

УДК 681.5

DOI 10.31471/1993-9981-2024-2(53)-69-80

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ КОРИСНИМ ВАНТАЖЕМ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО КАТЕРА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

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*

У статті відображено роль безекіпажних надводних катерів у задачах вивчення й використання морського середовища та його захисту від антропогенного впливу. Встановлено, що з кожним роком розширюється перелік корисного вантажу, який використовують з борта таких суден при дослідженні морського середовища. Це вимагає подальшого розвитку і вдосконалення систем автоматичного керування як безекіпажними суднами, так і керування їхнім корисним вантажем. На основі системного підходу до завдань, що виконують безекіпажні надводні судна, запропоновано класифікацію їх корисного вантажу з позицій подальшої автоматизації та показана доцільність його розміщення у спеціальних електрифікованих платформах – автоматичних контейнерах спеціальної конструкції. Запропоновано концепцію модульної автономії для створюваного дослідницького комплексу «Безекіпажний надводний катер – Корисний вантаж», яка передбачає контейнерне транспортування, зберігання і застосування корисного вантажу. Це дає змогу уніфікувати конструкцію палубного обладнання катера та алгоритмічне забезпечення його системи автоматичного керування. Розроблено основні складові конструкції автоматичного контейнера спеціальної конструкції для палубного транспортування, зберігання і застосування підводних апаратів та розроблено узагальнений алгоритм автоматичного керування таким контейнером. Узагальнений алгоритм передбачає автоматичний випуск підводного апарата для виконання місії та його автоматичне повернення на борт катера. Розроблено основні складові конструкції автоматичного контейнера для палубного транспортування, зберігання і застосування одноразового безекіпажного літального апарата коптерного типу та розроблено узагальнений алгоритм автоматичного керування таким контейнером. Показано особливості реалізації концепції модульної автономії при автоматизації корисного вантажу, які мають враховувати контроль гідрокліматичних умов його застосування та необхідність побудови розвинених підсистеми сенсорів та підсистеми автоматичної діагностики обладнання безекіпажного надводного катера та його корисного вантажу. Системи автоматичного керування запропоновано будувати як багаторівневу, яка містить рівень діагностики технічного стану обладнання катера та корисного вантажу, рівень розгортання корисного вантажу у робочий стан, рівень забезпечення застосування корисного вантажу за призначенням, рівень згортання корисного вантажу багаторазового використання у початковий стан.

Ключові слова: безекіпажний надводний катер, корисний вантаж, дослідження морського середовища, система керування, системний підхід.

The role of unmanned surface boats in the tasks of studying and using the marine environment and its protection from anthropogenic impact is shown. It is established that the list of payloads used from the board of such vessels in the study of the marine environment is expanding every year. This requires further development and improvement of automatic control systems for both unmanned vessels and control of their payload. Based on a systems approach to the tasks performed by unmanned surface boats, a classification of their payload from the standpoint of further automation is proposed and the feasibility of its placement in special electrified platforms – automatic containers of a special design is shown. A concept of modular autonomy is proposed for the research complex being created “Unmanned Surface Boat – Payload”, which provides for container transportation, storage and use of the payload. This makes it possible to unify the design of the boat’s deck equipment and algorithmic support for its automatic control system. The main structural components of an automatic container of a special design for deck transportation, storage and use of underwater vehicles have been developed, and a generalized algorithm for automatic control of such a container has been developed. The generalized algorithm provides for the automatic release of the underwater vehicle for mission performance and its automatic return to the boat. The main structural components of an automatic container for deck transportation, storage and use of a disposable unmanned copter-type aerial vehicle have been developed, and a generalized algorithm for the automatic control of such a container has been developed. The features of the implementation of the concept of modular autonomy in payload automation are shown, which should take into account the control of the hydroclimatic conditions of its use and the need to build advanced sensor subsystems and a subsystem for the automatic diagnostics of the equipment of an

which includes a level of diagnostics of the technical condition of the boat equipment and payload, a level of deployment of the payload into working condition, a level of ensuring the use of the payload for its intended purpose, a level of folding the reusable payload into its original state.

Keywords: unmanned surface boat, payload, marine environment research, control system, system approach.

Вступ

Малорозмірні безекіпажні надводні судна – безекіпажні надводні судна набувають все більш широкого застосування при вивченні й використанні морського середовища та його захисті від антропогенного впливу [1]. Очевидно, що основне завдання таких суден у цих морських операціях - бути носієм приладів та інструментів, за допомогою яких, власне, і виконуються дослідження та використання морського середовища в інтересах людства. З позицій проектування такі прилади й інструменти будемо називати корисним вантажем (КВ, в англomовній літературі – payload of the vessel, (PV)).

У зв'язку з постійним розширенням морських операцій та підвищенням їх складності перелік типів корисного вантажу, який використовують з борту безекіпажних надводних суден при дослідженні морського середовища, також зростає [2, 3]. Це вимагає подальшого розвитку і вдосконалення систем керування як безекіпажними суднами, так і систем керування їхнім корисним вантажем.

Крім того, особливості виконання морських досліджень у територіальних водах України диктують необхідність створення і застосування малорозмірних суден – безекіпажних надводних катерів (БНК, в англomовній літературі – unmanned surface boat, UVB), спроможних виконувати широкий спектр морських дослідницьких місій.

