

## ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНО-ПІДВОДНОГО КАТЕРА ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ

Бурунін А. П., аспірант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна, e-mail: splashbox98@gmail.com, ORCID: 0009-0005-1017-9766.

Метою роботи є доповнення чинної класифікації морських безкіпажних апаратів шляхом внесення до неї безкіпажних надводно-підводних катерів, визначення їх основних особливостей як об'єктів автоматичного керування та формування генеральної множини задач синтезу систем автоматизованого й автоматичного керування ними, а також розробка узагальненої структури системи автоматичного керування однією з ключових систем безкіпажного надводно-підводного катера – системи подачі повітря до теплового двигуна катера при його підводному русі. Для досягнення поставленої мети використано метод ієрархічної класифікації для доповнення чинної класифікації морських безкіпажних апаратів та метод системного підходу при формуванні задач синтезу систем керування такими катерами. Результатом дослідження є доповнення класифікації морських безкіпажних апаратів, яке включає новий вид морських безкіпажних апаратів, а також їх розподіл на типи, категорії та класи згідно з призначенням. Показано, що при розробці структури системи автоматичного керування безкіпажним надводно-підводним катером доцільно розділяти її на виконавчий, програмний, адаптивний, тактичний та стратегічний рівні. Запропоновано генеральну множину задач синтезу системи керування безкіпажними надводно-підводними катерами у складі задачі керування просторовим рухом катера як твердого тіла, що може рухатись по морській поверхні та під водою, задачі керування енергетичною системою катера, задачі керування інформаційною системою катера та задачі керування морською місією катера у цілому. Для кожної задачі розроблено перелік функціональних підзадач, які охоплюють головні процеси автоматизації катера. У сукупності розроблений перелік задач утворює науково-технічне підґрунтя для розробки систем автоматизованого та автоматичного керування катером в усіх основних режимах його застосування як транспортного засобу. Наукову новизну утворюють удосконалена класифікація морських безкіпажних апаратів, вперше запропоновані генеральна множина та складові задач синтезу систем автоматичного керування морським надводно-підводним катером. Практична значущість дослідження полягає у науковій структуризації проектних робіт щодо створення нового виду морської робототехніки, що дає можливість системно виконувати подальші проектні роботи з розробки систем автоматичного керування безкіпажним надводно-підводним катером.

**Ключові слова:** безкіпажний надводно-підводний катер; класифікація; синтез системи керування.

DOI: 10.33815/2313-4763.2024.2.29.035-048

**Вступ. Постановка проблеми.** На цей час у розвинених морських країнах світу спостерігається стійка тенденція щодо впровадження новітніх засобів морської робототехніки (ЗМР) у всі сфери господарської діяльності на морі [1–3]. Причому, однією зі складових вказаної тенденції, що останнім часом активно втілюється у морську практику, є дослідження, проектування і будівництво малорозмірних та швидкісних безкіпажних надводних катерів (БНК) [4].

Актуальність такого виду ЗМР обумовлена зростаючими обсягами транспортних, науково-дослідних і природоохоронних робіт на морі [5, 6].

Однак, технології застосування БНК у вказаних місіях свідчать про недоліки, які обмежують успішне застосування такого виду ЗМР у складних погодних умовах. Це пов'язано зі труднощами експлуатації в умовах, коли зовнішні збурення (вітер, хвиля) унеможливають виконання заданої місії з необхідною якістю.

Одним з ефективних способів підвищення ефективності застосування швидкісних БНК є зниження впливу вказаних збурюючих чинників шляхом тимчасового занурення катера під воду, тобто шляхом включення у морську надводну місію такого катера підводної складової руху.

Тому на сьогодні актуальним вбачається створення двохсередовищних (надводно-підводних) безкіпажних катерів, які б поєднували переваги надводних і підводних ЗМР.

Як вид морського транспорту безкіпажні надводно-підводні катери (БНПК, в англomовному скороченні – Unmanned Surface and Underwater Boat, USUB) належать для ЗМР спеціального призначення і можуть використовуватись для доставлення корисних вантажів у складних умовах експлуатації. Висока їх затребуваність сьогодні обумовлена зростанням обсягів морегосподарської діяльності приморських країн та підвищенням вимог до надійності морських транспортних операцій. Однією зі складових завдання створення БНПК є розробка високоефективних систем автоматичного керування ними, оскільки від якості керування напряду залежить ефективність їх застосування за призначенням.

Очевидно, що автоматичне керування таким засобом робототехніки суттєво відрізняється від керування катерами традиційної конструкції. Це пов'язано, по-перше, з необхідністю забезпечення безпечного просторового руху БНПК не тільки по поверхні моря, а й підводного керованого руху катера, і по-друге, з необхідністю якісного виконання надводної та підводної складових місії в умовах дії зовнішніх збурень, які діють на катер.

Це обумовлює актуальність постановки задачі щодо дослідження особливостей автоматичного керування таким катером.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Слід зазначити, що питання конструкції БНПК, у цілому, та синтезу їх систем автоматичного керування, зокрема, у науковій літературі практично відсутні. До найбільш описаних двохсередовищних пілотованих катерів відносяться катери для морського туризму – двомісні катери «Sea Breacher» американської компанії «Innespace Inc» та шестимісні катери «Jet Shark», а також найновіші човни цього типу – «Scubacraft 3» і «Scubacraft 6» [7, 8]. Корпуси цих човнів мають композитний корпус і забезпечують на поверхні максимальну швидкість 50 миль/год на повітряній подушці. Надводний та підводний рух здійснюється за допомогою 4-тактного двигуна внутрішнього згоряння та гідрореактивного приводу, що працює від високопродуктивного насоса. Катери мають інтуїтивно зрозуміле керування зануренням, бортовий приймач GPS і підводний комп'ютер, а також бортову подачу повітря з резервним джерелом, ультракороткохвильовий радіозв'язок та підводний зв'язок. Глибина занурення катера – 50 метрів з тривалістю перебування під водою до 90 хв та підводним рухом з підводною швидкістю 3 вузли.

Що ж стосується безкіпажних двохсередовищних катерів, то найбільші досягнення отримані у рамках програми ЄС «I-SEAMORE» компанією iXblue, де створено лінійку з чотирьох БНПК «DriX H8», «DriX H9», «DriX O16» та «DriX O25» [9]. Катери DriX розроблені для роботи під дистанційним керуванням оператора, але передбачають високий рівень автономності.

Зовнішній вигляд БНПК цієї серії показано на рис. 1.

