

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Наукове видання

№ 2 (505) 2026

Видається 4 рази на рік

Заснований Національним університетом кораблебудування
імені адмірала Макарова у жовтні 1934 р.



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
протокол № 5 від 29 травня 2026 р.

Головний редактор:

Чередніченко Олександр Костянтинівич, доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна.

Члени редакційної колегії:

Білоусов Євген Вікторович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри суднових технічних систем і комплексів, Одеський національний морський університет, Україна.

Жуйков Валерій Якович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри електронних пристроїв та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Маркіна Людмила Миколаївна, доктор технічних наук, професор, начальник центру підготовки фахівців та наукових кадрів, Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», Україна.

Павлов Геннадій Вікторович, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна.

Радченко Микола Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кондиціонування та рефрижерації, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна.

Ткач Михайло Романович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна.

Хмельнюк Михайло Георгійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри завідувач кафедри холодильних установок і кондиціонування, Одеський національний технологічний університет, Україна.

Шевцов Анатолій Павлович, доктор технічних наук, професор, професор навчально-наукового центру Морська інфраструктура, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна.

Ясків Володимир Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехнічних систем, Тернопільський технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

Бохдаль Тадеуш, доктор філософії, професор, професор кафедри енергетики, Політехніка Кошалінська, Польща.

Дзіда Марек, доктор філософії, професор, професор факультету океанічної інженерії та суднобудування, Гданська політехніка, Польща.

Салін Саймон, доктор філософії, доцент, керівник проєкту, Університет Ольборга, Данія.

Скобля Сергій, доктор філософії, старший викладач, старший викладач кафедри стійких палив та зеленої хімії факультету екологічних технологій, Університет хімії та технологій, Чеська Республіка.

Вень Хуабін, доктор філософії, професор, ректор, Морський інститут Цзянсу, КНР.

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1542 від 09.05.2024 року.

Ідентифікатор медіа: R30-04388

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (просп. Героїв України, буд. 9, м. Миколаїв, 54007, university@nuos.edu.ua, тел. 0512-42-42-80).

Журнал включено до категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України на підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 612 від 07.05.2019 р. (додаток 7) зі спеціальностей С1 «Економіка», D3 «Менеджмент», D6 «Секретарська та офісна справа», F3 «Комп'ютерні науки», G3 «Електрична інженерія», G4 «Енерговиробництво (за спеціалізацією)», G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»,

G8 «Матеріалознавство», G9 «Прикладна механіка», G11 «Машинобудування (за спеціалізаціями)»; на підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019 р. (додаток 8) зі спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища».

Мови видання: українська, англійська, польська, німецька, французька, болгарська, румунська.

Статті у виданні перевірені на наявність плагиату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl

ЗМІСТ

СУДНОБУДУВАННЯ

<i>А. Я. Казарєзов, А. М. Войтасик.</i> ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛЕБІДКОЮ АВТОНОМНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА З РАДІОБУЄМ.....	3
<i>Ю. О. Казимиренко, А. С. Сірівчук.</i> ЗАДАЧІ ПРОЄКТУВАННЯ РАДІОБУЮ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ.....	14
<i>П. А. Рязанцев.</i> СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ В ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ КОНТЕЙНЕРОВИЗІВ В УМОВАХ РЕЖИМУ SLOW STEAMING: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	21
<i>В. В. Соценко, О. В. Щедролюєв.</i> АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСАМОХІДНИХ ПОНТОННИХ ЗЕМСНАРЯДІВ.....	33

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

<i>Д. А. Іванченко, А. М. Фоміна, Д. І. Ганжєєв.</i> ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ І СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТ.....	44
<i>О. В. Фомін, В. М. Іщенко, Н. С. Браїковська, С. М. Шелест.</i> ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИХ АМОРТИЗАТОРІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ В КОНСТРУКЦІЯХ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	52

ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Б. Г. Грудка.</i> РЕФРИЖЕРАТОРНІ ЦИКЛИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ СЕПАРАЦІЇ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ.....	60
<i>І. З. Маслов, Д. О. Кулагін, В. Ю. Міщенко, В. Ф. Дєвочкін.</i> ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТУВАННЯ НА ГРАФ-МОДЕЛІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	73
<i>Д. М. Мєлєх.</i> АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕЗ-ГАЗУ В ДВЗ.....	83
<i>В. С. Наливайко, Р. Ю. Авдєїн, Д. С. Вербицький.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЦИКЛОВОЇ ПОДАЧІ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА В УМОВАХ РІЗКОГО ЗБІЛЬШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ.....	93
<i>С. І. Сєрбін, Б. М. Личко, М. С. Бондаренко.</i> ТРИВИМІРНИЙ АНАЛІЗ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГТД, ЩО ПРАЦЮЄ НА ГАЗОПОДІБНОМУ АМІАКУ.....	100
<i>В. В. Слюсаренко.</i> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН РІЗНИХ ТИПІВ.....	111
<i>Д. О. Шалапко, Н. Б. Андрєєва, О. І. Соломенцев.</i> ВПЛИВ ВОДНЕВИХ ДОБАВОК ДО ОСНОВНОГО ПАЛИВА НА ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА В ЗМІННИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	120

