

УДК 681.52

DOI <https://doi.org/10.32782/2072-2052.2024.3.66.2>

СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗЕКІПАЖНИМ НАДВОДНИМ КАТЕРОМ

Андрій Войтасиккандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії суднових
та роботизованих комплексів,Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, просп. Героїв України, 9, Миколаїв,
Україна, 54025, andrii.voitasyk@nuos.edu.ua**ORCID: 0000-0002-9409-6108****Ігор Сабуцький**

аспірант,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, просп. Героїв України, 9, Миколаїв,
Україна, 54025, sabutskyi1994@gmail.com**ORCID: 0009-0001-6045-3250**

Розроблено структуру системи автоматичного керування безекіпажним надводним катером з можливістю впровадження підсистеми контролю та сигналізації наявності води в корпусі. Розробку реалізовано за допомогою сенсорів, які спрацьовують на передаварійних та аварійних рівнях. Для функціонування підсистеми задіяно метод синтезу алгоритмів автоматичного сповіщення та дій, а також метод комп'ютерного моделювання для проведення експериментального тестування й перевірки працездатності запропонованих рішень. Запропонована структура системи автоматичного керування безекіпажним надводним катером передбачає наявність підсистем: сигналізації наявності води в корпусі катера, енергетичного моніторингу, зовнішнього відеоспостереження, а також керування напілним електрообладнанням. Взаємодію між компонентами системи автоматичного керування реалізовано через мережевий інтерфейс RS-485 із застосуванням контролера. Отримав подальший розвиток принцип автоматичного керування безекіпажним надводним катером із впровадженням підсистеми контролю та сигналізації наявності води в корпусі морського рухомого об'єкта, що надає можливість автоматично коригувати подальші дії залежно від рівня води. Зокрема, виконавче обладнання може подавати сигнали для активації бортової системи осушення, що дає змогу ефективно відводити воду з відсіків корпусу. Результати дослідження утворюють науково-технічне підґрунтя проєкту створення вдосконаленого варіанта системи автоматичного керування безекіпажним надводним катером для ефективної працездатності за реалізації таких режимів роботи, як патрулювання, проведення рятувальних операцій та охорони об'єктів морської інфраструктури.

Ключові слова: безекіпажний надводний катер, система автоматичного керування, підсистема контролю та сигналізації, сенсор.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Сучасні виклики, пов'язані з безпекою та керуванням у складних морських умовах, потребують широкого використання безекіпажних надводних катерів (БНК, в англійській літературі – Unmanned surface vessels, USV). Основним фактором ефективності таких катерів є надійність системи автоматичного керування (САК) в різних умовах експлуатації. САК забезпечує автономну навігацію, стабільну роботу та підлаштування до змінних зовнішніх впливів, як-от хвилі та вітер [1, 2]. Для покращення функціональних можливостей потрібно створити ефективну структуру САК із чіткою взаємодією її складових частин. Структура повинна враховувати параметри руху, зокрема швидкість, прискорення та положення катера в просторі [3, 4]. Такі дані важливі для корекції курсу, стабілізації руху

та забезпечення точності виконання завдань. Особливу увагу слід приділити режимам автономного патрулювання, рятувальних операцій та охорони об'єктів морської інфраструктури [5, 6].

Метою дослідження є розробка структури системи автоматичного керування безекіпажним надводним катером із можливістю впровадження підсистеми контролю та сигналізації наявності води в корпусі.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Ефективне функціонування БНК значною мірою залежить від його укомплектування різноманітними підсистемами, які забезпечують надійність і безпеку роботи таких морських рухомих об'єктів. Для таких підсистем можуть бути застосовані чинні зразки електрообладнання та пристроїв, призначених для моніторингу та

керування станом катера, відслідковування водотоннажності, енергетичний моніторинг, забезпечення зовнішнього відеоспостереження та застосування начіпного електрообладнання.

У роботі запропоновано реалізувати САК БНС відповідно до структури, наведеної на рис. 1.