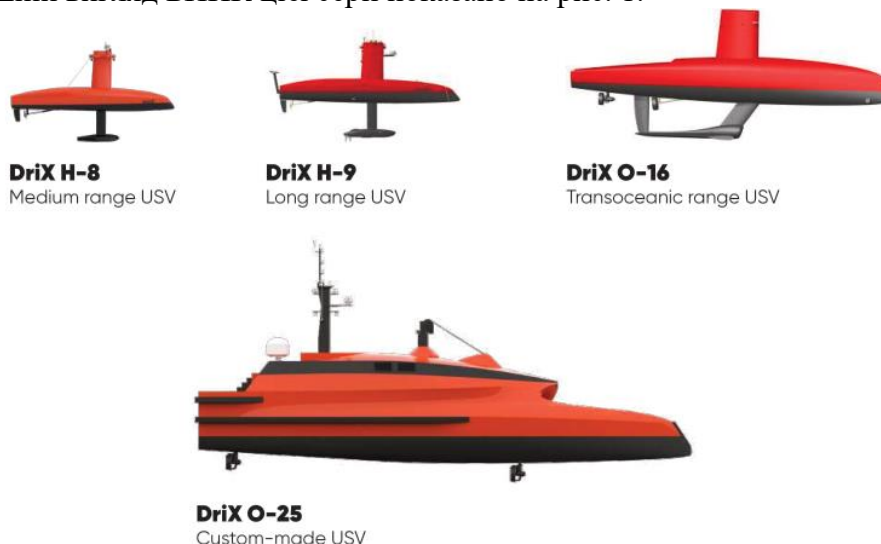


Рисунок 1 – Безкіпажні надводно-підводні катери DriX компанії iXblue, як приклад можливого архітектурно конструктивного типу БНПК

Катери DriX є, по суті, відкритою універсальною надводно-підводною платформою, яка спроможна транспортувати широкий діапазон корисних вантажів у своїй підводній гондолі. Комунікація з операцій можлива на дистанціях прямої видимості або за горизонтом через багатоканальну систему радіо- та супутникового зв'язку.

Подальший аналіз літератури [10, 11] не виявив ознак розробки і створення двохсередовищних катерів, що свідчить про те, що даний тип малорозмірних суден знаходиться на початковій стадії свого розвитку.

**Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Детальне вивчення конструкторських рішень катерів компанії iXblue дає змогу виділити наступні характерні особливості такої техніки та форми її висвітлення у науково-технічній літературі:

- розміщення корисного вантажу передбачається тільки у підводній частині катера (у підводній гондолі), що суттєво обмежує можливості катерів як універсальних транспортних засобів;

- опис катерів як об'єктів керування надано тільки в обсягах загальної реклами, зокрема, зовсім відсутня інформація про керування надводним і підводним рухом катера, керування корисним вантажем катера та про особливості керування його основними підсистемами – енергетичною, навігаційною, баластною, крено-диферентною та іншими.

Таким чином, можна констатувати, що на цей час у науково-технічній літературі відсутня інформація щодо досліджень і розробок:

- безекіпажних надводно-підводних катерів як універсальних носіїв корисного вантажу різних типів та призначення;

- систем керування безекіпажними надводно-підводними катерами як твердими тілами, які виконують керований рух на поверхні моря та у підводному положенні в умовах невизначеностей зовнішніх збурень.

**Мета і задачі дослідження** – доповнення чинної класифікації морських безекіпажних апаратів шляхом внесення до неї безекіпажних надводно-підводних катерів, визначення основних особливостей автоматичного керування такими об'єктами морської робототехніки, обумовлених їх надводним і підводним керованим рухом, формування генеральної множини задач синтезу систем автоматичного керування ними та розробка узагальненої структури системи автоматичного керування однією з ключових систем безекіпажного надводно-підводного катера – системи подачі повітря до теплового двигуна катера при його підводному русі.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі виконання дослідження було використано загальнонаукові методи: метод ієрархічної класифікації (для доповнення чинної класифікації морських безекіпажних апаратів) та метод системного підходу (при формулюванні задач синтезу систем керування такими катерами).

Об'єктом дослідження є новий тип морської робототехніки – безекіпажний надводно-підводний катер як об'єкт керування.

Предметом дослідження є класифікаційні ознаки безекіпажного надводно-підводного катера та його особливості як об'єкту керування, задача синтезу систем автоматизованого й автоматичного керування катером та розробка узагальненої структури системи автоматичного керування системою подачі повітря до теплового двигуна катера при його підводному русі.

При виконанні широкого спектра транспортних задач на акваторіях держави залучення БНПК дасть змогу суттєво підвищити надійність морської транспортної місії, оскільки у випадку виникнення складних природних умов катер має змогу зануритись під воду і продовжити рух у підводному положенні або лягти у дрейф в очікуванні, коли погодні умови поліпшаться. У зв'язку з цим доцільно розглянути можливі застосування БНПК для розв'язку завдань транспортного характеру [12].

Згідно з класифікацією, наданій у [13], на цей час загальноприйнятим є підхід до класифікації видів морських безекіпажних апаратів, який ґрунтується на середовищі їх функціонування. У зв'язку з цим всі наявні морські безекіпажні апарати розділяються на два

види – надводні і підводні. У свою чергу, надводні апарати за призначенням рекомендується поділяти на бойові апарати та апарати забезпечення і підтримки.

Очевидно, що транспортні морські безекіпажні апарати необхідно відносити до апаратів забезпечення і підтримки, тому далі у цій статті будуть розглядатись саме такі засоби морської робототехніки.

Аналіз рекомендованої в [13, 14] класифікації безекіпажних надводних і підводних апаратів свідчить, що чинний перелік засобів надводної та підводної морської робототехніки не містить відомостей про новий та перспективний для реалізації транспортних задач вид суден – безекіпажні надводно-підводні катери, а їх можливе застосування в інтересах держави до цього часу не розглядалось.

Очевидно, що прикладні наукові дослідження і проєктні роботи у напрямку створення БНПК доцільно починати з їх класифікації та розробки оперативних вимог, які б утворили науково-технічне підґрунтя для їх проєктування та синтезу високоефективних систем керування ними.

У зв'язку з цим пропонується наступне доповнення до класифікації морських безекіпажних апаратів, яке передбачає уведення окремого виду МБеА – безекіпажні надводно-підводні катери, які мають два рівноцінних середовища функціонування:

- вид – надводно-підводні;
- тип (за масою) – малі (менше 500 кг), середні (500–10000 кг);
- категорія – забезпечення та підтримки;
- клас – транспортні, природоохоронні, пошуково-рятувальні, гідрографічні, навігаційного забезпечення, ретранслятори.

Розглянемо тепер основні особливості БНПК як об'єкту керування, які необхідно врахувати при синтезі систем автоматизованого та автоматичного керування такими засобами морської робототехніки.