У даному дослідженні будемо розглядати задачі автоматизації керування для двох основних видів КВ для БНК – малогабаритних автономних ненаселених підводних апаратів для дослідження підводного середовища (АНПА, в англomовній літературі – Autonomous Underwater Vehicles, AUV) і безпілотних

літальних апаратів коптерного типу (в англomовній літературі – unmanned aerial vehicles, UAV) – для дослідження повітряного морського середовища.

Мета роботи – аналіз особливостей автоматичного керування корисним вантажем малорозмірного судна – безекіпажного надводного катера як складової завдання його повної автоматизації, а також розробка складу обладнання та узагальнених алгоритмів керування основними видами корисного вантажу такого судна.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Попередні дослідження у напрямку систем керування безекіпажних надводних суден, в основному, стосувалися їх електронної навігації та керування просторовим рухом [4]. Дослідження систем керування їх корисним вантажем на цей час вкрай обмежені [5].

Попередній аналіз публікацій дає змогу констатувати, що питання автоматизації КВ для БНК знаходяться на початковій фазі їх дослідження і розробки.

Так, технічні рішення провідної фірми у галузі підводної техніки «ECA GROUP» [6] являють собою громіздкі рамні конструкції та потребують ручного керування палубною командою науково-дослідного судна.

У роботі [7] наведено детальний огляд літератури щодо сучасних методик наведення стикування АНПА з підводним контейнером, визначаються їх відносні переваги та недоліки. Але повний цикл спуску та підйому контейнера у роботі не розглядається.

У статті [8] обговорюються рішення, які дають змогу АНПА повертатися до підводного контейнера (док-системи), механічно закріпитися, передати дані та отримати підзарядку бортових акумуляторів. Однак задачу автоматичного

спуску і підйому АНПА з контейнером автори не розглядають.

Публікації [9, 10] присвячені розробці системи підводного стикування АНПА, яка поєднує в собі інтелектуальне розпізнавання об'єктів і глибоке навчання на основі принципу глибокого підкріплення (Deep Reinforcement Learning approach). Однак питання повної автоматизації процесу випуску і повернення АНПА на борт судна у статті не розглядається.

Найбільш повне рішення проблеми автоматичного спуску та підйому АНПА міститься у патенті [11], де група підводних апаратів закріплюється у контейнері барабанного типу і послідовно випускається у воду для виконання групової місії. Недоліком такого технічного рішення є відсутність, власне, контейнера як місця тривалого зберігання АНПА з системою клімат-контролю, а також складність повернення АНПА на БНК після виконання місії.

Щодо автоматизації застосування, на цей час основні публікації присвячені розвитку ідеї «Drone-in-a-box» для транспортування і використання безпілотних літальних апаратів – квадрокоптерів, та опису варіантів конструкції транспортних кейсів для них. Значна кількість таких кейсів уже ринково доступна.

Так, у [12-14] пропонуються варіанти транспортних кейсів для дронів у вигляді рюкзака чи ручної валізи. Однак такі кейси призначені тільки для зберігання дронів і не придатні для застосування в автоматичному режимі експлуатації.

Більш перспективним для завдань автоматизації є конструкція «Dronehub» [15], яка являє собою автоматичний контейнер, що забезпечує такі операції, як запуск дрона та його приземлення, процес зарядки акумулятора дрона. Контейнер оснащений клімат-контролем і метеостанцією, тому він може працювати за всіх погодних умов, що робить його ідеальним для використання у польових

умовах. Інтелектуальне керування батареями підтримує оптимальну температуру батарей дрона, значно подовжуючи термін їх служби та продуктивність під час польоту.

Проте конструкція контейнера не герметична, і тому його не можна використовувати у морських умовах.

Ще один варіант конструкції автоматичного контейнера для дрона, призначеного для моніторингу процесів дорожнього руху, наведено у [16]. Конструкція являє собою док-станцію, є міцною, надійною та створеною для цілодобового застосування. Кожна док-станція забезпечує автоматичний зліт дрона, його приземлення та заряджання. Одна док-станція DJI важить менше 105 кг і займає площу менше 1 квадратного метра. Для налаштування потрібна лише фіксація на землі, доступ до живлення, інтернету та швидке налаштування за допомогою пульта дистанційного керування.

Однак конструкція док-станції не передбачає її використання в умовах морської хитавиці та заливання хвилями.

У матеріалі [17] описано конструкцію коробки для дрона, у якій він може автоматично заряджатися, а сама коробка служить платформою для зльоту та посадки дрона. Коробка стійка до вологи, легка і компактна, має пристрій для фіксації дрона після його посадки, не потребує складного технічного обслуговування.

Проте конструкція коробки не герметична і не призначена для експлуатації у морському середовищі.

Аналіз оглядового матеріалу [18-20] показує, що незважаючи на суттєві досягнення у напрямку створення і застосування автоматичних контейнерів для дронів, їх конструкції не призначені для використання у морських умовах.

Формування цілей статті

Аналіз особливостей виконання морських досліджень у територіальних водах України вказує на необхідність

створення і застосування малорозмірних суден-роботів – безекіпажних надводних катерів, спроможних виконувати широкий спектр морських дослідницьких місій. Такі судна мають бути носіями широкого спектру обладнання для досліджень водного та повітряного середовища морської акваторії.