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

<i>І. С. Бєднарська, Т. В. Шелешей, Д. В. Риндюк, С. Р. Лішук.</i> АНАЛІЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕЦ.....	129
<i>А. О. Капустянський, О. Г. Юрасова, К. О. Романова.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМЕНЕВО-ВИХРОВОГО НАСОСУ.....	137
<i>Н. О. Притула, О. М. Бежик.</i> ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ ХОЛОДУ В СИСТЕМІ ВЕНТИЛЯЦІЇ ШЛЯХОМ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ.....	147

ЕЛЕКТРОМЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>А. В. Іванов, М. В. Честних.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОДИНАМІЧНОГО ПОЛЯ ПРИ КОНДУКЦІЙНІЙ ЕЛЕКТРОСТРУМОВІЙ ОБРОБЦІ РОЗПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАЛЕЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДІВ.....	155
<i>О. В. Ключев.</i> СПОСТЕРІГАЧ З КОВЗНИМ РЕЖИМОМ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	166
<i>С. М. Новогрецький, Ю. М. Баршнін.</i> ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З СИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНОГО ЗБУДЖЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK.....	175

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Г. Ю. Гайдай, А. Ю. Грешинов.</i> АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО НАВЧАННЯ ОСНОВАМ ІНЖЕНЕРІЇ СУДЕН.....	186
<i>Д. О. Ковалюк, О. О. Ковалюк, В. В. Маліцький.</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕР'ЄРІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	193
<i>В. І. Передерій, Д. О. Жук, Ю. О. Лебеденко.</i> СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ, ПЕРЕШКОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МІЖНАРОДНОГО МОРСЬКОГО ПЕРЕВЕЗЕННЯ.....	200
<i>С. М. Турпак, О. О. Острогляд, Р. В. Сущенко, Л. О. Васильєва, Л. А. Веремєєнко.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У НЕСТАБІЛЬНИХ УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	210

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>А. Ю. Гайда, В. К. Пармас, Є. Ю. Беркунський, Н. Р. Книрик.</i> ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ПРИ ПІДГОТОВЦІ БАКАЛАВРІВ З НАПРЯМУ «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ».....	218
<i>О. Б. Давидов, А. С. Коломієць.</i> РОЗРОБКА ПРОЄКТУ СТВОРЕННЯ КРОССПЛАТФОРМЕННОЇ ВІДЕОГРИ У ЖАНРІ СТРАТЕГІЇ.....	226

ЕКОНОМІКА ТА МЕНЕДЖМЕНТ

<i>В. В. Задорожній,</i> ДЕСТАБІЛІЗУЮЧІ ЧИННИКИ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИМОГ ДО ОРГАНІЗАЦІЙНОГО ДИЗАЙНУ ПІДПРИЄМСТВА: ГЛОБАЛЬНІ ТРЕНДИ Й УКРАЇНСЬКА СПЕЦИФІКА.....	233
<i>В. М. Пітерська.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ РИЗИКО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПОРТІВ.....	241

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

<i>Л. І. Демчук, І. Г. Пацева, О. М. Алпатова, Н. М. Русецькаю.</i> ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНИХ ТЕРИТОРІЙ АВТОМОБІЛЬНИМИ ВИХЛОПАМИ (НА ПРИКЛАДІ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ).....	250
<i>І. П. Легецька.</i> РЕНОВАЦІЯ ПОРТОВОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЯК СПОСІБ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ.....	262
<i>Н. І. Магась.</i> ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНИЙ РЕЖИМ БАСЕЙНУ РІЧКИ СИНЮХА, УКРАЇНА.....	269
<i>Г. Г. Трохименко, І. В. Ремешевська, Н. В. Гурець, О. Г. Грушина.</i> МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ: СТАН ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ, ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ТА НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	282

УДК 629.55; 681.5

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2026.2\(505\).2](https://doi.org/10.15589/znп2026.2(505).2)

DESIGN OBJECTIVES FOR RADAR SYSTEMS FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES

ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ РАДІОБУЮ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

Yuliia O. Kazymyrenko
yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7120-8226

Andriy S. Sirivchuk
sirivchuka@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2927-2600

Ю. О. Казимиренко,
докт. техн. наук

А. С. Сірівчук,
канд. техн. наук

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The paper considers the current problem of increasing the efficiency of the functioning of autonomous uninhabited underwater vehicles by improving approaches to the use of radio buoys as elements of underwater communication and navigation systems. The purpose of the study is to develop a generalized classification of radio buoy designs used as part of underwater communication systems with autonomous underwater vehicles, to ensure their systematization, comparative analysis and increase the efficiency of engineering design. Methodologically, the study is based on the use of system analysis, which allows considering a radio buoy as a complex multi-component technical system, including interconnected mechanical, energy, navigation and communication subsystems. An analysis of modern scientific publications and technical solutions was carried out taking into account the design, functional and operational characteristics, on the basis of which a classification was formed according to the characteristics of mobility, method of stabilization and level of structural complexity.

