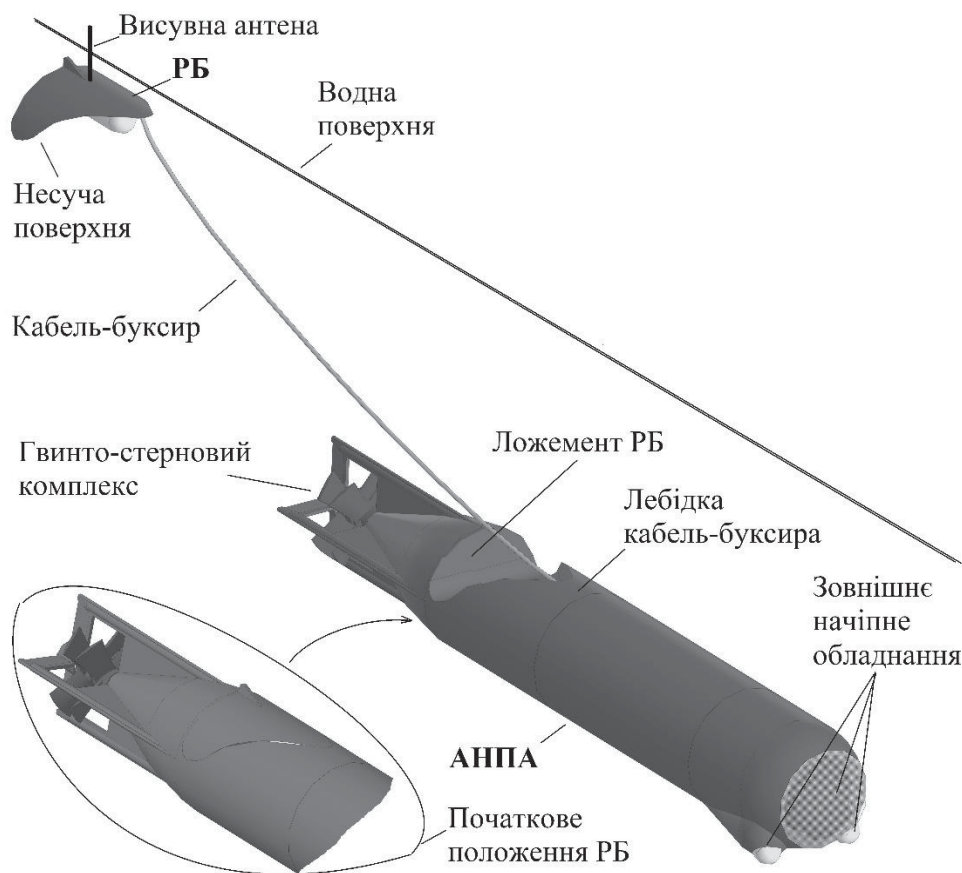


Рисунок 2 – Пропонований архітектурно-конструктивний тип автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм

Пропонований АНПА має торпедоподібну форму корпусу і оснащений гвинто-стерновим комплексом у складі двох гребних гвинтів контрроторного обертання та хвостового оперення у складі рулів напрямку та рулів глибини.

У носовій частині АНПА розташовано змінне начіпне обладнання для виконання підводних робіт згідно множині (4). У кормовій частині АНПА розміщено ложемент з РБ та лебідка кабель-буксира.

Під час виконання пошукових робіт на великих за площею акваторіях РБ знаходиться у ложементі і не створює додаткових гідродинамічних сил при автоматичному швидкісному русі АНПА за складними траєкторіями (початкове положення РБ показано на рис. 2). При виявленні бортовими відеооптичними приладами АНПА підводного предмета, схожого на

ПНП, підводний апарат автоматично проводить його первинну ідентифікацію і, за необхідністю, випускає на поверхню моря РБ і за його допомогою передає фото-, відео- та геолокаційну інформацію про ПНП. Крім того, за допомогою утвореного радіоканалу є можливість перевести роботу АНПА на ручне керування і виконати більш ретельне обстеження знайденого ПНП або виконати дії щодо застосування корисного вантажу АНПА для протидії виявленим ПНП.