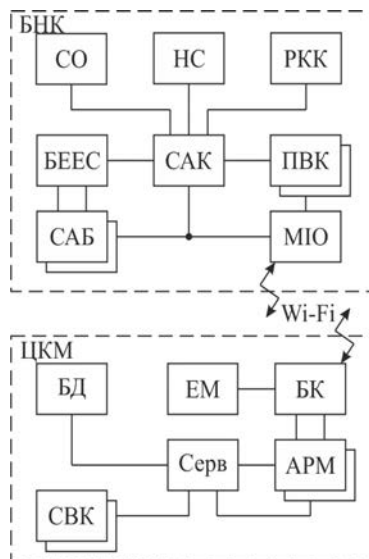


Рис. 1. Структура САК БНК

Сучасні дослідження в цій галузі приділяють значну увагу розробці автоматичних систем контролю та сигналізації, що дають можливість виявляти проникнення води в корпус морського рухомого об'єкта. Подібні системи вже успішно використовуються для інших типів морського транспорту, зокрема морських вантажних суден, де сигналізація має функцію виявлення морської води та її сумішей із пиловими частками [21]. Для БНК важливо впроваджувати такі рішення з урахуванням особливостей їх експлуатації, забезпечуючи довготривалу роботу сенсорів та їх взаємодію із САК катера [22, 23].

Система освітлення (СО) має підтримувати належне освітлення зовнішньої обстановки навколо БНК для виконання завдань в умовах недостатнього природного світла. Вона містить потужні LED-світильники. Освітлення має бути регульованим і підлаштовуватися до різних умов, як-от туман, дощ або нічний час. Керування роботою СО реалізується від САК БНК для автоматичного застосування освітлення за потреби. Також СО може передбачати спеціальний режим роботи для мінімізації видимості катера в особливих умовах.

Навігаційна система (НС) відповідає за точне визначення місця розташування катера в реаль-

ному часі. Вона використовує GPS-технології для отримання координат. До її складу входять інерціальні датчики, що забезпечують орієнтацію навіть за тимчасової втрати супутникового сигналу. Для дотримання заданого маршруту руху БНК САК функціонує, опираючись на роботу НС. Вона має можливість прогнозувати перешкоди й оптимізувати маршрут руху. НС постійно обмінюється даними із центром керування місією (ЦКМ) для оновлення картографічних даних. Вона має забезпечувати надійну роботу навіть в умовах сильного електромагнітного впливу.

До складу рушійно-кермового комплексу (РКК) БНК входять двигуни та механізми для зміни напрямку руху. РКК працює під керуванням САК, забезпечуючи точність виконання команд. Двигуни можуть працювати як на дизельному, так і на електричному живленні. Система має передбачати резервний режим, який дає змогу працювати в разі збою основних компонентів. При цьому РКК можна перевести в ручний режим, після чого він має швидко реагувати на команди оператора з ЦКМ. Інтелектуальні алгоритми дають можливість катеру налаштовувати швидкість і курс залежно від умов навколишнього середовища.

Бортова електроенергетична система (БЕЕС) постачає електроенергію до всіх споживачів систем БНК. Вона складається з основного генератора, резервного джерела живлення та системи зберігання енергії. Система підтримує розподіл енергії залежно від потреб підсистем. БЕЕС також обладнана моніторинговими сенсорами для оцінки стану енергетичних ресурсів у реальному часі. Висока ефективність системи дає змогу зменшити витрати пального та збільшити автономність катера. Дані про енергоспоживання проходять лінією зв'язку з модулем інформаційного обміну (МІО). Завдяки резервним акумуляторам система може працювати навіть у разі виходу з ладу основного джерела живлення. Енергетичний моніторинг бортових систем базується на принципах безперервного контролю енергетичних потоків і стану акумуляторних мереж, а також оптимізації споживання енергії. Останні дослідження показують ефективність використання сучасних сенсорів і алгоритмів аналізу для раннього виявлення недоліків у роботі енергосистем.