Повна автоматизація БНК вимагає розробки систем керування його корисним вантажем – підводними і повітряними апаратами-роботами.

Ефективна автоматизація КВ можлива на основі концепції модульної автономії для створюваного роботизованого дослідницького комплексу «БНК – КВ».

При цьому морське транспортування, зберігання і застосування КВ доцільно виконувати з використанням автоматичних контейнерів спеціальної конструкції.

Завдання автоматизації таких контейнерів належить до актуальних завдань повної автоматизації безекіпажних надводних катерів і передбачає розробку конструкції та алгоритмів керування такими об'єктами, що і є головною метою даної статті.

Висвітлення основного матеріалу статті

Виходячи з принципів системного підходу [21] при аналізі сучасного стану автоматизації традиційних і безекіпажних надводних суден науково-дослідницького призначення, корисний вантаж таких суден пропонується класифікувати у вигляді двох великих груп:

- групи G_D КВ палубного зберігання і використання (в англomовній літературі – deck storage and use);

- групи G_C КВ контейнерного зберігання і використання (в англomовній літературі – container storage and use).

Першу групу утворюють:

- автономні ненаселені підводні апарати, G_{D-AUV} як носії вимірювальних приладів [22];

- прив'язні самохідні (в англomовній літературі – Remotely Operated Vehicles) G_{D-ROV} підводні апарати як носії

вимірювальних приладів та пробовідбірників води та ґрунту [23];

- прив'язні буксировані (в англomовній літературі – Towed Underwater Vehicles) G_{D-TUV} підводні апарати як носії вимірювальних приладів [24];

- опускні прилади і системи (в англomовній літературі – lowering devices and system, LDS) G_{D-LDS} для вимірювання гідрофізичних та гідрохімічних параметрів водного середовища [25].

Другу групу утворюють:

- безпілотні літаючі апарати G_{C-UAV} (зазвичай, коптерного типу) [26];

- метеозонди G_{C-WB} (в англomовній літературі – Balloon-borne) (гумові або пластикові кулі, які перед застосуванням автоматично заповнюються воднем або гелієм) [27].

КВ першої групи розміщуються на палубі БНК у спеціальних механізованих ложементів і призначені для вивчення підводного середовища, включаючи і донну поверхню. Такий КВ оснащений сенсорами гідрофізичних і гідрохімічних параметрів морського середовища, підводними фото- і відеокамерами, пробовідбірниками води і ґрунту, гідроакустичними та магнітометричними приладами, підводними маніпуляторами тощо. КВ такої групи, зазвичай, є багаторазовими і такими, що мають повертатись до БНК після завершення підводної місії.

КВ другої групи призначені для вивчення атмосфери над морем, оснащені фото-, відео- та іншою науковою апаратурою і є одноразовим обладнанням, яке не повертається до БНК після виконання місії, або багаторазовим обладнанням, яке повертається до БНК і є придатним для подальшого багаторазового застосування. Вони транспортуються безекіпажним судном до місця призначення у спеціальних контейнерах, які забезпечують їм необхідні кліматичні та механічні умови зберігання та автоматичне застосування за призначенням.

Зазначимо, що на цей час у якості носіїв цих груп КВ застосовуються традиційні науково-дослідні судна значних розмірів, які мають можливість розмістити велику кількість КВ різного призначення [28].

Сучасні задачі дослідження територіальних вод України вимагають масового застосування малорозмірних безкіпажних суден – безкіпажних надводних катерів довжиною від 5 до 20 метрів. Такі катери мають обмежену вантажомісткість і тому можуть одночасно перевозити обмежену кількість змінного КВ. Це обумовлює необхідність уніфікації КВ з позиції їх дистанційного керування та створення БНК, які здатні бути носіями широкого спектру змінного КВ різного призначення.

Одним з можливих шляхів такої уніфікації є перехід до контейнерного зберігання КВ (група G_C) та до уніфікації палубного обладнання для роботи з цими контейнерами.

Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що на сьогодні створення контейнерів та пускових установок для засобів морської робототехніки розробляється для великих підводних апаратів і тільки за умов наявності людини-оператора. Для БНК це неприйнятно, оскільки такі катери функціонують виключно автоматично.

Тому автори пропонують концепцію модульної автономії для створюваного морського дослідницького комплексу «БНК – КВ» як морського робота, який має у своєму складі змінний КВ широкої номенклатури. Сутність концепції полягає у створенні типорозмірного ряду КВ підводного та повітряного використання, які транспортуються та експлуатуються з борту БНК за допомогою автоматичних контейнерів спеціальної конструкції (АКС). Причому конструкція КВ та процеси керування ним уніфіковані з метою спрощення програмного та апаратного забезпечення і підвищення надійності функціонування обладнання катера та КВ.

Розглянемо склад обладнання АКС та особливості автоматичного керування ним більш детально на прикладах контейнерів для КВ двох типів: G_{D-AUV} та G_{C-UAV} .

