

УДК 629.58  
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.4\(502\).1](https://doi.org/10.15589/znp2025.4(502).1)

## EXTERNAL DESIGN TASKS OF AN UNDERWATER ROBOT INTENDED FOR THE PROTECTION OF MARINE CRITICAL INFRASTRUCTURE IN SHALLOW-WATER AREAS

### ЗАВДАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПІДВОДНОГО АПАРАТА З РАДІОБУЄМ ДЛЯ ОХОРОНИ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА МІЛКОВОДНИХ АКВАТОРІЯХ

Volodymyr S. Blintsov  
bvs050803@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-3912-2174  
Andrii A. Tarchuk  
tarchuk1996@gmail.com  
ORCID: 0009-0009-6904-2544

**В. С. Блінцов,**  
докт. техн. наук, професор  
**А. А. Тарчук,**  
аспірант

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*  
*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

**Abstract.** *The purpose* of the article is to form a scientific and methodological basis for the internal design of an autonomous uninhabited underwater vehicle with a towed radio buoy, intended for the protection and monitoring of marine critical infrastructure facilities in shallow water areas.

**Method.** The work uses a systematic approach to the analysis of the structure, functions and interaction of mechanical, energy, navigation, information and control and communication subsystems of the underwater vehicle being designed. A comparative analysis of the operational properties of autonomous uninhabited and moored underwater vehicles of traditional designs from the standpoint of their use for the protection and protection of marine critical infrastructure facilities has been carried out. Special attention is paid to the design of the towed radio buoy, in particular the use of arc-shaped bearing surfaces, coordinated with the hydrodynamic profile of the underwater vehicle.

**The results.** As a result of the research, a general set of tasks for the internal design of an underwater vehicle and its radio beacon and a subset of key scientific tasks necessary for their solution were formed. The key engineering requirements for devices operating in shallow water areas were substantiated, and it was determined that the effectiveness of their operation largely depends on the deep integration of communication facilities into the design of the device and radio beacon. It was shown that the use of a system approach ensures the creation of a multi-purpose technical platform for security, monitoring and mine countermeasure missions in coastal areas.

**Scientific novelty.** The paper first formulated and structured an applied scientific and technical task for the internal design of an autonomous underwater vehicle with a towed radio beacon for applications in shallow water areas. A methodological framework was proposed that combines system analysis, coordination of hydrodynamic and communication characteristics, and formalization of a set of design tasks.

**Practical significance.** The developed methodology can be used to create a standard series of underwater vehicles with towed radio beacons for various purposes – from scientific to defense and humanitarian. The results of the study have practical significance for increasing the efficiency of protection and monitoring of marine critical infrastructure facilities of Ukraine in shallow water conditions, where traditional communication and energy supply systems operate to a limited extent.

**Key words:** autonomous uninhabited underwater vehicle; towed radio beacon; internal design; marine critical infrastructure; system approach.

**Анотація.** *Метою* статті є формування науково-методологічної основи внутрішнього проектування автономного ненаселеного підводного апарата з буксирним радіобуєм, призначеного для охорони та моніторингу об'єктів морської критичної інфраструктури у мілководних акваторіях.

**Методика.** У роботі застосовано системний підхід до аналізу структури, функцій та взаємодії механічних, енергетичних, навігаційних, інформаційно-керуючих і комунікаційних підсистем підводного апарата, який проектується.. Проведено порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей автономних ненаселених і прив'язних

підводних апаратів традиційних конструкцій з позицій застосування для охорони та захисту об'єктів морської критичної інфраструктури. Особливу увагу приділено конструкції буксированого радіобуя, зокрема використанню дугових несучих поверхонь, узгоджених з гідродинамічним профілем підводного апарата.

*Результати.* У результаті досліджень сформовано генеральну множину завдань внутрішнього проектування підводного апарата і його радіобуя та підмножину ключових наукових задач, необхідних для їх вирішення. Обґрунтовано ключові інженерні вимоги до апаратів, що діють у мілководних акваторіях, та визначено, що ефективність їх роботи значною мірою залежить від глибокої інтеграції комунікаційних засобів у конструкцію апарата і радіобуя. Показано, що застосування системного підходу забезпечує створення багатоцільової технічної платформи для охоронних, моніторингових та протимінних місій у прибережних зонах.

*Наукова новизна.* У роботі вперше сформульовано та структуровано прикладне науково-технічне завдання внутрішнього проектування автономного підводного апарата з буксированим радіобуєм для застосувань у мілководних акваторіях. Запропоновано методологічну основу, що поєднує системний аналіз, узгодження гідродинамічних і комунікаційних характеристик та формалізацію множини проектних завдань.

*Практична значимість.* Розроблена методологія може бути використана для створення типорозмірного ряду підводних апаратів з буксированими радіобуями різного цільового призначення – від наукових до оборонних і гуманітарних. Результати дослідження мають прикладне значення для підвищення ефективності охорони та моніторингу об'єктів морської критичної інфраструктури України в умовах мілководдя, де традиційні системи зв'язку та енергозабезпечення працюють обмежено.

**Ключові слова:** автономний ненаселений підводний апарат; буксирований радіобуй; внутрішнє проектування; морська критична інфраструктура; системний підхід.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Сучасні загрози для об'єктів морської критичної інфраструктури (МКІ), розташованих у прибережних та мілководних акваторіях, зумовлюють потребу у створенні нових засобів морської робототехніки, здатних забезпечувати їх охорону та захист у складних умовах гідрофізичного середовища. Одним із перспективних напрямів є застосування автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА) з радіобуями, які поєднують переваги автономності та оперативного інформаційного зв'язку з надводними або береговими центрами керування [1].

У межах загального завдання проектування такого апарата важливим є внутрішнє проектування – тобто формування складу, структури та взаємодії основних функціональних підсистем (енергетичної, рухової, навігаційної, інформаційної, телеметричної тощо) такого апарата у межах єдиної системи. Це дає змогу забезпечити узгоджене функціонування всіх компонентів і виконання цільових функцій апарата під час проведення місій на мілководних морських акваторіях.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Забезпечення безпеки об'єктів морської критичної інфраструктури – портів, гідротехнічних споруд, підводних комунікацій і нафтогазових платформ – є одним із ключових завдань національної безпеки та оборони. Одним із перспективних робототехнічних засобів для таких завдань є АНПА, здатні виконувати функції моніторингу, патрулювання, розвідки, виявлення та нейтралізації загроз об'єктам МКІ.