Таким чином, застосування АНПА-РБ запропонованої конструкції дає змогу підвищити продуктивність пошукових робіт за рахунок підвищення швидкості підводного руху при знаходженні РБ у ложементі підводного апарата та за рахунок збільшення робочої зони обстеження забезпечує можливість прямого оперативного ручного керування підводним апаратом, а також спрощує експлуатацію всієї системи, оскільки розгортання РБ у робоче положення та повернення його до ложементу здійснюється автоматично.

Тобто, підводні апарати-роботи запропонованого архітектурно-конструктивного типу поєднують переваги «класичних» АНПА (незалежність їх роботи від дистанції до судна-носія) з перевагами «класичних» НППА (можливість керування підводним роботом та отримання від нього інформації про підводну обстановку у реальному часі).

Етап  $T_P$  – обґрунтування основних проектних задач зі створення ЗМР.

Аналіз результатів розв'язку етапів  $T_R$ ,  $T_K$  і  $T_C$  множин (2), виконаний на основі системного підходу [23] дає змогу сформулювати основні проектні задачі створення АНПА-РБ:

– задачі  $DT_D$  конструювання корпусу АНПА-РБ:

- конструювання АНПА як носія широкого переліку зовнішнього начіпного обладнання, призначеного для охорони та захисту об'єктів МКІ;

- конструювання РБ гідродинамічно обтічної конструкції, ложемента для нього та механізму випуску/впуску РБ до ложемента;

- підбір та обґрунтування конструкційних матеріалів та адитивних технологій виготовлення АНПА та РБ;

– задачі  $DT_E$  енергетичного забезпечення АНПА-РБ:

- отримання залежності «Дистанція – Швидкість – Енергоємність джерел енергії» для АНПА як теоретичної основи створення нового типу ЗМР;

- проектування системи енергозабезпечення АНПА-РБ на базі сучасних джерел енергії;

– задачі  $DT_I$  інформаційно-навігаційного забезпечення АНПА-РБ:

- проектування інтелектуальної системи автоматичного керування АНПА-РБ у нормальних та аварійних режимах роботи;

- проектування системи зв'язку (радіо-, супутникового тощо) для реалізації дистанційного керування та контролю за функціонуванням АНПА-РБ;

- проектування БЦК як складової системи ефективного застосування нового типу ЗМР за його призначенням;

– задачі  $DT_O$  експлуатації АНПА-РБ:

- удосконалення технології охорони та захисту об'єктів МКІ на базі застосування ЗМР нового типу;

- проектування берегової інфраструктури для успішного застосування нового типу ЗМР за його призначенням.

Таким чином, множину  $DT$  основних проектних задач зі створення ЗМР можна представити наступним чином:

$$DT = \{DT_D; DT_E; DT_I; DT_O\}. \quad (6)$$

**Основні результати та їх обговорення.** Охорона об'єктів морської критичної інфраструктури держави та її захист від несанкціонованого проникнення та протиправних дій на захищених акваторіях належить до важливих завдань забезпечення безпеки держави з



морського напрямку. Успішний розв'язок цього завдання можливий на основі широкого залучення сучасних засобів морської робототехніки, оскільки її застосування дає можливість виконувати оборонні заходи цілодобово та виключає суб'єктивний фактор, пов'язаний з помилками людини.

У результаті проведених досліджень сформульовано чотири основних види робіт, які можна виконувати з залученням засобів морської робототехніки: надводне обстеження захищених акваторій, підводне обстеження об'єктів МКІ, спостереження за функціонуванням виявлених потенційно небезпечних предметів, які можуть утворювати загрози об'єктам МКІ, та технічну протидію цим предметам з метою недопущення нанесення шкоди об'єктам МКІ.

