

АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ КОМПЛЕКСИ

УДК 681.5

DOI 10.31471/1993-9981-2024-1(52)-53-65

ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ТА КРИТЕРІЇ УПРАВЛІННЯ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО КАТЕРА ДЛЯ ПРИРОДООХОРОННИХ МІСІЙ НА МІЛКОВОДНИХ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЯХ

В. А. Надточій, А. П. Бурунін

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;
проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007, Україна,
e-mail: nva074@gmail.com, splashbox98@gmail.com*

Задачі створення безекіпажного надводного катера як об'єкта керування сформульовано та обґрунтовано з позицій зовнішнього і внутрішнього проектування. Зовнішнє проектування містить задачі, які забезпечують відповідність катера експлуатаційним вимогам, а внутрішнє проектування містить задачі його проектування як інженерного автоматично керованого об'єкта. До головних задач зовнішнього проектування віднесено множину природоохоронних задач, які має розв'язувати безекіпажний надводний катер як агент берегового центру керування, та множину загальних експлуатаційних характеристик майбутнього катера як об'єкта автоматичного керування. Показано, що обґрунтування технічних характеристик катера та обґрунтування переліку і технічних характеристик його приладового та інструментального обладнання утворює окрему прикладну наукову задачу. Її розв'язок пропонується на основі застосування системного підходу, який передбачає врахування взаємного впливу усіх значущих складових новостворюваного катера на його архітектурно-конструктивний тип, енергетичне та інформаційне забезпечення, рівень автоматизації та комунікаційні можливості як морського робота, а також передбачає врахування низки експлуатаційних характеристик катера. У результаті отримано послідовність операцій конструктора-системотехніка щодо проектування безекіпажного надводного катера, яка утворює інформаційну базу для формування переліку природоохоронного обладнання катера. До результатів зовнішнього проектування катера також віднесено розроблений повний перелік обладнання, призначеного для виконання природоохоронних задач, та генеральна множина основних робіт, направлених на розв'язок задач зі створення катера. До головних задач внутрішнього проектування віднесено генеральну множину основних робіт, направлених на розв'язок задач з інженерного проектування катера, яка містить етапи дослідницького, ескізного, технічного і робочого проектування катера. В основу процесу внутрішнього проектування покладено системний підхід, який передбачає врахування взаємного впливу усіх значущих складових новостворюваного інноваційного технічного об'єкта, що проектується. У результаті запропоновано «рівняння існування» безекіпажного надводного катера за чотирма групами критеріїв: мас і об'ємів катера, енергетичного балансу та балансу інформаційних потоків катера, а також комплексного критерію ефективності застосування катера за призначенням. Результати досліджень утворюють інформаційне підґрунтя для створення безекіпажного природоохоронного катера як об'єкта керування, що призначений для досліджень внутрішніх водойм та приморських акваторій держави.

Ключові слова: безекіпажний природоохоронний катер, автоматичне керування, системний підхід, рівняння існування, генеральна множина робіт.

The tasks of creating an unmanned surface boat as a control object are formulated and substantiated from the standpoint of external and internal design. External design includes tasks that ensure the boat's compliance with operational requirements, and internal design includes tasks of designing it as an engineering automatically controlled object. The main tasks of external design include a set of environmental protection tasks to be solved by an unmanned surface boat as an agent of the coastal control center, and a set of general operational characteristics of the future boat as an object of automatic control. It is shown that the justification of the technical characteristics of the boat and the justification of the list and technical characteristics of its instrumentation and instrumental equipment constitute a separate applied scientific problem. Its solution is proposed based on the use of a systems

approach, which involves taking into account the mutual influence of all significant components of the newly created boat on its architectural and structural type, energy and information support, level of automation and communication capabilities as a marine robot, and also involves taking into account a number of operational characteristics of the boat. As a result, a sequence of operations of the designer-system engineer for the design of an unmanned surface boat was obtained, which forms an information base for forming a list of environmental equipment of the boat. The results of the external design of the boat also include the developed full list of equipment intended for performing environmental tasks, and a general set of main works aimed at solving the problems of creating the boat. The main tasks of internal design include a general set of main works aimed at solving the problems of engineering design of the boat, which includes the stages of research, sketch, technical and working design of the boat. The main tasks of internal design include a general set of basic works aimed at solving problems in the engineering design of the boat, which includes the stages of research, sketch, technical and working design of the boat. The basis of the internal design process is a systematic approach that involves taking into account the mutual influence of all significant components of the newly created innovative technical object being designed. As a result, an “existence equation” of an unmanned surface boat was proposed according to four groups of criteria: the mass and volume of the boat, the energy balance and the balance of information flows of the boat, as well as a complex criterion for the effectiveness of the use of the boat for its intended purpose. The research results form an information basis for the creation of an unmanned environmental protection boat as a control object, intended for research of inland water bodies and coastal water areas of the state.

Keywords: unmanned environmental protection boat, automatic control, systems approach, existence equation, general set of works.

Вступ

Безекіпажні надводні судна (БНС, в англomовній літературі – Unmanned Surface Vehicles – USVs або Maritime Autonomous Surface Ships – MASS) знаходять все більше застосування при виконанні завдань з морських транспортних перевезень, дослідження ресурсів океанів та наукових досліджень, природоохоронних робіт та робіт із забезпечення морського права на морі у провідних морських країнах світу [1].

Створення та впровадження у морську практику такого виду морських суден на сьогодні оцінюється як магістральний напрямок розвитку водного транспорту [2].