As a result of the study, the main types of radio buoys were generalized and systematized, in particular, cylindrical floats, towed without control surfaces, towed with elevators, and self-propelled. For each type, the design features, principles of operation, as well as their advantages and disadvantages in the context of use as part of systems with autonomous underwater vehicles were determined. It was established that the design of the radio buoy directly affects the positioning accuracy, communication stability, energy consumption, and overall efficiency of the system. The scientific novelty of the work lies in the proposed systemic approach to the classification of radio buoy designs, which, unlike existing ones, takes into account not only their functional purpose, but also the architecture of the hull, methods of stabilization, the level of autonomy, and features of integration with the carrier. This allows us to consider the radio buoy as an integrated mechatronic system as part of underwater navigation and communication complexes. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of their use in the design and optimization of «autonomous uninhabited underwater vehicle – radio buoy» systems, in the justified choice of the type of buoy depending on the operating conditions and mission requirements, as well as in creating the prerequisites for the development of modular and standardized technical solutions in the field of underwater communication and navigation.

Key words: autonomous underwater vehicle; radio beacon; underwater communication; navigation; classification of structures; hydrodynamic stabilization.

Анотація. У роботі розглянуто актуальну проблему підвищення ефективності функціонування автономних ненаселених підводних апаратів шляхом удосконалення підходів до використання радіобуїв як елементів систем підводного зв'язку та навігації. Метою дослідження є розробка узагальненої класифікації конструкцій радіобуїв, що застосовуються у складі систем підводного зв'язку з автономними підводними апаратами, для забезпечення їх систематизації, порівняльного аналізу та підвищення ефективності інженерного проектування. Методично дослідження базується на використанні системного аналізу, який дозволяє розглядати радіобуй як складну багатокомпонентну технічну систему, що включає взаємопов'язані механічні, енергетичні, навігаційні та комунікаційні підсистеми. Проведено аналіз сучасних наукових публікацій і технічних рішень із урахуванням конструктивних, функціональних та експлуатаційних характеристик, на основі чого сформовано класифікацію за ознаками мобільності, способу стабілізації та рівня конструктивної складності.

У результаті дослідження узагальнено та систематизовано основні типи радіобуїв, зокрема циліндричні поплавкові, буксировані без керуючих поверхонь, буксировані з рулем висоти та саморушійні. Для кожного з типів визначено конструктивні особливості, принципи функціонування, а також їх переваги та недоліки в контексті використання у складі систем з автономними підводними апаратами. Встановлено, що конструкція радіобуя безпосередньо впливає на точність позиціонування, стабільність зв'язку, енергоспоживання та загальну ефективність функціонування системи. Наукова новизна роботи полягає у запропонованому системному підході до класифікації конструкцій радіобуїв, який, на відміну від існуючих, враховує не лише їх функціональне призначення, але й архітектуру корпусу, способи стабілізації, рівень автономності та особливості інтеграції з носієм. Це дозволяє розглядати радіобуй як інтегровану мехатронну систему у складі підводних навігаційно-комунікаційних комплексів. Практична значимість отриманих результатів полягає у можливості їх використання при проектуванні та оптимізації систем «автономний ненаселений підводний апарат – радіобуй», обґрунтованому виборі типу буя залежно від умов експлуатації та вимог місії, а також у створенні передумов для розробки модульних і стандартизованих технічних рішень у сфері підводного зв'язку та навігації.

Ключові слова: автономний ненаселений підводний апарат; радіобуй; підводний зв'язок; навігація; класифікація конструкцій; гідродинамічна стабілізація.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Постановка задачі. Автономні ненаселені підводні апарати (АНПА) наразі виконують велику кількість завдань по всьому світу. Одним з головних недоліків використання таких підводних апаратів є складність визначення географічних координат (використовуються складні інерційні системи визначення положення, відсутність зв'язку з системою GPS) та передача інформації в режимі реального часу. Для виконання даних функцій АНПА повинен підніматися на поверхню, що займає більше часу та енергетичних ресурсів апарата.

Для зменшення такого даного недоліку доцільно використання радіобуя (РБ), що буде постійно буксироватись [1] або періодично випускається для корекції координат та передачі накопиченої інформації.

Наявність радіобуя створює додаткові збурення та енергетичні витрати АНПА, тому виникає необхідність в оптимальному виборі конструкції РБ та кабель-буксиру [1,2]. В системі АНПА РБ конструкція РБ впливає не тільки на зовнішні збурення під час використання, а й на конструкцію АНПА як його носія.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ПУБЛІКАЦІЙ.