Аналіз конструкції та світовий досвід експлуатації БНПК свідчить, що при створенні вітчизняних зразків такої техніки слід враховувати:

- особливості гідродинаміки корпусу катера та її вплив на керування катером як твердим тілом, що рухається по водній поверхні та у товщі води (зміна керованості та ходовості БНПК);
- особливості побудови енергетики катера, обумовлені можливим використанням двох різних типів бортових джерел енергії під час виконання місії;
- особливості побудови інформаційного забезпечення катера (систем навігації та зв'язку, сенсорів виконавчих механізмів катера), обумовлені багаторазовою зміною зовнішнього робочого середовища залежно від режимів надводного чи підводного ходу БНПК;
- особливості побудови і реалізації морської місії БНПК, що обумовлює необхідність розробки нової тактики одиночного та групового застосування БНПК, яка б враховувала та ефективно використовувала його можливість керованої зміни середовища функціонування, а також необхідність уточнення режимів роботи катера у цілому та його виконавчих механізмів.

Вказані особливості лежать у руслі системного підходу [15] і вимагають розробки науково обґрунтованих методів синтезу як узагальнених структур систем керування БНПК, так і підсистем керування окремими виконавчими механізмами катера.

Зазначимо, що при розробці структури системи автоматичного керування БНПК доцільно розділяти її на наступні п'ять функціональних рівнів: виконавчий  $L_E$ , програмний  $L_P$ , адаптивний  $L_A$ , тактичний  $L_T$  і стратегічний  $L_S$  [16].

Розглянемо особливості вказаних функціональних рівнів системи автоматичного керування БНПК більш детально.

На стратегічному рівні  $L_S$  аналізується завдання для БНПК (морська місія  $M_i$ ), що надійшла радіоканалом або задана програмно в базі даних перед виходом БНПК у море, планується загальне функціонування (стратегія) БНПК для її виконання з урахуванням

розмірів заданої акваторії, її глибин і течій (географічних координат акваторії, заданих множинами широти і довготи ( $\Phi, \Lambda$ ), ізобат глибин моря ( $\vec{H}$ ) та епюри поверхневих і підводних течій ( $\vec{V}_W$ ), навігаційних особливостей та обмежень цієї акваторії (активного судноплавства, видобувної промислової діяльності, «нечистих ґрунтів» тощо) та гідрометеорологічних характеристик зовнішнього середовища («рози вітрів»  $\vec{V}_V$ , морського хвилювання  $\vec{V}_{BS}$ , температури повітря  $\bar{t}_A$  та води  $\bar{t}_W$ , наявності криги на частині акваторії  $\bar{I}_S$  тощо).

Крім того, для визначення поточного положення БНПК на акваторії використовується інформація від електронної картографічної навігаційно-інформаційної системи (ЕКНІС) [17], звідки надходять його поточні географічні координати.

На тактичному рівні  $L_T$  планується реалізація прийнятої стратегії. Тут з урахуванням характеристик акваторії обираються методики виконання місії, обираються, обчислюються та оптимізуються траєкторії просторового переміщення БНПК для реалізації його основних технологічних режимів роботи, формуються послідовності базових операцій відповідно до стратегії функціонування БНПК тощо.

На адаптивному рівні  $L_A$  коригуються рішення тактичного рівня з урахуванням технічного стану елементів БНПК та фактичного стану зовнішнього середовища, задає поточні критерії оптимального керування, здійснює пошук оптимальних керуючих рішень у рамках обраної тактики виконання завдання, що надійшло від тактичного рівня керування. Тут із залученням методів математичного моделювання визначаються оптимальні швидкості руху БНПК (наприклад, за критеріями максимальної продуктивності чи експлуатаційних витрат).

Програмний рівень керування  $L_P$  забезпечує узгоджене керування виконавчими механізмами залежно від режиму роботи БНПК. Тут синтезуються алгоритми групового керування виконавчими механізмами БНПК та генерується (або залучається з бази даних) їх програмна реалізація.

Виконавчий рівень  $L_E$  на основі заданих впливів від програмного рівня  $L_P$  виробляє сигнали керування виконавчими механізмами БНПК згідно з критеріями оптимальності, які задані на адаптивному рівні  $L_A$ .

Виходячи з вище сказаного, сформулюємо генеральну множину  $T_{USUB}$  задач синтезу систем керування БНПК у складі задачі керування просторовим рухом катера як твердого тіла, що може рухатись по морській поверхні та під водою  $T_M$ , задачі керування енергетичною системою катера  $T_E$ , задачі керування інформаційною системою катера  $T_I$  та задачі керування морською місією катера у цілому  $T_F$ :

$$T_{USUB} = \{T_M; T_E; T_I; T_F\}. \quad (1)$$

Генеральна множина (1) задач синтезу системи керування БНПК сформована з урахуванням його специфіки як об'єкту керування і може слугувати підґрунтям для розробки узагальненого алгоритму та структури системи керування катером в усіх основних режимах його застосування як транспортного засобу оборонного призначення.

Розглянемо напрямки розв'язку вказаної множини задач більш детально.

**Аналіз задачі  $T_M$ ,** яка розглядає рух БНПК по морській поверхні та під водою показує, що її розв'язок необхідно розглядати у складі шести підзадач:

- підзадачі керованого процесу надводного руху катера  $T_{M-S}$ ;
- підзадачі керованого процесу занурення катера на глибину роботи шноркеля  $T_{M-DS}$ ;
- підзадачі керованого процесу підводного руху катера «під шноркелем»  $T_{M-US}$ ;
- підзадачі керованого процесу занурення катера на робочу глибину  $T_{M-DJ}$ ;
- підзадачі керованого процесу підводного руху катера на робочій глибині  $T_{M-UJ}$ ;
- підзадачі керованого процесу спливання катера на поверхню моря  $T_{M-E}$ .

Таким чином, задачу  $T_M$  можна представити у складі наступних підзадач:

$$T_M = \{T_{M-S}; T_{M-DS}; T_{M-US}; T_{M-DJ}; T_{M-UJ}; T_{M-E}\}. \quad (2)$$

Очевидно, що розв'язок підзадач  $T_{M-S}$  і  $T_{M-UJ}$  є тривіальним, оскільки надводний керований рух малорозмірних швидкісних суден та керований рух підводних апаратів є добре вивченим [18, 19].

До особливостей розробки системи автоматичного керування процесом занурення БНПК (підзадачі  $T_{M-DS}$  та  $T_{M-DJ}$ ) процесу руху «під шноркелем» (підзадача  $T_{M-US}$ ) належить вивчення особливостей та синтез алгоритмів керування його баластно-вирівнювальною та крено-диферентною системами, які мають забезпечити занурення катера та задане його просторове положення, необхідне для керованого траєкторного підводного руху у цих режимах.

До особливостей системи автоматичного керування процесом спливання БНПК (підзадача  $T_{M-E}$ ) належить вивчення особливостей та синтез алгоритмів керування його баластно-вирівнювальною та крено-диферентною системами, які мають забезпечити спливання катера на поверхню моря.

