

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗЕКІПАЖНИМ ПАТРУЛЬНИМ КАТЕРОМ ДЛЯ ОХОРОНИ МІЛКОВОДНОЇ ЗАХИЩЕНОЇ АКВАТОРІЇ

**Надточій В. А.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматики та електроустаткування Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна, e-mail: nva074@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3869-3546;

**Бурунін А. П.**, аспірант кафедри автоматики та електроустаткування Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна, e-mail: splashbox98@gmail.com, ORCID: 0009-0005-1017-9766.

*Безекіпажні патрульні катери є одним з видів надводних засобів морської робототехніки. Вони здатні виконувати широкий спектр прикладних охоронних задач на мілководних акваторіях, які охороняються. Дослідження наукових проблем їх створення відносяться до спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» галузі знань «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». Дослідження присвячене розробці узагальненої функціональної схеми системи автоматичного керування основними режимами роботи безекіпажного патрульного катера. Такі катери використовуються як носії засобів морської робототехніки, призначеної для висвітлення надводної, підводної та повітряної обстановки на захищеній акваторії. Для дослідження використано методологію аналізу науково-технічної літератури та основи системного підходу до складання переліку режимів роботи безекіпажного патрульного катера. Сформована множина основних режимів функціонування катера включає базовий перелік операцій катера. Множина задач системи керування катером охоплює керування виконавчими механізмами катера та його корисного вантажу, безпечну електронну навігацію та задачі діагностування. Узагальнена функціональна схема системи автоматичного керування катером утворює теоретичну основу для синтезу алгоритмічного забезпечення системи керування катером та корисним вантажем.*  
**Ключові слова:** безекіпажний патрульний катер; система автоматичного керування; режими роботи; головні задачі керування; узагальнена функціональна схема системи автоматичного керування.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2024.1.28.057-066**

**Вступ.** Безекіпажні надводні судна на цей час широко застосовуються промислово розвиненими морськими країнами у господарській діяльності. Спектр їх застосування з кожним роком розширюється і сьогодні охоплює морські транспортні перевезення, морські наукові дослідження та природоохоронні роботи [1, 2].

У порівнянні з традиційними суднами безекіпажні надводні судна мають наступні переваги [3, 4]:

- можливість виконувати більш тривалі за часом та небезпечні для життя і здоров'я членів екіпажів морські місії;
- нижчі витрати на технічне обслуговування суден;
- менші витрати та утримання екіпажів (тільки береговий технічний персонал);
- низькі масогабаритні характеристики безекіпажних надводних суден, що забезпечує їм високу маневреність і можливості застосування на мілководних акваторіях;
- потенційно більша вантажопідйомність, оскільки на борту безекіпажних надводних суден немає систем життєзабезпечення для екіпажів суден;
- можливість дистанційно виконувати типові морські операції.

Наведений вище перелік переваг безекіпажних надводних суден над традиційними суднами обумовлює актуальність їх застосування для охорони мілководних морських, річкових та озерних акваторій, на яких розташовані об'єкти морської критичної інфраструктури та проводиться промислово-господарська діяльність держави.

Постановка проблеми. На цей час завдання охорони мілководних акваторій держави від загроз з моря традиційно виконується береговими технічними засобами, які контролюють

тільки надводну та повітряну обстановку над акваторією, яка охороняється. Подальше вдосконалення техніки прихованого порушення меж таких акваторій з боку зловмисників вимагає подальшого вдосконалення технічних засобів охорони акваторій від підводних загроз. Тому актуальним є системний підхід до розробки і створення спеціальних засобів морської робототехніки, які б мали змогу контролювати всі три складові захищеної акваторії – повітряну, надводну і підводну.

Такий підхід може бути реалізований за допомогою безекіпажних малорозмірних суден – безекіпажних патрульних катерів (БПК, в англійській літературі – Unmanned Patrol Boat, UPB), оснащених приладами та системами висвітлення надводної, підводної та повітряної обстановки на захищеній акваторії, а також системами зв'язку та дистанційного контролю й керування БПК.

Одним з ключових завдань при створенні такого виду морських рухомих об'єктів є завдання синтезу систем керування БПК, які б забезпечували ефективно та безаварійне використання таких катерів в інтересах держави.

Очевидно, що успішне виконання цього завдання можливе при одночасному врахуванні низки вимог, обумовлених режимами роботи та особливостями автоматичного керування виконавчими механізмами БПК, які забезпечують його функціонування та експлуатуються безвахтовим методом, а також обумовлених невизначеностями умов зовнішнього морського середовища (наявністю зовнішніх збурень – вітру, хвиль та течій) [5, 6].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Історично першим патентом щодо побудови безекіпажного надводного судна (БНС) був патент Ніколо Тесли у 1898 року [7]. На початку ХХ сторіччя у Німеччині були побудовані радіокеровані БНС, які використовувались у Першій світовій війні [8].