Аналіз сучасних наукових публікацій, присвячених радіобуї у системах підводний зв'язок [3], свідчить про домінування досліджень, орієнтованих на сигнальні та інформаційні аспекти [4]. Зокрема, у основна увага приділяється методам передачі даних, зменшенню впливу шумів [5], і підвищенню ефективності каналів зв'язку, тоді як конструкція буя розглядається як заданий елемент і не піддається системному аналізу.

Окрему групу становлять дослідження компонентного рівня, де аналізуються гідроакустичні перетворювачі, антени та джерела живлення [5–9]. Такі роботи мають вузькоспеціалізований характер і не формують цілісного уявлення про конструкцію радіобуя як інтегрованої технічної системи.

Наявні описи конструкції обмежуються загальними схемами (поверхневий модуль, сенсорний

елемент, канал передачі даних) і не супроводжуються систематизацією або виділенням типів конструктивного виконання. У результаті існуючі підходи мають переважно функціональний характер і не враховують такі важливі ознаки, як архітектура корпусу, спосіб розгортання, конфігурація модулів та тип енергозабезпечення.

Отже, аналіз публікацій показує відсутність узагальненої класифікації конструкцій радіобуїв. Це ускладнює їх порівняння, проектування та адаптацію до задач взаємодії з автономними підводними апаратами, що обґрунтовує необхідність розробки системної класифікаційної моделі.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на застосування радіобуїв у системах зв'язку АНПА, на сьогодні відсутня уніфікована та систематизована класифікація їх конструкцій.

Існуючі підходи до опису радіобуїв, зосереджуються переважно на функціональному призначенні (пасивні, активні, багатоканальні тощо) або експлуатаційних характеристиках, тоді як конструктивні особливості (архітектура корпусу, типи сенсорних модулів, конфігурація антен, способи розгортання та енергозабезпечення) залишаються фрагментарно описаними та неструктурованими.

Це призводить до таких проблем:

- відсутність єдиного підходу до проектування та порівняння конструкцій;
- ускладнення оптимізації радіобуїв під специфічні задачі підводний зв'язок;
- обмеження можливостей стандартизації та модульного проектування;
- труднощі інтеграції з сучасними платформами безпілотні підводні системи.

Таким чином, актуальною науково-технічною задачею є розробка класифікації конструкцій радіобуїв, яка б враховувала їх геометричну, функціональну та системну архітектуру, а також забезпечувала основу для подальшої уніфікації та інженерної оптимізації.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є розробка узагальненої класифікації конструкцій радіобуї для забезпечення їх систематизації, порівняльного аналізу та підвищення ефективності проєктування у складі систем підводний зв'язок з використанням АНПА.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метод системного аналізу використовується для розгляду радіобуя як складної технічної системи з взаємопов'язаними елементами.

Об'єктом дослідження є радіобуї, що застосовуються у складі систем підводний зв'язок для взаємодії з АНПА. Предметом дослідження виступають їх конструктивні характеристики, зокрема архітектура корпусу, конфігурація функціональних модулів, способи розгортання, типи енергозабезпечення та організації каналів передачі даних.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Конструкції радіобуїв, що використовуються у складі систем АНПА, являють собою різноманітні інженерні рішення, спрямовані на забезпечення стійкого зв'язку між підводним середовищем і поверхневими або супутниковими навігаційними системами [10]. Незважаючи на відсутність уніфікованої класифікації таких пристроїв, їх можна систематизувати за принципами мобільності, способу стабілізації та рівня конструктивної складності. У загальному випадку радіобуї виконують роль проміжної ланки між підводним апаратом і глобальними навігаційними системами, забезпечуючи передачу координат, синхронізацію часу та обмін телеметричною інформацією. Найпоширенішими типами є циліндричні поплавкові буї, буксировані буї без керуючих поверхонь, буксировані буї з рулем висоти та саморушійні автономні буї.

Конструкція циліндричного поплавкового радіобуя [4], що використовується як елемент підводної навігації типу «підводного GPS» у складі АНПА, розглядається як інтегрована багаторівнева система, призначена для визначення координат підводного апарата через зв'язок із поверхнею.

Циліндричний поплавковий радіобуї є одним із найбільш традиційних і концептуально простих рішень. Такий радіобуї складається з герметичного циліндричного корпусу, який виконує функції несучої конструкції та забезпечує захист внутрішніх компонентів від впливу водного середовища. У верхній частині корпусу розташований поплавковий модуль, що забезпечує позитивну плавучість і стабілізацію буя у вертикальному положенні. У цьому ж модулі інтегровано антенну систему для радіозв'язку з супутниковими або наземними системами позиціонування, зокрема GPS, що дозволяє визначати власні координати буя на поверхні.

