

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-286-6-182-188>

УДК 681.5

БЕЗЕКІПАЖНЕ НАДВОДНЕ СУДНО ЯК СКЛАДОВА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗМІНУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ВОД УКРАЇНИ

Тимченко В.Л., Надточий А.В.

UNMANNED SURFACE VESSEL AS A COMPONENT OF THE AUTOMATED DEMINING SYSTEM OF UKRAINE'S INTERNAL WATERS

Timchenko V.L., Nadtochy V.A.

Створення протимінних безекіпажних надводних суден є важливим кроком у розвитку автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України. Процес проектування таких суден пропонується на основі застосування системного підходу, що включає аналіз вимог, розробку технічних рішень та інтеграцію новітніх технологій для забезпечення максимальної ефективності та безпеки процесів застосування протимінного безекіпажного судна.

Формування змістовної частини завдань створення протимінного безекіпажного надводного судна як методологічної основи процесу його проектування для автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України.

Використано методологію аналізу науково-технічної літератури та принцип системного підходу. Об'єктом дослідження є процес проектування безекіпажного надводного судна для автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод. Предметом дослідження є формування змістовної частини завдань створення протимінного безекіпажного надводного судна та множини задач його автоматизації як методологічної основи процесу проектування судна. З позицій системного підходу сформульовано основні завдання автоматизації протимінного безекіпажного судна, які включають завдання синтезу досконалих систем автоматичного керування просторовим рухом судна та його корисним вантажем, завдання створення високоефективних бортових джерел енергії судна, завдання оснащення судна високоефективним обладнанням для пошуку і знешкодження морських мін та завдання розробки систем автоматичного керування таким обладнанням. Виходячи з принципів системного підходу та загальних принципів організації функціонування автоматизованої

системи розмінування внутрішніх вод України, запропоновано чотири основні етапи проектування протимінного безекіпажного судна як складової автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод держави – аналіз вимог та планування проекту судна, технічне проектування, прототипування і тестування, інтеграція судна в загальну автоматизовану систему розмінування територіальних вод держави. Сформульовано змістовну частину завдання створення досконалої системи автоматичного керування просторовим рухом протимінного безекіпажного судна. Запропоновано множини технічних вимог до системи автоматичного керування судном, яка включає вимоги стійкості до дії зовнішніх збурень, маневреності та точності позиціонування судна.

Основні завдання автоматизації протимінного безекіпажного судна та множина вимог до системи автоматичного керування протимінним безекіпажним судном утворюють методологічне підґрунтя процесу її синтезу як складової автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України.

Основні завдання автоматизації протимінного безекіпажного судна можуть слугувати основою для планування роботи проектної організації, яка проектує такі судна. Множина вимог до системи автоматичного керування протимінним безекіпажним судном утворює організаційну основу проектних робіт з розробки системи автоматичного керування протимінним безекіпажним судном.

Ключові слова: безекіпажне надводне судно, система автоматичного керування, системний підхід.

Вступ. Безекіпажні надводні судна (БНС) призначені для виконання різноманітних завдань за безлюдними технологіями, таких як моніторинг, патрулювання, дослідження, транспортування, а також забезпечення безпеки на водних шляхах.

Акваторія Чорного моря та внутрішні води України на цей час містять велику кількість підводних потенційно небезпечних об'єктів (ППНО), які створюють загрозу життю і здоров'ю людей та утворюють навігаційну небезпеку судноплавству [1, 2]. До внутрішніх вод України належать [3]:

морські води шириною 12 морських миль;
води портів України;
води заток, бухт, губ і лиманів, гаваней і рейдів.

Розмінування внутрішніх вод України належить до завдань загальнодержавного значення, яке має виконуватись з максимальним залученням сучасних засобів морської робототехніки. Тому розробка і створення БНС як носіїв корисного вантажу – мінопошукових приладів та підводних протимінних роботів, а також засобів дистанційного керування ними є ефективним шляхом впровадження безлюдних технологій у морську практику.