Для G_{D-AUV} автоматичний контейнер АКС $_{D-AUV}$, у якому розміщується затискач з АНПА, розміщується на палубі БНК разом з його вантажним пристроєм маніпуляційного типу (ВПМ). ВПМ призначений для автоматичного вивантаження платформи з затискачем та з АНПА у робочу зону підводного простору БНК перед початком місії, випуску АНПА з платформи з затискачем для виконання підводної місії, приймання АНПА до платформи з затискачем після завершення місії та її повернення на палубу БНК до АКС $_{D-AUV}$ після завершення місії.

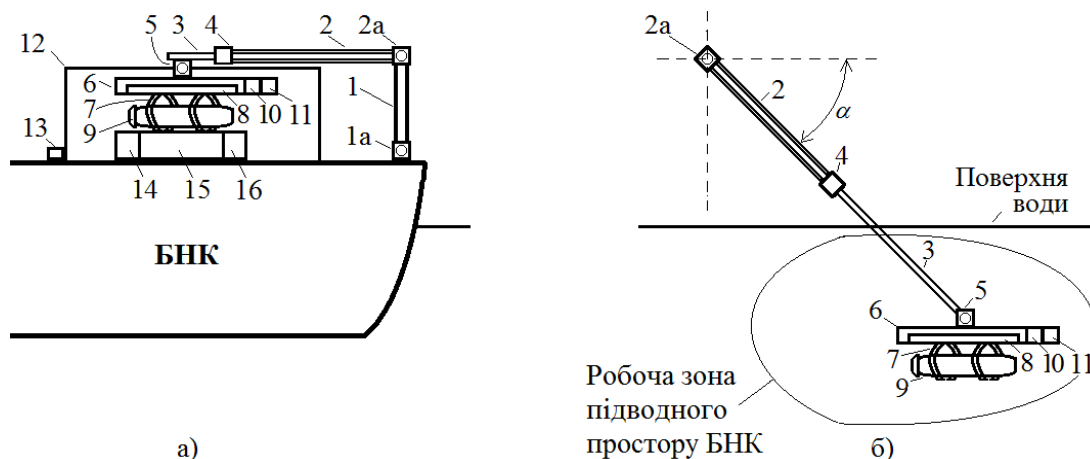
Очевидно, що ступінь захисту АКС $_{D-AUV}$ має бути не нижче IP56 (пилозахисний, захищений від морських хвиль).

Основні складові комплексу «ВПМ – АКС $_{D-AUV}$ » для G_{D-AUV} показано на рис. 1, а фаза вивантаження платформи з затискачем та з АНПА у робочу зону підводного простору БНК перед початком місії показана на рис. 1, б.

Конструктивно ВПМ представляє собою дволанковий вантажний механізм, перша ланка 1 якого спирається на поворотну по вертикалі основу з приводом 1а, а друга ланка 2 має телескопічну структуру і з'єднана з ланкою 1 за допомогою шарніра 2а з приводом. Шарнір 2а забезпечує дві керовані ступені рухливості для першої ланки 1 ВПМ – поворот навколо вертикальної осі першої ланки 1 на 360° і нахил вниз на кут α .

Висувна частина 3 другої ланки 2 має можливість виконувати поздовжній рух за допомогою привода 4.

На кінці висувної частини 3 другої ланки 2 знаходиться шарнір з приводом 5, який прикріплений до платформи 6 з затискачем 7 та його приводом 8, що утримує корпус АНПА 9 при його знаходженні всередині АКС та під час автоматичного переміщення АНПА у робочу зону підводного простору БНК.

Рисунок 1 – Основні складові комплексу «ВПМ – АКС_{D-AUV}» для G_{D-AUV}

Платформа 6 містить також систему сенсорів її просторового положення під водою 10 та навігаційний маяк 11 (гідроакустичний чи оптичний) для автоматичного приведення АНПА до платформи 6 після виконання підводної місії.

До складу АКС_{D-AUV} входять:

- зовнішній корпус 12 з розташованими боковими стулками (на рис. 1 не показані), які автоматично розкриваються за допомогою системи приводів 13 для виконання операції вивантаження на правий чи лівий борт БНК платформи 6 разом з затискачем 7 і АНПА 9 перед початком місії та закриваються після прийому платформи з АНПА всередину АКС_{D-AUV} після завершення місії;

- розташовані всередині АКС_{D-AUV} система локального керування 14 обладнанням контейнера, затискач з приводом 15 для фіксації положення АНПА «по-похідному», а також система клімат-контролю 16 всередині контейнера.

Узагальнений алгоритм функціонування системи автоматичного керування комплексом «ВПМ – АКС_{D-AUV}» для G_{D-AUV} як складова алгоритму автоматичного керування БНК при виконанні ним місії дослідження морського середовища наведено на рис. 2.

Дамо опис окремих блоків алгоритму у порядку їх нумерації.

Б1 – ініціалізація програми використання комплексу «ВПМ – АКС_D

АУВ» для виконання підводної місії; тут у бортовий контролер АНПА завантажується код програми заданої місії, яку має виконати АНПА, а до системи керування ВПМ – програма його роботи, яка враховує вітро-хвильові збурення та положення БНК відносно них.

Б2, Б3 – передстартова автоматична діагностика технічного стану виконавчих механізмів усіх складових комплексу «ВПМ – АКС»; тут на основі вбудованих сенсорів у автоматичному режимі перевіряється технічний стан виконавчих механізмів ВПМ та стан готовності АНПА до виконання місії.

