

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 629.584

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.3.2/06>

Казарєзов А.Я.

<https://orcid.org/0000-0001-8586-5596>

Миколаївський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ АВТОНОМНОЇ ПІДВОДНОЇ ТЕХНІКИ З БУКСИРУВАНИМ РАДІОБУЄМ

Виконано постановку завдання щодо підходу до серійного створення автономного підводного апарата з радіобуєм на основі поєднання цивільного та оборонного призначення, яке передбачає захист акваторій.

В теорії автономний ненаселений підводний апарат з радіобуєм є можливим рішенням, яке поєднає переваги та усуває недоліки, які властиві прив'язній підводній техніці у вигляді отримання інформації в режимі реального часу та обмеження площі робочої зони, а у випадку автономної підводної техніки – незалежності від судна забезпечення та неможливості миттєвого отримання інформації про стан підводної обстановки.

Розглянуто алгоритм створення такої підводної техніки на основі енергетичного критерію, який має базовий вплив на інші складові системного підходу. Запропоновано розглядати енергетичний критерій у найбільш енергонавантаженому режимі роботи самохідного прив'язного підводного апарата, коли потужність, яка споживається його рушійно-кермовим комплексом, максимальна.

Таким чином, отримана сума потужностей, як апарата, так і системи в цілому буде максимальна, коли будуть враховані максимальні потужності складових і їх елементів з врахуванням одночасності роботи. Порівняння максимальної потужності з потужністю, що задана за технічним завданням, буде енергетичним критерієм, який буде визначати можливість створення автономного підводного апарата з радіобуєм за ним.

Продемонстровано взаємозв'язок експлуатаційних параметрів та конструктивних характеристик, що дозволяє визначити доцільність побудови автономного ненаселеного підводного апарата з радіобуєм на ранній стадії з використанням системного підходу, виходячи з конкретної підводної технології, для якої він розроблений.

Ключові слова: автономний ненаселений підводний апарат, енергетичний критерій, кабель-буксир, технічне завдання, рушійно-кермовий комплекс, безпілотна система.

Постановка проблеми. Розвиток безпілотних систем набуває широкого вжитку як у військових так і у цивільних задачах. Це пов'язано з все більшим розростанням войовничих настроїв у світі. Технічний прогрес у цьому напрямку, який поступово «перетікає» з військового застосування у цивільне породжує виникнення міжгалузевих рішень, що є вже не військовими, але і повністю цивільними їх назвати не можливо [9].

У зв'язку з цим захист акваторій портів від підводних та надводних загроз вимагає при використанні підводної техніки часткову відмову від залучення самохідних прив'язних підводних систем,

але при цьому збереження можливості керування апаратом в реальному часі за участі оператора. Це передбачає набуття підводним апаратом автономності з наявністю гнучкого зв'язку, але без жорсткої прив'язки до бази у вигляді судна забезпечення [10].

Таким рішенням може бути автономний ненаселений підводний апарат з радіобуєм, який може мати низку автоматичних, автоматизованих чи ручних режимів керування. Однією з задач створення серійної кількості таких апаратів певної модифікації є підхід до їхнього системного проєктування, яке визначатиме можливість практич-

© Казарєзов А.Я., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0



ної реалізації такого виду техніки вже на ранніх етапах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Керування засобами підводної техніки зазвичай відбувається при застосуванні спеціалізованих джойстиків, які надають змогу оперативному реагуванню на параметри підводного середовища та надводної обстановки. Ефективність та зручність такого підходу вже є стандартним рішенням при керуванні самохідним прив'язним підводним апаратом (СППА) та може бути адаптовано для автономного ненаселеного підводного апарата (АНПА) з радіобуєм (РБ) з елементами автоматизації [3]. Взаємодія АНПА з РБ відбувається завдяки кабель-буксиру (КБ), тому загалом таку систему з трьох складових можливо сприймати як підводний комплекс, в якому КБ є гнучким зв'язком. Довжина КБ та форма, яку він приймає в потоці води при визначеному його діаметрі суттєво впливає на характеристики керування таким комплексом. Особливості зазначеного керування висвітлені в роботах Блінцова О. В. [4, 5, 6]. Для задач моніторингу акваторій доречним буде використання певної оптимальної кількості АНПА з РБ, що передбачає їхнє поєднання в систему, яка дозволить здійснювати керування ними за визначеним алгоритмом. Опис особливостей зазначеного групового керування надано в дисертаційній роботі Алоби Л. Т. [7]. При русі АНПА з РБ акваторією він обов'язково має оминати перешкоди, які зустрічаються на траєкторії, тому при заздалегідь відомих геометричних характеристиках цих перешкод, апарат має їх оминати в автоматичному чи принаймні в автоматизованому режимі. Засади принципів руху АНПА з РБ при зустрічі з перешкодою висвітлені у монографії колективу авторів [8].