Будівництво протимінних суден в Україні знаходиться на початковій стадії, тому вивчення передового зарубіжного досвіду їх створення і застосування, а також розробка систем автоматичного керування протимінними БНС та їхнім корисним вантажем є важливим прикладним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безекіпажні надводні судна широко застосовуються у сучасних технологіях розмінування акваторій, забезпечуючи безпеку для персоналу, ефективність і точність виконання завдань з виявлення та знешкодження морських мін.

До головних переваг БНС перед водолазними технологіями пошуку і знешкодження морських мін відносять [4, 5]:

безпеку протимінних операцій, оскільки вони мінімізують ризики для людських життів з-за можливості виконання цих операцій без присутності людей;

висока ефективність і продуктивність, оскільки вони можуть працювати безперервно і незалежно від погодних умов та часу доби, здатні обстежувати великі акваторії без необхідності тривалих підготовчих етапів, у той час як для водолазів це вимагає більш серйозних ресурсів і часу;

інтеграція з сучасними інформаційними технологіями, оскільки вони оснащуються

передовими сенсорами та навігаційними системами (ультразвуковими, радіолокаційними, гідроакустичними, магнітометричними, акустичними), що забезпечує точне сканування підводного середовища, виявлення мін та їх нейтралізацію; можливість застосування у якості корисного вантажу – прив'язних і автономних підводних роботів, які автоматично запускаються з борту БНС для ідентифікації та знешкодження виявлених морських мін [6];

можливість роботи у важкодоступних для водолазів місцях акваторій, наприклад, на «заволодазних» глибинах або на акваторіях, де ведуться бойові дії;

зниження витрат на виконання протимінної операції, оскільки для їх експлуатації залучається менша кількість персоналу.

Таким чином, протимінні БНС забезпечують високу ефективність і безпеку при розмінуванні, мінімізуючи людські ризики і ресурси, необхідні для виконання таких операцій.

На сьогодні існує декілька типів безекіпажних суден, розроблених спеціально для протимінних операцій рис. 1.

Розглянемо деякі з них.

БНС «Inspector 120» (рис. 1,а) призначений для розв'язку широкого спектру оборонних задач, включаючи протимінні операції, захист гавані та офшорних установок, прибережне спостереження, морське патрулювання тощо [7]. Судно має довжину 12 м і може запускатися з суден довжиною 50 м і більше. Основний корисний вантаж судна – автономні, прив'язні самохідні та буксировані підводні апарати, а також гідролокатори високої роздільної здатності та системи ідентифікації та знищення мін. Максимальна швидкість БНС – 6 км/годину, автономність – до трьох годин.

БНС «Inspector 125» (рис. 1,б) оснащений вдосконаленими сенсорами, навігаційною системою, ехолотом для уникнення перешкод і мін і програмним забезпеченням на базі штучного інтелекту [8]. Судно має різноманітні режими роботи, пілотовані, дистанційно керовані та повністю автономні, для таких місій, як захист інфраструктури, протидія мінам або швидка екологічна оцінка. Завдяки використанню програмному забезпеченню на основі штучного інтелекту, БНС автономно виявляє та уникає перешкод і загроз у режимі реального часу, інтегруючи дані з відеокамери, лідара, сонара, радара та електрооптичних датчиків для повної обізнаності про поточну морську обстановку.



I. а – БНС «Inspector 120»

II. (ECA GROUP, France)



III.6 – БНС «Inspector 125»

IV. (ECA GROUP, France)



V. в – БНС «Inspector 90»

VI. (Exail Technologies, France)



г – БНС «ARCIMS»,

(Atlas Elektronik, Німеччина).

Рис. 1. Типові БНС провідних країн світу

БНС «Inspector 90» (рис. 1,в) являє собою універсальну платформу судна-безпілотної з гідрореактивним двигуном, що пропонує кілька режимів роботи, включаючи автономний, дистанційне керування та бортове керування екіпажем [9]. Його висока продуктивність і точність роблять його ефективним інструментом для боротьби з мінами, місії захисту прибережних об'єктів і швидкої екологічної оцінки морського середовища. Відкрита конструкція БНС дозволяє інтегрувати широкий діапазон корисного навантаження протимінного та природоохоронного призначення.