Б4 – розкривання бокових стулок АКС; тут за допомогою системи приводів 12 ліва і права стулки зміщуються спочатку, відповідно, вліво і вправо, вивільняючи шарнір з приводом 5, а потім зміщуються вперед, що забезпечує можливість подальшого кругового руху ланки 2 з платформою 6, затискачем 7 і АНПА 9 над палубою БНК.

Б5 – переведення АНПА з положення «по-похідному» у положення «робоче» у результаті спрацювання затискача з приводом 14.

Б6 – робота шарніра з приводом 2а, що забезпечує поворот ланки 2 ВПМ з платформою 6, затискачем 7 і АНПА 9 навколо вертикальної осі першої ланки 1; у результаті цього руху платформа з АНПА повертається на кут 180° і знаходиться над робочою зоною підводного простору БНК.

Б7, Б8 – одночасна робота шарніра з приводом 2а (нахил ланки 2 вниз на заданий кут α) і привода 4 (поздовжній рух висувної частини 3 другої ланки 2); у результаті цих рухів платформа 6 разом з затискачем 7 і АНПА 9 потрапляє у робочу зону підводного простору БНК (рис. 1, б).

Б9, Б10 – одночасна робота привода 8 затискача 7 і механізмів руху АНПА (його рушійного пристрою та/або баластної системи); у результаті роботи цих механізмів затискач вивільняє АНПА для самостійного керованого руху, а АНПА відходить від платформи 6 для початку виконання підводної місії.

Б11, Б12 – одночасна робота шарніра з приводом 2а (підйом ланки 2 до значення кута $\alpha=0$ і привода 4 (поздовжній рух висувної частини 3 другої ланки 2 у зворотному напрямку); у результаті цих рухів платформа 6 разом з затискачем 7 знаходиться над робочою зоною підводного простору БНК, причому висувна частина 3 другої ланки 2 знаходиться у початковому положенні.

Б13 – робота шарніра з приводом 2а, що забезпечує поворот ланки 2 ВПМ з платформою 6 і затискачем 7 навколо вертикальної осі першої ланки 1у положення над АКС.

Б14 – закривання стулків АКС, для чого система приводів 12 зміщує ліву і праву ступки назад, а далі, відповідно, вліво і вправо, ущільнюючи шарнір з приводом 5, що забезпечує для АКС_{D-AUV} ступінь захисту IP56.

Б15 – автоматична діагностика технічного стану виконавчих механізмів усіх складових комплексу «ВПМ – АКС» (крім АНПА).

Очевидно, що в основному алгоритм повернення АНПА на борт БНК буде схожим з вищеописаним алгоритмом. Особливістю цієї частини узагальненого алгоритму є приведення АНПА до платформи 6 за допомогою навігаційного маяка. При цьому платформа 6 має знаходитись у робочій зоні підводного простору в результаті виконання блоків Б1 – Б8.

Опишемо цю частину узагальненого алгоритму більш конкретно, вважаючи, що затискач 7 знаходиться у відкритому стані та готовий до прийому АНПА.

Блоки алгоритму повернення АНПА на борт БНК, які будуть відрізнятись від однойменних на рис. 2, будемо позначати літерою «Ф».

БФ9 – включення навігаційного маяка як маркера знаходження платформи 6 для системи наведення АНПА.

БФ10 – автоматичний підхід АНПА у зону роботи затискача 7 платформи 6 та спрацювання затискача 7 на фіксацію АНПА на платформі 6.

БФ15 – автоматична діагностика технічного стану виконавчих механізмів усіх складових комплексу «ВПМ – АКС».

Описаний узагальнений алгоритм може бути основою для синтезу системи автоматичного керування процесом використання АНПА згідно з концепцією модульної автономії дослідницького БНК.

Очевидно, що для кожної складової групи G_D КВ палубного зберігання і використання має бути розроблено окремий тип АКС, який має враховувати особливості конструкції та використання відповідного КВ цієї групи.

Розглянемо тепер склад обладнання та особливості автоматичного керування АКС для G_{C-UAV} . Такий контейнер також знаходиться на палубі БНК, але не потребує додаткового палубного обладнання при експлуатації.

Зазначимо, що у науково-технічній літературі наводяться відомості лише про контейнери для UAV, які передбачають тільки ручні операції та сухопутне використання [18-20].

Тому, виходячи з пропонованої концепції модульної автономії та враховуючи розробки наукової школи «Підводна техніка» Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, автори пропонують новий підхід до розробки і створення АКС G_{C-UAV} , який передбачає повну автоматизацію процесів транспортування,