САК є центральним вузлом керування всіма підсистемами БНК. САК дає змогу здійснювати як автономне, так і дистанційне керування катером. САК має бути здатною аналізувати ситуацію

та приймати оптимальні рішення. Система також підтримує режими самодіагностики й автоматичного усунення несправностей. Інтерфейс САК забезпечує взаємодію з операторами через МІО.

Палубний відеокomплекс (ПВК) складається з ряду відеокамер, розташованих по периметру катера. Відеокамери забезпечують огляд навколишнього середовища у високій роздільній здатності. Вони оснащені інфрачервоними та тепловізорними сенсорами для роботи вночі та в умовах низької видимості. ПВК об'єднується з підсистемою автоматичного керування для виявлення перешкод. Дані з відеокамер передаються до ЦКМ через МІО. Система дає змогу операторам отримувати відеопотік у реальному часі для моніторингу місії. Камери мають захист від впливу води, пилу та механічних пошкоджень.

Системи автоматичної безпеки (САБ) призначені для виявлення загроз і захисту обладнання катера. Вони містять сенсори для моніторингу фізичних параметрів, як-от температура, вібрація, наявність води та тиск. САБ має вбудовані алгоритми для прогнозування потенційних несправностей. Система може автоматично зупинити катер у разі небезпеки. Вона об'єднана з іншими підсистемами САК БНК для обміну даними про стан обладнання. САБ також має захист від кіберзагроз, що забезпечує безпеку передачі даних. Вона здатна працювати автономно або під контролем операторів ЦКМ.

МІО виконує функцію зв'язку між катером і ЦКМ. Він забезпечує передачу команд операторів до БНК і надсилання даних від бортових систем до ЦКМ. МІО працює на основі бездротових технологій, зокрема Wi-Fi, зв'язуючись із дистанційним блоком керування (БК). Система має резервні канали зв'язку для забезпечення надійності комунікації. Модуль підтримує передачу великих обсягів даних у реальному часі. Завдяки захищеному протоколу інформація залишається конфіденційною.

ЦКМ здійснює моніторинг та обробку отриманих даних за функціонування САК БНК. ЦКМ може бути реалізований як у стаціонарному, так і в мобільному виконанні, наприклад, з розташуванням на базі рухомого надводного / наземного транспортного носія.

БК забезпечує маршрутизацію сигналів між базою даних (БД), серверною (Серв) та автоматизованими робочими місцями (АРМ). БК також підтримує підключення до зовнішніх мереж для передачі даних. Пристрій має захист від перевантаження та несправностей. Об'єднання БК із

серверною забезпечує швидкий доступ до всіх ресурсів ЦКМ. БК обладнаний резервними каналами для забезпечення безперебійної роботи. Завдяки високій пропускну здатності система може обробляти великі обсяги даних одночасно.

Серверна є вузлом обчислення й обробки даних у ЦКМ. Вона отримує інформацію від БНК через МІО та БК. Сервер виконує аналіз отриманих даних для прийняття оперативних рішень. Система підтримує обробку великих обсягів даних у реальному часі. Серверна також синхронізується з базою даних для збереження інформації. Завдяки високій продуктивності серверна може обслуговувати кілька місій одночасно. Захищені протоколи забезпечують безпеку даних під час їх передачі.

У БД міститься інформація, необхідна для виконання місій. Вона містить дані про маршрути, технічні параметри катера та результати спостережень. БД підтримує швидкий доступ до інформації для аналізу в реальному часі. Система має резервне копіювання для запобігання втраті даних. Вона сполучена із серверною для синхронізації інформації між різними системами. БД також підтримує зберігання відеопотоків, отриманих з ПВК, та стаціонарний відеокomплекс (СВК).

СВК складається з кількох відеокамер, розташованих у ключових точках ЦКМ. Відеокамери забезпечують огляд території та моніторинг обстановки центру. Система має функції автоматичного виявлення руху та сповіщення операторів про підозрілі події. Дані з СВК використовуються для забезпечення безпеки та моніторингу місій.