**Аналіз задачі  $T_E$** , яка розглядає керування енергетичною системою БНПК, показує, що її розв'язок необхідно розглядати, відповідно до (2), у складі шести головних підзадач:

- підзадачі керованого процесу енергетичного забезпечення надводного руху катера  $T_{E-S}$ ;
- підзадач керованих процесів енергетичного забезпечення занурення катера на глибину роботи «під шноркелем»  $T_{E-DS}$  та на робочу глибину  $T_{E-DJ}$ ;
- підзадач керованих процесів енергетичного забезпечення підводного руху катера «під шноркелем»  $T_{E-US}$  та на робочій глибині  $T_{E-UJ}$  (останній передбачає зупинку головного теплового двигуна БНПК та живлення його рушійного комплексу від бортових акумуляторних батарей);
- підзадачі керованого процесу енергетичного забезпечення спливання катера на поверхню моря  $T_{E-E}$  та запуску головного теплового двигуна.

Таким чином, задачу  $T_E$  можна представити у складі наступних підзадач:

$$T_E = \{T_{E-S}; T_{E-DS}; T_{E-DJ}; T_{E-US}; T_{E-UJ}; T_{E-E}\}. \quad (3)$$

Розв'язок підзадач  $T_{E-S}$  і  $T_{E-U}$  також є тривіальним, оскільки керування енергетичними установками надводних малорозмірних швидкісних суден та керування енергетичними установками підводних апаратів є добре вивченим [20, 21].

До особливостей розробки системи автоматичного керування енергетичною установкою БНПК у режимі занурення катера (підзадачі  $T_{E-DS}$  та  $T_{E-DJ}$ ) належить синтез алгоритмів керування його енергетичним обладнанням у режимі переходу з надводного у підводне положення. У першу чергу це передбачає керування шноркелем і, відповідно, керування зупинкою головного теплового двигуна катера та його підготовкою до занурення.

До особливостей розробки системи автоматичного керування енергетичною установкою БНПК при спливанні катера (підзадача  $T_{E-E}$ ) належить встановлення особливостей та синтез алгоритмів керування його енергетичним обладнанням у режимі переходу з підводного положення у надводне, тобто розробки алгоритмів керування процесами підготовки до запуску та запуск головного теплового двигуна катера після його спливання.

Далі, **аналіз задачі  $T_I$** , яка розглядає керування інформаційною системою катера, показує, що її розв'язок необхідно розглядати у складі чотирьох головних підзадач:

- підзадачі керування інформаційними потоками, які циркулюють при надводному русі катера  $T_{I-S}$ ;
- підзадачі керування інформаційними потоками, які циркулюють при зануренні катера  $T_{I-DS}$  та  $T_{I-DJ}$ ;
- підзадачі керування інформаційними потоками, які циркулюють при підводному русі катера «під шноркелем»  $T_{I-US}$  та на робочій глибині  $T_{I-UJ}$ ;

– підзадачі керування інформаційними потоками, які циркулюють при спливанні катера  $T_{I-E}$ .

Розглянемо особливості розв'язку цих підзадач більш детально.

Підзадача  $T_{I-S}$  керування інформаційними потоками, які циркулюють при надводному русі катера, має чотири основні складові:

– керування інформаційними потоками  $T_{I-S-N}$  навігаційного забезпечення надводного руху катера (отримання, обробка і формування вихідної навігаційної інформації, необхідної для забезпечення безпечного надводного руху катера);

– керування інформаційними потоками  $T_{I-S-E}$  виконавчих механізмів катера, які забезпечують його надводний рух (керування рушієм та рульовим пристроєм, а також керування допоміжними механізмами, які забезпечують функціонування цих виконавчих механізмів);

– керування інформаційними потоками  $T_{I-S-A}$  допоміжних механізмів катера, які задіяні у режимі його надводного руху (керування електроприводами насосів, вентиляторів, клапанів допоміжних механізмів катера тощо);

– керування інформаційними потоками  $T_{I-S-C}$  системи радіо- та супутникового зв'язку з береговим центром керування.

Підзадача  $T_{I-D}=\{T_{I-DS}; T_{I-DJ}\}$  керування інформаційними потоками, які циркулюють при зануренні катера, має наступні основні складові:

– керування процесами збору інформації  $T_{I-D-MS}$  та  $T_{I-D-MJ}$  від сенсорів виконавчих механізмів катера, яка необхідна для реалізації режимів підготовки до занурення та, власне, реалізації процесу занурення, відповідно, на глибину роботи «під шноркелем» та на робочу глибину;

– керування процесами збору інформації  $T_{I-D-CS}$  та  $T_{I-D-CJ}$  від сенсорів поточного просторового стану катера (кути Ейлера, глибина занурення тощо), яка необхідна для реалізації режимів занурення, відповідно, на глибину роботи «під шноркелем» та на робочу глибину.

Підзадача  $T_{I-U}=\{T_{I-US}; T_{I-UJ}\}$  керування інформаційними потоками, які циркулюють при підводному русі катера, відповідно, «під шноркелем» та на робочій глибині, має чотири основні складові:

– керування інформаційними потоками  $T_{I-U-NS}$  та  $T_{I-U-NJ}$  навігаційного забезпечення підводного руху катера (отримання, обробка і формування вихідної навігаційної інформації, необхідної для його безпечного, відповідно, підповерхневого руху «під шноркелем» та підводного руху на робочій глибині);

– керування інформаційними потоками  $T_{I-U-ES}$  та  $T_{I-U-EJ}$  виконавчих механізмів катера, які забезпечують функціонування цих виконавчих механізмів (керування джерелами енергії, рушієм та рульовим пристроєм) під час, відповідно, його підповерхневого руху «під шноркелем» та підводного руху на робочій глибині);

– керування інформаційними потоками  $T_{I-U-AS}$  та  $T_{I-U-AJ}$  допоміжних механізмів катера, які задіяні у режимі його підводного руху («під шноркелем» та на робочій глибині) – керування електроприводами насосів, клапанів баластних цистерн та допоміжних механізмів катера тощо;

– керування інформаційними потоками  $T_{I-U-CS}$  системи радіо- та супутникового зв'язку з береговим центром керування при русі БНПК «під шноркелем» та керування інформаційними потоками  $T_{I-U-CJ}$  при підводному русі на робочій глибині.

Нарешті, підзадача  $T_{I-E}$  керування інформаційними потоками, які циркулюють при спливанні катера, має наступні основні складові:

– керування процесами збору інформації  $T_{I-E-M}$  від сенсорів виконавчих механізмів катера, які необхідні для реалізації режимів підготовки до спливання та, власне, реалізації процесу спливання;

– керування процесами збору інформації  $T_{I-E-C}$  від сенсорів поточного просторового стану катера (кути Ейлера, глибина занурення) катера при його спливанні.