Таким чином, теорії застосування автономної підводної техніки з буксирним радіобуєм приділено значну увагу в технічних літературних джерелах, які пояснюють особливості керування таким типом об'єкта при русі акваторією, але питанням можливості створення АНПА з РБ на ранніх стадіях проектування з огляду на тривалість місії, яка визначається ємністю акумуляторної батареї та характеристиками КБ в потоці води, не надавалося значного опису в межах системного підходу.

Постановка завдання. При проектуванні підводних об'єктів з гнучким зв'язком у вигляді кабель-троса чи кабель-буксира в рамках системного підходу складною задачею є саме відслідковування взаємного впливу матеріального, енергетичного, інформаційного та функціонального факторів. Завданням є розгляд можливості створення автономного ненаселеного підводного апа-

рата з радіобуєм при спіранні на енергетичний фактор, який має суттєвий вплив на інші внаслідок взаємозв'язку характеристик кабель-буксира, робочої зони та тривалості місії.

Виклад основного матеріалу. Особливістю автономної підводної техніки є те, що, наприклад, на відміну від СППА, відслідкувати просторове положення АНПА в водному середовищі є складною навігаційною задачею. Для того, щоб використати переваги СППА та АНПА для задач моніторингу портової інфраструктури, виникає необхідність пошуку комбінованого рішення. У зв'язку з цим використання буксированого радіобуя в поєднанні з АНПА є прийнятною альтернативою, так як РБ надає можливість відслідкувати просторове положення АНПА, а сам апарат не обмежений особливостями використання кабель-троса, який поєднує його з судном забезпечення та суттєво впливає на площу робочої зони апарата.

На основі загальної методики проектування самохідних прив'язних підводних систем, в основу якої покладено використання системи рівнянь їхнього існування, можливо системно оцінити проектні рішення створення АНПА з РБ за матеріальними M , енергетичними E , інформаційними I та функціональними F критеріями. Це дає змогу вже на ранніх стадіях проектування встановити можливість створення такого виду техніки із заданими характеристиками [1].

На її основі розглянемо алгоритм визначення можливості створення АНПА з РБ на ранніх стадіях проектування за критерієм енергоживлення (рис. 1).

Базою, що визначає можливість створення АНПА з РБ на ранніх стадіях проектування, є технічне завдання (ТЗ) (блок 1 на рис. 1). Тут задаються кількісні характеристики АНПА з РБ, зокрема: напруга $U_{АНПА}$, швидкість $v_{АНПА}$, глибина $H_{АНПА}$ руху АНПА, довжина $L_{КБ}$ попущеної частини КБ, а також просторові координати корінного кінця КБ $\{x_K; y_K; z_K\}$, який закріплений на РБ, та ходового кінця КБ $\{x_X; y_X; z_X\}$, який закріплений на АНПА. Вказані вимоги ТЗ є умовами обмеження, які забезпечать задовільне функціонування АНПА з РБ для виконання поставлених завдань.

Після опрацювання даних ТЗ виконується конструювання складових АНПА з РБ з існуючих елементів, вузлів чи систем, які доступні на світовому ринку, а також елементів, вузлів чи систем, які були раніше створені та випробувані організацією, яка є головною у створенні АНПА з РБ, чи організаціями-партнерами, які можуть ці елементи надати за певних умов (блок 2).