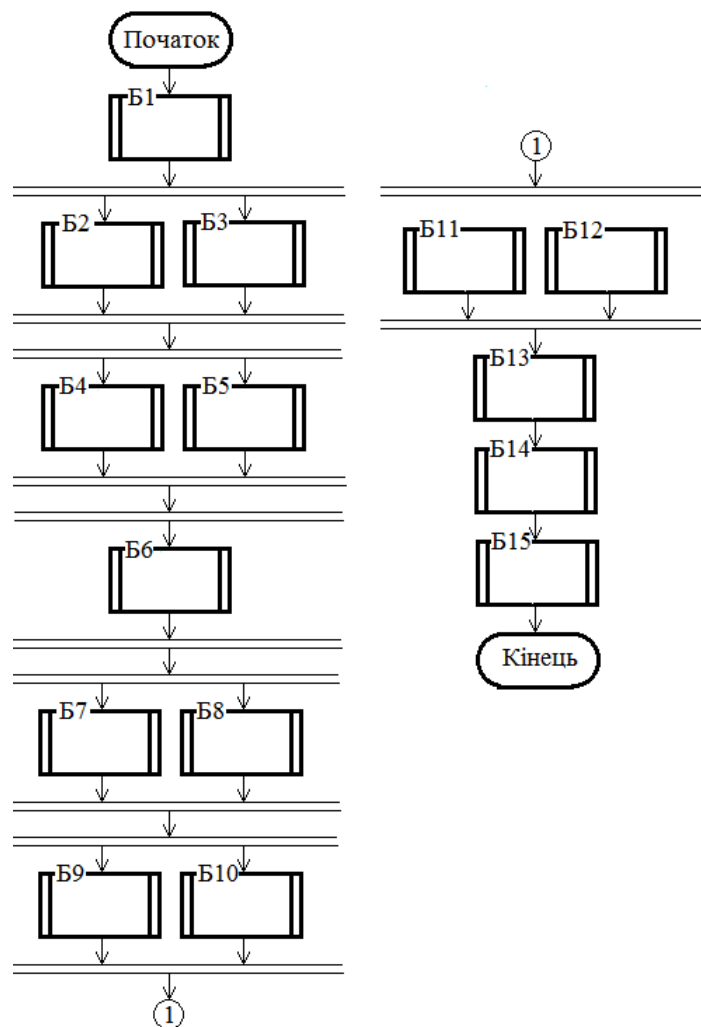


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм керування процесом випуску АНПА для виконання місії дослідження морського середовища

зберігання і застосування КВ типу одноразового UAV типу «коптер».

Конструктивно до складу такого АКС G_{C-UAV} входять (див. рис. 3):

зовнішній герметичний корпус 1 АКС з розташованою у його верхній частині кришкою 2, яка автоматично відкривається для випуску коптера з АКС;

розташовані у корпусі АКС виконавчий механізм 3 відкривання/закривання кришки АКС, механізм 4 висування ложементу 5 з коптером 6 та його фіксатором у положенні «по-похідному» 7, система 8 клімат-контролю для коптера, система 9 автоматичного керування коптером, система 10 живлення коптера, система 11 автоматичної діагностики коптера і технічного стану виконавчих механізмів і систем АКС.

Узагальнений алгоритм керування процесом випуску коптера для дослідження атмосфери над морем має наступні блоки:

Б1 – ініціалізація програми використання комплексу «ВПМ – АКС G_{C-UAV} » для виконання надводної місії; тут у бортовий контролер коптера завантажується код програми заданої місії, яку він має виконати, а до системи керування ВПМ – програма його роботи, яка враховує вітро-хвильові збурення та положення БНК відносно них.

Б2, Б3 – передстартова автоматична діагностика технічного стану виконавчих механізмів усіх складових комплексу «ВПМ – АКС G_{C-UAV} »; тут на основі вбудованих сенсорів у автоматичному режимі перевіряється технічний стан

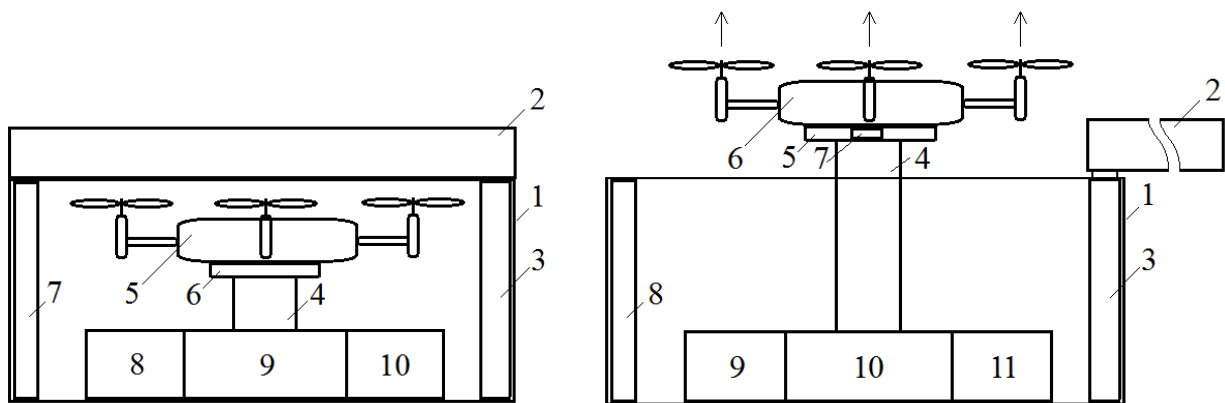


Рисунок 3 – Основні складові АКС G_{C-UAV} :
 а – АКС у режимі «по-похідному»; б – АКС у режимі випуску коптера

виконавчих механізмів ВПМ та стан готовності коптера до виконання місії.