Таким чином, задачу  $T_I$  можна представити у складі наступних підзадач:

$$T_I = \{T_{I-S}; T_{I-DS}; T_{I-DJ}; T_{I-US}; T_{I-UJ}; T_{I-E}\}. \quad (4)$$

де

$$T_{I-S} = \{T_{I-S-N}; T_{I-S-E}; T_{I-S-A}; T_{I-S-C}\}; \quad (5)$$

$$T_{I-DS} = \{T_{I-D-MS}; T_{I-D-CS}\}; \quad (6)$$

$$T_{I-DJ} = \{T_{I-D-MJ}; T_{I-D-CJ}\}; \quad (7)$$

$$T_{I-US} = \{T_{I-U-NS}; T_{I-U-ES}; T_{I-U-AS}; T_{I-U-CS}\}; \quad (8)$$

$$T_{I-UJ} = \{T_{I-U-NJ}; T_{I-U-EJ}; T_{I-U-AJ}; T_{I-U-CJ}\}; \quad (9)$$

$$T_{I-D} = \{T_{I-D-M}; T_{I-D-C}\}; \quad (10)$$

$$T_{I-U} = \{T_{I-U-N}; T_{I-U-E}; T_{I-U-A}; T_{I-U-C}\}; \quad (11)$$

$$T_{I-E} = \{T_{I-E-M}; T_{I-E-C}\}. \quad (12)$$

**Аналіз задачі  $T_F$** , яка розглядає керування морською місією катера у цілому, дає змогу визначити дві основні підзадачі керування БНПК [16]:

- керування процесом розробки стратегії  $T_{F-S}$  виконання заданої місії БНПК;
- керування тактикою  $T_{F-T}$  виконання катером заданої місії.

Перша підзадача  $T_{F-S}$  включає наступні складові:

- керування процесом декомпозиції  $T_{F-S-D}$  заданої місії на окремі операції та формулюванням кінцевої мети кожної операції;
- керування процесом  $T_{F-S-L}$  оцінки зовнішніх (гідрометеорологічних, навігаційних та ін.) та внутрішніх (поточного технічного стану бортових систем та виконавчих механізмів) обмежень.

Друга підзадача  $T_{F-T}$  містить наступні складові:

- керування процесом  $T_{F-T-V}$  пошуку прийнятних варіантів досягнення кінцевої мети кожної операції;
- керування процесом  $T_{F-T-O}$  вибору оптимальних виконавчих (тактичних) варіантів досягнення кінцевої мети кожної операції.

Тоді задачу  $T_F$  можна представити у складі наступних підзадач:

$$T_A = \{T_{F-S}; T_{F-T}\}, \quad (13)$$

де

$$T_{F-S} = \{T_{F-S-D}; T_{F-S-L}\}; \quad (14)$$

$$T_{F-T} = \{T_{F-T-V}; T_{F-T-O}\}. \quad (15)$$

Залежності (1)–(15) утворюють базовий перелік задач синтезу системи керування БНПК, який сформовано з урахуванням специфіки його функціонування як об'єкта керування.

Розглянемо тепер узагальнену структуру системи автоматичного керування однією з ключових систем БНПК – системою подачі повітря до теплового двигуна катера при його русі «під шноркелем» та при русі на робочій глибині.

Зазначимо, що у сучасній науковій літературі відомості про побудову шноркелів автономних ненаселених підводних апаратів та про синтез систем автоматичного керування ними практично відсутні. Однак очевидно, що створення таких систем є перспективною задачею для вітчизняної галузі морської робототехніки. Тому у цій роботі пропонується базова структура шноркеля як об'єкта автоматичного керування, для якої необхідно синтезувати узагальнені алгоритми автоматичного керування для основних робочих режимах БНПК.



Пропонується наступна базова структура шноркеля як об'єкта керування, яка містить наступні механізми (рис. 2):

- підйомна щогла шноркеля 1 у складі труби 2 для забору атмосферного повітря (пунктирна стрілка) з запірним клапаном 3 захисту труби 2 від хвиль, труби 4 для відведення вихлопних газів (пунктирна стрілка) з запірним клапаном 5 захисту труби 4 від хвиль, а також приводів 6 підйому-опускання щогли 1;
- насосу з приводом 7 для дренажу морської води (неперервна стрілка) труби 2;
- системи фільтрів води 8 труби 2 з ємністю 9 для води з системи фільтрів 8, насосом 10 для дренажу води з ємності 9 та запірним клапаном 11 для скидання води (неперервна стрілка) з системи фільтрів 8;
- компресора 12 з приводним електродвигуном 13 для нагнітання повітря у ресивер 14 до теплового двигуна 15 катера (наприклад дизель-генератора), вихлопні гази з якого надходять до труби 4;
- клапани 16 і 17 системи 18 гідростатичного розвантаження труб 2 і 4; робота системи 18 необхідна при зануренні БНПК на робочу глибину, коли зовнішній гідродинамічний тиск без компенсації зсередини може зруйнувати труби 2 і 4.

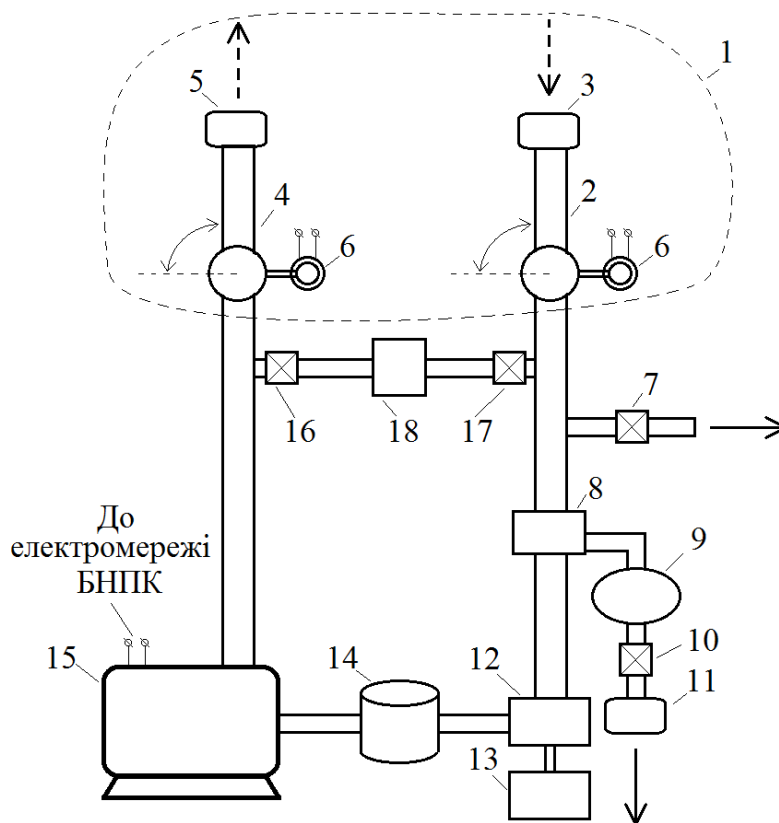


Рисунок 2 – Базова структура шноркеля БНПК як об'єкта керування

Таким чином, з позицій автоматизації керування таким технічним об'єктом його виконавчими механізмами є клапани 3, 5, 11, 16 та 17, а також приводи 6, 7, 10 та 13.