У Другій світовій війні БНС використовувались як засіб доставки вибухівки для знищення надводних кораблів на Середземному морі [9].

Наприкінці ХХ сторіччя в Ізраїлі було створено низку БНС для автоматизації операцій з охорони морського узбережжя та акваторій портів [10, 11].

Генеральний план створення БНС для потреб військово-морського флоту США було розроблено у 2006 році [12], а з 2012 року в рамках європейської програми “MUNIN” розпочались прикладні наукові дослідження щодо розробки концепції керування БНС та оцінки технічної, економічної та правової складових їх використання [13].

У наступні роки у провідних морських країнах світу було започатковано спеціальні проекти з розробки теорії БНС, їх проектуванню і будівництву [14–18]. До таких програм, у першу чергу, можна віднести: проєкт «Advanced Autonomous Waterborne Applications» (AAWA) [19, 20], проєкт “AUTOSEA” [21], проєкт “Hull-to-Hull” [22] та інші проекти і програми, у результаті реалізації яких на сьогодні у всьому світі для науково-дослідницьких завдань, природоохоронних та аварійно-рятувальних морських робіт використовується вже понад 1000 БНС [23–27].

Тому безекіпажні патрульні катери, призначені для моніторингу надводної, підводної та повітряної обстановки акваторій, що охороняються, є перспективним видом морської робототехніки, а розробка систем автоматичного керування ними відноситься до актуальних завдань їх створення.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є розробка узагальненої функціональної схеми системи автоматичного керування (САК) основними режимами роботи безекіпажного патрульного катера як носія засобів морської робототехніки, яка призначена для висвітлення надводної, підводної та повітряної обстановки на захищеній акваторії. Для досягнення поставленої мети необхідно сформулювати множину основних режимів функціонування безекіпажного патрульного катера та множину головних задач, які має реалізувати його система автоматичного керування.

**Методи дослідження.** У процесі роботи використано методологію наукового аналізу науково-технічної літератури для визначення переваг безкіпажної морської техніки і доцільності її створення для задач патрулювання захищених акваторій та основи системного підходу до оцінки безкіпажного патрульного катера як об'єкту керування з позицій цілісної множини відношень і зв'язків між множинами режимів його роботи та головних задач функціонування катера при виконанні морських місій.

**Основні результати та їх обговорення.** Попередній аналіз завдань для БПК, які вони мають виконувати на акваторіях, що охороняються, свідчить про їх різноманіття та складність, оскільки ці завдання включають:

- безпечну автоматичну навігацію (е-навігацію [27]) на акваторіях, для яких характерними є вітро-хвильові збурення і течії та які містять статичні та динамічні навігаційні завади;

- висвітлення морської обстановки в трьох середовищах – надводному, підводному та повітряному, що вимагає оснащення катерів відповідними системами сенсорів та засобами морської робототехніки (для оперативного вимірювання параметрів цих середовищ) і розробки систем автоматизованого та/чи автоматичного керування ними;

- застосування корисного вантажу – бортових засобів морської робототехніки (малорозмірних катерів, підводних апаратів та літальних апаратів коптерного типу) для оперативного обстеження великих за площею акваторій та підвищення продуктивності морських місій БПК;

- оснащення БПК надійними системами зв'язку з береговими центрами керування (для передачі отриманої інформації у реальному часі).

Як об'єкти автоматизації БПК відносяться до морських рухомих об'єктів, яким притаманні високі швидкості руху (50 вузлів і більше) та високі акселеративні характеристики руху.

Крім того, оскільки БПК є носіями інших засобів морської робототехніки, такі катери повинні мати ще дві функціональні властивості:

- можливість позиціонування в точці (для спуску на воду та підйому з води корисного вантажу);

- можливість рухатись з малими швидкостями (3–5 вузлів), які необхідні для застосування корисного вантажу за призначенням (наприклад, для роботи з прив'язними підводними апаратами різних типів).

Зазвичай, БПК застосовуються на морських та річкових акваторіях з обмеженими навігаційними умовами, що вимагає застосування САК великої точності. Часто від САК вимагається рух катера по заданій траєкторії з високою точністю для роботи з деякими видами корисного вантажу (наприклад, з буксированими та самохідними прив'язними підводними апаратами), а також підтримання сталої швидкості руху БПК.