Електрична мережа (ЕМ) живить енергією всі компоненти ЦКМ. Вона складається з основного джерела живлення, розподільчих пристроїв і резервного акумулятора. ЕМ має сенсори для моніторингу напруги, струму та інших параметрів. Система автоматично перерозподіляє енергію залежно від потреб підсистем. Висока надійність мережі забезпечує безперервну роботу навіть у критичних ситуаціях. Резервна система дає змогу уникнути збоїв у разі аварії основного джерела живлення.

Начіпне електрообладнання, яке використовується на БНК, – це численні виконавчі пристрої, що відповідають за керування катером і виконання спеціалізованих завдань. Його компонування має враховувати стандарти водонепроникності та вібраційної стійкості, що регламентуються міжнародними нормами.

Представлена структура САК БНК передбачає можливість впровадження підсистеми контролю та сигналізації наявності води (КСНВ) в корпусі, яку запропоновано реалізувати відповідно до структури, наведеної на рис. 2.



Рис. 2. Структура підсистеми КСНВ в корпусі БНК

Сенсори передаварійного та аварійного рівня мають встановлюватися на різних рівнях корпусу катера, де є імовірність накопичення води. Вони мають здатність точно визначати навіть незначне підвищення рівня води, що дає змогу вчасно виявити проблему ще до досягнення критичних значень. Сигнали, що надходять від сенсорів передаварійного рівня, є важливими для запуску превентивних заходів для уникнення серйозних пошкоджень корпусу. Дані із цих сенсорів постійно обробляються підсистемою КСНВ для моніторингу ситуації в реальному часі. У разі потреби інформація може бути передана до оператора для прийняття відповідних рішень. Сенсори забезпечують максимальну точність завдяки використанню сучасних технологій вимірювання, як-от електричні або оптичні системи, що дають можливість мінімізувати ризик помилок. Вони здатні працювати в умовах підвищеної вологості й високих температур, що характерно для морського середовища.

Сенсори аварійного рівня встановлені на критичних рівнях корпусу катера, де можуть виникнути серйозні загрози через потрапляння води. Вони спеціально розроблені для того, щоб швидко виявити досягнення критичного рівня води. Як тільки рівень води досягає порогу, визначеного конструкцією катера, ці сенсори активують аварійну сигналізацію, що є сигналом для запуску ряду заходів.

Підсистема КСНВ відповідає за обробку всіх отриманих сигналів від сенсорів та їх подальшу

передачу до інших підсистем катера. Виконавче обладнання поєднано з САК БНК, що дає змогу здійснювати контроль за станом корпусу без безпосередньої участі оператора. Воно відповідає за запуск і зупинку насосних систем, клапанів та інших механізмів, що беруть участь у видаленні води з корпусу. Підсистема може автоматично коригувати подальші дії залежно від рівня води, що виявлено сенсорами. Зокрема, виконавче обладнання може подавати сигнали для активації бортової системи осушення (БСО) або баластних насосів, що дає змогу ефективно відводити воду з відсіків корпусу. Підсистема може ініціювати процеси ремонту або герметизації, якщо виникають пошкодження корпусу. Виконавче обладнання забезпечує високий рівень автономії катера, що дає йому можливість ефективно працювати без постійного моніторингу з боку екіпажу. У разі відмови одного з компонентів виконавчого обладнання може переключити на резервну систему або налаштувати роботу інших частин системи для забезпечення безпеки.

БСО складається з кількох насосів і клапанів, які працюють автоматично, отримуючи команди від виконавчого обладнання підсистеми КСНВ. БСО може бути активована, коли рівень води досягає критичних значень, що потребує негайного відведення води з відсіків. Це дає змогу зберегти плавучість та стабільність катера, навіть якщо вода потрапила в його корпус. У системі осушення також передбачені фільтри, які очищають воду перед її викидом в морське середовище, що відповідає екологічним вимогам. Під час роботи БСО автоматично вимірюється ефективність її роботи, і в разі потреби система може регулювати продуктивність насосів. У разі відмови однієї з частин системи осушення БСО має резервні варіанти роботи, що забезпечують стабільне функціонування навіть за умов неполадок. Крім того, система має механізм самодіагностики, що дає змогу вчасно виявити проблеми та скоригувати роботу системи.