Основною перевагою такого типу буя є висока точність позиціонування, що досягається завдяки стабільному положенню антени на поверхні. Крім того, відсутність складних рухомих гідродинамічних елементів забезпечує конструктивну надійність і довговічність. Такі буї можуть використовуватися після зупинки АНПА для корекції їх положення та передачі накопленої інформації. Водночас їхня мобільність є суттєво обмеженою: вони потребують попереднього розгортання і не здатні самостійно змінювати положення. Це ускладнює їх застосування в динамічних місцях. Крім того, їх робота може погіршуватися під впливом хвиль, течій та погодних умов.

Конструкція буксированого радіобуя без рухомих крил у складі систем з АНПА являє собою спрощену гідродинамічно стабілізовану платформу, призначену для забезпечення стійкого зв'язку та навігаційної підтримки без використання активних керуючих поверхонь.

Основою конструкції є подовжений герметичний корпус обтічної (зазвичай циліндрично-краплеподібної) форми, виготовлений із легких корозійностійких матеріалів. Така форма забезпечує мінімальний гідродинамічний опір під час буксирування і сприяє стабілізації у потоці води, а крила забезпечують утримання такого буя в поверхневому шарі води при його буксируванні. Всередині корпусу розміщуються функціональні модулі: блок обробки сигналів, радіопередавач, акустичний модем, а також автономне джерело живлення.

Буксирування здійснюється за допомогою кабель-троса, який одночасно виконує механічну та інформаційно-енергетичну функцію. Трос кріпиться у носовій частині буя і забезпечує його орієнтацію вздовж вектора руху АНПА. Відсутність рухомих крил компенсується пасивною гідродинамічною стабілізацією: центр мас зміщується нижче центру плавучості, що створює відновлювальний момент і утримує буй у стабільному положенні.

У верхній частині конструкції передбачено поплавковий модуль або виступаючу надводну секцію, в якій розміщується антена для радіозв'язку (зокрема з використанням GPS або інших систем). Це забезпечує передачу даних між підводним апаратом і зовнішніми системами. При частково зануреній схемі можливе використання гнучкого кабелю, що дозволяє антені перебувати на поверхні, тоді як основний корпус буя залишається під водою.

Відсутність рухомих крил спрощує конструкцію, підвищує надійність і знижує енергоспоживання, однак водночас обмежує можливості активного керування положенням буя, що компенсується правильним підбором форми корпусу та параметрів буксирування.

Перевагою такого підходу є простота конструкції, що безпосередньо впливає на надійність і зниження вартості. Відсутність рухомих частин також зменшує

енергоспоживання, що є критичним для тривалих автономних місій. Однак така схема має і суттєві обмеження. Передусім, буй повністю залежить від руху АНПА, що означає відсутність можливості незалежного позиціонування. Крім того, пасивна стабілізація не завжди забезпечує достатню точність утримання положення у складних гідродинамічних умовах, таких як змінні течії. Це може негативно впливати на якість зв'язку та точність передачі координат.

Подальшим розвитком цієї концепції є буксирований радіобуй із рулем висоти. Конструкція буксированого радіобуя з рулем висоти у складі системи АНПА РБ є розвитком пасивно стабілізованих буксированих платформ і призначена для забезпечення керованої просторової стабілізації та регулювання глибини руху під час буксирування.

Основою конструкції є подовжений герметичний корпус обтічної форми, зазвичай циліндричний або циліндрично-конічний, який забезпечує мінімальний гідродинамічний опір. Усередині корпусу розміщуються функціональні модулі: радіопередавач, акустичний модем гідроакустичний зв'язок, обчислювальний блок, а також автономне джерело живлення. Верхня частина корпусу містить поплавковий сегмент з антеною системою для роботи з GPS та іншими каналами супутникового зв'язку.

Ключовою відмінністю цієї конструкції є наявність руля висоти, розташованого у кормовій або середній частині підводної секції. Руль висоти виконується у вигляді керованої гідродинамічної площини (горизонтального стабілізатора), яка створює керуючий момент при взаємодії з потоком води. Його основна функція полягає у регулюванні глибини занурення та стабілізації вертикального положення буя під час буксирування.

Під час руху АНПА буксирує буй через кабель-трос, який забезпечує передачу механічного зусилля та, у деяких конфігураціях, інформаційного сигналу. Завдяки дії руля висоти створюється контрольований кут атаки корпусу, що дозволяє змінювати підйомну або притискну гідродинамічну силу. Це забезпечує стабільне утримання буя на заданій глибині без необхідності активних рушійних систем.

Система стабілізації доповнюється зміщенням центру мас відносно центру плавучості, що створює пасивний відновлювальний момент. Таким чином, руль висоти працює у поєднанні з природною гідростатичною стабільністю конструкції, забезпечуючи точніше керування траєкторією руху.