З метою розробки ефективних засобів морської робототехніки запропоновано чотири основні етапи робіт: огляд і критичний аналіз існуючих типів ЗМР з позицій їх відповідності основним видам робіт; формування критеріїв ефективності застосування ЗМР для виконання цих робіт; обґрунтування вибору архітектурно-конструктивних типів ЗМР, які максимально повно відповідають вимогам сформованих критеріїв ефективності; обґрунтування основних проектних задач, які необхідно розв'язати для створення ЗМР з необхідними технічними та експлуатаційними характеристиками для виконання основних видів робіт по охороні і захисту об'єктів МКІ.

Для кожного з чотирьох основних етапів робіт запропоновано відповідні множини заходів щодо їх реалізації.

Так, для першого етапу робіт запропоновано множину засобів морської робототехніки та множину змінного начіпного обладнання, які доцільно залучати до робіт щодо забезпечення безпеки захищених акваторій та розташованих на них об'єктів МКІ.

Для другого етапу робіт запропоновано систему з трьох основних критеріїв ефективності застосування ЗМР: продуктивність, якість та економічна ефективність застосування конкретного засобу морської робототехніки для виконання необхідних робіт.

Для третього етапу робіт запропоновано удосконалений варіант автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм, який поєднує переваги «класичних» АНПА (незалежність їх роботи від дистанції до судна-носія та високу продуктивність підводних пошукових робіт) з перевагами «класичних» НППА (можливість керування підводним роботом та отримання від нього інформації про підводну обстановку у реальному часі).

Як результат попередніх досліджень для четвертого етапу робіт сформульовано задачі конструювання удосконаленого варіанту автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм, проектні задачі його енергетики та інформаційно-навігаційного забезпечення та задачі його ефективної експлуатації.

У цілому, отримані результати дослідження утворюють науково-технічне підґрунтя для започаткування проекту створення удосконаленого варіанту морської робототехніки, призначеного для ефективної охорони та захисту об'єктів МКІ від загроз з морського напрямку.

### **Висновки**

1. З системних позицій розглянуто проблему підвищення ефективності систем охорони і захисту об'єктів морської критичної інфраструктури від несанкціонованих дій зловмисників на захищених акваторіях. У результаті аналізу особливостей охорони і захисту таких об'єктів сформульовано чотири основних види робіт, які можна виконувати з залученням засобів морської робототехніки. До них належать: надводне обстеження захищених акваторій, підводне обстеження об'єктів МКІ, спостереження за функціонуванням виявлених потенційно небезпечних предметів, які можуть утворювати загрози об'єктам МКІ та технічна протидія цим предметам з метою недопущення нанесення шкоди об'єктам МКІ.

2. Проблема вдосконалення системи охорони та захисту об'єктів МКІ від загроз з-під води запропоновано розв'язувати шляхом створення відповідних засобів морської робототехніки, для чого пропонується послідовна реалізація чотирьох етапів їх створення:

оцінка існуючого переліку вже існуючих засобів морської робототехніки, формування критеріїв їх ефективності застосування, обґрунтування вибору архітектурно-конструктивних типів нових видів підводних роботів, які максимально повно відповідають вимогам сформованих критеріїв ефективності та обґрунтування основних проєктних задач, які необхідно розв'язати для створення такої робототехніки.

3. Запропоновано удосконалення автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм, який поєднує переваги типових автономних та прив'язних ненаселених підводних апаратів, у результаті чого отримано архітектурно-конструктивний тип підводного апарата, робота якого не обмежена дистанцією до судна забезпечення та який має постійний двохсторонній радіо зв'язок з береговим центром керування.

4. Сформульовано задачі конструювання удосконаленого варіанту автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм, проєктні задачі його енергетики та інформаційно-навігаційного забезпечення та задачі його ефективної експлуатації. Такий підводний апарат є універсальним засобом морської робототехніки для успішного розв'язку завдань охорони і захисту об'єктів МКІ від загроз з-під води.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження автори вбачають за доцільне проводити у напрямках розв'язку основних проєктних задач зі створення удосконаленого варіанту автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм згідно множині (6).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Diren Doğan, Cdr. (TÜR N) Deniz ÇETİKLİ. Maritime critical infrastructure protection in a changing security environment. Maritime Security Centre of Excellence (MCIP). 54 pages. <https://www.marseccoe.org/wp-content/uploads/2023/10/Maritime-Critical-Infrastructure-Protection-.pdf>.