Порівняно з традиційними суднами з екіпажами БНС мають наступні переваги:

- можуть виконувати більш тривалі й небезпечні місії;
- мають нижчі витрати на технічне обслуговування та екіпажі для керування;
- мають малу вагу та невеликі розміри, що забезпечує підвищену маневреність і можливість розгортання на мілководних акваторіях (річкових й прибережних районах), де більші кораблі не можуть ефективно діяти;
- мають більшу потенційну вантажо-підйомність і можливість дистанційно виконувати типові морські операції.

Одним з перспективних напрямків розвитку БНС на сьогодні є проектування та будівництво безекіпажних надводних катерів (БНК, в англomовній літературі – Unmanned Surface Boats, USB), призначених для виконання широкого спектру природоохоронних місій на мілководних (глибиною до 50-60 метрів) акваторій. Для територіальних вод України це можуть бути місії з комплексного вивчення гідрофізичних та гідохімічних властивостей внутрішніх морів, озер, річок та інших внутрішніх водоймищ, дослідження наслідків техногенних катастроф на річкових інженерних спорудах, гуманітарне розмінування акваторій для забезпечення безпечного судноплавства та інших [3, 4].

У зв'язку з цим створення та використання БНК сьогодні є одним з головних напрямків розвитку технічних засобів робототехніки, призначених для вивчення та захисту водного середовища.

Мета роботи – визначити та науково обґрунтувати множину основних задач щодо зовнішнього і внутрішнього проектування нового типу надводного судна-робота – безекіпажного надводного катера, спроможного виконувати природоохоронні місії на мілководних акваторіях держави.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Попередній аналіз публікацій дає змогу констатувати, що до основних напрямків застосування БНК сьогодні можна віднести:

наукові дослідження водного середовища (збір даних про гідрофізичні та гідрохімічні характеристики, батиметричні дослідження) [5-8];

природоохоронний моніторинг навколишнього середовища (контроль забруднення водного середовища та його очищення) [9, 10];

пошуково-рятувальні операції [11];

морських інженерних робіт [12, 13];

оборонні технології [14-16].

У морських дослідженнях, зокрема моніторингу навколишнього середовища, БНК мають вирішальне значення з-за їх здатності збирати цінні та детальні масиви даних про характеристики води без витрат або ризиків, пов'язаних зі збором даних людьми. Безекіпажні катери також забезпечують ключові технології для гідрографічних досліджень, картографування морського дна за допомогою гідролокатора високої роздільної здатності та підтримки вивчення морської іхтіофлори та іхтіофауни.

Крім того, заслуговує на увагу публікація [17], присвячена проектуванню малорозмірних безекіпажних катерів – річкових дронів різного призначення та типорозмірів. Запропонована авторами лінійка річкових дронів частково ґрунтується на загальному аналізі експлуатаційних вимог оборонного характеру, проте не охоплює усього спектру можливих застосувань БНК.

Таким чином, у наведених публікаціях, зазвичай, досліджуються окремі питання створення і застосування БНК різного призначення, проте питання системного підходу до процесу проектування у цих роботах залишилися поза увагою авторів. Наукове формулювання завдань проектування БНК природоохоронного призначення наразі у науково-технічній літературі не висвітлене.

Формування цілей статті

Прибережні мілководні акваторії відносяться до таких, що найбільш активно використовуються у господарській діяльності морських держав. Водночас ці акваторії сприймають великий антропогенний вплив у результаті промислової діяльності та воєнних конфліктів. На сьогодні це найбільш характерно для прибережної частини територіальних вод України, де за останні два роки у результаті воєнних дій накопичилась велика кількість екологічно небезпечних та вибухонебезпечних об'єктів. Тому природоохоронний моніторинг мілководних акваторій та їх очищення від небезпечних об'єктів антропогенного походження сьогодні мають розглядатись як єдина задача загальнодержавного значення.

Безекіпажні надводні катери на цей час є одним з перспективних засобів морської робототехніки. Оснащення БНК змінним приладовим, інструментальним та комунікаційним обладнанням робить їх ефективним технічним засобом для виконання широкого переліку роботизованих природоохоронних місій.

Процес проектування таких катерів як об'єктів автоматичного керування доцільно виконувати як єдиний комплекс робіт зовнішнього і внутрішнього проектування.

Висвітлення основного матеріалу статті

Прибережні мілководні акваторії відносяться до таких, що найбільш активно використовуються у господарській діяльності морських держав. Водночас ці акваторії сприймають великий антропогенний вплив у результаті промислової діяльності та воєнних конфліктів. На сьогодні це найбільш характерно для прибережної частини територіальних вод України, де за останні два роки у результаті воєнних дій накопичилась велика кількість екологічно небезпечних та вибухонебезпечних об'єктів. Тому природоохоронний моніторинг мілководних акваторій та їх

очищення від вибухонебезпечних об'єктів сьогодні мають розглядатись як єдина задача загальнодержавного значення.

Безекіпажні катери є ефективною морською платформою для виконання широкого спектра морських робіт природоохоронного, наукового та промислового призначення, а також для виконання пошукових робіт для гуманітарного розмінування акваторій [18-19]. Оснащення БНК змінним приладовим, інструментальним та комунікаційним обладнанням робить їх ефективним технічним засобом для виконання широкого переліку роботизованих природоохоронних місій.

Особливо ефективним вбачається застосування БНК у прибережних водах (до 12 морських миль), де спостерігається найбільша морегосподарська діяльність.