Перевагою такого рішення є значне покращення стабільності та керованості, що особливо важливо при роботі в умовах змінних течій або при високих швидкостях руху АНПА. Це також позитивно впливає на якість акустичного зв'язку та надійність передачі даних. Водночас поява керуючих елементів ускладнює конструкцію, підвищує вартість і створює

потенційні точки відмови. Крім того, навіть із рулем висоти буй залишається залежним від носія і не має повної автономності.

Таким чином, конструкція буксированого радіобуя з рулем висоти поєднує простоту буксированих систем із елементами керованої гідродинаміки, що дозволяє підвищити стабільність положення, розширити діапазон робочих режимів і покращити якість підводного зв'язку.

Саморушійний радіобуй є автономною гідродинамічною платформою, що поєднує функції надводного або приповерхневого вузла зв'язку, навігаційного орієнтира та мобільного елемента розгортання в морському середовищі. На відміну від буксированих систем, така конструкція не залежить від носія для переміщення, а має власну рушійну підсистему, що дозволяє їй самостійно змінювати позицію у просторі, підтримувати заданий район роботи або здійснювати маршрутне патрулювання.

Конструктивно саморушійний радіобуй складається з герметичного корпусу, рушійного модуля, системи енергоживлення, навігаційно-обчислювального блоку та багатоканальної комунікаційної підсистеми. Корпус зазвичай виконується у формі гідродинамічно оптимізованого циліндра або торпедоподібної структури з плавучим верхнім сегментом, що забезпечує стабільне утримання антенного комплексу над поверхнею води або в приповерхневому шарі.

Рушійна підсистема реалізується у вигляді електричних підводних двигунів розміщених у нижній частині корпусу. Вона забезпечує як горизонтальне переміщення, так і обмежену вертикальну корекцію положення, що дозволяє радіобую адаптуватися до хвилових умов, течій або змін операційної задачі. У більш складних конфігураціях можуть застосовуватися кілька незалежних рушіїв, які забезпечують маневреність за принципом багатовекторної тяги.

Енергетична підсистема базується на високощільних акумуляторах із можливістю часткової підзарядки через сонячні панелі, розміщені на верхній частині корпусу. Це дозволяє підтримувати тривалу автономність у режимі тривалих місій. Для оптимізації енергоспоживання використовуються адаптивні алгоритми керування режимами роботи рушіїв і комунікаційних модулів.

Принцип роботи саморушійного радіобуя полягає у здатності автономно йти за АНПА та підтримувати позицію при його зупинці одночасно забезпечуючи функції зв'язку та навігаційної підтримки інших систем. У поєднанні з АНПА виконує роль динамічного вузла ретрансляції або плаваючої опорної точки, що змінює своє положення відповідно до місії підводного апарата або умов середовища.

У контексті системної класифікації, яка є актуальною через відсутність уніфікованого підходу до опису радіобуїв, саморушійний радіобуй належить до

автономних мобільних морських платформ із активною гідродинамічною архітектурою. За функціональною ознакою він є одночасно навігаційним вузлом, комунікаційним ретранслятором і елементом просторового моніторингу, а за конструктивною – інтегрованою мехатронною системою з розподіленою енергетичною та сенсорною структурою.

Головною перевагою саморушійного буя є його мобільність і незалежність від носія. Він може динамічно змінювати положення, адаптуючись до умов місії, що значно розширює функціональні можливості системи. Такі буї здатні формувати гнучкі мережі зв'язку і навігації, що особливо важливо для складних і масштабних підводних операцій. Проте ці переваги супроводжуються значними недоліками. Передусім, це висока складність конструкції, яка потребує розвинених систем керування та енергозабезпечення. Високе енергоспоживання обмежує тривалість автономної роботи, а вартість таких систем значно перевищує інші типи буїв.

Таким чином, саморушійний радіобуй представляє собою найбільш гнучкий тип радіобуїв, який поєднує мобільність, автономність і багатоканальну взаємодію з підводними та надводними системами, що робить його ключовим елементом сучасних адаптивних морських мереж зв'язку та навігації.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений системний аналіз конструкцій радіобуїв, що застосовуються у складі систем автономних ненаселених підводних апаратів, дозволив узагальнити існуючі технічні рішення та виділити ключові класи конструкцій за ознаками мобільності, способу стабілізації та рівня конструктивної складності. На відміну від більшості наукових робіт, орієнтованих на сигнальні аспекти підводного зв'язку, у даному дослідженні радіобуй розглянуто як інтегровану технічну систему, що включає механічну, енергетичну, навігаційну та комунікаційну підсистеми.

Отримані результати підтверджують, що конструкція радіобуя безпосередньо впливає не лише на ефективність передачі даних і точність позиціонування, але й на експлуатаційні характеристики самого АНПА, зокрема енергоспоживання, гідродинамічний опір і стабільність руху. Таким чином, вибір типу буя є багатокритеріальною задачею, що потребує врахування умов місії, характеристик середовища та обмежень підводного апарата.