2. Njall Trausti Fridbertsson. Protecting critical maritime infrastructure – the role of technology. General Report. NATO Parliamentary Assembly. <https://www.nato-pa.int/download-file?filename=/sites/default/files/2023-10/032%20STC%2023%20E%20rev.%20%20fin%20-%20CRITICAL%20MARITIME%20INFRASTRUCTURE%20-%20FRIDBERTSSON%20REPORT1.Pdf>.

3. Artur L. Protection of Critical Maritime Infrastructure with New Technologies. <https://www.linkedin.com/pulse/protection-critical-maritime-infrastructure-new-artur-lucas-da-silva>.

4. Bykanova Yu., Kostenko V. V., Michailov D. N. Development of Towed Radio Buoy for AUV. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 720, 012003. doi:10.1088/1755-1315/720/1/012003.

5. Timothy Meale Jone, Timothy James Whitten. BUOY. United States Patent Application Publication. Pub. No.: US 2011/0000417 A1. Pub. Date: Jan. 6, 2011. <https://patentimages.storage.googleapis.com/0c/ad/cf/897a41bae61e3e/US20110000417A1.pdf>.

6. AN/BSQ-5 Towed Buoy. <https://man.fas.org/dod-101/sys/ship/weaps/an-bsq-5.htm>.

7. Gladius Submersible Underwater Drone. <https://www.rccorner.ae/gladius-submersible-underwater-drone>.

8. Michael Stein. Integrating Unmanned Vehicles in Port Security Operations: An Introductory Analysis and First Applicable Frameworks. June 2018. Ocean Yearbook Online 32(1):556-583. DOI:10.1163/22116001-03201022.

9. Suwaid Al Abkal Risto Talas Sarah Shaw Tom Ellis. The application of unmanned aerial vehicles in managing port and border security in the US and Kuwait: Reflections on best practice for the UK. *International Journal of Maritime Crime & Security*, Volume 01 Issue 01, 01 Feb 2020. DOI: <https://doi.org/10.24052/IJMCS/V01IS01/ART-3>. <https://ijmcs.co.uk/details&cid=5>.

10. Rachel Doornekamp. How ROVs Improve Port Security. October 10th, 2019. <https://www.deeptrekker.com/news/how-rovs-improve-port-security>.

11. Zygmunt Kitowski. Selection of UUV Type ROV Equipment and Cooperation System with USV "Edredon" in Protection Tasks of Ports and Critical Objects. *Trans. marit. sci.* 2019; 02:

198-204 pages. DOI: 10.7225/toms.v08n02.004 [https://www.researchgate.net/publication/336726635\\_Selection\\_of\\_UUV\\_Type\\_ROV\\_Equipment\\_and\\_Cooperation\\_System\\_with\\_USV\\_Edredon\\_in\\_Protection\\_Tasks\\_of\\_Ports\\_and\\_Critical\\_Objects](https://www.researchgate.net/publication/336726635_Selection_of_UUV_Type_ROV_Equipment_and_Cooperation_System_with_USV_Edredon_in_Protection_Tasks_of_Ports_and_Critical_Objects).

12. Sakai H., Tanaka T. Underwater observation system using Autonomous Towed Vehicle. *OCEANS '04. MT-TS/IEEE TECHNO-OCEAN '04*, Volume 2, 2004. P. 822–827.

13. Блинцов А. В., Чан Т. Д. Система автоматического управления специализированным морским комплексом с буксируемым подводным аппаратом. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Харьков : ЧП «Технологический Центр», 2013. № 5/4 (65). С. 23–27. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-avtomaticheskogo-upravleniya-spetsializirovannym-morskim-kompleksom-s-buksiruемым-podvodnym-apparatom/pdf>.