Очевидно, що задача керування шноркелем є невід'ємною складовою генеральної множини  $T_{USUB}$  задач синтезу систем керування БНПК згідно (1) і входить до складу задач  $T_{E-DS}$ ,  $T_{E-US}$ ,  $T_{I-DS}$  та  $T_{I-US}$  згідно (3) і (4).

У якості прикладу алгоритмізації задачі керування енергетичною системою катера  $T_E$  згідно (1) розглянемо підзадачу  $T_{M-DS}$  керування зануренням катера на глибину роботи «під шноркелем». Метою керування вважаємо перехід БНПК на рух «під шноркелем», тобто реалізацію задач  $T_{E-DS}$  та  $T_{I-DS}$ , які мають виконуватись одночасно.

Вважаємо, що у початковому стані БНПК рухався у надводному положенні, а його рушійний комплекс отримував живлення від бортової акумуляторної батареї.

Розробку узагальненої структури системи автоматичного керування виконаємо у вигляді послідовності підпрограм (П) керування окремими виконавчими механізмами шноркеля:

- П1 – підпрограма керування приводами 6, які виконують підйом щогли 1 шноркеля;
- П2 – підпрограма відкриття клапанів 3, 5 і 11;
- П3 – підпрограма включення насосів 7 і 10;
- П4 – підпрограма включення приводного електродвигуна 13 компресора 12;
- П5 – підпрограма запуску теплового двигуна БНПК;
- П6 – підпрограма контролю параметрів виконавчих механізмів шноркеля та якості електроенергії дизель-генератора;
- П7 – підпрограма підключення дизель-генератора до бортової електромережі БНПК з метою забезпечення процесу заряджання його акумуляторної батареї;
- П8 – підпрограма переведення БНПК до режиму руху «під шноркелем».

**Основні результати та їх обговорення.** У результаті проведених досліджень показана доцільність та перспективність застосування безекіпажних надводно-підводних катерів для розв'язку широкого кола транспортних задач на морі.

Зокрема, доповнена відома класифікація засобів морської робототехніки, у результаті чого введено новий тип такої техніки – надводно-підводні засоби малого і середнього типу (за масою), які віднесено до категорії забезпечення та підтримки. Одночасно, вказаний вид засобів морської робототехніки пропонується поширити, крім транспортного класу, на класи пошуково-рятувальні, гідрографічні, природоохоронні, навігаційного забезпечення, ретранслятори.

Встановлено особливості автоматичного керування такими катерами, які обумовлені можливостями їх надводного і підводного керування руху, що дало змогу сформуванню генеральної множини задач синтезу систем їх автоматичного керування та множини підзадач керування просторовим рухом катера у двох середовищах, керування енергетичною та інформаційною системами катера, а також керування морською місією катера у цілому.

У якості прикладу алгоритмічної реалізації множини підзадач наведено узагальнену структуру системи автоматичного керування однією з ключових систем катера – системою подачі повітря до теплового двигуна катера при його підводному русі (режим роботи «під шноркелем»). Одночасно запропоновано базову структуру шноркеля як об'єкта керування, яка може слугувати основою для проектування нового для малорозмірних суден типу систем енергозабезпечення.

#### **Висновки.**

1. Доповнено чинну класифікацію морських безекіпажних апаратів шляхом внесення до неї безекіпажних надводно-підводних катерів, що удосконалює науково-методичне підґрунтя для їх створення.

2. Сформовано генеральну множини задач синтезу систем автоматичного керування безекіпажними надводно-підводними катерами транспортного призначення та систему множин підзадач автоматичного керування їх просторовим рухом, енергетичною та інформаційною системами катера, а також керування процесами планування і виконання морською місією катера у цілому. Отримані результати утворюють теоретичне підґрунтя для системної розробки алгоритмічного і програмного забезпечення систем керування такими об'єктами морської робототехніки.

3. Розроблено базову структуру обладнання однієї з ключових систем енергетики надводно-підводного катера – системи «шноркеля» для подачі повітря до теплового двигуна катера при підводному русі, а також розроблено узагальнену структуру системи автоматичного керування такою системою енергетики. Отримані результати утворюють теоретичну основу для синтезу систем автоматичного керування енергетичним обладнанням надводно-підводного катера.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження доцільно продовжувати у двох напрямках – синтез алгоритмічного забезпечення систем керування безпечним надводним катером як новим засобом морської робототехніки та розробка нових і вдосконалення наявних систем енергетики такого катера як об'єкта автоматичного керування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang Guo, Song Wang, Wenqiang Dun. The Design of a Control System for an Unmanned Surface Vehicle. *The Open Automation and Control Systems Journal*, 2015. 7(1). Pp. 150–156. <https://doi.org/10.2174/1874444301507010150>. [https://www.researchgate.net/publication/27523\\_0076\\_The\\_Design\\_of\\_a\\_Control\\_System\\_for\\_an\\_Unmanned\\_Surface\\_Vehicle](https://www.researchgate.net/publication/27523_0076_The_Design_of_a_Control_System_for_an_Unmanned_Surface_Vehicle).
2. Marine Control Systems for USV, UUV, ROV. Overview. *Technology Editor*. 2023. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/marine-control-systems/>.
3. Hyunjoon Cho, Sang-Ki Jeong, Dae-Hyeong Ji, Ngoc-Huy Tran, Mai The Vu, Hyeung-Sik Choi. Study on Control System of Integrated Unmanned Surface Vehicle and Underwater Vehicle. *Sensors*, 2020. 20(9), 2633; <https://doi.org/10.3390/s20092633>.
4. Universal Autonomous Control and Management System for Multipurpose Unmanned Surface Vessel. *Polish Maritime Research*, 2019. 26(101). Pp. 30–39. <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0004>. [https://www.researchgate.net/publication/331988419\\_Universal\\_Autonomous\\_Control\\_and\\_Management\\_System\\_for\\_Multipurpose\\_Unmanned\\_Surface\\_Vessel](https://www.researchgate.net/publication/331988419_Universal_Autonomous_Control_and_Management_System_for_Multipurpose_Unmanned_Surface_Vessel).
5. Fernando Sotelo-Torres, Laura V. Alvarez and Robert C. Roberts. An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys. *Sensors* 2023, 23, 4420. <https://doi.org/10.3390/s23094420>.
6. Xiangen Bai, Bohan Li, Xiaofeng Xu, Yingjie Xiao. A Review of Current Research and Advances in Unmanned Surface Vehicles. *Journal of Marine Science and Application*. 21, 47–58 (2022). <https://doi.org/10.1007>.
7. Innespace Seabreacher. [https://en.wikipedia.org/wiki/Innespace\\_Seabreacher](https://en.wikipedia.org/wiki/Innespace_Seabreacher).
8. Semi-submersible Jet Shark takes multiple passengers on a thrill ride. <https://www.startupselfie.net/2023/02/08/jet-shark-semi-submersible-multiple-passengers-thrill-ride/>.
9. DRIX SERIES UNCREWED SURFACE VEHICLES. <https://www.ixblue.com/wp-content/uploads/2023/03/brochuredrix-series-webcompressed.pdf>.
10. Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress. 2023. <https://sgp.fas.org/crs/weapons/R45757.pdf>.
11. У світі є 134 типи морських дронів, то чим особливі наші катери-камікадзе. [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/u\\_sviti\\_je\\_134\\_tipi\\_morskih\\_droniv\\_to\\_chim\\_osoblivi\\_nashi\\_kateri\\_kamikadze-12842.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/u_sviti_je_134_tipi_morskih_droniv_to_chim_osoblivi_nashi_kateri_kamikadze-12842.html).
12. Доктрина Військово-Морських Сил Збройних Сил України. ВКП 7(3)-00(13).01. Затверджена Головнокомандувачем Збройних Сил України 19.01.2021 р. [https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/doktryna\\_vijskovo-morski-syly-zbrojnyh-syl-ukrayiny.pdf](https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/doktryna_vijskovo-morski-syly-zbrojnyh-syl-ukrayiny.pdf).
13. Тимчасова класифікація морських безпечних апаратів (систем, комплексів) у Військово-Морських Силах Збройних Сил України, які приймаються чи є на озброєнні Військово-Морських Сил Збройних Сил України. Затверджено Наказом командира військової частини А0456 10.05.2023 р., №73.
14. Курдюк С. В., Гаврилюк Т. К., Соколик Я. М., Джежулей О. В. Особливості класифікації морських безпечних підводних апаратів у Військово-Морських Силах Збройних Сил України. *Випробування та сертифікація*, 2023. № 2(2). С. 30–36. <https://doi.org/10.37701/ts.02.2023.04>.

15. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H. Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. *Springer*. 2006. <https://www.amazon.co.uk/>. Engineering-Design-Systematic-Approach-Pahl/dp/1846283183.

16. Блінцов В. С., Соколов В. В. Сучасні задачі автоматизації керування безекіпажним надводним катером. *Автоматика-2016: Матеріали XXIII міжнародної конференції з автоматичного управління, м. Суми, 22–23 вересня 2016 року*. Суми : Сумський державний університет. С. 201–202.

17. Military Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) Market Research Report Provides thorough Industry Overview, which offers an In-Depth. <https://www.linkedin.com/pulse/military-electronic-chart-display-information-system-ecdis-jhpvc/>.

18. Toru Katayama, Koji Suzuki. A NEW SHIP MOTION CONTROL SYSTEM FOR HIGH-SPEED CRAFT. *FAST2003: Proceedings of 7th International Fast Sea Transportation*, Vol. 3. 7<sup>th</sup>–10<sup>th</sup> October, 2003, Ischia Italy. 9 Papers. [https://www.researchgate.net/publication/318418286\\_A\\_NEW\\_SHIP\\_MOTION\\_CONTROL\\_SYSTEM\\_FOR\\_HIGH-SPEED\\_CRAFT](https://www.researchgate.net/publication/318418286_A_NEW_SHIP_MOTION_CONTROL_SYSTEM_FOR_HIGH-SPEED_CRAFT).

19. Kantubhukta Dinesh, Joddumahanthi Vijaychandra, Seshasai Brundavanam, Kakinada Vedaprakash. A Review on Control of the Underwater Vehicles. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM)*, 2021. Volume 05, Issue 05. 6 pages. [https://www.researchgate.net/publication/351371540\\_A\\_Review\\_on\\_Control\\_of\\_the\\_Underwater\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/351371540_A_Review_on_Control_of_the_Underwater_Vehicles).

20. Fan Gao, Astrid H. Brodtkorb, Mehdi Zadeh, Sigrid Marie Mo. Power management and optimization of marine hybrid propulsion systems: A combinator surface methodology. *Ocean Engineering*, Volume 309, Part 2, 2024, 118354. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118354>.

21. Albert M. Bradley, M. D. Feezor, Hanumant Singh, F. Yates Sorrell. Power systems for autonomous underwater vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, November 2001. 26(4). Papers 526 – 538. <https://doi.org/10.1109/48.972089>.

## REFERENCES

1. Wang, Guo, Song, Wang, Wenqiang, Dun (2015). The Design of a Control System for an Unmanned Surface Vehicle. *The Open Automation and Control Systems Journal*, 7(1). Pp. 150–156. <https://doi.org/10.2174/1874444301507010150>. [https://www.researchgate.net/publication/275230076\\_The\\_Design\\_of\\_a\\_Control\\_System\\_for\\_an\\_Unmanned\\_Surface\\_Vehicle](https://www.researchgate.net/publication/275230076_The_Design_of_a_Control_System_for_an_Unmanned_Surface_Vehicle).

2. Marine Control Systems for USV, UUV, ROV. Overview (2023). *Technology Editor*. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/marine-control-systems/>.

3. Universal Autonomous Control and Management System for Multipurpose Unmanned Surface Vessel (2019). *Polish Maritime Research*, 26(101). Pp. 30–39. <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0004>. [https://www.researchgate.net/publication/331988419\\_Universal\\_Autonomous\\_Control\\_and\\_Management\\_System\\_for\\_Multipurpose\\_Unmanned\\_Surface\\_Vessel](https://www.researchgate.net/publication/331988419_Universal_Autonomous_Control_and_Management_System_for_Multipurpose_Unmanned_Surface_Vessel).

4. Hyunjoon Cho, Sang-Ki Jeong, Dae-Hyeong Ji, Ngoc-Huy Tran, Mai The Vu, Hyeung-Sik Choi (2020). Study on Control System of Integrated Unmanned Surface Vehicle and Underwater Vehicle. *Sensors*, 20(9), 2633; <https://doi.org/10.3390/s20092633>.

5. Fernando Sotelo-Torres, Laura V. Alvarez and Robert C. Roberts (2023). An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys. *Sensors*, 23, 4420. <https://doi.org/10.3390/s23094420>.

6. Xiangen Bai, Bohan Li, Xiaofeng Xu, Yingjie Xiao (2022). A Review of Current Research and Advances in Unmanned Surface Vehicles. *Journal of Marine Science and Application*. 21, 47–58. <https://doi.org/10.1007>.

7. Innespace Seabreacher. [https://en.wikipedia.org/wiki/Innespace\\_Seabreacher](https://en.wikipedia.org/wiki/Innespace_Seabreacher).