У процесі створення таких апаратів важливе місце займає внутрішнє проектування, яке охоплює опрацювання конструктивно-технологічних рішень щодо

розміщення систем, обладнання та модулів у корпусі апарата, визначення параметрів його енергосистеми, каналів зв'язку, систем навігації та керування. Саме внутрішнє проектування визначає технічну реалізованість концепції, сформованої на стадії зовнішнього проектування.

Проблематика створення АНПА для виконання охоронних завдань активно розвивається протягом останніх двох десятиліть. Дослідження у цій сфері охоплюють питання гідродинамічного проектування корпусів, стабілізації руху, навігації у складних умовах, підвищення автономності та надійності систем керування.

Відомі розробки таких систем у провідних країнах світу – США (лінійка апаратів REMUS, Knifefish [2]), Німеччини (SeaFox, SeaOtter [3]) та інших країн [4–6]). Ці апарати використовуються для розвідки міських полів, картографування морського дна, ідентифікації та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів. У наукових роботах акцент робиться на оптимізації форм корпусу, систем руху з низьким рівнем шуму, інтеграції інерціальних навігаційних систем з гідроакустичними каналами позиціонування (USBL, DVL), а також на підвищенні ефективності програмно-алгоритмічного забезпечення для розпізнавання міноподібних об'єктів.

Значна кількість публікацій присвячена також питанням енергетичної автономії, удосконаленню систем керування на основі нечіткої логіки, штучних нейронних мереж та адаптивних регуляторів [7–9]. Проте більшість досліджень орієнтовані на роботу апаратів у відкритих глибоководних умовах, де немає суттєвих обмежень щодо простору маневрування і зв'язку.

Питання ж створення охоронних підводних апаратів, призначених саме для мілководних акваторій, залишається недостатньо розробленим. Відомі

рішення для таких місій або спираються на використання прив'язних підводних апаратів з кабель-тросом, або на застосування цілком автономних систем, які під час виконання підводної місії втрачають зв'язок з береговим центром керування (БЦК) з-за їх знаходження під водою. Це, відповідно, ускладнює організацію охоронних місій та створює ризики підводних аварій, що суттєво знижує продуктивність місій та ускладнює виконання спільних дій з надводними або береговими системами безпеки.

### ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Попри значні досягнення у розробленні засобів підводної робототехніки, низка важливих питань залишається відкритою, особливо у контексті їхнього застосування на мілководних акваторіях для охорони морської критичної інфраструктури.

Охоронні АНПА мають низку очевидних переваг:

- повна незалежність від судна забезпечення або берегової платформи під час виконання місії (перевага  $A_{AUV-SV}$ );

- висока мобільність і можливість тривалого автономного перебування у зоні пошуку (перевага  $A_{AUV-HM}$ );

- зменшення ризику для персоналу, оскільки всі дії здійснюються без участі оператора у зоні потенційної небезпеки (перевага  $A_{AUV-RR}$ ).

Однак їхнім суттєвим недоліком є відсутність оперативного зв'язку з береговим центром керування (БЦК) під час виконання морської охоронної місії (недолік  $D_{AUV-OC}$ ). Це обмежує можливість корекції завдань у реальному часі, моніторингу технічного стану апарата та оперативного реагування у випадку позапланових ситуацій.

Охоронні прив'язні підводні апарати (ППА, в англійській літературі – Remotely Operated Vehicles, ROV), навпаки, забезпечують постійний двосторонній інформаційний зв'язок із судном забезпечення або береговим центром через кабель-трос, що дозволяє оперативно (тобто, у реальному часі) керувати їх діями, передавати телеметричні дані та відеоінформацію (перевага  $A_{ROV-OC}$ ). Проте така конструкційна схема має свої недоліки – насамперед обмежений радіус дії, визначений довжиною кабель-тросу (недолік  $D_{ROV-SV}$ ), а також ризики для персоналу (недолік  $D_{ROV-RR}$ ).

Запишемо наведені вище переваги і недоліки АНПА і ППА у вигляді двох наступних множин, що містять їх експлуатаційні властивості  $OP_{AUV}$  і  $OP_{ROV}$  з позицій охорони і захисту об'єктів МКІ:

$$OP_{AUV} = \{A_{AUV-SV}; A_{AUV-HM}; A_{AUV-RR}; D_{AUV-OC}\}; \quad (1)$$

$$OP_{ROV} = \{A_{ROV-OC}; D_{ROV-SV}; D_{ROV-RR}\}. \quad (2)$$

Таким чином, невирішеною частиною загальної проблеми є пошук технічного компромісу між автономністю руху та наявністю надійного зв'язку з БЦК.

Саме цю нішу покликаний заповнити підводний апарат з буксируваним радіобуєм (АНПА-РБ, в англійській літературі – Autonomous Underwater Vehicle with Radio Buoy, AUVRB) [10], який дає змогу:

- зберегти високий рівень автономності та незалежності функціонування від судна забезпечення (перевага  $A_{AUVRB-SV} = A_{AUV-SV}$ );

- забезпечити високу мобільність і можливість тривалого автономного перебування у зоні пошуку (перевага  $A_{AUVRB-HM} = A_{AUV-HM}$ );

- зменшити ризики для персоналу, оскільки всі дії здійснюються без участі оператора у зоні потенційної небезпеки (перевага  $A_{AUVRB-RR} = A_{AUV-RR}$ );

- забезпечити оперативний двосторонній канал радіозв'язку між підводним апаратом і БЦК (перевага  $A_{AUVRB-OC} = A_{ROV-OC}$ ).

Недоліком AUVRB  $D_{AUVRB-CC}$  є ускладнення його конструкції з-за необхідності розміщувати обладнання для транспортування радіобуя, його випуску у режим буксирування для організації зв'язку з БЦК та його прийому до АНПА після завершення сеансу радіозв'язку.