Такі судна доцільно створювати для реалізації наступних роботизованих морських операцій:

- для приладового моніторингу підводного, надводного та повітряного простору морської акваторії P_M ;

- для взяття проб донного ґрунту, води та повітря на морській акваторії P_S з метою їх подальшого експрес-аналізу на борту БНК або у береговій лабораторії;

- для пошуку та обстеження затонулих об'єктів, які утворюють загрози життю і здоров'ю людей та створюють загрозу судноплавству P_{SE} (складова гуманітарного розмінування акваторій);

- для виконання технічних робіт P_T за допомогою бортових засобів морської робототехніки – автономних підводних апаратів, прив'язних самохідних та буксируваних підводних апаратів, малорозмірних безекіпажних суден та безпілотних літальних апаратів коптерного типу.

Узагальнену множину природоохоронних операцій БНК представлено нижче:

$$P_{USB} = \{P_M; P_S; P_{SE}; P_T\}. \quad (1)$$

Розглянемо тепер особливості зовнішнього проєктування природо-

охоронного БНК, коли встановлюється його відповідність експлуатаційним вимогам (застосуванню за призначенням).

Аналіз показує, що обґрунтування технічних характеристик БНК та обґрунтування технічних характеристик його приладового та інструментального обладнання утворює окрему прикладну наукову задачу. Її розв'язок можливий на основі застосування системного підходу [20], який передбачає врахування взаємного впливу усіх значущих складових новостворюваного катера на його архітектурно-конструктивний тип, енергетичне та інформаційне забезпечення, рівень автоматизації та комунікаційні можливості як морського робота, врахування низки експлуатаційних властивостей катера. Такий взаємний вплив між складовими БНК доцільно аналізувати у наступній послідовності операцій:

- природоохоронне завдання U_Z , яке має виконати БНК;

- морська технологія U_T , яку має реалізувати БНК для виконання завдання U_Z ;

- множина природоохоронних робіт U_J , які треба виконати за даною технологією U_T ;

множина задач U_F для виконавчих механізмів Y_{USB} , які реалізують роботи U_J . Таким чином, маємо наступну послідовність операцій конструктора-системотехніка S щодо проєктування БНК:

$$S = U_Z \rightarrow U_T \rightarrow U_J \rightarrow U_F. \quad (2)$$

Множина задач U_F утворює інформаційну базу для формування переліку природоохоронного обладнання катера Y_{USB} і може бути використана для формування технічного обрис майбутніх складових БНК – його приладового та інструментального обладнання, яке визначає функціональні (експлуатаційні) властивості катера, а також для формування вимог до системи автоматичного керування БНК як носія цього обладнання.

Оскільки природоохоронний БНК має велику групу G_{USB} бортових засобів природоохоронного призначення та морської робототехніки (літальних та підводних апаратів-роботів), його архітектурно-конструктивний тип доцільно обирати у вигляді одноострівного тримарана з баковою надбудовою, а вказані бортові засоби розміщати на верхній палубі катера [21].

Проектування БНК на основі залучення принципів системного підходу можна представити наступними фазами:

- формулювання основних чинників майбутнього застосування БНК X_P (постановча фаза, кінцевим продуктом якої є розробка технічних вимог до майбутнього катера);

- проектування продукту (креативна фаза, кінцевим результатом P_P якої є загальна структура та склад продукту K , його попередні матеріальні M , енергетичні E , інформаційні I та експлуатаційні J характеристики);

- технічне конструювання продукту C_P (інженерна фаза, кінцевим результатом якого є технічний проєкт, який відповідає технічним вимогам до катера).

Таким чином, у загальному випадку з позицій системного підходу проектування природоохоронного катера можна представити множиною базових операцій:

$$S = \{X_P; P_P; C_P\}_{|G}. \quad (3)$$

Сформуємо основні переліки обладнання, необхідного для розв'язку задач катера як об'єкта керування згідно (1), у вигляді трьох основних груп:

- групи приладового обладнання G_D , яке включає прилади екологічного моніторингу та експрес-аналізу водного та повітряного середовища G_{D-E} , а також гідроакустичні, магнітометричні та оптичні прилади G_{D-D} для пошуку екологічно небезпечних та вибухо-небезпечних предметів, які утворюють загрозу життю і здоров'ю людей та створюють загрозу судноплавству;

- групи інструментального обладнання G_I , яке включає дистанційно керовані розмивачі ґрунту та насоси для

відкачування ґрунту G_{I-H} , необхідні для очищення донної поверхні мілководних акваторій, дистанційно керовані маніпулятори G_{I-M} для виконання технічних робіт під водою на мілководних акваторіях та дистанційно керовані установки підводного бетонування G_{I-B} для виконання будівельних підводних робіт, метою яких є захист водного середовища від антропогенних джерел забруднення;

- групи бортових засобів морської робототехніки G_{MR} , за допомогою яких виконуються детальний приладовий моніторинг великих за площею акваторій G_{MR-M} та виконуються технічні підводні та надводні роботи G_{MR-J} на таких акваторіях.

Тоді повний перелік обладнання, призначеного для виконання природоохоронних задач (1) можна представити множиною:

$$G_{USB} = \{G_D; G_I; G_{MR}\} = \{G_{D-E}; G_{D-D}; G_{I-H}; G_{I-M}; G_{I-B}; G_{MR-B}; G_{MR-O}\}. \quad (4)$$

Результатом зовнішнього проектування БНК має бути визначення загальних експлуатаційних та техніко-економічних вимог J_S до катера. На цьому етапі виконується:

- аналіз областей та умов використання катера J_{S-A} ;

- розробка узагальненої концепції його застосування J_{S-C} ;

- операційне моделювання основних режимів роботи катера J_{S-M} ;

- техніко-економічне обґрунтування J_{S-F} .