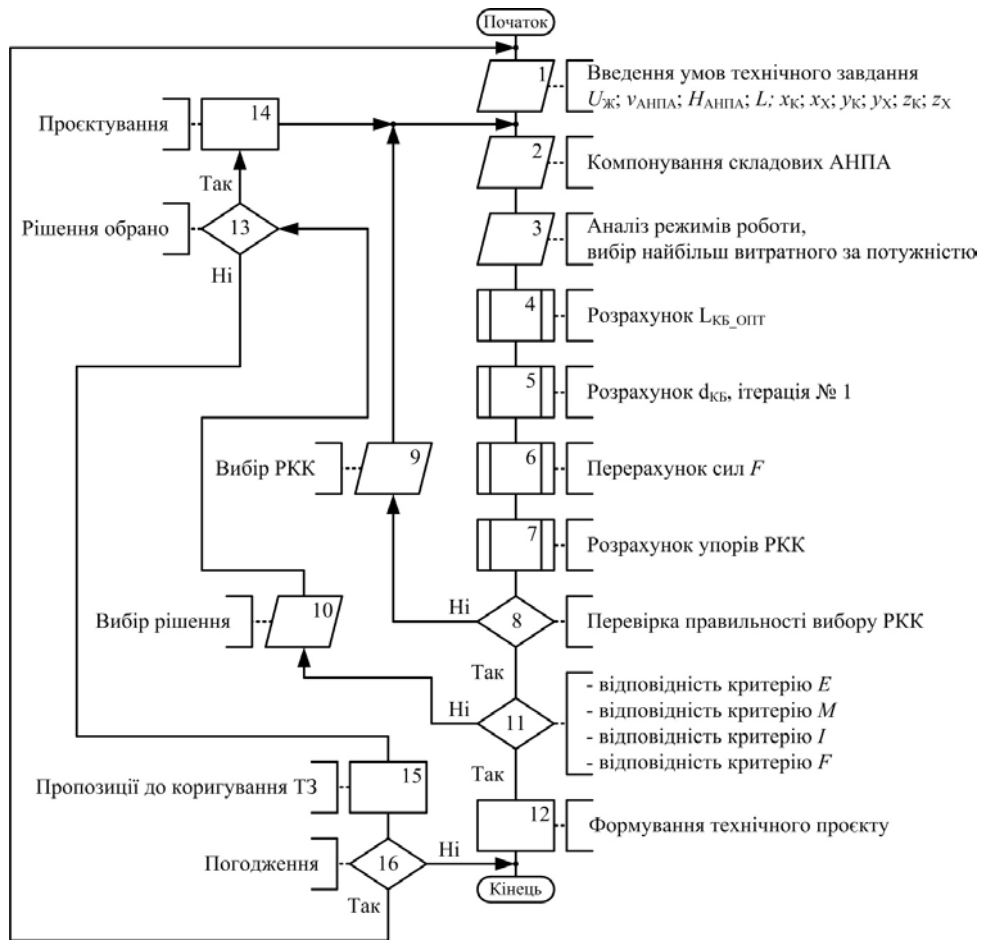


Рис. 1. Алгоритм визначення можливості створення АНПА з РБ

Наступним кроком є аналіз режимів роботи АНПА з РБ (блок 3). Тут виконується вибір найбільш енерговитратного режиму, що визначається положенням АНПА відносно РБ, в якому його рушійно-кермовий комплекс (РКК) споживає найбільшу потужність. Такий режим зазвичай виникає, коли апарат знаходиться попереду РБ і рухається проти течії, намагаючись підтримувати оптимальну довжину КБ між ними.

Далі виконується розрахунок оптимальної довжини КБ $L_{КБ\text{опт}}$ і розрахунок його діаметру (блоки 4 та 5). Потім перераховуються сили F_x на ходовому кінці КБ для визначення упорів РКК апарата (блоки 6 і 7).

Наступним етапом проектування є перевірка правильності вибору РКК (блок 8). Якщо ця перевірка не задовольняє умовам ТЗ, то обирається більш потужний рушійний пристрій чи змінюється конфігурація РКК АНПА (блок 9).

Коли перевірка дає позитивний результат, виконується перехід до рівнянь існування АНПА [2], за допомогою яких вже на ранніх стадіях проектування є можливість визначити можливість

створення АНПА (блок 10). Тут встановлюється відповідність проекту АНПА з РБ енергетичному E , матеріальному M , інформаційному I та функціональному F критеріям його існування.

У випадку, якщо рівняння існування задовольняють умовам ТЗ (блок 11), наступним кроком є формування документації щодо завершення ранньої стадії розробки та перехід до формування технічного проекту (блок 12).

Якщо за будь-яким критерієм рівняння існування характеристика СППС не відповідає умовам ТЗ, необхідно переходити до пошуку рішення, яке забезпечить виконання умов, що заявлені (блок 13). Основною дією цього рішення буде процес проектування елементу(-ів), що забезпечить виконання рівняння існування, яке призвело до необхідності пошуку рішення (блок 14).

Відсутність будь-якого рішення, яке задовольняє умовам ТЗ, викликає необхідність формування пропозицій до коригування останнього (блок 15). Погодження зі змінами ТЗ (блок 16) повертає проектанта до початку алгоритму, а від-

мова призводить до висновку про неможливість створення такого варіанту АНПА з РБ.

Таким чином, методика проектування системи енергоживлення АНПА з РБ є складовою узагальненої методики проектування такого виду техніки на основі системного підходу.

Основою результатів викладок, які розглянуті, є намагання досягти комплексного підходу до проектування АНПА з РБ з метою надати відповідь на головне питання, яке полягає у можливості його створення. Це питання особливо актуально на ранніх стадіях проектування, коли помилки в основних підходах можуть призвести до перевитрати трудових та фінансових ресурсів чи взагалі до неможливості більш-менш успішного закінчення проекту.

Висновки. З огляду на світову практику поступового застосування військових технічних рішень для вирішення цивільних задач запропоновано для моніторингу акваторій застосовувати безпілотні системи у вигляді автономного підводного апарата з радіобуєм. Таке рішення дозволить

поєднати перевагу прив'язної підводної техніки з огляду на відображення інформації в реальному масштабі часу та перевагу автономної підводної техніки щодо вільного руху акваторією.