Аналіз циліндричних поплавкових радіобуїв показав, що вони забезпечують найвищу точність визначення координат завдяки стабільному положенню антени на поверхні та безпосередньому використанню супутникових навігаційних систем. Водночас їх застосування є доцільним переважно у стаціонарних або квазістаціонарних сценаріях, оскільки відсутність мобільності обмежує їх

ефективність у динамічних місіях. Крім того, залежність від погодних умов і необхідність попереднього розгортання знижують оперативність їх використання.

Буксировані радіобуї без керуючих поверхонь демонструють інший підхід, орієнтований на мінімізацію конструктивної складності та енергоспоживання. Вони ефективно інтегруються з АНПА та забезпечують безперервний зв'язок під час руху. Однак їх пасивна стабілізація не завжди гарантує необхідну точність положення, особливо у складних гідродинамічних умовах. Це обмежує якість передачі координат і може призводити до додаткових похибок у навігації.

Введення керуючих елементів, зокрема руля висоти, дозволяє суттєво підвищити стабільність буксированого буя. Отримані результати свідчать, що такі конструкції забезпечують кращий контроль глибини та положення, що позитивно впливає на якість акустичного каналу зв'язку. Водночас ускладнення конструкції призводить до зростання вартості, зниження надійності через наявність рухомих елементів і підвищення вимог до технічного обслуговування. Таким чином, даний тип буїв є компромісним рішенням між простотою та функціональністю.

Саморушійні радіобуї представляють якісно новий рівень розвитку, оскільки забезпечують повну автономність і можливість адаптивного позиціонування. Результати аналізу показують, що такі системи є найбільш гнучкими та здатні виконувати функції мобільних вузлів зв'язку та навігації у розподілених підводних мережах. Вони дозволяють мінімізувати залежність від траєкторії руху АНПА та оптимізувати геометрію розміщення елементів системи. Проте ці переваги досягаються за рахунок значного ускладнення конструкції, високого енергоспоживання та вартості, що обмежує їх широке застосування.

У цілому результати дослідження підтверджують відсутність універсального конструктивного рішення для радіобуїв. Кожен із розглянутих типів має свою область ефективного застосування, що визначається співвідношенням між мобільністю, точністю позиціонування, енергоспоживанням і складністю реалізації. Це обґрунтовує доцільність подальшого розвитку класифікаційного підходу, який дозволить формалізувати вибір конструкції на етапі проектування.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У результаті проведеного дослідження вирішено актуальну науково-технічну задачу систематизації конструкцій радіобуїв, що застосовуються у складі систем підводного зв'язку з автономними ненаселеними підводними апаратами. Запропоновано підхід до їх класифікації за ознаками мобільності, способу стабілізації та конструктивної складності, що дозволяє здійснювати порівняльний аналіз та обґрунтований вибір технічних рішень.

Отримані результати дозволяють сформулювати такі практичні рекомендації:

Для задач високоточного позиціонування з періодичною передачею даних доцільно використовувати поплавкові радіобуї, особливо у складі мережевих конфігурацій.

Для тривалих місій із безперервним рухом АНПА оптимальним вибором є буксировані буї без рухомих елементів, що забезпечують мінімальне енергоспоживання та високу надійність.

У складних гідродинамічних умовах або при підвищених вимогах до стабільності зв'язку доцільно застосовувати буксировані буї з рулем висоти.

Для адаптивних місій, що потребують динамічного позиціонування та розгортання мереж зв'язку, перспективним є використання саморушійних радіобуїв.

При проєктуванні систем «АНПА – радіобуй» необхідно враховувати взаємний вплив конструкцій, зокрема вплив буя та кабель-буксиру на гідродинаміку та енергетику підводного апарата.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку формалізованих методів оптимізації конструкції радіобуїв, створення модульних архітектур та інтеграцію інтелектуальних систем керування, що дозволить підвищити ефективність їх застосування у складних умовах підводного середовища.