Підсистема керування баластними насосами використовується для підтримки стабільності та рівноваги катера. Вона потрібна для вирівнювання баласту або видалення води, що потрапила у відсіки корпусу. Баластні насоси автоматично активуються в разі виявлення потрапляння води в корпус, щоб уникнути порушення рівноваги катера. Ці насоси здатні працювати на високих потужностях, забезпечуючи швидке й ефективне видалення води з відсіків. Підсистема здатна автоматично налаштовувати рівень баласту

залежно від обставин, що сприяє підтримці оптимальної плавучості катера. У разі відмови одного з насосів система може перемикається на резервний насос, що забезпечує неперервну роботу.

Підсистема керування пожежними насосами знаходить своє призначення для забезпечення безпеки в екстремальних ситуаціях, як-от пожежа або інші аварії, коли потрібно швидко видаляти великі об'єми води. Пожежні насоси можуть працювати на високій потужності, щоб за короткий час вивести велику кількість води з корпусу катера, що дає змогу уникнути затоплення. Вони автоматично вмикаються в разі спрацювання сенсорів аварійного рівня або за сигналом виконавчого обладнання. Крім того, пожежні насоси можуть бути використані для гасіння пожеж, оскільки вода є ефективним засобом боротьби з полум'ям.

Підсистема керування засувами дає можливість відкривати або закривати клапани, що відповідають за перенаправлення води з однієї частини катера в іншу або злив води за межі бортів. Засуви можуть використовуватися для контролю за потоком води у випадках аварій або для забезпечення нормального функціонування систем осушення та баластування. Підсистема може автоматично регулювати роботу клапанів залежно від рівня води, що дає змогу ефективно контролювати ситуацію. У разі потреби засуви можуть бути відкриті дистанційно оператором через ЦКМ, що забезпечує додаткову гнучкість. Система має кілька рівнів безпеки, щоб унеможливити помилкові команди й забезпечити точність у керуванні.

Принцип роботи підсистеми КСНВ в корпусі БНК реалізується відповідно до алгоритмічного забезпечення, наведеного на рис. 3.

За наявності електричного живлення в підсистемі КСНВ виконавче обладнання опитує стан кожного сенсора й обмінюється інформацією із САК БНК. Кількість сенсорів залежить від конструктивних особливостей катерів, у системі можуть використовуватися мінімум два сенсори – передаварійний сенсор рівня та головний аварійний сенсор рівня.

У разі якщо до корпусу БНК потрапить вода та її рівень досягне відмітки 0,1 м, спрацює сенсор передаварійного рівня (ПР) відповідного місця встановлення. На вході з'явиться сигнал. Сигналізатор обробить отриману інформацію та відправить сигнали: «Відкрити засуви», де спрацював сенсор передаварійного рівня до БСО; «Відкрити напірні і всмоктувальні засуви (НВЗ) баластного

насоса» до БСО; «Пуск баластного насоса» до БСО; «Інформація про стан підсистеми КСНВ» до САК БНК; релейним виходом подає напругу на світлосигнальну апаратуру «Передаварійний рівень»; релейним виходом подає напругу на звукову сигналізацію про досягнення «Передаварійного рівня».