Для можливості оцінки створення автономного підводного апарата з радіобуєм розглянуто системний підхід, який базується на чотирьох критеріях – матеріальному, енергетичному, інформаційному та експлуатаційному. Як приклад наведено алгоритм за енергетичним критерієм, який суттєво визначає вплив на інші критерії системного підходу, тому що існує взаємозв'язок між діаметром кабель-буксира, який має гідродинамічний опір на течії, ємністю енергетичної установки та тривалістю місії.

В подальшому пропонується деталізувати взаємозв'язки між критеріями системного підходу, щоб надавати відповідь про можливість створення автономного підводного апарата з радіобуєм на ранніх стадіях проектування з перспективою виходу на серійне виробництва оптимального зразка.

Список літератури:

1. Blintsov V. S., Klochkov O. P. Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. *Scientific journal «EUREKA: Physics and Engineering»*. 2019. Vol. 2 (21). P. 43-51. doi:10.21303/2461-4262.2019.00878
2. Блінцов, В.С., Клочков О.П. Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення. *Журнал «Підводні технології»*. Київ : КНУБА, 2016. № 3. С. 25-30.
3. Eirik Hexeberg Henriksen, Ingrid Schjølberg, Tor Berge Gjersvik. Adaptable Joystick Control System for Underwater Remotely Operated Vehicles. – IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd., 2016. – PapersOnLine 49-23. Pp 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.338>
4. Блінцов О.В. Розвиток теорії автоматичного керування рухом підводних комплексів з гнучкими зв'язками. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 « Системи та процеси керування ». – Національний університет « Львівська політехніка », Львів, 2017. (Для службового користування).
5. Dudykevych, V., Oleksandr, B. Tasks statement for modern automatic control theory of underwater complexes with flexible tethers. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2016. 25-36 p. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2016.00158>
6. Блінцов О.В. Системи автоматичного керування рухом підводних комплексів з гнучкими зв'язками: навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2018. – 251 с.
7. Алоба Л. Т. Автоматизація групового керування автономними ненаселеними підводними апаратами пошукового типу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 « Системи та процеси керування ». – Національний університет « Львівська політехніка », Львів, 2021.
8. Блінцов В.С., Сірвчук А.С., Надточій А.В., Надточій В.А. Автоматизація керування автономним ненаселеним підводним апаратом з радіобуєм. Наукова монографія. Херсон : Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2022. 196 с.
9. Блінцов В. С., Блінцов О. В., Надточій В.А. Протимінні прив'язні підводні апарати і системи: наукова монографія. Миколаїв : НУК, 2015. – 108 с. (Для службового користування)
10. Блінцов, В. С., Костенко Д.В., Трибулькевич В.В., Соколов В.В. Сучасні завдання створення багатопільового морського безпілотного комплексу. 36. наук. праць НУК. Миколаїв: НУК, 2017. № 2. С. 20-27.

**Kazariezov A.Ya. THE APPLICATION FEATURES OF THE SYSTEM APPROACH
IN AN AUTONOMOUS UNDERWATER EQUIPMENT WITH A TOWED RADIOBUOY DESIGN**

The task of setting an approach to the serial an autonomous uninhabited underwater vehicle with a radiobuoy creation based on a combination of civil and defense purposes, which involves protecting port water areas with the detection of unauthorized penetration by enemy elements, has been completed.

In a theoretical sense, an autonomous uninhabited underwater vehicle with a radiobuoy is a possible solution to combine the advantages and eliminate the disadvantages inherent in tethered underwater technology in the form of presenting information in real time and limiting the area of the working area, and autonomous underwater technology - independence from the support vessel and the impossibility of instantly obtaining information about the state of the underwater situation, is explained.

The algorithm for creating such underwater equipment based on the energy criterion, which has a fundamental impact on other components of the system approach at the early stages of design, is considered. It is proposed to consider the energy criterion in the most energy-intensive mode of operation of an autonomous uninhabited underwater vehicle, when the power consumed by its propulsion and steering complex is maximum.

The resulting sum of the vehicle's capacities will be maximum when the maximum capacities of the components of the propulsion and steering complex are taken into account, taking into account the simultaneity of their operation is envisaged. Comparison of the maximum capacity with the capacity specified in the technical specifications will be the energy criterion that will determine the possibility of creating an autonomous uninhabited underwater vehicle with a radiobuoy based on it.

The interrelation of operational parameters and design characteristics makes it possible to determine the feasibility of building an autonomous uninhabited underwater vehicle with a radiobuoy at an early stage using a systems approach, based on the specific underwater technology for which it is designed, has been demonstrated.

Keywords: *autonomous uninhabited underwater vehicle, energy criterion, cable tug, technical specifications, propulsion and steering complex, unmanned system.*

Дата першого надходження статті до видання: 20.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026