8. Semi-submersible Jet Shark takes multiple passengers on a thrill ride. <https://www.startupselfie.net/2023/02/08/jet-shark-semi-submersible-multiple-passengers-thrill-ride/>.

9. DRIX SERIES UNCREWED SURFACE VEHICLES. <https://www.ixblue.com/wp-content/uploads/2023/03/brochuredrix-series-webcompressed.pdf>.
10. Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress (2023). <https://sgp.fas.org/crs/weapons/R45757.pdf>.
11. U sviti ye 134 typu morskykh droniv, to chym osoblyvi nashi kateri-kamikadze. [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/u\\_sviti\\_je\\_134\\_tipi\\_morskih\\_droniv\\_to\\_chim\\_osoblivi\\_nashi\\_kateri\\_kamikadze-12842.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/u_sviti_je_134_tipi_morskih_droniv_to_chim_osoblivi_nashi_kateri_kamikadze-12842.html).
12. Doktryna Viiskovo-Morskykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. VKP 7(3)-00(13).01 (2021). Zatverdzhena Holovnokomanduvachem Zbroinykh Syl Ukrainy 19.01.2021 r. [https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/doktryna\\_viiskovo-morski-syly-zbrojnyh-syl-ukrayiny.pdf](https://ivms.mil.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/doktryna_viiskovo-morski-syly-zbrojnyh-syl-ukrayiny.pdf).
13. Tymchasova klasyfikatsiia morskykh bezekipazhnykh aparativ (system, kompleksiv) u Viiskovo-Morskykh Sylakh Zbroinykh Syl Ukrainy, yaki pryimaiutsia chy ye na ozbroienni Viiskovo-Morskykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy (2023). Zatverdzheno Nakazom komandrya viiskovoi chastyny A0456, 10.05.2023 r., №73.
14. Kurdiuk, S. V., Havryliuk, T. K., Sokolyk, Ya. M., Dzhzhulei, O. V. (2023). Osoblyvosti klasyfikatsii morskykh bezekipazhnykh pidvodnykh aparativ u Viiskovo-Morskykh Sylakh Zbroinykh Syl Ukrainy. *Vyprobuvannia ta sertyfikatsiia*, № 2(2). P. 30–36. <https://doi.org/10.37701/ts.02.2023.04>.
15. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. (2006). Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. *Springer*. <https://www.amazon.co.uk/>. Engineering-Design-Systematic-Approach-Pahl/dp/1846283183.
16. Blintsov, V. S., Sokolov, V. V. (2016). Suchasni zadachi avtomatyzatsii keruvannia bezekipazhnym nadvodnym katerom. *Avtomatyka-2016: Materialy KhKhIII mizhnarodnoi konferentsii z avtomatychnoho upravlinnia, m. Sumy, 22–23 veresnia 2016 roku*. Sumy : *Sumskiy derzhavnyi universytet*. P. 201–202.
17. Military Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) Market Research Report Provides thorough Industry Overview, which offers an In-Depth. <https://www.linkedin.com/pulse/military-electronic-chart-display-information-system-ecdis-jhpvc/>.
18. Toru Katayama, Koji Suzuki (2003). A NEW SHIP MOTION CONTROL SYSTEM FOR HIGH-SPEED CRAFT. *FAST2003: Proceedings of 7th International Fast Sea Transportation*, Vol. 3. 7th–10th October, 2003, Ischia Italy. 9 Papers. [https://www.researchgate.net/publication/318418286\\_A\\_NEW\\_SHIP\\_MOTION\\_CONTROL\\_SYSTEM\\_FOR\\_HIGH-SPEED\\_CRAFT](https://www.researchgate.net/publication/318418286_A_NEW_SHIP_MOTION_CONTROL_SYSTEM_FOR_HIGH-SPEED_CRAFT).
19. Kantubhukta Dinesh, Joddumahanthi Vijaychandra, Seshasai Brundavanam, Kakinada Vedaprakash (2021). A Review on Control of the Underwater Vehicles. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM)*, Volume 05, Issue 05. 6 pages. [https://www.researchgate.net/publication/351371540\\_A\\_Review\\_on\\_Control\\_of\\_the\\_Underwater\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/351371540_A_Review_on_Control_of_the_Underwater_Vehicles).
20. Fan Gao, Astrid H. Brodtkorb, Mehdi Zadeh, Sigrid Marie Mo (2024). Power management and optimization of marine hybrid propulsion systems: A combinator surface methodology. *Ocean Engineering*, Volume 309, Part 2, 2024, 118354. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118354>.
21. Albert M. Bradley, M. D. Feezor, Hanumant Singh, F. Yates Sorrell (2001). Power systems for autonomous underwater vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, November. 26(4). Papers 526–538. <https://doi.org/10.1109/48.972089>.

**Burunin A. P. FEATURES OF AUTOMATION OF UNMANNED SURFACE-UNDERWATER BOAT OF TRANSPORT TYPE**

*The purpose of the work is to supplement the existing classification of marine unmanned vehicles by introducing unmanned surface-underwater boats into it, to determine their main features as objects of automatic control and to form a general set of tasks for the synthesis of automated and automatically controlled systems, as well as to develop a generalized structure of the automatic control system for one of the key systems of an unmanned surface-underwater boat – the air supply system to the boat's thermal engine during its underwater movement. To achieve this goal, the hierarchical classification method was used to supplement the existing classification of marine unmanned vehicles, and the system approach method was used to formulate tasks for the synthesis of control systems for such boats. The result of the study is the addition of the classification of marine unmanned vehicles, which includes a new type of marine unmanned vehicles, as well as their division into types, categories and classes according to their purpose. It is shown that when developing the structure of the automatic control system for an unmanned surface-underwater boat, it is advisable to divide it into executive, program, adaptive, tactical and strategic levels. A general set of tasks for the synthesis of the control system for unmanned surface-underwater boats is proposed, consisting of the task of controlling the spatial movement of the boat as a solid body that can move on the sea surface and under water, the task of controlling the boat's energy system, the task of controlling the boat's information system and the task of controlling the boat's sea mission as a whole. For each task, a list of functional subtasks has been developed that cover the main processes of boat automation. Taken together, the developed list of tasks forms a scientific and technical basis for the development of automated and automatic boat control systems in all basic modes of its use as a means of transport. The scientific novelty is formed by the improved classification of marine unmanned vehicles, the first proposed general set and components of the synthesis problems of automatic control systems for a marine surface-underwater boat. The practical significance of the research lies in the scientific structuring of design work on the creation of a new type of marine robotics, which makes it possible to systematically carry out further design work on the development of automatic control systems for an unmanned surface-underwater boat.*

**Key words:** *unmanned surface-underwater boat; classification; control system synthesis.*

© Бурунін А. П.

Статтю прийнято до редакції 05.12.2024