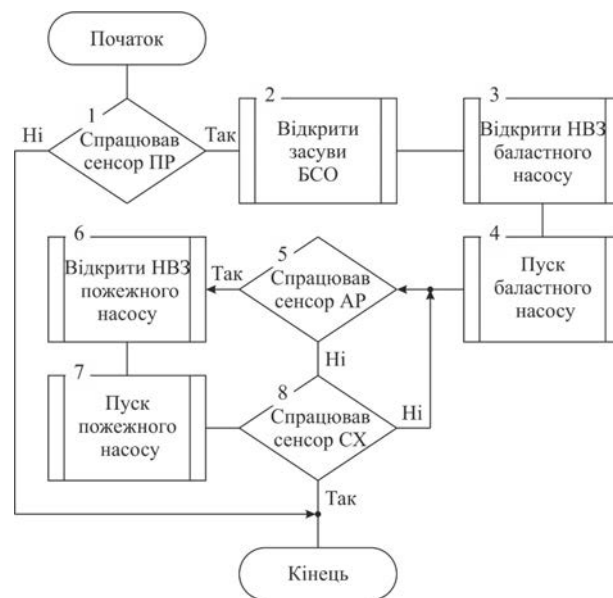


Рис. 3. Алгоритмічне забезпечення роботи підсистеми КСНВ

У випадку зростання рівня води в трюмі спрацює сенсор аварійного рівню (АР). На відповідному вході з'явиться сигнал. Після обробки отриманих даних виконавче обладнання відправляє сигнали: «Інформація про стан підсистеми КСНВ» до САК БНК; релейним виходом подає напругу на світлосигнальну апаратуру «Головний аварійний рівень»; релейним виходом подає напругу на звукову сигналізацію про досягнення «Головного аварійного рівня».

Для випадків коли рівень води продовжує збільшуватися, що свідчить про недостатню продуктивності баластного насоса, система має можливість застосувати алгоритм каскадного режиму й передати відповідні сигнали: «Відкрити НВЗ пожежного насоса» до БСО; «Пуск пожежного насоса» до БСО.

Вимкнення насосів здійснюється за сигналом сенсора сухого ходу (СХ). Сенсор розміщується на всмоктувальних трубопроводах кожного з насосів і безпосередньо зупиняє працюючий насос до того, як він контактуватиме з повітрям. Сенсор СХ належить до БСО, та немає потреби у його дублюванні в підсистемі КСНВ.

Основні технічні характеристики розробленої підсистеми КСНВ в корпусі БНК наведені в табл. 1.

Таблиця 1
Технічні характеристики підсистеми КСНВ в корпусі БНК

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга змінного живлення, В	220
2	Частота мережі, Гц	50
3	Ультразвукові сенсори	ZMICROFLEX-C – 6 шт.
4	Контролер	Siemens simatic S7-1200
5	Автоматичний вимикач	Moeller 25A – 1 шт.
6	Реле напруги	Moeller 40A – 1 шт.
7	Інтерфейс підключення до САК БНК	RS-485
8	Сумарна споживча потужність, Вт	100
9	Ступінь захисту в закритому стані	IP67
10	Матеріал корпусу блока КСНВ	алюміній
11	Габаритні розміри виробу, мм	392 × 340 × 144
12	Маса в зібраному стані, кг	10

Запропонована структура САК БНК здатна забезпечити його безпечне та результативне функціонування під час виконання місії, отримання достовірних навігаційних даних і виконання поставлених завдань у складних морських умовах. З метою гарантування безпеки роботи САК бортовими підсистемами БНК розроблено структуру й алгоритмічне забезпечення підсистеми сигналізації наявності води в корпусі, що в разі виникнення надзвичайних ситуацій забезпечить автономне функціонування БНК під час проведення місії.

Перед застосуванням підсистеми КСНВ в корпусі БНК потрібно підключити всю електричну й інформаційну комутацію. З увімкненням автоматичного вимикача запускається реле напруги для визначення поточного значення напруги в електричній мережі. Якщо напруга в бортовій електричній мережі перебуває в номінально заданих межах, реле подає живлення до контролера. Після виконання описаних дій система сигналізації вже перебуває в режимі експлуатації. У випадку виникнення передаварійної ситу-

ації в одному або декількох місцях корпусу БНК контролер отримає сигнал від сенсора рівня та подає сигнал до САК. Аналогічні дії будуть виконані у випадку виникнення головної аварійної ситуації в одному або декількох місцях корпусу БНК. Функціонування виробу забезпечується підключенням до САК БНК через інтерфейс RS-485.

ВИСНОВКИ. Розроблено структуру системи автоматичного керування безекіпажним надводним катером, яка об'єднує навігаційні, комунікаційні та керівні функції для забезпечення його ефективної працездатності за реалізації таких режимів роботи, як патрулювання, проведення рятувальних операцій та охорона об'єктів морської інфраструктури. До складу структури входять різноманітні системи автоматичної безпеки, призначені для виявлення загроз і захисту обладнання катера, які можуть працювати з підсистемою контролю та сигналізації наявності води.