Тоді підмножина J_S робіт з формування експлуатаційних та техніко-економічних вимог буде мати вид:

$$J_S = \{J_{S-A}; J_{S-C}; J_{S-M}; J_{S-F}\}. \quad (5)$$

Таким чином, на етапі зовнішнього проектування на основі параметричних досліджень перспективних БНК як агентів берегового центру керування (БЦК) природоохоронними місіями, та на основі аналізу їх взаємодії з іншими складовими БЦК, прогнозуються необхідні загальні характеристики майбутнього катера як об'єкта автоматичного керування та виконується оцінка його функціональної ефективності.

Отримані техніко-економічні вимоги БНК J_S дають змогу сформулювати технічне завдання (ТЗ) на проектування катера.

Відношення (1)-5) утворюють науково-методологічне підґрунтя для постановки і розв'язку задач зовнішнього проектування катера, призначеного для природоохоронних місій на мілководних акваторіях.

Розглянемо тепер задачі внутрішнього проектування БНК, які стосуються розробки катера як інженерного автоматично керованого об'єкта.

З позицій автоматичного керування БНК доцільно розглядати як спеціалізований периферійний пристрій центрального керуючого комп'ютера, що розташований на береговому центрі досліджень водного середовища (БЦД, в англійській літературі – Coastal Research Center, CRC) і дистанційно керує процесом збору та обробки інформації про водне середовище.

У зв'язку з цим до сучасних БНК висувається низка вимог, характерних для роботизованих технологічних процесів. Зокрема, це:

- вимоги щодо забезпечення надійності конструкції катера як інженерного об'єкта в екстремальних морських умовах експлуатації;

- вимоги щодо енергетичного забезпечення функціонування БНК на протязі виконання автономної морської місії;

- вимоги до рівня їх інформаційного забезпечення, зокрема, вимоги до системи автоматичного керування катером та системи його навігації і зв'язку з БЦД;

- вимоги до показників експлуатаційної ефективності застосування БНК – продуктивності його роботи, повноти та достовірності отримуваних результатів вимірювань характеристик водного середовища, складності технічного обслуговування БНК та інші.

Тому для формулювання задач створення БНК використано системний

підхід, який передбачає врахування взаємного впливу усіх значущих складових новостворюваного інноваційного технічного об'єкта [20].

Теоретичним підґрунтям застосування системного підходу для створення БНК у цій роботі прийнято концепцію аналізу складних систем, яка всі процеси і явища розглядає у взаємозв'язку матерії, енергії та інформації [22, 23]. Автори адаптували вказану концепцію до задач створення нових засобів морської робототехніки шляхом аналізу «рівнянь існування» таких засобів за матеріальним критерієм (рівняння мас і об'ємів морського робота), за енергетичним та інформаційним критеріями, а також ввели додатковий критерій оцінки проєктів – критерій функціональної ефективності створюваного засобу робототехніки [24].

Розробку БНС пропонується виконувати як послідовність наступних робіт:

- аналіз технічних вимог J_S до БНК як периферійного пристрою БЦД згідно (5) як результат зовнішнього проектування катера;

- дослідницьке проектування БНК J_{DR} ;

- ескізне проектування БНК J_{DE} ;

- технічне проектування БНК J_{DT} ;

- розробка робочої конструкторської документації J_{DD} для будівництва БНК;

- будівництво БНК J_B ;

- випробування БНК J_T .

Таким чином, генеральна множина основних робіт J_{USB} , направлених на розв'язок задач зі створення БНК на етапі внутрішнього проектування, має вигляд:

$$J_{USB} = \{J_S; J_{DR}; J_{DE}; J_{DT}; J_{DD}; J_B; J_T\} \quad (6)$$

Дамо короткий аналіз особливостей виконання проєктної частини робіт J_{DR} , J_{DE} , J_{DT} і J_{DD} , наведених у (6).

Метою етапу дослідницького проектування є вибір раціональної форми корпусу катера (роботи J_{DR-H} з обґрунтування гідродинаміки корпусу), який би відповідав вимогам до морехідності та забезпечував виконання всього переліку режимів роботи катера. Крім того, необхідно виконати роботи з

обґрунтування основних параметрів катера і його систем J_{DR-P} , що забезпечують виконання заданих вимог (вибір головної енергетичної установки та рушійно-рульового комплексу катера, інтегрованої електроенергетичної системи катера, яка б забезпечила оптимізацію процесів зберігання та ефективного керованого використання бортової енергії з метою збільшення часу виконання місії).

Також на цьому етапі на основі аналізу ТЗ формується концепція БНК як носія обладнання для дослідження водного середовища J_{DR-C} .

При цьому з урахуванням принципів системного підходу визначаються в першому наближенні:

- основні масогабаритні J_{DR-G} характеристики БНК;
- енергетичні J_{DR-E} характеристики БНК;
- інформаційні J_{DR-I} характеристики проєктованого катера.

Крім того, на цьому етапі розробляється інформаційно-керуюче обладнання катера та формується закони керування J_{DR-U} ним згідно з алгоритмами виконання досліджень водного середовища. Це забезпечує автоматичне керування безпечним рухом БНК та його науково-дослідним обладнанням, зв'язок між катером та БЦК.

Важливою складовою робіт J_{DR-U} цього етапу є синтез систем автоматичного керування, які забезпечують ефективне застосування групи БНК та розробку вбудованих систем діагностики їх технічного стану.

Таким чином, це етап синтезу архітектурно-конструктивного типу та визначення основних розмірів катера, у процесі якого системно зв'язуються його гідродинамічні характеристики та характеристик рушіїв, структури устаткування і спорядження, технічних даних і режимів руху.