У цілому, виходячи з основних завдань експлуатації БПК та з урахуванням [17] можна сформулювати основні режими його функціонування при повній автоматизації:

- берегова підготовка БПК до виконання місії – автоматичне діагностування виконавчих механізмів БПК  $R_{DBI}$  та автоматизоване діагностування виконавчих механізмів корисного вантажу  $R_{DCI}$  перед початком виконання місії;

- автоматичний чи автоматизований (під керуванням берегового оператора) вихід БПК  $R_{SM}$  у стартову точку маршруту місії;

- автоматичний постійний контроль працездатності  $R_{DW}$  виконавчих механізмів самого БПК та його корисного вантажу у процесі їх застосування за призначенням;

- автоматичний траєкторний рух БПК  $R_{TI}$  під час переходу до робочої акваторії для виконання місії;

– автоматичний чи автоматизований маневровий рух БПК  $R_M$  при його знаходженні в робочій зоні акваторії та/чи автоматична просторова стабілізація нерухомого БПК  $R_S$  на заданій акваторії під час застосування корисного вантажу за його призначенням;

– автоматизоване або автоматичне забезпечення застосування бортового корисного вантажу за призначенням  $R_{AU}$  (наприклад, запуск та прийом безекіпажних літальних апаратів коптерного типу, спуск на воду прив'язних та автономних ненаселених підводних апаратів, керування їх роботою та підйом їх на борт БПК після завершення їх місії);

– автоматичний рух БПК  $R_{NM}$  по траєкторії переходу на нову акваторію чи рух до кінцевої точки маршруту, у якій місія буде завершена;

– автоматичне чи автоматизоване повернення БПК  $R_{FM}$  до бази;

– берегові операції БПК після виконання місії – автоматичне діагностування БПК  $R_{DB2}$  та його корисного вантажу  $R_{DC2}$  після завершення місії.

Таким чином, множина  $R_{UPB}$  основних режимів функціонування БПК містить наступні складові:

$$R_{UPB} = \{R_{DB1}; R_{DC1}; R_{SM}; R_{DW}; R_{TI}; R_M; R_S; R_{AU}; R_{NM}; R_{FM}; R_{DB2}; R_{DC2}\}. \quad (1)$$

Зазначимо, що під час виконання морської частини місії на БПК та його корисний вантаж будуть діяти зовнішні збурення, які можна представити векторами сил вітру  $\vec{F}_{Wn}$ , хвиль  $\vec{F}_{Wv}$  та течії  $\vec{F}_V$ , що діють на конструкції БПК та засобів морської робототехніки, які застосовуються з його борту як носія такої робототехніки. Крім того, при синтезі САК БПК слід враховувати інформацію про виникнення перешкод навігаційного походження (сигнали від стаціонарних навігаційних знаків, сигнали про наявність інших суден та параметри їх руху тощо).

Узагальнюючи все вище сказане, констатуємо, що до головних задач, які висувуються до САК БПК, необхідно віднести:

– задачу  $T_N$  безпечної навігації БПК у режимах  $R_{SM}, R_{TI}, R_M, R_S, R_{AU}, R_{NM}, R_{FM}$ ;

– задачу  $T_E$  автоматичного керування бортовими джерелами енергії БПК (двигунами внутрішнього згоряння чи іншими джерелами енергії);

– задачу  $T_P$  автоматичного керування головними та допоміжними (підрулюючими) рушійними пристроями БПК;

– задачу  $T_R$  автоматичного керування кермовим пристроєм БПК (кермом, насадкою);

– задачу  $T_C$  автоматичного керування корисним вантажем БПК;

– задачу  $T_D$  автоматичного та/чи автоматизованого контролю працездатності) обладнання БПК та його корисного вантажу (режими  $R_{DB1}, R_{DC1}, R_{DW}, R_{DB2}, R_{DC2}$ ).

Множина  $T_{UPB}$  головних задач САК БПК має вигляд:

$$T_{UPB} = \{T_N; T_E; T_P; T_R; T_C; T_D\}. \quad (2)$$

Кожна з цих задач потребує розробки відповідних методів синтезу САК, математичних моделей функціонування та алгоритмічного забезпечення, а також їх практичної апробації. Успішний розв'язок задач множини (2) дасть змогу забезпечити високу ефективність застосування БПК як мобільної платформи для засобів морської робототехніки різних типів, що знаходяться на його борту.

Виходячи з аналізу множини (1) основних режимів функціонування БПК  $R_{UPB}$  та множини (2) головних задач САК БПК  $T_{UPB}$ , можна запропонувати наступну узагальнену функціональну схему системи автоматичного керування БПК (рис. 1).