14. Miętkiewicz Rafał. Autonomous systems in maritime operations. Polish Naval Academy of the Heroes of Westerplatte. Gdynia 2023. 99 pages. [https://www.researchgate.net/publication/371990284\\_AUTONOMOUS\\_SYSTEMS\\_IN\\_MARITIME\\_OPERATIONS](https://www.researchgate.net/publication/371990284_AUTONOMOUS_SYSTEMS_IN_MARITIME_OPERATIONS).

15. Inyeong Bae, Jungpyo Hong. Survey on the Developments of Unmanned Marine Vehicles: Intelligence and Cooperation. *Sensors* 2023, 23(10), 4643; <https://doi.org/10.3390/s23104643>.

16. Massimo Caccia, Marco Bibuli. (2007). Unmanned Surface Vehicle for Coastal and Protected Waters Applications: the Charlie Project. *Marine Technology Society Journal*, 41(2). Pages 62–71.

17. Mariusz Kastek, Marek Życzkowski, Mieczysław Szustakowski, Rafał Dulski. Multisensor system for the protection of critical infrastructure of seaport. Proceedings of SPIE. *The International Society for Optical Engineering*. DOI:10.1117/12.918595.

18. Terracciano D. S., Bazzarello L., Caiti A., Costanzi R., Manzari V. Marine Robots for Underwater Surveillance. *Current Robotics Reports*, 2020. №1. Pages 159–167.

19. Satja Sivčeva, Joseph Coleman, Edin Omerdića, Gerard Dooly, Daniel Toal. Underwater manipulators: A review. *Ocean Engineering*. Volume 163, 1 September 2018, Pages 431–450.

20. Ronald Kessel, Christopher Strode. Modifications of non-lethal equipment for maritime infrastructure protection. Conference: 5th European Symposium on Non-lethal Weapons, May 11–13, 2009. At: Karlsruhe, Germany. [https://www.researchgate.net/publication/340844807\\_AN\\_ASSESSMENT\\_OF\\_NON-LETHAL\\_WEAPONS\\_TECHNOLOGY\\_AND\\_TACTICS\\_FOR\\_MARITIME\\_ASSET\\_PROTECTION](https://www.researchgate.net/publication/340844807_AN_ASSESSMENT_OF_NON-LETHAL_WEAPONS_TECHNOLOGY_AND_TACTICS_FOR_MARITIME_ASSET_PROTECTION).

21. Підводні апарати. Рекламно-інформаційне видання. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв : *НУК*, 2023. 37 с.

22. Blintsov V., Maidaniuk P., Sirivchuk A. Improvement of Technical Supply of Projects of Robotized Monitoring of Underwater Conditions in Shallow Water Areas. «*EUREKA: Physics and Engineering*», 2019. Number 3. P. 41-49. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00893.

23. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J. Engineering Design: A Systematic Approach – Springer; 2007. 617 pages. file:///C:/Users/SLpro/Downloads/Engineering%20Design%20-%20Parte%201-1.pdf.

## REFERENCES

1. Diren DOĞAN, Cdr. (TÜR N) Deniz ÇETİKLİ. (2023). Maritime critical infrastructure protection in a changing security environment. Maritime Security Centre of Excellence (MCIP). 54 pages. <https://www.marseccoe.org/wp-content/uploads/2023/10/Maritime-Critical-Infrastructure-Protection-.pdf>.

2. Njall Trausti FRIDBERTSSON. (2023). Protecting critical maritime infrastructure – the role of technology. General Report. NATO Parliamentary Assembly. <https://www.nato-pa.int/download-file?filename=/sites/default/files/2023-10/032%20STC%202023%20E%20rev.%20%20fin%20-%20CRITICAL%20MARITIME%20INFRASTRUCTURE%20-%20FRIDBERTSSON%20REPORT1.pdf>.