Б4 – розкривання кришки 2 АКС; тут за допомогою виконавчого механізму 3 кришка 2 АКС спочатку піднімається на деяку висоту над корпусом 1, у результаті чого відбувається розгерметизація АКС, а потім розвертається на 180° відносно вертикальної осі виконавчого механізму 3, у результаті чого звільняється вертикальний простір над АКС для безперешкодного злету коптера.

Б5 – висування ложементу 5 з коптером 6 та його фіксатором 7 у верхнє (над корпусом 1) положення за допомогою механізму 4 (див. рис. 3, б).

Б6 – переведення коптера з положення «по-похідному» у положення «робоче» у результаті спрацювання фіксатора 7.

Б7 – зліт коптера.

Б8 – переведення ложементу 5 з фіксатором 7 у нижнє (початкове) положення за допомогою механізму 4.

Б9 – закривання кришки 2 АКС; тут за допомогою виконавчого механізму 3 кришка 2 АКС спочатку розвертається на 180° відносно вертикальної осі виконавчого механізму 3, у результаті чого вона займає положення «над корпусом 1», а потім опускається вниз і, таким чином, герметично закриває корпус АКС.

Б10 – автоматична діагностика технічного стану виконавчих механізмів усіх складових АКС G_{C-UAV} (крім коптера).

Таким чином, узагальнюючи наведені варіанти автоматичного керування комплексом «ВПМ – АКС $_{D-AUV}$ » та АКС G_{C-UAV} , відзначимо, що концепція модульної автономії вимагає при синтезі систем керування БНК та його КВ урахування наступних особливостей:

- контроль гідрокліматичних умов застосування КВ – вітрових збурень, хвилювання морської поверхні тощо;
- необхідність побудови розвинених підсистем автоматичної діагностики всього обладнання БНК та його палубного устаткування;
- необхідність узгодженого керування просторовим положенням і динамікою БНК та його палубним устаткуванням і КВ відповідного типу.

Таку систему керування пропонується будувати як багаторівневу, яка включає наступні рівні:

- рівень діагностики технічного стану БНК, палубного обладнання та КВ;
- рівень розгортання корисного вантажу у робочий стан;
- рівень забезпечення застосування корисного вантажу за призначенням;
- рівень згортання корисного вантажу багаторазового використання у початковий стан.

Важливою складовою синтезу систем керування комплексом «БНК – КВ» є обґрунтований вибір системи сенсорів, які генерують інформацію про технічний стан

та про поточне положення всіх виконавчих механізмів такого комплексу як об'єкт керування.

Таким чином, запропоновані два варіанти АКС та узагальнені алгоритми керування ними свідчать про можливість і доцільність практичної реалізації концепції модульної автономії комплексу «БНК – КВ» для широкого спектру задач роботизованого дослідження морського середовища.

Висновки

1. Показана можливість застосування безекіпажних надводних катерів, оснащених широким переліком корисного вантажу дослідницького призначення, для вивчення морського підводного та повітряного середовищ.

2. На основі системного підходу до завдань, що виконують безекіпажні надводні судна, запропоновано класифікацію їх корисного вантажу та показана доцільність його розміщення у спеціальних електрифікованих платформах – автоматичних контейнерах спеціальної конструкції.

3. Запропоновано концепцію модульної автономії для створюваного дослідницького комплексу «Безекіпажний надводний катер – Корисний вантаж», яка передбачає контейнерне транспортування, зберігання і застосування корисного вантажу і дає змогу уніфікувати конструкцію палубного обладнання катера та алгоритмічне забезпечення його системи автоматичного керування.

4. Розроблено основні складові конструкцій автоматичних контейнерів спеціальної конструкції для палубного транспортування, зберігання і застосування підводних і повітряних апаратів-роботів та розроблено узагальнені алгоритми керування ними як теоретичну основу ефективного використання таких засобів морської робототехніки для дослідження морського середовища.

5. Успішний розв'язок прикладної наукової задачі автоматичного керування комплексом «Безекіпажний надводний

катер – Корисний вантаж» дасть змогу оснастити державні морські дослідницькі організації сучасними засобами морської робототехніки, що забезпечить виконання державних та галузевих програм вивчення та освоєння морського середовища.

Список використаних джерел / References

1. Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Chi Yuan. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*. 2016. Vol. 41. P. 71-93. DOI: [10.1016/j.arcontrol.2016.04.018](https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018)
2. Seagoing Tools of Oceanography. U.S. National Science Foundation. URL: <https://www.nsf.gov/geo/oce/whatis/tools.jsp>
3. Exploration Tools. National Oceanic and Atmospheric Administration. URL: <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/technology.html>
4. Baldauf M., Kitada M., Raza Ali Mehdi, Dalaklis Dimitrios. E-Navigation, Digitalization and Unmanned Ships: Challenges for Future Maritime. *Education and Training*. Proceedings of INTED2018 Conference 5th-7th March 2018, Valencia, Spain. Conference Paper, March 2018. P.9525-9530. DOI: [10.21125/inted.2018.2374](https://doi.org/10.21125/inted.2018.2374)
5. Manuel A., Ramos R., Olivar G. and oth. Automatic measurement in the oceanographic vessel Hesperides. Conference: Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001. IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE. Vol. 1. DOI: [10.1109/IMTC.2001.928841](https://doi.org/10.1109/IMTC.2001.928841)
6. A18D / AUV / Autonomous Underwater Vehicle. URL: https://www.ecagroup.com/en/solutions/a18-d-auv-autonomous-underwater-vehicle?gad_source=1&gclid=EA1aIQobChMliZyM4MWcigMVTVWRBR0iYT2HEAAYASAAEgJqWPD_BwE
7. Yazdani A.M., Sammut K., Yakimenko O., Lammas A.. A survey of underwater docking guidance systems. *Robotics and Autonomous Systems*. 2020. Vol. 124. DOI: [10.1016/j.robot.2019.103382](https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.103382)