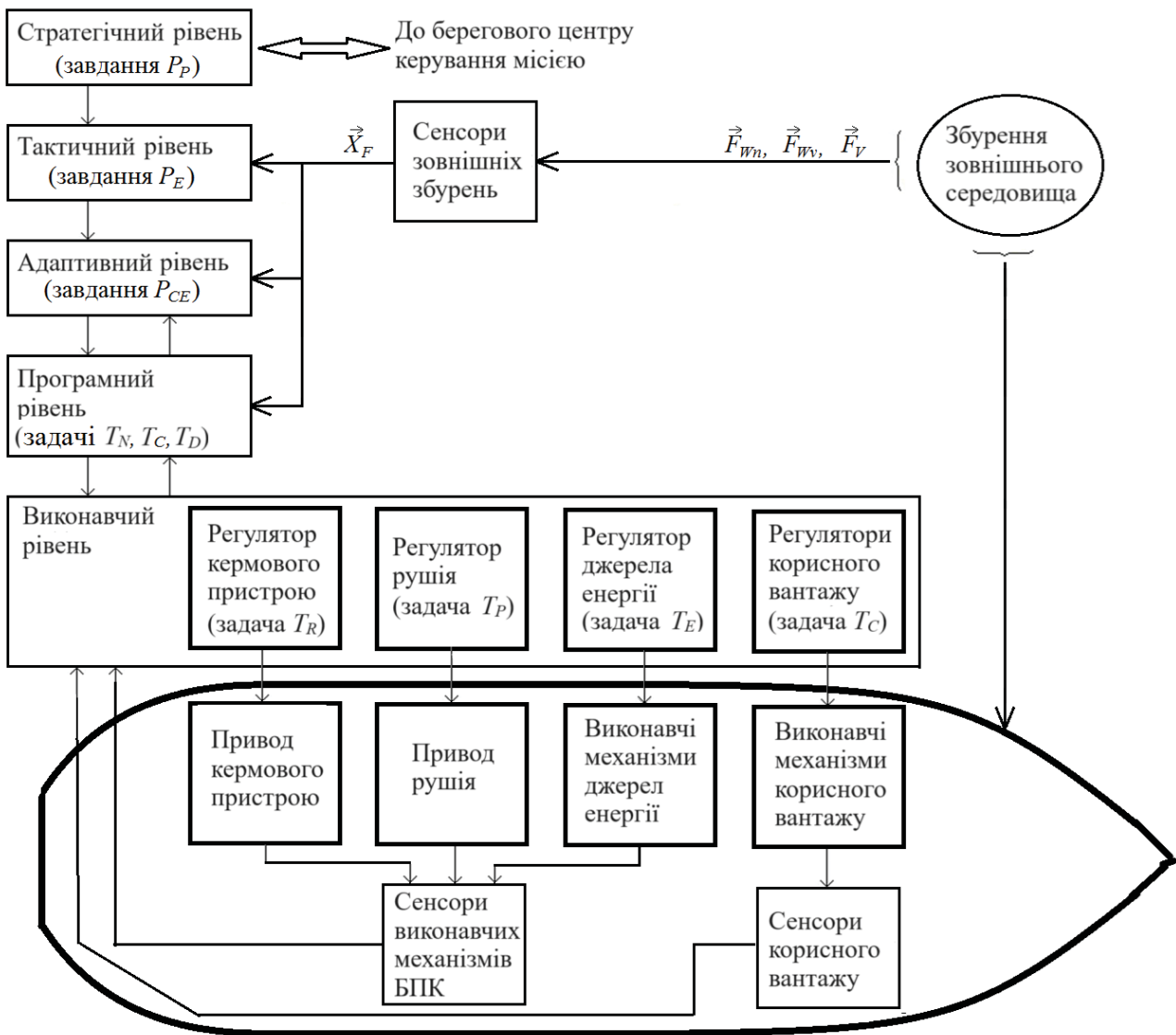


Рисунок 1 – Узагальнена функціональна схема системи автоматичного керування БПК

Як бачимо, узагальнена функціональна схема системи автоматичного керування БПК є багаторівневою і містить п'ять основних рівнів – виконавчий, програмний, адаптивний, тактичний і стратегічний.

Розглянемо вказані рівні більш детально.

Виконавчий рівень реалізує керування окремими виконавчими механізмами БПК та його корисного вантажу в основних режимах його функціонування згідно (1). На цьому рівні відбувається керування приводами кермового та рушійного пристроїв, насосами, компресорами, вентиляторами тощо (задачі  $T_E$ ,  $T_P$ ,  $T_R$ ).

Крім того, на цьому рівні відбувається керування виконавчими механізмами корисного вантажу (задача  $T_C$ ) – приводами пристроїв, які забезпечують його використання за призначенням (приводами автоматичних спуско-піднімальних пристроїв для бортових засобів морської робототехніки, приводами замків та фіксаторів цих засобів, кришок контейнерів та іншого палубного устаткування).