3. Artur, L. (2023). Protection of Critical Maritime Infrastructure with New Technologies. <https://www.linkedin.com/pulse/protection-critical-maritime-infrastructure-new-artur-lucas-da-silva>.
4. Bykanova, Yu., Kostenko, V. V., Michailov, D. N. (2021). Development of Towed Radio Buoy for AUV. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 720, 012003. doi:10.1088/1755-1315/720/1/012003.
5. Timothy Meale Jone, Timothy James Whitten. (2011). BUOY. United States Patent Application Publication. Pub. No.: US 2011/0000417 A1. Pub. Date: Jan. 6, 2011. <https://patentimages.storage.googleapis.com/0c/ad/cf/897a41bae61e3e/US20110000417A1.pdf>.
6. AN/BSQ-5 Towed Buoy. <https://man.fas.org/dod-101/sys/ship/weaps/an-bsq-5.htm>.
7. Gladius Submersible Underwater Drone. <https://www.rccorner.ae/gladius-submersible-underwater-drone>.
8. Michael Stein. (2018). Integrating Unmanned Vehicles in Port Security Operations: An Introductory Analysis and First Applicable Frameworks. June 2018. Ocean Yearbook Online 32(1):556-583. DOI:10.1163/22116001-03201022.
9. Suwaid Al Abkal Risto Talas Sarah Shaw Tom Ellis. (2020). The application of unmanned aerial vehicles in managing port and border security in the US and Kuwait: Reflections on best practice for the UK. *International Journal of Maritime Crime & Security*, Volume 01 Issue 01, 01 Feb 2020. DOI: <https://doi.org/10.24052/IJMCS/V01IS01/ART-3>. <https://ijmcs.co.uk/details&cid=5>.
10. Doornekamp Rachel. (2019). How ROVs Improve Port Security. October 10th, 2019. <https://www.deeptrekker.com/news/how-rovs-improve-port-security>.
11. Zygmunt Kitowski. (2019). Selection of UUV Type ROV Equipment and Cooperation System with USV "Edredon" in Protection Tasks of Ports and Critical Objects. *Trans. marit. sci.* 2019; 02: 198-204 pages. DOI: 10.7225/toms.v08n02.004. [https://www.researchgate.net/publication/336726635Selection\\_of\\_UUV\\_Type\\_ROV\\_Equipment\\_and\\_Cooperation\\_System\\_with\\_USV\\_Edredon\\_in\\_Protection\\_Tasks\\_of\\_Ports\\_and\\_Critical\\_Objects](https://www.researchgate.net/publication/336726635Selection_of_UUV_Type_ROV_Equipment_and_Cooperation_System_with_USV_Edredon_in_Protection_Tasks_of_Ports_and_Critical_Objects).
12. Sakai, H., Tanaka, T. (2004). Underwater observation system using Autonomous Towed Vehicle. *OCEANS '04. MT-TS/IEEE TECHNO-OCEAN '04*, Volume 2, 2004. P. 822–827.
13. Blincov, A. V., CHan, T. D. (2013). Sistema avtomaticheskogo upravleniya specializirovannym morskim kompleksom s buksiruemym podvodnym apparatom. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. Harkov : *Tehnologicheskij Centr*. № 5/4 (65). P. 23–27. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-avtomaticheskogo-upravleniya-spetsializirovannym-morskim-kompleksom-s-buksiruemym-podvodnym-apparatom/pdf>.
14. Miętkiewicz, Rafał. (2023). Autonomous systems in maritime operations. Polish Naval Academy of the Heroes of Westerplatte. Gdynia 2023. 99 pages. [https://www.researchgate.net/publication/371990284\\_AUTONOMOUS\\_SYSTEMS\\_IN\\_MARITIME\\_OPERATIONS](https://www.researchgate.net/publication/371990284_AUTONOMOUS_SYSTEMS_IN_MARITIME_OPERATIONS).
15. Inyeong, Bae, Jungpyo, Hong. (2023). Survey on the Developments of Unmanned Marine Vehicles: Intelligence and Cooperation. *Sensors* 2023, 23(10), 4643; <https://doi.org/10.3390/s23104643>.
16. Massimo, Caccia, Marco, Bibuli (2007). Unmanned Surface Vehicle for Coastal and Protected Waters Applications: the Charlie Project. *Marine Technology Society Journal*, 41(2). Pages 62–71.
17. Mariusz Kastek, Marek Życzkowski, Mieczysław Szustakowski, Rafał Dulski. (2012). Multisensor system for the protection of critical infrastructure of seaport. Proceedings of SPIE. *The International Society for Optical Engineering*. DOI:10.1117/12.918595.
18. Terracciano, D. S., Bazzarello, L., Caiti, A., Costanzi, R., Manzari, V. (2020). Marine Robots for Underwater Surveillance. *Current Robotics Reports*, 2020. №1. Pages 159–167.
19. Satja Sivčeva, Joseph Coleman, Edin Omerdića, Gerard Dooly, Daniel Toal. (2018). Underwater manipulators: A review. *Ocean Engineering*. Volume 163, 1 September 2018, Pages 431–450.
20. Ronald Kessel, Christopher Strode. (2009). Modifications of non-lethal equipment for maritime infrastructure protection. Conference: 5th European Symposium on Non-lethal Weapons,