Підмножина J_{DR} робіт дослідницького проєктування БНК матиме вигляд:

$$J_{DR} = \{J_{DR-H}; J_{DR-P}; J_{DR-C}; J_{DR-G}; J_{DR-E}; J_{DR-I}; J_{DR-U}\}. \quad (7)$$

Вихідною інформацією робіт цього етапу є креслення загальних видів раціонального варіанта БНК, а також документація про його технічні, економічні і експлуатаційні характеристиках. На підставі цих матеріалів ухвалюється рішення щодо доцільності подальшої розробки цього варіанту проєкту катера.

Метою ескізного проєктування (підмножина робіт J_{DE}), зазвичай, є широкі теоретичні J_{DE-T} та експериментальні J_{DE-Ex} дослідження елементів і систем БНК, виготовлення і дослідження у басейнах фізичної моделі корпусу катера (складова робіт $J_{DE-M} \in J_{DE}$). За результатами цих досліджень уточнюють гідродинамічний розрахунок катера, розрахунки стійкості і керованості, а також характеристик надійності БНК (складова робіт $J_{DE-R} \in J_{DE}$). На підставі цих розрахунків вносять відповідні виправлення в компоновання БНК, уточнюють вагові розрахунки.

Тобто, у результаті ескізного проєктування отримується проєктна конструкторська документація, яка містить принципові конструктивні рішення і дає загальне уявлення про будову та принцип дії БНК, а також дані, що визначають його відповідність призначенню.

Підмножина J_{DE} робіт ескізного проєктування БНК буде мати вид:

$$J_{DE} = \{J_{DE-T}; J_{DE-Ex}; J_{DE-M}; J_{DE-RC}\}. \quad (8)$$

Метою технічного проєктування є розробка конструкторської документації, яка містить остаточне технічне рішення щодо конструкції та складу обладнання БНК. При цьому має бути виконана множина робіт J_{DT} , яка охоплює повний опис конструкції катера J_{DT-O} , оцінку відповідності конструкторських рішень вимогам ТЗ J_{DT-TT} , оцінку рівня технологічності будівництва катера J_{DT-BT} та оцінку складності його експлуатації та ремонту J_{DT-OR} .

Підмножина J_{DT} робіт технічного проєктування БНК матиме вигляд:

$$J_{DT} = \{J_{DT-O}; J_{DT-TT}; J_{DT-BT}; J_{DT-OR}\}. \quad (9)$$

Метою заключного етапу проектування є розробка робочої конструкторської документації. Підмножина робіт J_{DD} цього етапу спрямована на практичну реалізацію заявлених характеристик і параметрів БНК. На цьому етапі випускається вся технічна документація J_{DD-TD} , необхідна для будівництва, складання та монтажу як окремих агрегатів і систем, так і катера у цілому. Розробляються креслення загальних видів агрегатів БНК, складальні і детальні креслення окремих його частин. Проводяться: експериментально-дослідницькі роботи J_{DD-ER} , пов'язані із впровадженням нових матеріалів, типів конструкцій; випробування міцності та ресурсні випробування конструкцій; стендові випробування J_{DD-SR} окремих систем та устаткування. Інформація, отримана на цьому етапі, дозволяє уточнити дані про проєкт і внести відповідні корективи в розрахунки, виконані на попередніх етапах.

Підмножина J_{DD} робіт цього етапу проектування БНК буде мати вид:

$$J_{DD} = \{J_{DD-TD}; J_{DD-ER}; J_{DD-SR}\}. \quad (10)$$

У процес проектування слід також включити виготовлення дослідних зразків БНК і їх випробування – лабораторні і морські, оскільки в ході цих випробувань визначаються фактичні характеристики катера і ступінь забезпечення вимог ТЗ. При виготовленні дослідних зразків здійснюється відпрацювання технічної документації і технології виготовлення БНК.

За підсумками цього етапу ухвалюється рішення про запуск системи в серійне виробництво.

Аналіз показує, що проектування БНК – це ітераційний процес, причому ітерації здійснюються як між основними етапами проектування, але і усередині кожного з них.

Відомо [20], що для ефективного контролю ефективності конструкторських рішень доцільно використовувати «рівняння існування» БНК за основними

показниками його функціонування згідно системному підходу:

- «рівняння існування» за критерієм CM_{USB} «Матерія» – рівняння мас і об'ємів БНК;

- «рівняння існування» за критерієм CE_{USB} «Енергія» – рівняння енергетичного балансу БНК (вид та параметри енергетичного забезпечення споживачів енергії БНК);

- «рівняння існування» за критерієм CI_{USB} «Інформація» – рівняння балансу інформаційних потоків, що циркулюють в БНК (внутрішні потоки інформації для керування виконавчими механізмами БНК та зовнішні інформаційні потоки системи зв'язку між БНК та БЦК);

- «рівняння існування» за критерієм CF_{USB} «Функціональність» – рівняння БНК, яке оцінює ефективність застосування БНК за призначенням (продуктивність, технічне обслуговування, зберігання, вплив на навколишнє середовище, транспортування, низькі власні фізичні поля, стійкість до штучних завад).

Розглянемо зазначені критерії більш детально.