Таким чином, експлуатаційні можливості АНПА-РБ можна представити наступною множиною переваг і недоліків:

$$OP_{AUVRB} = \{A_{AUVRB-SV}; A_{AUVRB-HM}; A_{AUVRB-RR}; A_{AUVRB-OC}; D_{AUVRB-CC}\}. \quad (3)$$

Для реалізації цього технічного рішення необхідно сформулювати завдання внутрішнього проектування такого апарата з урахуванням взаємодії його енергетичної, навігаційної, комунікаційної та конструкційної підсистем.

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є формулювання завдань внутрішнього проектування автономного ненаселеного підводного апарата з буксируваним радіобуєм як науково-методологічної основи створення такого засобу морської робототехніки для охорони та захисту мілководних об'єктів морської критичної інфраструктури.

### МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети у роботі застосовано методологію системного підходу [11], який дає змогу врахувати взаємодію всіх складових підводного апарата як єдиної системи, а також їх взаємодію із зовнішнім середовищем.

Додатково для обґрунтування можливості реалізації АНПА-РБ використано чотири рівняння існування створюваного підводного апарата як єдиної технічної системи.

Вказані рівняння є ефективним інструментом для перевірки проектно-конструкторських рішень

підводного апарата-робота і базуються на відомих системних критеріях [12]:

– «Матерія» – дають змогу перевіряти проектно-конструкторські рішення апарата на відповідність матеріальним обмеженням технічного завдання (масо-габаритним характеристикам, плавучості тощо) та середовищу експлуатації (вимогам конструкційної міцності при дії гідростатичним та гідродинамічним навантаженням);

– «Енергія» – дають змогу перевіряти проектно-конструкторські рішення апарата на відповідність вимогам технічного завдання щодо забезпечення споживачів апарата енергією необхідних типів та якості під час виконання підводних місій;

– «Інформація» – дають змогу перевіряти проектно-конструкторські рішення апарата на відповідність вимогам технічного завдання щодо інформаційного забезпечення процесів функціонування підводного апарата (наявність необхідних каналів сприйняття, передачі та оброблення інформації);

– «Корисна функція» – дають змогу перевіряти проектно-конструкторські рішення апарата на відповідність вимогам технічного завдання щодо реалізації необхідних режимів роботи апарата для досягнення поставлених цілей місії з визначеною ефективністю.

Об'єктом дослідження є процес внутрішнього проектування АНПА-РБ, призначеного для охорони і захисту об'єктів МКІ.

Предметом дослідження є формування науково обґрунтованої генеральної множини основних завдань внутрішнього проектування АНПА-РБ та підмножини основних наукових задач для їх виконання як науково-методологічної основи розроблення структури, компонентного складу та взаємодії основних систем апарата, що забезпечують його функціонування як цілісного інженерно-технічного комплексу охоронного призначення.

Таким чином, постановка задачі передбачає створення методологічної бази для внутрішнього проектування підводного апарата нового покоління – автономного, малогабаритного, енергоефективного та здатного до тривалого виконання охоронних завдань у складних умовах мілководдя.

## ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

### 1. Сутність внутрішнього проектування підводного апарата з радіобуєм для охорони об'єктів морської критичної інфраструктури на мілководних акваторіях

Внутрішнє проектування АНПА-РБ є комплексним процесом, спрямованим на розроблення структури, компонентного складу та взаємодії основних систем апарата, що забезпечують його функціонування як цілісного інженерно-технічного комплексу охоронного призначення.

Сутність цього етапу полягає у формуванні взаємопов'язаної архітектури підводного апарата, яка інтегрує корпусно-механічні, енергетичні, інформаційно-керуючі підсистеми з урахуванням умов експлуатації на мілководних акваторіях і специфічних завдань охорони морської критичної інфраструктури (портів, гідротехнічних споруд, нафтогазових терміналів, підводних трубопроводів, кабельних ліній тощо).

Як показано у [13], до генеральної множини основних завдань внутрішнього проектування  $DI$  АНПА-РБ відносяться наступні завдання:

розробки принципів функціонування механізму розгортання (випускання) РБ та згортання (повернення до АНПА) РБ  $DI_{DPO}$ ;

дослідження гідродинаміки РБ як невід'ємної теоретичної складової його інженерного проектування  $DI_{DH}$ ;

розробки узагальненого алгоритму роботи системи керування обладнанням розгортання та згортання РБ, що має забезпечити узгоджене функціонування ложементам і лебідкою кабель-буксира  $DI_{DCS}$  (цю частину проектних робіт віднесемо до спеціальності автоматичного керування АНПА).

Наведені основні завдання доповнимо наступними додатковими завданнями, які утворюють повну множину  $DI$  завдань внутрішнього проектування АНПА-РБ:

завдання деталізації технічних характеристик та параметрів АНПА  $DI_{TS}$  та радіобуя  $DI_{TS-RB}$  відповідно до сформульованих завдань зовнішнього проектування  $DI$ ;

завдання вибору та обґрунтуванню архітектурно-конструктивних рішень для корпусу АНПА  $DI_B$ , його пропульсивного комплексу  $DI_{PC}$  та енергетичної системи  $DI_{ES}$ , для систем навігації  $DI_N$  і зв'язку  $DI_C$ , для управління підводним апаратом  $DI_M$  і його змінним приладовим та інструментальним обладнанням  $DI_{M-P}$ , призначеним для проведення охоронних місій за призначенням АНПА-РБ;

завдання формування внутрішнього компонування обладнання АНПА  $DI_{IC}$  та оптимізація розподілу мас  $DI_{MO}$  для забезпечення стійкості, маневреності та енергоефективності руху;

завдання вибору архітектурно-конструктивних рішень для корпусу радіобуя  $DI_{B-RB}$ , його енергетичної системи  $DI_{ES-RB}$ , систем навігації  $DI_{N-RB}$ , управління  $DI_{M-RB}$  і зв'язку  $DI_{C-RB}$ ;

завдання формування внутрішнього компонування обладнання радіобуя  $DI_{IC-RB}$  та оптимізація розподілу мас  $DI_{MO-RB}$  для забезпечення стійкості, маневреності та енергоефективності руху;

завдання  $DI_{CS}$  розроблення інформаційно-керуючої структури АНПА-РБ, що забезпечує стійке управління рухом, позиціонування та передачу даних у складних гідрометеорологічних умовах мілководдя;

завдання  $DI_{TM}$  розробки переліку робіт технічного обслуговування АНПА-РБ, безпеки експлуатації та ремонтпридатності систем.