БНС «ARCIMS» (рис. 1,г) є уніфікованим 11-метровим судном як платформою для декількох реалізації безпекових місій (протимінних, охоронних, розвідувальних) як без екіпажу, так і з екіпажем [10]. Конструкція судна оптимізована, щоб забезпечити великий простір на палубі та вантажопідйомність для розміщення ряду змінних модулів місії. Керування БНС може виконуватись як з основного судна забезпечення, так і з берегового поста керування.

Розглянуті та інші БНС активно застосовуються в різних країнах для

забезпечення безпеки на водних шляхах, а також для проведення гуманітарних місій з розмінування після конфліктів чи військових дій. Ключова перевага таких суден — це здатність працювати в небезпечних умовах без ризику для життя екіпажу.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Очевидно, що успішний розв'язок завдань розмінування внутрішніх вод України напряму залежить від спроможності держави самостійно проектувати і будувати БНС протимінного призначення. Однак, на цей час в Україні створюються лише традиційні протимінні судна з екіпажами [11].

Тому створення БНС як складових автоматизованих систем роботизованого розмінування акваторій держави вимагає розробки повного переліку прикладних наукових завдань, успішний розв'язок яких дасть змогу організувати вітчизняне будівництво протимінних безекіпажних суден, високоефективних за продуктивністю та конкурентоспроможних на зарубіжних ринках морської робототехніки.

Мета дослідження. Метою дослідження є формування змістовної частини завдань створення протимінного безекіпажного

надводного судна як методологічної основи процесу його проектування для автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України.

Методи, об'єкт та предмет дослідження.

При дослідженні використано методологію аналізу науково-технічної літератури та принцип системного підходу. Об'єктом дослідження є процес проектування безекіпажного надводного судна для автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод. Предметом дослідження є формування змістовної частини завдань створення протимінного безекіпажного надводного судна та множини задач його автоматизації як методологічної основи процесу проектування судна.

Основний матеріал. Аналіз зарубіжної науково-технічної літератури свідчить, що з позицій автоматизації особлива увага науковців сьогодні приділяється наступним завданням $T_{\text{БНС}}$ створення протимінних БНС:

завданню створення досконалих систем автоматичного керування просторовим рухом БНС при виконання морської місії $T_{\text{БНС-М}}$;

завданню створення високоефективних бортових джерел енергії БНС $T_{\text{БНС-Е}}$ та систем автоматичного контролю та керування ними;

завданню створення досконалих систем автоматичного керування корисним вантажем БНС $T_{\text{БНС-PL}}$;

завданню оснащення БНС високоефективним мінопошуковим обладнанням $T_{\text{БНС-MDE}}$ та розробки систем автоматичного керування ним;

завданню оснащення БНС технічними засобами знешкодження виявлених морських мін та інших вибухонебезпечних об'єктів $T_{\text{БНС-MNM}}$ та розробки систем автоматичного керування ним.

Таким чином, можна вважати, що для створення вітчизняної програми будівництва протимінних БНС актуальними та малодослідженими є прикладні наукові завдання множини $T_{\text{БНС}}$:

$$T_{\text{БНС}} = \{T_{\text{БНС-М}}, T_{\text{БНС-Е}}, T_{\text{БНС-PL}}, T_{\text{БНС-MDE}}, T_{\text{БНС-MNM}}\}. \quad (1)$$

Проектування протимінного безекіпажного надводного судна у цілому є складним і багатоступеневим процесом, який пропонується розглядати у кілька основних етапів.

Виходячи з принципів системного підходу [12] та загальних принципів організації функціонування автоматизованої системи

розмінування внутрішніх вод України [6, 13], до таких етапів віднесемо наступні.

Етап-1 – Аналіз вимог та планування проекту судна. На цьому етапі виконується аналіз поточних умов водних шляхів України, зокрема найбільш мінонебезпечних акваторій, та визначаються вимоги до технічних характеристик судна. До основних вимог належать: розміри і форма корпусу; наявність та тип мінопошукового обладнання, типи систем зв'язку, навігації та керування; технічні вимоги до енергозабезпечення та автономності.