У якості матеріального критерію CM_{USB} для оцінки можливості створення БНК можна використовувати рівняння мас і об'ємів, які широко застосовуються у суднобудуванні:

$$M_{USB} = \sum_{i=1}^n m_{Ai} + \sum_{j=1}^k m_{Bk} \leq M_{TT}; \quad (11)$$

$$V_{USB} = \sum_{i=1}^n v_{Ai} + \sum_{j=1}^k v_{Bk} \leq V_{TT}, \quad (12)$$

де $\sum_{i=1}^n m_{Ai}$ – сумарна маса елементів

постійного складу БНК (елементи конструкції, електрообладнання, інформаційно-навігаційний та рушійно-кермовий комплекси тощо); $\sum_{j=1}^k m_{Bk}$ – маса

елементів змінюваного обладнання БНК (прилади для дослідження водного середовища); M_{TT} , V_{TT} – відповідно,

гранично припустимі значення маси та об'єму БНК згідно ТЗ; n , k – кількість елементів БНК, відповідно, постійного та змінюваного складу.

У якості енергетичного критерію CE_{USB} для оцінки можливості створення БНК використаємо рівняння енергетичного балансу катера, яке характеризує рівень виконання вимог ТЗ:

$$P_{USB} \leq P_{TT}, \quad (13)$$

де P_{USB} , P_{TT} – відповідно, сумарна потужність джерел енергії поточного варіанту БНК, що проектується, та потужність БНК за вимогами ТЗ.

Критерій CI_{USB} дає змогу оцінити можливість створення БНК, який буде мати необхідний рівень автоматизації та інформаційно-комунікаційні характеристики згідно до вимог ТЗ.

До інформаційної складової БНК доцільно віднести наступні складові:

- систему автоматичного керування просторовим рухом БНК;
- систему інформаційного обміну між БНК та БЦК (систему зв'язку);
- систему навігаційного забезпечення БНК (сукупність різних технічних засобів та приладів, призначених для визначення просторового положення катера та контролю параметрів його руху);
- систему автоматичного керування технологічним обладнанням катера (приладами та обладнанням, призначеним для дослідження водного середовища).

Тому рівняння існування БНК за цим критерієм доцільно складати у формі системи з трьох основних аналітичних відношень:

$$CI_{USB-Mov} \geq CI_{USB-TT}; \quad (14)$$

$$CI_{USB-Com} \geq CI_{USB-TT}; \quad (15)$$

$$CI_{USB-Nav} \geq CI_{USB-TT}; \quad (16)$$

$$CI_{USB-Tech} \geq CI_{USB-TT}; \quad (17)$$

де $CI_{USB-Mov}$, $CI_{USB-Com}$, $CI_{USB-Nav}$, $CI_{USB-Tech}$ – відповідно, кількісні показники якості функціонування поточного варіанту

інформаційно-керуючого обладнання БНК, що проектується;

CI_{USB-TT} – показники якості функціонування інформаційно-керуючого обладнання БНК згідно до вимог ТЗ.

Ефективність конструкторського рішення поточного варіанту БНК за критерієм CF_{USB} «Функціональність» доцільно сформулювати як систему вимог, які мають забезпечувати основні експлуатаційні характеристики БНК як засобу морської робототехніки відповідно до вимог ТЗ.

До таких вимог можуть відноситись:

- продуктивність виконання завдань з дослідження водного середовища F_{USB-P} ;
- рівень складності технічного обслуговування БНС F_{USB-S} ;
- надійність системи зв'язку БНК з БЦК F_{USB-R} ;
- стійкість функціонування в умовах дії штучних завад F_{USB-AO} ;
- рівень впливу на навколишнє середовище F_{USB-IE} .

Тому рівняння існування БНК за критерієм «Функціональність» доцільно складати у формі системи наступних аналітичних відношень, які характеризують ступінь відповідності поточного варіанту БНК, що проектується, вимогам ТЗ:

$$CF_{USB-P} \geq CF_{USB-TT}; \quad (18)$$

$$CF_{USB-S} \leq CF_{USB-TT}; \quad (19)$$

$$CF_{USB-R} \geq CF_{USB-TT}; \quad (20)$$

$$CF_{USB-AO} \geq CF_{USB-TT}; \quad (21)$$

$$CF_{USB-IE} \leq CF_{USB-TT}; \quad (22)$$

де CF_{USB-P} , CF_{USB-S} , CF_{USB-R} , CF_{USB-AO} , CF_{USB-IE} – відповідно, кількісні показники поточного варіанту БНК за критерієм CF_{USB} «Функціональність»; CF_{USB-TT} – показники БНК за критерієм CF_{USB} відповідно до вимог ТЗ.

Таким чином, відношення (7)-(22) утворюють зручне інформаційне підґрунтя для проектувальників БНК, оскільки дають

змогу оперативно оцінювати відповідність поточного варіанту БНК, що проєктується, вимогам ТЗ. Вони можуть використовуватись конструкторами на кожному з вище зазначених етапів (6) проєктування БНК.

Висновки

1. Сформульовано та науково обґрунтовано множину основних задач щодо зовнішнього і внутрішнього проєктування нового типу надводного судна-робота – безекіпажного надводного катера, спроможного виконувати природоохоронні місії на мілководних акваторіях держави.

2. Зовнішнє проєктування таких катерів як сучасних засобів морської робототехніки запропоновано виконувати на основі системного підходу, який враховує взаємний вплив характеристик його архітектурно-конструктивного типу, енергетичних, інформаційно-керуючих та функціональних (експлуатаційних) характеристик. Запропоновано генеральну множину основних робіт, направлених на створення безекіпажного надводного катера як об'єкта керування, який виконує дослідження водного середовища.

3. Запропоновано генеральну множину основних робіт, направлених на розв'язок задач зі створення БНК на етапі внутрішнього проєктування, яка ґрунтується на системі «рівнянь існування» катера та на системному підході. Це суттєво спрощує процес вибору кращого варіанта катера як об'єкта автоматизації, скорочує тривалість та підвищує якість проєкту.