Тобто, генеральна множина завдань внутрішнього проектування АНПА-РБ має вид:

$$DI = \{DI_{DPO}; DI_{DH}; DI_{DCS}; DI_{TS}; DI_{TS-RB}; DI_B; DI_{PC}; DI_{ES}; DI_N; DI_C; DI_M; DI_{M-P}; DI_{IC}; DI_{MO}; DI_{B-RB}; DI_{ES-RB}; DI_{N-RB}; DI_{M-RB}; DI_{C-RB}; DI_{IC-RB}; DI_{MO-RB}; DI_{CS}; DI_{TM}\}. \quad (4)$$

Результатом внутрішнього проектування є комплексна технічна концепція АНПА-РБ, яка дає змогу перейти до етапів його проектування згідно вимогам ЄСКД і подальшого будівництва дослідного зразка та його заводських в морських натурних випробувань.

## 2. Наукові задачі окремих завдань внутрішнього проектування підводного апарата з радіобуєм

Як показує аналіз множини переваг і недоліків АНПА-РБ (3), на стадії внутрішнього проектування підводного апарата найбільш актуальним з позицій наукового обґрунтування технічних рішень є питання:

- дослідження гідродинамічних властивостей та конструкції РБ і
- проектування обладнання АНПА для застосування РБ за призначенням – його транспортування, випуск у режим буксирування для організації зв'язку з БЦК та прийом РБ до АНПА після завершення сеансу радіозв'язку.

Тому далі розглянемо основні наукові задачі  $M_{АНПА-РБ}$  внутрішнього проектування АНПА-РБ більш детально, акцентуючи увагу на саме цих питаннях.

Сформуємо наукові задачі внутрішнього проектування АНПА-РБ у складі двох складових:

наукові задачі  $M_{АНПА}$  проектування АНПА як носія корисного вантажу – буксируваного радіобуя зв'язку і змінного приладового та інструментального обладнання, призначеного для проведення охоронних місій за призначенням АНПА-РБ;

наукові задачі  $M_{РБ}$  проектування буксируваного радіобуя як носія радіо- та супутникової апаратури для двостороннього інформаційного обміну з БЦК.

Тобто, має місце залежність:

$$M_{АНПА-РБ} = \{M_{АНПА}; M_{РБ}\}. \quad (5)$$

Перша складова внутрішнього проектування – автономний не населений підводний апарат – охоплює традиційні задачі наукового обґрунтування конструкторських рішень АНПА як засобу підводної робототехніки [14]. Такі задачі доцільно представити деякою множиною взаємопов'язаних наукових задач  $M_{АНПА} \subset DI$ , що ґрунтуються на застосуванні методології системного підходу [11]. Згідно з цим множину задач  $M_{АНПА}$  представимо чотирма основними підмножинами:

підмножиною  $M_{АНПА-М} \subset DI$  гідродинамічних та конструктивно-компоновочних задач (критерій системного підходу «Матерія»);

підмножиною  $M_{АНПА-Е} \subset DI$  задач енергетики підводного апарата (критерій системного підходу «Енергія»);

підмножиною  $M_{АНПА-І} \subset DI$  інформаційно-керуючих задач (критерій системного підходу «Інформація»);

підмножиною  $M_{АНПА-КФ} \subset DI$  задач оцінки відповідності створюваного АНПА вимогам технічного завдання (критерій системного підходу «Корисна функція»).

У якості прикладу розглянемо змістовну частину цих задач більш детально.

До задач  $M_{АНПА-М}$  віднесемо:

розроблення гідродинамічної форми корпусу АНПА з мінімальним опором руху та достатньою остійністю під час маневрування (задача  $M_{АНПА-М-Г}$ );

вибір матеріалів корпусу АНПА, що забезпечують міцність, герметичність та корозійну стійкість при експлуатації в морській воді (задача  $M_{АНПА-М-К}$ );

розроблення схеми розміщення рушійно-стернового комплексу АНПА для досягнення високої керованості в обмежених просторах при роботі на інженерних спорудах морського шельфу, портових гідротехнічних спорудах тощо (задача  $M_{АНПА-М-Р}$ );

розроблення складу, принципів функціонування та конструкції обладнання АНПА, призначеного для транспортування та застосування за призначенням радіобуя (задача  $M_{АНПА-М-ОРБ}$ ); зазначимо, що вказана задача не є тривіальною і на даний час потребує окремого розгляду;

розроблення складу, принципів функціонування та конструкції обладнання АНПА, призначеного для зберігання, транспортування та застосування за призначенням змінного обладнання, необхідного для виконання пошукових та охоронних місій АНПА-РБ (задача  $M_{АНПА-М-ОПО}$ ).

До задач  $M_{АНПА-Е}$  проектування АНПА віднесемо:

задачу розроблення системи енергозабезпечення споживачів АНПА (задача  $M_{АНПА-Е-ПА}$ );

задачу розроблення системи енергозабезпечення споживачів РБ (задача  $M_{АНПА-Е-РБ}$ );

задачу розроблення системи енергозабезпечення споживачів змінного обладнання, необхідного для виконання пошукових та охоронних місій АНПА-РБ (задача  $M_{АНПА-Е-ОПО}$ ).

До задач  $M_{АНПА-І}$  проектування АНПА віднесемо:

задачу розроблення системи інформаційного забезпечення складових АНПА (задача  $M_{АНПА-І-ПА}$ );

задачу розроблення системи інформаційного забезпечення складових РБ (задача  $M_{АНПА-І-РБ}$ );

задачу розроблення системи інформаційного забезпечення споживачів змінного обладнання, необхідного для виконання пошукових та охоронних місій АНПА-РБ (задача  $M_{АНПА-І-ОПО}$ ).

До задач  $M_{АНПА-КФ}$  проектування АНПА віднесемо: комплексну задачу забезпечення всіх проектних режимів функціонування АНПА згідно технічному завданню (задача  $M_{АНПА-КФ-ПА}$ );

комплексну задачу забезпечення всіх проектних режимів функціонування РБ (задача  $M_{АНПА-КФ-РБ}$ );

комплексну задачу забезпечення всіх проектних режимів функціонування змінного обладнання, необхідного для виконання пошукових та охоронних місій АНПА-РБ (задача  $M_{АНПА-КФ-ОПО}$ ).