REFERENCES

- [1] Blintsov, V. S., & Tarchuk, A. A. (2025). Zavdannia zovnishnoho proektuvannya pidvodnoho robota dlia okhorony ob'ektiv morskoi krytychnoi infrastruktury na milkovodnykh morskyykh akvatoriiakh [The task of external design of an underwater robot for the protection of marine critical infrastructure facilities in shallow sea areas]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, (3), 21–30. [https://doi.org/10.15589/znp2025.3\(501\)](https://doi.org/10.15589/znp2025.3(501))
- [2] Blintsov, V. S., Sirivchuk, A. S., Nadochyi, A. V., & Nadochii, V. A. (2022). *Avtomatyzatsiia keruvannya avtonomnym nenaselenym pidvodnym aparatom z radiobuiem* [Automation of control of an autonomous unmanned underwater vehicle with a radio beacon] (Monograph). Ilion.
- [3] Grosch, A., Enneking, C., Greda, L., et al. (2020). Theoretical concept for a mobile underwater radio-navigation system using pseudolite buoys. *Remote Sensing*, 12(21), Article 3636. <https://doi.org/10.3390/rs12213636>
- [4] Li, G., Feng, J., Bai, J., & Li, Y. (2025). Design of cross-domain relay buoy communication system based on multi-source communication links. *Journal of Unmanned Undersea Systems*, 33(6), 1044–1056. <https://doi.org/10.11993/j.issn.2096-3920.2025-0069>
- [5] Sun, Y., Wu, S., Chen, Y., Tu, Z., Yi, A., & Yang, C. (2024). Disposable portable buoy for data transmission between seafloor equipment and onshore laboratories. *Ocean Engineering*, 301, Article 117565. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117565>
- [6] Liu, J., Jiang, Z., Du, L., et al. (2025). Hydrodynamic and vibroacoustic simulation analysis of the main float in an acoustic submerged buoy system. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(7), Article 1254. <https://doi.org/10.3390/jmse13071254>
- [7] Kodaira, T., Katsuno, T., Nose, T., Itoh, M., Rabault, J., Hoppmann, M., Kimizuka, M., & Waseda, T. (2023). An affordable and customizable wave buoy for the study of wave-ice interactions: Design concept and results from field deployments. *Coastal Engineering Journal*, 66(1–15). <https://doi.org/10.1080/21664250.2023.2249243>
- [8] Fanelli, F., Monni, N., Palma, N., & Ridolfi, A. (2019). Development of an ultra short baseline-aided buoy for underwater targets localization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. <https://doi.org/10.1177/1475090219825768>
- [9] Wu, J. A., & Chwang, T. (2000). A hydrodynamic model of a two-part underwater towed system. *Ocean Engineering*, 27(5), 455–472. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(99\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(99)00006-2)
- [10] Blintsov, O., Sokolov, V., & Kucenko, P. (2019). Formulation of design tasks of towed underwater vehicles creation for shallow water and automation of their motion control. *EUREKA: Physics and Engineering*, (2), 30–42. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00854>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Блінцов, В. С., & Тарчук, А. А. (2025). Завдання зовнішнього проєктування підводного робота для охорони об'єктів морської критичної інфраструктури на мілководних морських акваторіях. *Збірник наукових праць НУК*, (3), 21–30. [https://doi.org/10.15589/znp2025.3\(501\)](https://doi.org/10.15589/znp2025.3(501))
- [2] Блінцов, В. С., Сірівчук, А. С., Надточій, А. В., & Надточій, В. А. (2022). *Автоматизація керування автономним нenasеленим підводним апаратом з радіобуєм* (Монографія). Іліон.
- [3] Grosch, A., Enneking, C., Greda, L., et al. (2020). Theoretical concept for a mobile underwater radio-navigation system using pseudolite buoys. *Remote Sensing*, 12(21), Article 3636. <https://doi.org/10.3390/rs12213636>
- [4] Li, G., Feng, J., Bai, J., & Li, Y. (2025). Design of cross-domain relay buoy communication system based on multi-source communication links. *Journal of Unmanned Undersea Systems*, 33(6), 1044–1056. <https://doi.org/10.11993/j.issn.2096-3920.2025-0069>
- [5] Sun, Y., Wu, S., Chen, Y., Tu, Z., Yi, A., & Yang, C. (2024). Disposable portable buoy for data transmission between seafloor equipment and onshore laboratories. *Ocean Engineering*, 301, Article 117565. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117565>

- [6] Liu, J., Jiang, Z., Du, L., et al. (2025). Hydrodynamic and vibroacoustic simulation analysis of the main float in an acoustic submerged buoy system. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(7), Article 1254. <https://doi.org/10.3390/jmse13071254>
- [7] Kodaira, T., Katsuno, T., Nose, T., Itoh, M., Rabault, J., Hoppmann, M., Kimizuka, M., & Waseda, T. (2023). An affordable and customizable wave buoy for the study of wave-ice interactions: Design concept and results from field deployments. *Coastal Engineering Journal*, 66(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/21664250.2023.2249243>
- [8] Fanelli, F., Monni, N., Palma, N., & Ridolfi, A. (2019). Development of an ultra short baseline-aided buoy for underwater targets localization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. <https://doi.org/10.1177/1475090219825768>
- [9] Wu, J. A., & Chwang, T. (2000). A hydrodynamic model of a two-part underwater towed system. *Ocean Engineering*, 27(5), 455–472. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(99\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(99)00006-2)
- [10] Blintsov, O., Sokolov, V., & Kucenko, P. (2019). Formulation of design tasks of towed underwater vehicles creation for shallow water and automation of their motion control. *EUREKA: Physics and Engineering*, (2), 30–42. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00854>

© Казимиренко Ю. О., Сірівчук А. С.

Дата першого надходження статті до видання: 20.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)