4. Сформульовані у результаті дослідження множина природоохоронних задач, множина операцій конструктора-системотехніка щодо проєктування БНК, а також множини задач внутрішнього проєктування БНК утворюють інформаційне підґрунтя для створення безекіпажного природоохоронного катера як об'єкта керування, що призначений для досліджень внутрішніх водойм та приморських акваторій держави.

Список використаних джерел

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities and Challenges in Ocean Law and Policy. Published by *the Stockton Center for International Law*, 2021. Vol. 97. 49 p. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
2. The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. *Benedict's Maritime Bulletin* December 2017. <https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>
3. Othman E. H. A Review on Current Design of Unmanned Surface Vehicles (USVs). *Journal of Advanced Review on Scientific Research*. 2015. Vol. 16 No. 1. P. 12-17. https://www.akademiabaru.com/doc/ARSRV16_N1_P12_17.pdf
4. Блінцов В.С., Надточий А.В. Гуманітарне розмінування мілководних акваторій: технології та робототехнічне забезпечення. *Суднобудування та морська інфраструктура*, 2024. Випуск №1 (18). С. 4-10.
5. Multi-Missions Unmanned Surface Vehicles (USVs). https://www.ecagroup.com/en/multi-missions-unmanned-surface-vehicles-usvs?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIpL6q28fqIQMV3qloCR0qSAjeEAAAYASAAEgL79vD_BwE
6. Unmanned Surface Vehicles (USV). <https://www.oceansciencetechnology.com/suppliers/unmanned-surface-vehicles/>
7. Semih Kale. Developments in Unmanned Surface Vehicles (USVs): A Review. *5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*. July 10-12. 2023. Konya, Turkey. DOI: <https://doi.org/10.59287/icaens.1064>
8. Fernando Sotelo-Torres, Laura V Alvarez, Robert C Roberts. An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys. *Sensors* (Basel). 2023. Apr 30;23(9):4420. DOI: [10.3390/s23094420](https://doi.org/10.3390/s23094420)

9. MANTAS T12. Unmanned Surface Vessel. <https://martacsystems.com/products/t12/>
10. Daniele Bertin, Paolo Cesana, Marco Lucci. U-Ranger - An Unmanned Surface Vehicle for surface and underwater missions. 2009. (Безпілотний надводний апарат для надводних і підводних місій) <https://www.scribd.com/document/766828769/AUVSI-CALZONI>
11. Dina Khaled, Hussien Aly, Mariam Khaled, Nourhan Mahmoud. Development of a Sustainable Unmanned Surface Vehicle (USV) for Search and Rescue Operations. *Conference Paper. 5th IUGRC International Undergraduate Research Conference, Military Technical College, Cairo, Egypt, August 9th – Aug 12th, 2021.* DOI: [10.21608/IUGRC.2021.246530](https://doi.org/10.21608/IUGRC.2021.246530).
12. Cable Inspections the Uncrewed Way. <https://www.hydro-international.com/content/article/cable-inspections-the-uncrewed-way>
13. Unmanned Cleaning Boat. <https://relong-tech.com/product/amh-unmanned-cleaning-boat>
14. Elbit Systems UK uses Seagull USV during Anti-Submarine Warfare trials with UK MoD. <https://www.auvsi.org/industry-news/elbit-systems-uk-uses-seagull-usv-during-anti-submarine-warfare-trials-uk-mod>
15. У Японії випробовують безпілотний надводний катер. <https://mil.in.ua/uk/news/u-yaponiyi-vyprobuvuyut-bezpilotnyj-nadvodnyj-kater/>
16. Maria T.Reyes. New drone boat boosts Philippine Coast Guard's law enforcement, environmental protection efforts. October 15, 2024.
17. Бондаренко О.В., Ястреба О.П. Обґрунтування проєктних характеристик автономних річкових катерів. *ЗНП НУК*, 2024. №2. С. 3-10. DOI: [10.15589/znp2024.2\(495\).1](https://doi.org/10.15589/znp2024.2(495).1)
18. Patterson, Ruth G.; Lawson, Emily; Udyawer, Vinay; Brassington, Gary B.; Groom, Rachel A.; Campbell, Hamish A. "Uncrewed Surface Vessel Technological Diffusion Depends on Cross-Sectoral Investment in Open-Ocean Archetypes: A Systematic Review of USV Applications and Drivers". *Frontiers in Marine Science*. 2022. 8. DOI: [10.3389/fmars.2021.736984](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.736984).
19. Quantum lidar developed for underwater research. <https://hightech.fm/2023/05/05/acquires-lidar>
20. 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.
21. Fossen T.I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control – Norway: John Wiley & Sons Ltd. 2011. 596 p. DOI: [10.1002/9781119994138](https://doi.org/10.1002/9781119994138)
22. Gordana Dodig Crnkovic. Information and Energy/Matter. *Information* 2012. Vol. 3(4). P. 751-755. DOI: [10.3390/info3040751](https://doi.org/10.3390/info3040751)
23. Dirk K. F. Meijer. Information: what do you mean? *On the formative element of our universe. Syntropy Journal*. 2012. Vol. 3. P. 1-49. https://www.researchgate.net/publication/275017053_Information_What_Do_You_Mean
24. Blintsov V., Kucenko P. Application of systems approach at early stages of designing unmanned towed underwater systems for shallow water areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 5/9 (101). P. 15-24. DOI: [10.15587/1729-4061.2019.179486](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179486)

References

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities and Challenges in Ocean Law and Policy. Published by *the Stockton Center for International Law*, 2021. Vol. 97. 49 p. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
2. The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. *Benedicts Maritime Bulletin* December 2017. <https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>