Етап-2 – Технічне проектування. На цьому етапі виконується: розрахунок конструктивних параметрів судна; вибір матеріалів для корпусу та основних механізмів; проектування автоматичних систем керування судном, систем його навігації та зв'язку.

Етап-3 – Прототипування та тестування. На цьому етапі створюється прототип судна, який проходить серію випробувань на воді з метою перевірки ефективності технологій розмінування, працездатності систем і механізмів БНС при роботі в різних режимах експлуатації. Після тестування проводиться коригування робочої конструкторської документації, вносяться зміни до конструкції судна та його систем.

Етап-4 – Інтеграція в загальну автоматизовану систему розмінування територіальних вод держави. На цьому етапі виконується злагодження функціонування протимінного БНС з іншими складовими системи розмінування – технологічною, інформаційною, організаційною та інш.

Очевидно, що роботи по Етапу-1 належать до компетенції центральних органів влади України – Державної служби з надзвичайних ситуацій України, Мінекономіки України тощо. Прикладні наукові дослідження та технічне проектування протимінного БНС утворюють змістовну частину завдання створення протимінного безекіпажного надводного судна.

У даній роботі, як приклад, розглянемо змістовну частину першого завдання множини (1), а саме – завдання $T_{\text{БНС-М}}$ створення досконалої системи автоматичного керування просторовим рухом БНС.

Відомо [14], що до основних задач протимінного БНС відносяться виявлення, обстеження та знешкодження мін, що знаходяться на морському дні або і водній товщі. Для успішного виконання таких задач система автоматичного керування судна має відповідати специфічним технічним вимогам R_t

до щодо стійкості до зовнішніх збурень R_{T-RED} , маневреності R_{T-M} та точності позиціонування R_{T-PA} , що має забезпечувати їх ефективність в умовах дії зовнішніх збурень та мінних загроз.

Розглянемо послідовно особливості забезпечення вказаних особливостей БНС, призначеного для розмінування внутрішніх вод України.

Вимога стійкості до зовнішніх збурень R_{T-RED} має бути однією з найважливіших вимог до протимінного БНС, оскільки воно часто працює в умовах сильних вітро-хвильових збурень і течії. Стійкість судна визначається здатністю зберігати своє положення і не піддаватися небажаним коливанням або клюванню, що може вплинути на точність операцій.

Для забезпечення стабільності безекіпажного судна на етапі попереднього проектування доцільно розглядати застосування наступних спеціалізованих технічних засобів з автоматичним керуванням:

активних та пасивних стабілізаторів $R_{T-RED-S}$ на основі гіроскопічних систем, які автоматично коригують кут крену/диференту судна для збереження його горизонтального положення під час руху в умовах хвилювання водної поверхні [15];

інерційних систем стабілізації $R_{T-RED-I}$ на основі використання інерціальних сенсорів, які відстежують зміни у просторовому положенні судна та передають ці дані в систему керування для своєчасного коригування курсу БНС [16];

автоматичних вантажно-розподільчих систем $R_{T-RED-C}$ на основі спеціального розподілу ваги та вантажу, які допомагають забезпечити рівновагу і запобігають негативним впливам хвиль і вітру [17];

підводних стабілізаторів типу "fin" (система активних поворотних крил) $R_{T-RED-W}$ для зниження впливу хвиль на корпус судна, що дозволяє зменшити коливання та підвищити стійкість під час руху в морі [18].

Вимога маневреності R_{T-M} є однією з критичних вимог, які визначають ефективність виконання завдань протимінних БНС. Протимінні операції передбачають потребу у високій точності виявлення, підходу до мін та їх ідентифікації та знищення. Сучасні протимінні БНС, використовуючи автоматичні системи керування, повинні мати можливість маневрувати в обмежених просторах, таких як прибережні зони або ділянки з високою мінною небезпекою, де важливо швидко і точно реагувати на поточні умови місії.