На програмному рівні САК БПК забезпечує керування окремими елементарними операціями, які забезпечують контрольований просторовий рух БНС (задача  $T_N$ ) та керування його корисним вантажем (задача  $T_C$ ). Це реалізується за допомогою вбудованих керуючих програм, які здійснюють узгоджене функціонування виконавчих механізмів БНС та корисного вантажу. Тут виконується аналіз інформації про зовнішнє середовище та поточний технічний стан виконавчих механізмів БНС і корисного вантажу (задача  $T_D$ ), оперативно формуються команди керування, які забезпечують виконання базових

технологічних операцій катера та контроль за їх виконанням. Зазначені команди керування генеруються згідно до поставлених верхніми рівнями завдань (вибір траєкторій просторового руху БПК, планування руху виконавчих механізмів корисного вантажу тощо).

Таким чином, два нижніх рівні функціональної схеми системи автоматичного керування БПК виробляють команди керування для виконавчих механізмів БНС та його корисного вантажу. Для цих рівнів вхідною інформацією є сигнали від стратегічного, тактичного та адаптивного рівнів керування, а також сигнали від системи внутрішнього контролю обладнання катера та корисного вантажу (задача  $T_D$ ), які надходять від відповідних сенсорів контролю технічного стану їх виконавчих механізмів.

Розглянемо тепер сутність завдань, розв'язок яких реалізується на трьох верхніх рівнях керування.

На стратегічному рівні керування морською місією БПК розв'язується первісне завдання – загальне планування місії  $P_p$ . Тут виконуються розрахунки щодо можливостей виконання головних завдань місії – аналіз досяжності заданих робочих акваторій, обґрунтування траєкторій руху БПК та швидкісних режимів, перевірка необхідного енергетичного та інформаційного (комунікаційного та навігаційного) забезпечення місії, а також складаються плани-графіки практичної реалізації місії, включаючи застосування корисного вантажу.

На тактичному рівні з використанням результатів роботи стратегічного рівня виконується завдання  $P_E$  формування траєкторій просторового переміщення БПК та послідовності виконання конкретних робіт згідно до призначення катера та його корисного вантажу. При цьому враховуються можливі обмеження, обумовлені збуреннями зовнішнього середовища – вітро-хвильовими збуреннями, течіями та навігаційними обмеженнями. На цьому рівні складаються детальні плани-графіки використання корисного вантажу згідно його призначенню, які передбачають узгоджену роботу палубного обладнання БПК та, власне, конкретного засобу морської робототехніки, а також обладнання каналу комунікацій з береговим центром керування місією.

На адаптивному рівні керування місією БПК виконується завдання  $P_{CE}$  коригування планів-графіків функціонування катера та його корисного вантажу з урахуванням поточного технічного стану їх виконавчих механізмів (задача  $T_D$ ) та поточних значень зовнішніх збурень на основі інформації від відповідних груп сенсорів. Результатом роботи цього рівня системи керування є оптимальні рекомендовані траєкторії руху виконавчих механізмів катера та його корисного вантажу.

### Висновки

1. На основі аналізу науково-технічної літератури по безекіпажним надводним суднам встановлена актуальність створення безекіпажних патрульних катерів для охорони мілководних морських, річкових та озерних акваторій, на яких розташовані об'єкти морської критичної інфраструктури та проводиться промислово-господарська діяльність держави.

2. Показано актуальність завдання синтезу систем керування безекіпажними надводними суднами, які б забезпечували ефективно та безаварійне використання таких катерів в інтересах держави. Зокрема, показана необхідність одночасного врахування низки вимог, обумовлених режимами роботи та особливостями автоматичного керування виконавчими механізмами таких катерів, які забезпечують його функціонування та використання за призначенням його корисного вантажу.

3. Сформовано множину основних режимів функціонування безекіпажного патрульного катера, яка включає базовий перелік операцій катера, починаючи від автоматичної діагностики обладнання і до застосування корисного вантажу катера за його призначенням.

4. Сформовано множину головних задач, які має реалізувати система автоматичного керування безекіпажним патрульним катером, що охоплює задачі керування виконавчими механізмами катера та його корисного вантажу, задачі безпечної електронної навігації та задачі автоматичного діагностування обладнання катера та корисного вантажу.

5. Запропоновано узагальнену функціональну схему системи автоматичного керування безкіпажним патрульним катером як теоретичну основу для синтезу структури та алгоритмічного забезпечення системи керування катером та його корисним вантажем.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження доцільно проводити у двох основних напрямках:

- синтез структурних схем систем автоматичного керування безкіпажними патрульними катерами, які експлуатуються безвахтовим методом;
- синтез математичного та алгоритмічного забезпечення систем автоматичного керування безкіпажними патрульними катерами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages. <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. Zhixiang Liua, Youmin Zhanga, Xiang Yua, Chi Yuana. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. Annual Reviews in Control, Volume 41, 2016, Pages 71–93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>.

4. Unmanned and Autonomous Ships. An Overview of MASS. By R. Glenn Wright. Published March 24, 2020 by Routledge. 288 Pages.