3. Othman E. H. A Review on Current Design of Unmanned Surface Vehicles (USVs). *Journal of Advanced Review on Scientific Research*. 2015. Vol. 16 No. 1. P. 12-17. https://www.akademiabaru.com/doc/ARSRV16_N1_P12_17.pdf
4. Blintsov V.S., Nadtochy A.V. Humanitarne rozminuvannia milkovodnykh akvatorii: tekhnologii ta robototekhnichne zabezpechennia. *Sudnobuduvannia ta morska infrastruktura*, 2024. Vypusk №1 (18). S. 4-10. [in Ukrainian]
5. Multi-Missions Unmanned Surface Vehicles (USVs). https://www.ecagroup.com/en/multi-missions-unmanned-surface-vehicles-usvs?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIpL6q28fqiQMV3qloCR0qSAjeEAAYASAAEgL79vD_BwE
6. Unmanned Surface Vehicles (USV). <https://www.oceansciencetechnology.com/suppliers/unmanned-surface-vehicles/>
7. Semih Kale. Developments in Unmanned Surface Vehicles (USVs): A Review. *5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*. July 10-12. 2023. Konya, Turkey. DOI: <https://doi.org/10.59287/icaens.1064>
8. Fernando Sotelo-Torres, Laura V Alvarez, Robert C Roberts. An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys. *Sensors* (Basel). 2023. Apr 30;23(9):4420. DOI: [10.3390/s23094420](https://doi.org/10.3390/s23094420)
9. MANTAS T12. Unmanned Surface Vessel. <https://martacsystems.com/products/t12/>
10. Daniele Bertin, Paolo Cesana, Marco Lucci. U-Ranger - An Unmanned Surface Vehicle for surface and underwater missions. 2009. (Bezpilotnyi nadvodnyi aparat dlia nadvodnykh i pidvodnykh misii) <https://www.scribd.com/document/766828769/AUVSI-CALZONI>
11. Dina Khaled, Hussien Aly, Mariam Khaled, Nourhan Mahmoud. Development of a Sustainable Unmanned Surface Vehicle (USV) for Search and Rescue Operations. *Conference Paper. 5th IUGRC International Undergraduate Research Conference, Military Technical College, Cairo, Egypt*, August 9th – Aug 12th, 2021. DOI: [10.21608/IUGRC.2021.246530](https://doi.org/10.21608/IUGRC.2021.246530).
12. Cable Inspections the Uncrewed Way. <https://www.hydro-international.com/content/article/cable-inspections-the-uncrewed-way>
13. Unmanned Cleaning Boat. https://relog-tech.com/product/amh_unmanned_cleaning_boat
14. Elbit Systems UK uses Seagull USV during Anti-Submarine Warfare trials with UK MoD. <https://www.auvsi.org/industry-news/elbit-systems-uk-uses-seagull-usv-during-anti-submarine-warfare-trials-uk-mod>
15. U Yaponii vyprovovuiut bezpilotnyi nadvodnyi kater. <https://mil.in.ua/uk/news/u-yaponiyi-vyprovovuyut-bezpilotnyj-nadvodnyj-kater/> [in Ukrainian]
16. Maria T.Reyes. New drone boat boosts Philippine Coast Guards law enforcement, environmental protection efforts. October 15, 2024.
17. Bondarenko O.V., Yastreba O.P. Obgruntuvannia proiektnykh kharakterystyk avtonomnykh rickovykh kateriv. *ZNP NUK*, 2024. №2. S. 3-10. DOI: [10.15589/znp2024.2\(495\).1](https://doi.org/10.15589/znp2024.2(495).1) [in Ukrainian]
18. Patterson, Ruth G.; Lawson, Emily; Udyawer, Vinay; Brassington, Gary B.; Groom, Rachel A.; Campbell, Hamish A. "Uncrewed Surface Vessel Technological Diffusion Depends on Cross-Sectoral Investment in Open-Ocean Archetypes: A Systematic Review of USV Applications and Drivers". *Frontiers in Marine Science*. 2022. 8. DOI: [10.3389/fmars.2021.736984](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.736984).
19. Quantum lidar developed for underwater research. <https://hightech.fm/2023/05/05/acquires-lidar>
20. 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.
21. Fossen T.I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control – Norway: John Wiley & Sons Ltd. 2011. 596 p. DOI: [10.1002/9781119994138](https://doi.org/10.1002/9781119994138)

22. Gordana Dodig Crnkovic. Information and Energy/Matter. *Information* 2012. Vol. 3(4). P. 751-755. DOI: [10.3390/info3040751](https://doi.org/10.3390/info3040751)

23. Dirk K. F. Meijer. Information: what do you mean? *On the formative element of our universe. Syntropy Journal*. 2012. Vol. 3. P. 1-49. https://www.researchgate.net/publication/275017053_Information_What_Do_You_Mean

24. Blintsov V., Kucenko P. Application of systems approach at early stages of designing unmanned towed underwater systems for shallow water areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. No 5/9 (101). P. 15-24. DOI: [10.15587/1729-4061.2019.179486](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179486)

**TASK FOR CREATION AND CRITERIA
FOR CONTROL OF UNCREWED SURFACE
BOAT FOR ENVIRONMENTAL
PROTECTION MISSIONS IN
SHALLOW WATER SEAS**

V. A. Nadtochii, A. P. Burunin

Admiral Makarov National University of Shipbuilding;
9 Heroes of Ukraine Avenue, Mykolaiv, 54007,
Ukraine,
e-mail: nva074@gmail.com, splashbox98@gmail.com