При синтезі систем автоматичного керування БНС необхідно враховувати наступні вимоги щодо його маневреності:

швидкість маневрування R_{T-M-S} , оскільки протимінні БНС повинні мати здатність швидко змінювати курс та швидкість, що дозволяє уникати перешкод, коригувати траєкторії руху та ефективно взаємодіяти з об'єктами (наприклад, встановлювати сенсори або виконувати маніпуляції з морською міною;

точність маневрування R_{T-M-P} як основна вимога до суден, які виконують розмінування, оскільки БНС має виконувати маневри з точністю до декількох сантиметрів, щоб уникати потрапляння на міну чи інші небезпечні об'єкти;

плавність руху R_{T-M-P} , яка впливає на точність, безпеку, ефективність і довговічність роботи судна в умовах протимінних операцій. Ця вимога має забезпечуватись як шляхом вдосконалених конструктивних елементів корпусу судна, так і шляхом застосування інноваційних систем автоматичного керування, які коригують рух судна в реальному часі для підтримки рівноваги та точності просторового руху.

Вимога щодо визначення точності позиціонування R_{T-PA} протимінного БНС також є важливою для успішного виконання протимінних операцій, які потребують точного визначення місця розташування мін та вибору найкращих траєкторій для безпечної їх нейтралізації. Це пов'язано з тим, що навіть незначні помилки можуть призвести до того, що судно не виявить або не знешкодить міну на необхідній відстані.

При синтезі систем автоматичного керування протимінним БНС необхідно враховувати наступні вимоги до точності його позиціонування R_{T-PA} :

використання обладнання систем GPS або GNSS (вимога $R_{T-PA-SS}$) [19]; для більшості безекіпажних суден, точність GPS повинна бути на рівні до 1-3 метрів, однак для виконання задач протимінної діяльності точність може бути підвищена за допомогою диференціальних систем RTK або PPK [20], які дозволяють досягати точності від 0,1 м до 0,5 м;

використання додаткових сенсорів (вимога $R_{T-PA-AS}$) – інерціальних навігаційних систем або датчики, що допомагають коригувати позицію судна у випадку втрати сигналу GPS (наприклад, при проходженні через важкі води або підвищену електромагнітну активність), лазерних або ультразвукових датчиків для

точного вимірювання відстані до об'єктів, що дає змогу уникати мін чи навігаційних перешкод [21];

використання систем комп'ютерного моделювання операційного простору (вимога $R_{T-PA-CM}$); таке програмне забезпечення дає змогу моделювати шлях та обчислювати можливі небезпеки у реальному часі [22];

відповідність стандартам та нормативам (вимога $R_{T-PA-CS}$); протимінні БНС мають відповідати міжнародним стандартам безпеки та технічним вимогам для безекіпажних суден (наприклад, міжнародним стандартам, визначеним Міжнародної організації праці чи міжнародними організаціями з безпеки судноплавства) [23].

З урахуванням вище зазначеного пропонується враховувати наступні множини технічних вимог до систем автоматичного керування протимінного БНС:

$$R_T = \{R_{T-RED}; R_{T-M}; R_{T-PA}\}; \quad (2)$$

$$R_{T-RED} = \{R_{T-RED-S}; R_{T-RED-I}; R_{T-RED-C}; R_{T-RED-W}\}; \quad (3)$$

$$R_{T-M} = \{R_{T-M-S}; R_{T-M-P}; R_{T-M-P}\}; \quad (4)$$

$$R_{T-PA} = \{R_{T-PA-SS}; R_{T-PA-AS}; R_{T-PA-CS}\}. \quad (5)$$

Таким чином, при проектуванні протимінного БНС завдання $T_{БНС-М}$ створення досконалої системи автоматичного керування просторовим рухом БНС може бути виконане у результаті синтезу такої системи, яка буде задовольняти вимогам R_T згідно залежностей (2)-(5).

Отримані залежності (множини вимог до системи автоматичного керування БНС) утворюють методологічну основу процесу її синтезу як складової автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України.