5. EU-backed Autonomous Shipping Project Moves Forward. (2018). – Marine Linc. Sunday, May 31, 2018. <https://www.marinelink.com/news/eubacked-autonomous-shipping-project-438094>.

6. DEVELOPMENT OF A GOAL-BASED INSTRUMENT FOR MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS). Report of the MSC-LEG-FAL Joint Working Group on Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) on its second session. – International Maritime Organization, 2 May 2023. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/MSC%20107-5-1-Report%20of%20the%20MSC-LEGFAL%20Joint%20Working%20Group.pdf>.

7. Tesla N. Method of and apparatus for controlling the mechanism of moving vessels or vehicles. Patent USA №613, 809. Patented Nov. 8, 1898. <https://russian.rt.com/article/317543-nikola-tesla-zapatentoval-ispolzovanie-voennyh-bespiilotnikov-v>.

8. Tim Benbow. Naval Warfare 1914-1918: From Coronel To The Atlantic And Zeebrugge (The History of World War I). Hardcover – March 1, 2012. 224 Pages. <https://www.amazon.com/Naval-Warfare-1914-1918-Atlantic-Zeebrugge/dp/1906626162/#>.

9. Боргезе В. Десята флотилія МАС. Переклад з італійської С. В. Славіна та Ю. А. Каруліна. М.: Вид-во іноземної літератури, 1957. 281 с.

10. One platform, one complete view of Defence market data. [https://plus.shephardmedia.com/login/?next=https%3A%2F%2Fplus.shephardmedia.com%2Fdetail%2Fprotector-1%2F%3F\\_ga%3D2.181422951.1561353826.1634494976-2061357576.1634494975](https://plus.shephardmedia.com/login/?next=https%3A%2F%2Fplus.shephardmedia.com%2Fdetail%2Fprotector-1%2F%3F_ga%3D2.181422951.1561353826.1634494976-2061357576.1634494975).

11. Protector. Unmanned Surface Vehicle RAFAEL. <https://web.archive.org/web/20070503115143/http://www.defense-update.com/products/p/protector.htm>.

12. U.S. Department of the Navy, The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan, July 23, 2007. [Электронный ресурс] Дата обращения 27.08.2014. URL : <https://www.hsdl.org/?view&did=479083>.

13. Research in maritime autonomous systems. Project results and technology potentials. <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf>.

14. Justin E. Manley. Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development. Battelle Applied Coastal and Environmental Services. (2008). Conference: OCEANS 2008. DOI:10.1109/OCEANS.2008.5152052. <https://www.ieeeoes.org/history/080515-175.pdf>.

15. Vitor A. M. Jorge, Roger Granada, Renan G. Maidana, Guilherme Heck, Alvaro P. F. Negreiros, Davi H. dos Santos, and Alexandre M. Amory. A Survey on Unmanned Surface Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions. *Sensors* 2019, 19(3), 702; [doi.org/10.3390/s19030702](https://doi.org/10.3390/s19030702).

16. Nuno Mathias. Autonomous surface vehicles and the new directions of maritime exploration. *INEGI driving & Innovation*. 01 July 2020. <http://www.inegi.pt/en/news/autonomous-surface-vehicles-and-the-new-directions-of-maritime-exploration/>.

17. Блінцов В. С., Соколов В. В. Сучасні задачі автоматизації керування безкіпажним надводним катером. *Автоматика-2016 : матеріали XXIII Міжнародної конференції з автоматичного управління*. 2016. С. 201–202.

18. Viktor Nadtochii, Andrii Burunin. The tasks of creating an unmanned surface boat for studying the aquatic environment. *Proceedings in ASTI Series (Scopus)*. Mediterranean Geosciences Union. MedGU-23, Istanbul, 25–28 November 2023. 5 pages. <https://2023.medgu.org/>.

19. Rolls Royce : AAWA project introduces the project's first commercial ship operators. <https://www.marketscreener.com/quote/stock/ROLLS-ROYCE-HOLDINGS-PLC-4004084/news/Rolls-Royce-AAWA-project-introduces-the-project-s-first-commercial-ship-operators-22156271/>.

20. Autosea – Sensor fusion and collision avoidance for autonomous surface vehicles. <https://www.ntnu.edu/autosea>.

21. Falco (беспилотный паром). [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Falco\\_%28%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BC%29](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Falco_%28%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BC%29).

22. Berge, Svein P., Hagaseth, Marianne, Kvam, Per Erik, Rinnan, Arne. Hull-to-Hull Concept Supporting Autonomous Navigation. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2598992>.

23. Autonomous Vessels are Becoming a Commercial Reality. <https://www.maritime-executive.com/editorials/autonomous-vessels-are-becoming-a-commercial-reality>.

24. Zhixiang Liua, Youmin Zhanga, Xiang Yua, Chi Yuana. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*, Volume 41, 2016, Pages 71–93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>.