Друга складова внутрішнього проектування – буксируваний радіобуй як носій радіо- та супутникової апаратури для двостороннього інформаційного обміну з БЦК – охоплює як традиційні задачі наукового обґрунтування конструкторських рішень АНПА як засобу підводної робототехніки [15], так і інноваційні проектно-конструкторські рішення [16]. Такі задачі також представимо деякою множиною взаємопов'язаних задач  $M_{РБ} \subset DI$ , що ґрунтуються на застосуванні методології системного підходу [11].

Тоді множину задач  $M_{РБ}$  проектування радіобуя також представимо чотирма основними підмножинами: підмножиною  $M_{РБ-М} \subset DI$  гідродинамічних та конструктивно-компоновочних задач (критерій системного підходу «Матерія»);

підмножиною  $M_{РБ-Е} \subset DI$  задач енергетики буксированого радіобуя (критерій системного підходу «Енергія»);

підмножиною  $M_{РБ-І} \subset DI$  інформаційно-керуючих задач (критерій системного підходу «Інформація»);

підмножиною  $M_{РБ-КФ} \subset DI$  задач оцінки відповідності створюваного РБ вимогам технічного завдання (критерій системного підходу «Корисна функція»).

У якості прикладу розглянемо змістовну частину цих задач більш детально.

До задач  $M_{РБ-М}$  проектування РБ віднесемо:

розроблення гідродинамічної форми корпусу РБ та його несучих поверхонь, які б забезпечували мінімальний гідродинамічний опір підводного апарата при його русі без розгорнутого для буксирування РБ та одночасно забезпечувала б необхідну підйомну силу радіобуя при його буксируванні в режимі інформаційного обміну з БЦК (задача  $M_{РБ-М-Г}$ ); зазначимо, що успішний розв'язок цієї задачі на практиці стикається з необхідністю збільшувати поперечний перетин АНПА з-за великого розмаху крил (несучих поверхонь) РБ, тому вказана задача також не є тривіальною і на даний час потребує окремого розгляду;

вибір матеріалів корпусу РБ, що забезпечують міцність, герметичність та корозійну стійкість при експлуатації в морській воді (задача  $M_{РБ-М-К}$ );

розроблення конструкції РБ, яка б забезпечувала підйом/опускання антен зв'язку з БЦК та достатню його остійність під час буксирування (задача  $M_{РБ-М-Р}$ ); зазначимо, що вказана задача теж не є тривіальною, тому також потребує окремого розгляду.

До задач  $M_{РБ-Е}$  проектування РБ віднесемо задачу розроблення системи енергозабезпечення апаратури радіо- та супутникового зв'язку (задача  $M_{РБ-Е-З}$ ), виконавчих механізмів підйому/опускання антен зв'язку (задача  $M_{РБ-Е-А}$ ) та виконавчих механізмів, які забезпечують необхідну остійність РБ в режимі його буксирування (задача  $M_{РБ-Е-О}$ ).

До задач  $M_{РБ-І}$  проектування РБ віднесемо задачу розроблення системи інформаційного забезпечення апаратури радіо- та супутникового зв'язку (задача  $M_{РБ-І-З}$ ), виконавчих механізмів підйому/опускання антен зв'язку (задача  $M_{РБ-І-А}$ ) та виконавчих механізмів, які забезпечують необхідну остійність РБ в режимі його буксирування (задача  $M_{РБ-І-О}$ ).

До задач  $M_{РБ-КФ}$  проектування РБ віднесемо комплексні задачі забезпечення всіх проектних режимів функціонування апаратури радіо- та супутникового зв'язку (задача  $M_{РБ-КФ-З}$ ), виконавчих механізмів підйому/опускання антен зв'язку (задача  $M_{РБ-КФ-А}$ ) та виконавчих механізмів, які забезпечують необхідну остійність РБ в режимі його буксирування (задача  $M_{РБ-КФ-О}$ ).

Таким чином, множина (5) основних наукових задач внутрішнього проектування АНПА-РБ  $M_{АНПА-РБ}$  може бути представлена підмножинами:

$$M_{АНПА} = \{M_{АНПА-М-Г}; M_{АНПА-М-К}; M_{АНПА-М-Р}; M_{АНПА-М-ОРБ}; M_{АНПА-М-ОПО}; M_{АНПА-Е-ПА}; M_{АНПА-Е-РБ}; M_{АНПА-Е-ОПО}; M_{АНПА-І-ПА}; M_{АНПА-І-РБ}; M_{АНПА-І-ОПО}; M_{АНПА-КФ-ПА}; M_{АНПА-КФ-РБ}; M_{АНПА-КФ-ОПО}\}. \quad (6)$$

$$M_{РБ} = \{M_{РБ-М-Г}; M_{РБ-М-К}; M_{РБ-М-Р}; M_{РБ-Е-З}; M_{РБ-Е-А}; M_{РБ-Е-О}; M_{РБ-І-З}; M_{РБ-І-А}; M_{РБ-І-О}; M_{РБ-КФ-З}; M_{РБ-КФ-А}; M_{РБ-КФ-О}\}. \quad (7)$$

Підмножини (6) і (7) утворюють науково-методологічне підґрунтя для організації процесів внутрішнього проектування АНПА-РБ.

Далі розглянемо можливі варіанти розв'язку трьох нетривіальних задач, які входять до підмножин (6) і (7) – задач  $M_{АНПА-М-ОРБ}$ ,  $M_{РБ-М-Г}$  та  $M_{РБ-М-Р}$ .