Обговорення отриманих результатів.

Створення протимінного безекіпажного надводного судна як носія підводних протимінних робіт є важливим кроком на шляху до автоматизації процесу розмінування водних територій держави. Автоматизована система розмінування внутрішніх вод України на базі протимінних БНС дає змогу значно зменшити ризики для людей і підвищити ефективність розмінування, використовуючи передові технології автономії, сенсорних систем і робототехніки.

Процес проектування протимінного БНС потребує комплексного врахування всього переліку операцій морського розмінування на

основі застосування системного підходу, який включає аналіз вимог, розробку технічних рішень та інтеграцію новітніх технологій для забезпечення максимальної ефективності та безпеки.

Отримані у результаті дослідження множини вимог до системи автоматичного керування протимінним БНС утворюють методологічне підґрунтя процесу її синтезу як складової автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України.

Висновки. 1. На основі системного підходу сформовано основні завдання створення протимінного безекіпажного судна як складової автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України. До основних складових запропоновано віднести завдання синтезу досконалих систем автоматичного керування просторовим рухом БНС, завдання створення високоефективних бортових джерел енергії БНС, завдання створення досконалих систем автоматичного керування корисним вантажем БНС, завдання оснащення БНС високоефективним обладнанням для пошуку і знешкодження морських мін та завдання розробки систем автоматичного керування таким обладнанням.

2. На основі загальних принципів організації функціонування автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод України, запропоновано чотири основні етапи проектування протимінного безекіпажного судна як складової автоматизованої системи розмінування внутрішніх вод держави – аналіз вимог та планування проекту судна, технічне проектування, прототипування і тестування, інтеграція судна в загальну автоматизовану систему розмінування територіальних вод держави.

3. Як перший крок у напрямку розробки змістовної частини основних завдань створення протимінного БНС сформульовано змістовну частину завдання створення досконалої системи автоматичного керування просторовим рухом протимінного безекіпажного судна. Запропоновано множину технічних вимог до системи автоматичного керування судном, яка включає вимоги стійкості до дії зовнішніх збурень, маневреності та точності позиціонування судна та утворює методологічну основу для процесу проектування системи автоматичного керування протимінним безекіпажним судном.

4. Наступне дослідження планується проводити у напрямку розробки змістовних частин завдань створення високоефективних бортових джерел енергії БНС та систем автоматичного контролю та керування ними.

Література

1. Demining Black Sea: Türkiye, Bulgaria and Romania sign agreement. URL: <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2024/01/2024/01/>
2. Внутрішні води України. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Внутрішні_води_України.
3. Підводне розмінування Чорного моря: Україна, Туреччина, Болгарія та Румунія підписали угоду. URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2024/01/2024/01/>.
4. Bolbot V., Sandru A., Saarniniemi T., Puolakka O., Kujala P., Valdez Banda O.A. Small Unmanned Surface Vessels—A Review and Critical Analysis of Relations to Safety and Safety Assurance of Larger Autonomous Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. Vol. 11, No. 12. Article 2387. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11122387>.
5. Castano-Londono L., Marrugo Llorente S.P., Paipa-Sanabria E. Evolution of Algorithms and Applications for Unmanned Surface Vehicles in the Context of Small Craft: A Systematic Review. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 21. Article 9693. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14219693>.
6. Zoria Y. More than 13,000 km² of Ukraine's sea and inland waters need demining – Emergency Service. URL: <https://euromaidanpress.com/2023/05/30/more-than-13000-km2-of-ukraines-sea-and-inland-waters-need-demining-emergency-service/>.
7. Блінцов В.С., Надточий А.В. Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. Суднобудування та морська інфраструктура. 2024. № 1(18). С. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).01](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).01).
8. Inspector 120 Unmanned Surface Vehicle. URL: <https://www.naval-technology.com/projects/inspector-120-unmanned-surface-vehicle/> (дата звернення: 20.01.2025).
9. Inspector USVs. Unmanned Surface Vehicle. URL: <https://www.exail.com/usvs> (дата звернення: 20.01.2025).
10. ARCIMS — Modular USV System Brochure. URL: https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/ARCIMS/ARCIMS_Modular_USV_System_Brochure_Sept2023_r.pdf.
11. “НІБУЛОН” пропонує катери пр. ДСНС 25М для підводного розмінування. URL: <https://nibulon.com/dsns25m>.
12. Blintsov V.S., Klochkov O.P. Generalized structure of control systems for autonomous underwater vehicles. *Underwater Technologies, Industrial and Civil Engineering*. 2016. Vol. 4. С. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00878>.
13. Blintsov V., Hrytsaenko M. Improvement of the management of material and technical resources of water cleaning. *Journal of Water Management and Marine Research*. 2020. Vol. 2. P. 21–28.
14. Блінцов В.С., Надточий А.В. Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. Суднобудування