25. Caccia M., Bibuli M., Bono R., Bruzzone, Ga., Bruzzone Gi., Spirandelli E. Unmanned Surface Vehicle for Coastal and Protected Waters Applications: the Charlie Project. *Marine Technology Society Journal*, Volume 41, Number 2, Summer 2007, pp. 62–71(10). DOI: <https://doi.org/10.4031/002533207787442259>.

26. Koji Wariishi. Maritime Autonomous Surface Ships : Development Trends and Prospects – how Digitalization Drives Changes in Maritime Industry. Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute Monthly Report/ September, 2019. 8 Pages. [https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2020/01/09/1909t\\_wariishi\\_e.pdf](https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2020/01/09/1909t_wariishi_e.pdf).

27. Шпаченко О. Електронні навігаційні досягнення через практичний підхід. – *Вісник Держгідрографії*. – 2011. №2 (34), <https://hydro.gov.ua/dl/vdgg/vd034.002.pdf>.

28. Системи керування промисловими робототехнічними комплексами : навчальний посібник / В. С. Блінцов, Ж. Ю. Буруніна, А. В. Надточий, В. А. Надточій ; за ред. В. С. Блінцова. Миколаїв : Іліон, 2022. 156 с.

## REFERENCES

1. Joel Coito (2021). *Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy*. Published by the Stockton Center for International Law.



Volume 97. 49 Pages. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>.

2. Benedict's Maritime Bulletin (2017). The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. <https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>.

3. Zhixiang, Liua, Youmin, Zhanga, Xiang, Yua & Chi, Yuana (2016). Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*, Volume 41, Pages 71–93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>.

4. R. Glenn Wright (2020). Unmanned and Autonomous Ships. An Overview of MASS. *Routledge*. 288 p.

5. EU-backed Autonomous Shipping Project Moves Forward. (2018). – Marine Linc. Sunday, May 31, 2018. <https://www.marinelink.com/news/eubacked-autonomous-shipping-project-438094>.

6. DEVELOPMENT OF A GOAL-BASED INSTRUMENT FOR MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS). Report of the MSC-LEG-FAL Joint Working Group on Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) on its second session. – International Maritime Organization, 2 May 2023. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/MSC%20107-5-1-Report%20of%20the%20MSC-LEG-FAL%20Joint%20Working%20Group.pdf>.

7. Tesla, N. Method of and apparatus for controlling the mechanism of moving vessels or vehicles. Patent USA №613, 809. Patented Nov. 8, 1898. <https://russian.rt.com/article/317543-nikola-tesla-zapatentoval-ispolzovanie-voennyh-bespilotnikov-v>.

8. Benbow, Tim. (2012). Naval Warfare 1914-1918: From Coronel To The Atlantic And Zeebrugge (The History of World War I). Hardcover – March 1, 2012. 224 Pages. <https://www.amazon.com/Naval-Warfare-1914-1918-Atlantic-Zeebrugge/dp/1906626162/#>.

9. Borgeze, V. (1957) Desyataya flotiliya MAS. (S. V. Slavina & Yu. A. Karulina, Trans. in Italian). Moscow: *Izdatelstvo inostrannoi literaturi*. 281 p.

10. One platform, one complete view of Defence market data. [https://plus.shephardmedia.com/login/?next=https%3A%2F%2Fplus.shephardmedia.com%2Fdetail%2Fprotector-1%2F%3F\\_ga%3D2.181422951.1561353826.1634494976-2061357576.1634494975](https://plus.shephardmedia.com/login/?next=https%3A%2F%2Fplus.shephardmedia.com%2Fdetail%2Fprotector-1%2F%3F_ga%3D2.181422951.1561353826.1634494976-2061357576.1634494975).

11. Protector. Unmanned Surface Vehicle RAFAEL. <https://web.archive.org/web/20070503115143/http://www.defense-update.com/products/p/protector.htm>.

12. U. S. (2007). Department of the Navy, The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan, July 23, URL : <https://www.hsdl.org/?view&did=479083>.

13. Research in maritime autonomous systems. Project results and technology potentials. <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf>.

14. Justin E. Manley (2008). Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development. Battelle Applied Coastal and Environmental Services. Conference: *OCEANS 2008*. DOI:10.1109/OCEANS.2008.5152052. <https://www.ieeeoes.org/history/080515-175.pdf>.

15. Vitor A. M. Jorge, Roger Granada, Renan G. Maidana, Guilherme Heck, Alvaro P. F. Negreiros, Davi H. dos Santos, & Alexandre M. Amory (2019). A Survey on Unmanned Surface Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions. *Sensors*, 19(3), 702; [doi.org/10.3390/s19030702](https://doi.org/10.3390/s19030702).