Розв'язок задач  $M_{АНПА-М-ОРБ} \in M_{АНПА-М} \subset DI$  та  $M_{РБ-М-Р} \in M_{РБ-М} \subset DI$  передбачає конструювання обладнання АНПА, призначеного для транспортування та застосування радіобуя (ОРБ). Виходячи з принципів системного підходу (критерій «Корисна функція») сформулюємо основні режими роботи ОРБ за умови прямолінійного усталеного руху АНПА:

режим транспортування РБ у початковому (згорнутому) положенні, у якому радіобуй закріплено на висувному ложементі (ВЛ) за допомогою фіксатора висувного ложементу (Ф), оснащеного приводом фіксатора (ПФ), а сам ВЛ знаходиться у нижньому положенні всередині зовнішнього корпусу АНПА; при цьому, стулки висувного ложементу (СВЛ) закриті, що виключає негативний вплив РБ на величину гідродинамічного опору АНПА (рис. 1, а); крім того,

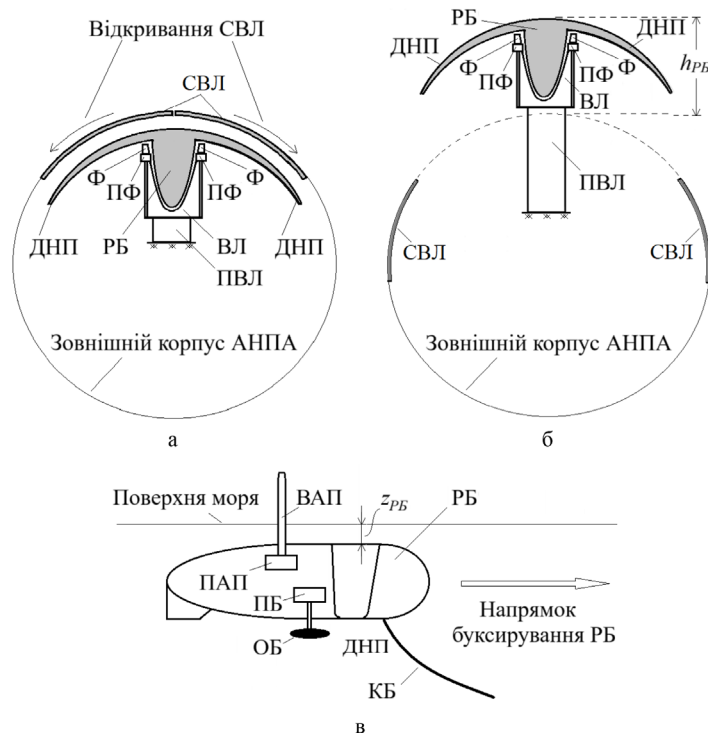


Рис. 1. Узагальнена схема обладнання АНПА для транспортування та застосування за призначенням радіобуя

гальмо лебідки кабель-буксиру (ЛКБ) утримує привод лебідки у загальмованому стані (тут і далі вказане обладнання лебідки кабель-буксиру на рисунках не показано з-за тривіальності технічних рішень);

режим підготовки до застосування РБ, у якому СВЛ відкриваються приводом стулок ложементу (ПСЛ, на рис. 1 не показано), а сам ВЛ висувається у верхнє положення за допомогою привода висувного ложементу (ПВЛ); при цьому ЛКБ попускає кабель-буксир (КБ) на довжину, достатню для підйому РБ з ВЛ на висоту  $h_{РБ}$  над корпусом АНПА, достатню для появи на дугових несучих поверхнях РБ (ДНП) підйомної гідродинамічної сили (рис. 1, б);

режим спливання РБ у підповерхневий шар моря шляхом поступового керованого попускання кабель-буксира лебідкою КБ; попускання КБ припиняється, коли заглиблення радіобуя  $z_{РБ}$  достатнє для роботи його висувних антенних пристроїв (ВАП) (рис. 1, в); при цьому стулки висувного ложементу закриваються, залишаючи вільний вихід для КБ;

режим випуску ВАП, які піднімаються за допомогою привода антенного пристрою (ПАП); одночасно з цим за допомогою привода баласту (ПБ) з корпусу РБ вниз переміщується опускний баласт (ОБ), який забезпечує необхідну остійність радіобуя під час його буксирування;

режим керованої зміни довжини попущеної частини КБ за допомогою ЛКБ; такий режим реалізується для збереження неперервного зв'язку з БЦК, коли АНПА змінює глибину занурення або при наявності значного хвилювання морської поверхні.

Таким чином, додаткове обладнання АНПА для роботи з РБ включає:

висувний ложемент для розміщення РБ, який забезпечує його фіксацію в транспортному положенні; механізм висування ложементу з РБ у потік води, який реалізується у вигляді телескопічної або шарнірно-важільної системи, здатної розгортати РБ у режим буксирування без порушення стійкості підводного апарата;

портативну лебідку з кабель-буксиром, яка забезпечує контрольоване розгортання і підйом РБ, регулювання натягу КБ залежно від швидкості руху апарата та глибини занурення;

механізм висування антенних пристроїв РБ для зв'язку з БЦК та механізм опускання/піднімання баласту РБ;

систему датчиків натягу, швидкості та кута буксирування, які передають інформацію до бортової системи управління для синхронізації рухів АНПА і РБ.

Далі, розв'язок задачі  $M_{РБ-М-Г} \in M_{РБ-М} \subset DI$  складається з розв'язку двох основних підзадач – розроблення гідродинамічної форми корпусу РБ  $M_{РБ-М-ГК}$  та його несучих поверхонь  $M_{РБ-М-ГНП}$ . Виходячи з того, що гідродинаміка був досить глибоко вивчена [17], тут розглянемо особливості розв'язку підзадачі  $M_{РБ-М-ГНП}$ , яка полягає у розробці та дослідженні властивостей дугової несучої поверхні (ДНП) радіобуя.

Раніше зазначалось, що основним завданням, яке стоїть перед конструктором АНПА-РБ, є пошук форми несучих поверхонь РБ, які б забезпечували мінімальний гідродинамічний опір підводного апарата

при його русі без розгорнутого для буксирування РБ та одночасно забезпечувала б необхідну підйомну силу радіобуя при його буксируванні в режимі інформаційного обміну з БЦК (задача  $M_{РБ-М-Г}$ ).

Авторами роботи [1] запропоновано дугову форму несучих поверхонь, кривизна дуги яких близька до кривизни дуги зовнішнього корпусу АНПА. Це забезпечує точне розміщення РБ під зовнішнім корпусом АНПА і, таким чином, не збільшує його діаметр. Однак, наявність дугової несучої поверхні (ДНП) вимагає проведення додаткових прикладних наукових досліджень щодо можливості ДНП отримувати достатню підйомну силу радіобую.