Розроблено структуру й алгоритмічне забезпечення підсистеми контролю та сигналізації наявності води в корпусі безекіпажного надводного катера як складової компоненти його системи автоматичного керування. Впровадження підсистеми забезпечує в режимі реального часу можливість проведення спеціальних заходів щодо протидії виникненню аварійної ситуації під час виконання місії із застосування безекіпажного надводного катера.

Автор вважає за доцільне спрямувати подальші дослідження на вирішення проєктних задач, пов'язаних із розробкою методів контролю технічних параметрів складових елементів бортових систем для зменшення ризиків виникнення відмов під час довготривалих режимів роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tan G., Zhuang J., Zou J. Coordination control for mul-tiple unmanned surface vehicles using hybrid behavior-based method. *Ocean Engineering*, 2021, 232, 109147.
2. Sun X., Wang G., Fan Y. A formation collision avoidance system for unmanned surface vehicles with leader-follower structure. *IEEE Access*, 2019, 7, 24691–24702.
3. Tao Y., Du J., Lewis F.L. Integrated intelligent guidance and motion control of USVs with anticipatory collision avoidance decision-making. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 2024, 25 (11), 17810–17820.
4. Zhou C., Gu S., Wen Y. The review unmanned surface vehicle path planning: Based on multi-modality constraint. *Ocean Engineering*, 2020, 200, 107043.
5. Males L., Sumic D., Rosic M. Applications of multi-agent systems in unmanned surface vessels. *Electronics*, 2022, 11 (19), 3182.
6. Wu A., Yang R.N., Liang X.L. Cooperative search algorithm based on pheromone decision for UAV swarm.

Journal of Beijing Univ Aeronautics Astronautics, 2021, 47 (04), 814–827.

7. Xiao Q., Zheng W.G. Design of ship anti-collision alarm system based on laser range-finding. *Applied mechanics and materials*, 2014, 496 (500), 1502–1505.

8. Pinheiro L., Fortes C.J., Lopes P., Poseiro P., Santos J.A. Warning system for navigation and moored ships in ports. *Revista de engenharia térmica*, 2018, 16(2), 27.

9. Yujuan W., Chao S., Jiahui H., Hua C. Model-free adaptive control for unmanned surface vessels: a literature review. *Systems science & control engineering: an open access journal*, 2024, 12 (1), 1–9.

10. Melnyk O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Shumylo O., Voloshyn A., Koskina Y., Volianska Y. Review of ship information security risks and safety of maritime transportation issues. *The international journal on marine navigation and safety of sea transportation (TransNav)*, 2023, 16 (4), 717–722.

11. Liu J., Achurra A., Zhang C., Bury A., Wang X. A long short term memory network-based, global navigation satellite system/inertial navigation system for unmanned surface vessels. *Journal of marine engineering & technology*, 2024, 23 (1), 1–13.

12. Tang H., Yin Y., Shen H. A model for vessel trajectory prediction based on long short-term memory neural network. *Journal of marine engineering & technology*, 2022, 21 (3), 136–145.

13. Zitouni F., Maamri R., Harous S. FA-QABC-MRTA: asolution for solving the multi-robot task allocation problem. *Intellig service robot*, 2019, 12 (4), 407–418.

14. Guo M., Zhou X., Guo C., Liu Y., Zhang C., Bai W. Adaptive federated filter-combined navigation algorithm based onobservability sharing factor for maritime autonomous surface ships. *Journal of marine engineering & technology*, 2024, 23 (2), 98–112.

15. Wang Q., Zhang M. Inertial navigation system gyroscopic on-line calibration assisted by marine star sensor based on forgetting factor selection of a Sage-Husa filter. *Journal of marine engineering & technology*, 2022, 21 (1), 1–8.

16. Gongxing, Wu, Taotao Xu, Yushan Sun, Jiawei Zhang. Review of multiple unmanned surface vessels collaborative search and hunting based on swarm intelligence. *International journal of advanced robotic systems*, 2022, 19 (2), 1–20.