8. R. Stokey et al. A docking system for REMUS, an autonomous underwater vehicle. *Oceans '97. MTS/IEEE Conference Proceedings*, Halifax, NS, Canada, 1997. Vol. 2. P. 1132-1136. DOI: [10.1109/OCEANS.1997.624151](https://doi.org/10.1109/OCEANS.1997.624151)
9. Palomeras N., Ridao P. Autonomous Underwater Vehicle Docking Under Realistic Assumptions Using Deep Reinforcement Learning. *Drones*. 2024. Vol. 8(11). P. 673. DOI: [10.3390/drones8110673](https://doi.org/10.3390/drones8110673)
10. Chao-Ming Yu, Yu-Hsien Lin. The docking control system of an autonomous underwater vehicle combining intelligent object recognition and deep reinforcement learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Volume 139, Part A, January 2025. 109565. DOI: [10.1016/j.engappai.2024.109565](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109565)
11. Autonomous underwater vehicle (AUV) deployment device. Patent China CN102826210B. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/77/59/1f/2dc2d44468213f/CN102826210B.pdf>
12. Case DJI Avata. URL: https://for-extreme.com.ua/ua/accesories/bags_cases/startrc-1118711-plastikovij-kejs-dji-avata?gc_lid=EAIaIQobChMI0K2SsPYigMVPxSiAx2FtAP_EAQYCCABegIM3vD_BwE&keyword=&utm_source=google&utm_medium=cpc [in Ukrainian]
13. Waterproof rack for DJI Mavic 2 Pro / Mavic 2 Pro. URL: https://aliexpress.ru/item/1005005949758705.html?sku_id=12000034989013274&spm=a2g2w.productlist.search_results.17.5cc93f68i9Y6yl
14. Водонепроникний протиударний рюкзак для портативної сумки для зберігання дрона DJI Neo. URL: https://aliexpress.ru/item/1005007727831100.html?spm=a2g2w.productlist.rcmdprod.4.5cc93f68i9Y6yl&sku_id=12000042006655170
15. Dronehub is the autonomous game-changer for inspection and monitoring. URL: <https://dronehub.ai/>
16. DJI Docks. For Roads Less Traveled. URL: <https://enterprise.dji.com/dock>
17. Drone in a box with lightweight and maintenance-free motion plastics. URL: <https://www.igus.com.ua/info/drone-in-a-box>
18. Best Drone Docks in 2024. URL: <https://www.flytbase.com/blog/djicompatiblere-docking-stations>
19. Drone Docking System. Updated: November 22, 2024. URL: <https://xray.greyb.com/drones/docking-system-for-drones>
20. Grlj C.G., Pranjić M. A Decade of UAV Docking Stations: A Brief Overview of Mobile and Fixed Landing Platforms. *Drones*. 2022. Vol. 6(1). P. 17. DOI: [10.3390/drones6010017](https://doi.org/10.3390/drones6010017)
21. 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](https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00878)
22. Fabiana Di Ciaccio, Salvatore Troisi. Monitoring marine environments with Autonomous Underwater Vehicles: A bibliometric analysis. *Results in Engineering*. 2021. Vol. 9. 100205. DOI: [10.1016/j.rineng.2021.100205](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100205)
23. How Subsea Remotely Operated Vehicles (ROVs) Work For Ocean Research. – SubCImaging. URL: <https://www.subcimaging.com/case-studies/how-subsea-remotely-operated-vehicles-rovs-work-for-ocean-research>
24. Blintsov O., Sokolov V., Korytskyi V. Synthesis of precise automatic control system of a second order object in uncertainty conditions. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14, Issue 6. P. 1218–1228. URL: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0319_7671.pdf
25. Jacopo Aguzzi, Laurenz Thomsen, Sascha Flögel and others. New Technologies for Monitoring and Upscaling Marine Ecosystem Restoration in Deep-Sea Environments. *Engineering*. 2024. Vol. 34. P. 195-211. DOI: [10.1016/j.eng.2023.10.012](https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.10.012)

26. Miguel Álvarez-González, Paula Suarez-Bregua, Graham J. Pierce and Camilo Saavedra. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Marine Mammal Research: A Review of Current Applications and Challenges . *Drones* 2023. Vol. 7(11). 667. DOI: [10.3390/drones7110667](https://doi.org/10.3390/drones7110667)

27. Balloon-borne surveys of the atmosphere. King Abdullah University of Science and Technology. 2015. URL: <https://www.kaust.edu.sa/en/news/balloon-borne-surveys-of-the-atmosphere>

28. Research vessel. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Research_vessel

**AUTOMATION OF PAYLOAD CONTROL
OF AN UNCREWED SURFACE BOAT
FOR RESEARCH OF THE MARINE
ENVIRONMENT**

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