Проведене автором теоретичне та експериментальне дослідження [18] дає підстави стверджувати, що використання ДНП забезпечує успішний розв'язок задачі  $M_{РБ-М-Г}$ . Зокрема, експериментально було встановлено, що максимальний гідродинамічний ККД макета ДНП був досягнутий при кутах атаки близько  $7^\circ$ , що дає змогу виконувати його робоче проектування.

### ВИСНОВКИ

Розкрито сутність внутрішнього проектування автономного ненаселеного підводного апарата з буксируванням радіобуєм як процесу, спрямованого на забезпечення узгодженої взаємодії механічних, енергетичних, навігаційних, інформаційно-керуючих і комунікаційних підсистем під час виконання завдань охорони об'єктів морської критичної інфраструктури.

Визначено, що для апаратів, які працюють у мілководних акваторіях, ключовим чинником ефективності є глибока інтеграція засобів зв'язку з конструкцією обладнання АНПА та РБ, що забезпечується

через використання буксируваного радіобуя з дуговими несучими поверхнями, узгодженими з гідродинамічним профілем апарата.

За результатами порівняльного аналізу переваг і недоліків автономних ненаселених та прив'язних підводних апаратів традиційної конструкції сформовано множини їх експлуатаційних властивостей з позицій охорони і захисту об'єктів МКІ. На їх основі сформульовано прикладне науково-технічне завдання внутрішнього проектування нового засобу підводної робототехніки – автономного ненаселеного підводного апарата з буксируванням радіобуєм для охорони і захисту об'єктів морської критичної інфраструктури на мілководних акваторіях.

На основі системного підходу сформовано та обґрунтовано генеральну множину основних завдань внутрішнього проектування АНПА-РБ та підмножину основних наукових задач для їх виконання, що утворює науково-методологічну основу внутрішнього проектування такого виду підводної робототехніки.

Результати проведеного аналізу свідчать, що застосування системного підходу до внутрішнього проектування дозволяє створити багатоцільову технічну платформу для виконання охоронних, моніторингових і протимінних місій у прибережних зонах, де традиційні рішення з радіозв'язком та енергозабезпечення є малоефективними.

Запропонована методологічна основа внутрішнього проектування може бути використана для подальшої розробки типорозмірного ряду підводних апаратів із буксируваними радіобуями різного призначення – від науково-дослідних до оборонних і гуманітарних застосувань, зокрема для моніторингу та охорони критичної морської інфраструктури України.

### REFERENCES

- [1] Blintsov, V., & Tarchuk, A. (2024) Robotizovani tehnologii ohoroni odyektiv morskoi kritichnoi infrastrukturi – cuchasni tehnologii proektuvannya. pobudovi, ekspluatatsii i remontu suden. [Robotic protection technologies of marine critical infrastructure facilities. modern technologies of design, construction, operation and repair of ships, marine facilities and engineering structures.] Materials of the All-Ukrainian scientific and technical conference with international participation. On the 15th–16th of May, 2024. Mykolaiv, Pages 126–131.
- [2] REMUS (vehicle). Retrieved from: [https://en.wikipedia.org/wiki/REMUS\\_\(vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/REMUS_(vehicle))
- [3] David Foxwell (2010) Sea Otter Mk II and SAS demonstration completed. Retrieved from: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/sea-otter-mk-ii-and-sas-demonstration-completed-44570>
- [4] Technical Committee for Marine Robotics. Retrieved from: <https://www.ieee-ras.org/marine-robotics>
- [5] Robotic Submarine Running Debian Wins International Competition. Retrieved from: <https://web.archive.org/web/20150428085031/http://www.debian-news.net/2009/10/08/robotic-submarine-running-debian-wins-international-competition/>
- [6] otan, organisation. unclassified/unlimited. Retrieved from: <https://publications.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/RTO-MP-SCI-180/MP-SCI-180-03.pdf>
- [7] Valavanis, K. P., Gracanin, D., Matijasevic, M., & Kolluru, R. (1997) Control architectures for autonomous underwater vehicles. *IEEE Control Systems Magazine*. 17, 6, 48–64. DOI: <https://doi.org/10.1109/37.642974>
- [8] Mohd Shahrieel Mohd Aras, Shahrums Shah Abdullah, Azis F.A. (2015) Review on Auto-Depth Control System for an Unmanned Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) using Intelligent Controller. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 7, 47–55. Retrieved from: <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/494>
- [9] Shahab Heshmati-Alamdari, Alexandros Nikou, Dimos V. Dimarogonas. (2021). Robust Trajectory Tracking Control for Underactuated Autonomous Underwater Vehicles in Uncertain Environments. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 18, 3, 1288–1301. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.3001183>