May 11–13, 2009. At: Karlsruhe, Germany. [https://www.researchgate.net/publication/340844807\\_AN\\_ASSESSMENT\\_OF\\_NON-LETHAL\\_WEAPONS\\_TECHNOLOGY\\_AND\\_TACTICS\\_FOR\\_MARITIME\\_ASSET\\_PROTECTION](https://www.researchgate.net/publication/340844807_AN_ASSESSMENT_OF_NON-LETHAL_WEAPONS_TECHNOLOGY_AND_TACTICS_FOR_MARITIME_ASSET_PROTECTION).

21. Pidvodni aparaty. Reklamno-informatsiine vydannia. Natsionalnyi universytet korablebuduvannia imeni admirala Makarova. (2023). Mykolaiv : NUOS, 37 p.

22. Blintsov, V., Maidaniuk, P., Sirivchuk, A. (2019). Improvement of Technical Supply of Projects of Robotized Monitoring of Underwater Conditions in Shallow Water Areas. «EUREKA: Physics and Engineering». Number 3. P. 41–49. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00893.

23. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. (2007). Engineering Design: A Systematic Approach – Springer; 2007. 617 pages. file:///C:/Users/SLpro/Downloads/Engineering%20Design%20-%20Parte%201-1.pdf.

**Blintsov V. S., Tarchuk A. A., Trybulkevych V. V. PROJECT TASKS OF CREATING MARINE ROBOTICS FOR PROTECTION AND PROTECTION OF MARINE CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES**

*The protection of objects of maritime critical infrastructure of the state belongs to the important tasks of ensuring the security of the state from the sea direction. A successful solution to this task is possible based on the broad involvement of modern means of marine robotics. This makes it possible to perform defensive measures around the clock and eliminates the subjective factor associated with human error. The article formulates the task of increasing effectiveness of the protection and security of marine critical infrastructure objects by using special means of marine robotics. The main types of works to protect water areas that can be performed with the involvement of marine robotics are given. Many such works include surface and underwater survey of water areas, observation of discovered potentially dangerous objects and technical countermeasures against these objects. The main stages of work on the creation of new means of underwater robotics are proposed. They include the analysis of existing types of robots, the formation of criteria for the effectiveness of their application, the justification of a new architectural and constructive type of robot and the tasks of its design. The first stage of the work includes a set of marine robotics and a set of variable attachment equipment, which should be involved in security work. The second stage of the work includes three criteria for the effectiveness of the use of robots: their productivity, quality of work and economic efficiency of use. The third stage of the work includes an improved version of an autonomous unmanned underwater vehicle with a radio buoy. The robot combines the advantages of traditional autonomous and tethered unsalted underwater vehicles. It has high performance, constant two-way communication with the supply ship and can operate at long distances from it. The fourth stage of the work includes the tasks of designing an improved underwater vehicle with a radio buoy, design tasks of its energy, informatics and operation. The results of the research form the scientific and technical basis of the project to create an improved version of marine robotics for effective protection and security of marine critical infrastructure facilities.*

**Key words:** marine infrastructure facility; marine robotics tool; underwater vehicle; towed radio buoy.

© Блінцов В. С., Тарчук А. А., Трибулькевич В. В.

Статтю прийнято до редакції 14.06.2024