та морська інфраструктура. 2024. №1(18). С. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).01](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).01).

15. Liu B. Study on modern ship stabilizer technology. *Highlights in Science Engineering and Technology*. 2023. Vol. 72. P. 788–792. DOI: <https://doi.org/10.54097/566ar494>.
16. Sleipner Stabilizer Guide. URL: <https://it.sleipnergroup.com/knowledge-hub/stabilizer-guide>.
17. iSSMC: Ship Stabilization and Motion Control. URL: <https://www.imar-navigation.de/en/products/by-product-names/item/issmc-ship-stabilization-and-motion-control>.
18. Liu B. Study on modern ship stabilizer technology. *Highlights in Science Engineering and Technology*. 2023. Vol. 72. P. 788–792. DOI: <https://doi.org/10.54097/566ar494>.

References

1. Demining Black Sea: Türkiye, Bulgaria and Romania sign agreement. URL: <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2024/01/2024/01/>
2. Vnutrishni vody Ukrainy. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Vnutrishni_vody_Ukrainy.
3. Pidvodne rozminuvannja Chornogho morja: Ukrajin, Turechchyna, Bolgharija ta Rumunija pidpysaly ughodu. URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2024/01/2024/01/>.
4. Bolbot V., Sandru A., Saarniniemi T., Puolakka O., Kujala P., Valdez Banda O.A. Small Unmanned Surface Vessels—A Review and Critical Analysis of Relations to Safety and Safety Assurance of Larger Autonomous Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. Vol. 11, No. 12. Article 2387. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11122387>.
5. Castano-Londono L., Marrugo Llorente S.P., Paipa-Sanabria E. Evolution of Algorithms and Applications for Unmanned Surface Vehicles in the Context of Small Craft: A Systematic Review. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 21. Article 9693. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14219693>.
6. Zoria Y. More than 13,000 km² of Ukraine's sea and inland waters need demining – Emergency Service. URL: <https://euromaidanpress.com/2023/05/30/more-than-13000-km2-of-ukraines-sea-and-inland-waters-need-demining-emergency-service/>.
7. Blincov V.S., Nadtochyj A.V. Ghumanitarne rozminuvannja milkovodnykh akvatorij: tekhnologhiji ta robototekhnichne zabezpechennja. *Sudnobuduvannja ta morsjka infrastruktura*. 2024. # 1(18). S. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).01](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).01).
8. Inspector 120 Unmanned Surface Vehicle. URL: <https://www.naval-technology.com/projects/inspector-120-unmanned-surface-vehicle/> (data zvernennja: 20.01.2025).
9. Inspector USVs. Unmanned Surface Vehicle. URL: <https://www.exail.com/usvs> (data zvernennja: 20.01.2025).