- [10] Blintsov, V. S., Tarchuk, A. A., & Trybulkevych, V. V. (2024). Projektни zadachi stvorenniya zasobiv morskoi robototekhniki dlya ohoroni ta zahistu ob'ektiv morskoi kritichnoi infrastrukturyi. [Project tasks of creating marine robotics for protection and protection of marine critical infrastructure facilities]. *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, 1 (28), 79–91. DOI: <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.079-091>
- [11] The Systemic Approach: Concepts, Method and Tools. Safety Dynamics. (2018). Retrieved from: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96259-7\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96259-7_1)
- [12] Blintsov, V. S., & Klochkov, O. P. (2019) Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. *Scientific journal «EUREKA: Physics and Engineering*. 2 (21), 43–51. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00878>
- [13] Blintsov, V. S., & Tarchuk, A. A. (2025) Zavdannya zovnishnyogo proektuvannya pidvodnogo robota dlya ohoroni ob'ektiv morskoi kritichnoi infrastrukturi na milkovodnih morskikh akvatoriayah. [External design tasks of an underwater robot intended for the protection of marine critical infrastructure in shallow-water maritime areas]. *Collection of Scientific Papers of Admiral Makarov National University of Shipbuilding*, 3 (501), 21–30. DOI: [https://doi.org/10.15589/znz2025.3\(501\).4](https://doi.org/10.15589/znz2025.3(501).4)
- [14] Ryzhkov, S. S., Blintsov, V. S., Yehorov, H. V., Zhukov, Yu. D., Kvasnytskyi, V. F., Koshkin, K. V., Krivtsun, I. V., Nekrasov, V. O., Sevriukov, V. V., & Solonichenko, Yu. V. (2011). Creation of universal transport vessels and ocean engineering means. (Monograph, Ed. S. S. Ryzhkov). Mykolaiv: National University of Shipbuilding Publishing House.
- [15] Jing Yan, Xian Yang, Haiyan Zhao, Xiaoyuan Luo, Xiping Guan. (2021) Autonomous Underwater Vehicles. Localization, Tracking, and Formation. Springer, Singapour. 222 pages. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6096-2>
- [16] Blintsov, V., Tarchuk, A., & Trybulkevich, V. (2025). The task of creating marine robotics for the operation of engineering structures on the Ukrainian shelf. In book: Recent Research on Sedimentology, Stratigraphy, Paleontology, Tectonics, Geochemistry, Volcanology and Petroleum Geology (pp. 215–219). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-87558-8\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-87558-8_42)
- [17] Kiciński, R., Szturomski, B., Żak A., & Studański, R. (2025) Designing an underwater towed vehicle using numerical methods. Advances in Science and Technology. *Research Journal*, 19(10), 359–370. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/207941>
- [18] Blintsov, V. S., Babkin, H. V., Kostenko, D. V., Moroz, V., Korobov, V., & Tarchuk, A. A. (2025) Design and Application of Marine Robotics with a Communication Buoy. *polish maritime research*, 4 (128), 32, 142–149. DOI: <https://doi.org/10.2478/pomr-2025-0057>

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Блінцов В. С., Бабкін Г. В., Тарчук А. А. (2024) Роботизовані технології охорони об'єктів морської критичної інфраструктури. – Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв : Іліон. С. 126–131.
- [2] REMUS (vehicle). URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/REMUS\\_\(vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/REMUS_(vehicle))
- [3] David Foxwell (2010) Sea Otter Mk II and SAS demonstration completed URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/sea-otter-mk-ii-and-sas-demonstration-completed-44570>
- [4] Technical Committee for Marine Robotics. URL: <https://www.ieee-ras.org/marine-robotics>
- [5] Robotic Submarine Running Debian Wins International Competition. URL: <https://web.archive.org/web/20150428085031/http://www.debian-news.net/2009/10/08/robotic-submarine-running-debian-wins-international-competition/>
- [6] otan, organisation. unclassified/unlimited. URL: <https://publications.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/RTO-MP-SCI-180/MP-SCI-180-03.pdf>
- [7] Valavanis, K. P., Gracanin, D., Matijasevic, M., & Kolluru, R. (1997) Control architectures for autonomous underwater vehicles. *IEEE Control Systems Magazine*. 17, 6, 48–64. DOI: <https://doi.org/10.1109/37.642974>
- [8] Mohd Shahrheel Mohd Aras, Shahrum Shah Abdullah, Azis F.A. (2015) Review on Auto-Depth Control System for an Unmanned Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) using Intelligent Controller. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 7, 47–55. URL: <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/494>
- [9] Shahab Heshmati-Alamdari, Alexandros Nikou, Dimos V. Dimarogonas. (2021). Robust Trajectory Tracking Control for Underactuated Autonomous Underwater Vehicles in Uncertain Environments. Published in: IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 18, 3, 1288–1301. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.3001183>
- [10] Блінцов В. С., Тарчук А. А., Трибулькевич В.В. (2024) Проектні задачі створення засобів морської робототехніки для охорони та захисту об'єктів морської критичної інфраструктури. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*, 1 (28), 79–91. DOI: <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.079-091>
- [11] The Systemic Approach: Concepts, Method and Tools. Safety Dynamics. (2018). URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96259-7\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96259-7_1)
- [12] Blintsov, V. S., & Klochkov, O. P. (2019) Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. *Scientific journal “EUREKA: Physics and Engineering*. 2 (21), 43–51. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00878>
- [13] Блінцов В. С., Тарчук А. А. (2025) Завдання зовнішнього проектування підводного робота для охорони об'єктів морської критичної інфраструктури на мілководних морських акваторіях. *Збірник наукових праць НВК*, № 3 (501), С. 21–30. DOI [https://doi.org/10.15589/znz2025.3\(501\).4](https://doi.org/10.15589/znz2025.3(501).4)

- [14] Ryzhkov, S. S., Blintsov, V. S., Yehorov, H. V., Zhukov, Yu. D., Kvasnytskyi, V. F., Koshkin, K. V., Krivtsun, I. V., Nekrasov, V. O., Sevriukov, V. V. & Solonichenko, Yu. V. (2011). Creation of universal transport vessels and ocean engineering means. (Monograph, Ed. S. S. Ryzhkov). Mykolaiv: National University of Shipbuilding Publishing House.
- [15] Jing Yan, Xian Yang, Haiyan Zhao, Xiaoyuan Luo, Xiping Guan. (2021) Autonomous Underwater Vehicles. *Localization, Tracking, and Formation*. Springer; Singapour. 222 pages. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6096-2>
- [16] Blintsov, V., Tarchuk, A., & Trybulkevich, V. (2025). The task of creating marine robotics for the operation of engineering structures on the Ukrainian shelf. In book: Recent Research on Sedimentology, Stratigraphy, Paleontology, Tectonics, Geochemistry, Volcanology and Petroleum Geology. 215–219. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-87558-8\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-87558-8_42)
- [17] Kiciński, R., Szturomski, B., Żak A., & Studański, R. (2025) Designing an underwater towed vehicle using numerical methods. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 19(10), 359–370. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/207941>
- [18] Blintsov V. S., Babkin H. V., Kostenko D. V., Moroz V., Korobov V., Tarchuk A. A. (2025) Design and Application of Marine Robotics with a Communication Buoy. *polish maritime research*, 4 (128). 32. 142–149. DOI: <https://doi.org/10.2478/pomr-2025-0057>

---

© Блінцов В. С., Тарчук А. А.

Дата надходження статті до редакції: 02.11.2025

Дата затвердження статті до друку: 19.11.2025

Опубліковано: 30.12.2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0