16. Nuno, Mathias (2020). Autonomous surface vehicles and the new directions of maritime exploration. *INEGI driving & Innovation*. <http://www.inegi.pt/en/news/autonomous-surface-vehicles-and-the-new-directions-of-maritime-exploration/>.

17. Blintsov, V. S. & Sokolov, V. V. (2016). Suchasni zadachi avtomatyzatsii keruvannia bezekipazhnym nadvodnym katerom. *Avtomatyka-2016 : materialy XXIII Mizhnarodnoi konferentsii z avtomatychnoho upravlinnia*. Pp. 2012007. 202. [in Ukrainian].

18. Nadtochii, V. & Burunin, A. (2023). The tasks of creating an unmanned surface boat for studying the aquatic environment. Proceedings in ASTI Series (Scopus). *Mediterranean Geosciences Union. MedGU-23*, Istanbul, 25–28 November 2023. 5 pages. <https://2023.medgu.org/>.

19. Rolls Royce : AAWA project introduces the project's first commercial ship operators. <https://www.marketscreener.com/quote/stock/ROLLS-ROYCE-HOLDINGS-PLC-4004084/news/Rolls-Royce-AAWA-project-introduces-the-project-s-first-commercial-ship-operators-22156271/>.
20. Autosea – Sensor fusion and collision avoidance for autonomous surface vehicles. <https://www.ntnu.edu/autosea>.
21. Falco (bespilotnii parom). [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Falco\\_%28%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BC%29](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Falco_%28%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BC%29).
22. Berge, Svein P., Hagaseth, Marianne, Kvam, Per Erik, Rinnan, Arne. Hull-to-Hull Concept Supporting Autonomous Navigation. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2598992>.
23. Autonomous Vessels are Becoming a Commercial Reality. <https://www.maritime-executive.com/editorials/autonomous-vessels-are-becoming-a-commercial-reality>.
24. Zhixiang Liua, Youmin Zhanga, Xiang Yua, Chi Yuana (2016). Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*, Volume 41, Pages 712007. 93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>.
25. Caccia, M.; Bibuli, M.; Bono, R.; Bruzzone, Ga.; Bruzzone, Gi. & Spirandelli, E. (2007) Unmanned Surface Vehicle for Coastal and Protected Waters Applications: the Charlie Project. *Marine Technology Society Journal*, Volume 41, Number 2, pp. 62–71(10). DOI: <https://doi.org/10.4031/002533207787442259>.
26. Koji Wariishi (2019). Maritime Autonomous Surface Ships : Development Trends and Prospects – how Digitalization Drives Changes in Maritime Industry. *Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute Monthly Report*. 8 Pages. [https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2020/01/09/1909t\\_wariishi\\_e.pdf](https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2020/01/09/1909t_wariishi_e.pdf).
27. Shpachenko, O. (2011). Yelektronni navigatsiini dosyagnennya cherez praktichni pidkhid. *Visnik Derzhgidrografii*, 2 (34). <https://hydro.gov.ua/dl/vdgg/vd034.002.pdf> [in Ukrainian].
28. Blintsov, V. S. (Eds.), Burunina, Zh. Yu., Nadtochy, A. V. & Nadtochii, V. A. (2022). Systemy keruvannia promyslovymy robototekhnichnymy kompleksamy. Mykolaiv : *Ilion*. 156 p. [in Ukrainian].

**Nadtochii, V. A., Burunin A. P.** A SYSTEMATIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF AN UNMANNED PATROL BOAT FOR THE PROTECTION OF A SHALLOW WATER PROTECTED AQUARIUM

*Unmanned patrol boats are one of the types of surface vehicles of marine robotics. These buildings implement a wide range of applied security tasks in the shallow water areas that are being protected. The study of scientific problems of their creation relates to the specialty "Automation, computer-integrated technologies and robotics" of the course of study "Electronics, automation and electronic communications". The study is devoted to the development of a general functional diagram of the automatic control system of the main operating modes of an unmanned patrol boat. Such boats are used as carriers of marine robotics equipment designed to illuminate the surface, underwater and wind conditions in protected waters. For the research, the methodology of analysis of scientific and technical literature and the principles of a systematic approach to the development of a range of operating modes for an unmanned patrol boat were used. A set of basic modes of boat operation has been formed, which includes the basic flow of boat operations. The multitude of tasks of the boat control system includes control of the boat's control mechanisms and its useful load, safe electronic navigation and diagnostic tasks. The general functional diagram of the automatic boat control system creates a theoretical basis for the synthesis of algorithmic support for the boat control system and useful equipment.*

**Key words:** *unmanned patrol boat; automatic control system; operating modes; main management tasks; The general functional diagram of the automatic control system is provided.*

© Надточій В. А., Бурунін А. П.

Статтю прийнято до редакції 24.06.2024