10. ARCIMS — Modular USV System Brochure. URL: https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/ARCIMS/ARCIMS_Modular_USV_System_Brochure_Sept2023_r.pdf.
11. "NIBULON" пропонує катери пр. DSNS 25M дліа підводного розминування. URL: <https://nibulon.com/dsns25m>.
12. Blintsov V.S., Klochkov O.P. Generalized structure of control systems for autonomous underwater vehicles. Underwater Technologies. Industrial and Civil Engineering. 2016. Vol. 4. S. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00878>.
13. Blintsov V., Hrytsaienko M. Improvement of the management of material and technical resources of water cleaning. Journal of Water Management and Marine Research. 2020. Vol. 2. P. 21–28.
14. Blincov V.S., Nadtochyj A.V. Ghumanitarne rozminuvannja milkovodnykh akvatorij: tekhnologhiji ta robototekhnichne zabezpechennja. Sudnobuduvannja ta morsjka infrastruktura. 2024. #1(18). S. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).01](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).01).
15. Liu B. Study on modern ship stabilizer technology. Highlights in Science Engineering and Technology. 2023. Vol. 72. P. 788–792. DOI: <https://doi.org/10.54097/566ar494>.
16. Sleipner Stabilizer Guide. URL: <https://it.sleipnergroup.com/knowledge-hub/stabilizer-guide>.
17. iSSMC: Ship Stabilization and Motion Control. URL: <https://www.imar-navigation.de/en/products/by-product-names/item/issmc-ship-stabilization-and-motion-control>.
18. Liu B. Study on modern ship stabilizer technology. Highlights in Science Engineering and Technology. 2023. Vol. 72. P. 788–792. DOI: <https://doi.org/10.54097/566ar494>.

Timchenko V.L., Nadtochyj V. A. Unmanned surface vessel as a component of the automated demining system of Ukraine's internal waters

The creation of mine-fighting unmanned surface vessels is an important step in the development of an automated mine clearance system for inland waters of Ukraine. The process of designing such vessels is proposed based on the application of a systems approach, which includes the analysis of requirements, the development of technical solutions and the integration of the latest technologies to ensure maximum efficiency and safety of the processes of using a mine-fighting unmanned surface vessel.

Formation of the substantive part of the tasks of creating a mine-fighting unmanned surface vessel as a methodological basis for the process of its design for an automated mine clearance system for inland waters of Ukraine.

The methodology of analysis of scientific and technical literature and the principle of a systems approach are used. The object of the study is the process of designing an unmanned surface vessel for an automated mine clearance system for inland waters. The

subject of the study is the formation of the substantive part of the tasks of creating a mine-fighting unmanned surface vessel and a set of tasks of its automation as a methodological basis for the process of designing a vessel.

From the standpoint of the system approach, the main tasks of automating a mine-clearing unmanned vessel have been formulated, which include the task of synthesizing perfect systems for automatic control of the spatial movement of the vessel and its payload, the task of creating highly efficient on-board energy sources of the vessel, the task of equipping the vessel with highly efficient equipment for searching for and neutralizing sea mines, and the task of developing automatic control systems for such equipment. Based on the principles of the system approach and the general principles of organizing the functioning of the automated mine clearance system of the inland waters of Ukraine, four main stages of designing a mine-clearing unmanned vessel as a component of the automated mine clearance system of the state have been proposed - analysis of requirements and planning of the vessel project, technical design, prototyping and testing, integration of the vessel into the general automated mine clearance system of the state's territorial waters. The substantive part of the task of creating a perfect system for automatic control of the spatial movement of a mine-clearing unmanned vessel has been formulated. A set of technical requirements for the automatic control system of the vessel is proposed, which includes requirements for resistance to external disturbances, maneuverability and accuracy of the vessel's positioning.

The main tasks of automation of a mine-clearing unmanned vessel and a set of requirements for the automatic control system of a mine-clearing unmanned vessel form the methodological basis for the process of its synthesis as a component of the automated mine clearance system of inland waters of Ukraine.

The main tasks of automation of a mine-clearing unmanned vessel can serve as the basis for planning the work of a design organization that designs such vessels. The set of requirements for the automatic control system of a mine-clearing unmanned vessel forms the organizational basis of design work on the development of an automatic control system for a mine-clearing unmanned vessel.

Keywords: unmanned surface vessel, automatic control system, system approach

Тимченко Віктор Леонідович – доктор технічних наук, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, vl.timchenko58@gmail.com

Надточий Анатолій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматики та електроустаткування, Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, tasman.leh.85@gmail.com

Стаття подана 20.10.2024.