17. Zheng Y.B., Fan W.X., Han M.Y. Research on multi-agent collaborative hunting algorithm based on game theory and Q-learning for a single escaper. *Journal of intelligent fuzzy system*, 2021, 40 (03), 1–15.

18. Zhao Y., Fenglei H., Duanfeng H., Xiao P., Wangyuan Z. Decision-making for the autonomous navigation of USVs based on deep reinforcement learning under IALA maritime buoyage system. *Ocean Engineering*, 2022, 266 (5), 112557.

19. Wei G.A., Zhang J.Q. Research on formation navigation of USV based on improved A* and DWA fusion algorithm. *Journal of computational methods in sciences and engineering*, 2024, 24 (4–5), 3191–3209.

20. Liu W., Chen S., Hu Y., Lou N., Wang S. Enhancing USVs navigation based on minimum error entropy of GPS vector tracking. *Measurement science and technology measurement science and technology*, 2024, 35 (7), 076307.

21. Bahatskji O., Bahatskji V. Review and analysis of the characteristics of IoT sensors. *Cybernetics and computer technologies*, 2023, 4, 62–75.

22. Melnyk O., Bychkovsky Y., Voloshyn A. Water quality monitoring and measuring physicochemical parameters using wireless sensor networks. *Scientific journal of Silesian university of technology series transport*, 2022, 114, 91–101.

23. Murthy N.S., Shaik F.A. Water quality monitoring and measuring physicochemical parameters using wireless sensor networks. *African journal of aquatic science*, 2023, 48 (4), 1–8.

STRUCTURE OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR AN UNMANNED SURFACE VESSEL

Andrii Voitasyk

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Electrical Engineering of Ship and Robotic Complexes

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Heroiv Ukrainy ave., 9, Mykolaiv, Ukraine, 54025,
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9409-6108

Ihor Sabutskyi

Postgraduate Student

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Heroiv Ukrainy ave., 9, Mykolaiv, Ukraine, 54025,
sabutskyi1994@gmail.com

ORCID: 0009-0001-6045-3250

The structure of the automatic control system for an unmanned surface vessel has been developed with the possibility of implementing a subsystem for control and alarm the presence of water in the hull. The development has been implemented using sensors that operate at pre-emergency and emergency levels. The subsystem has been implemented using a method for synthesizing algorithms for automatic notification and actions, as well as a computer modeling method

for conducting experimental testing and verifying the operability of the proposed solutions. The proposed structure of the automatic control system for an unmanned surface vessel provides for the presence of subsystems: alarm the presence of water in the vessel hull, energy monitoring, external video surveillance, and control of attached electrical equipment. The interaction between the components of the automatic control system is implemented via an RS-485 network interface using a controller. The principle of automatic control of an unmanned surface vessel has been further developed with the introduction of a subsystem for control and alarm the presence of water in the hull of a marine moving object, which provides the ability to automatically adjust further actions depending on the water level. In particular, the executive equipment can send signals to activate the on-board drainage system, which allows for effective removal of water from the hull compartments. The results of the study form the scientific and technical basis for the project to create an improved version of the automatic control system for an unmanned surface vessel for effective performance in the implementation of such operating modes as patrolling, conducting rescue operations and protecting marine infrastructure facilities.

Key words: unmanned surface vessel, automatic control system, subsystem of control and alarm, sensor.

REFERENCES

1. Tan, G., Zhuang, J., & Zou, J. (2021). Coordination control for multiple unmanned surface vehicles using hybrid behavior-based method. *Ocean Engineering*, 232, 109147.
2. Sun, X., Wang, G., & Fan, Y. (2019). A formation collision avoidance system for unmanned surface vehicles with leader-follower structure. *IEEE Access*, 7, 24691–24702.
3. Tao, Y., Du, J., & Lewis, F.L. (2024). Integrated intelligent guidance and motion control of USVs with anticipatory collision avoidance decision-making. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25 (11), 17810–17820.
4. Zhou, C., Gu, S., & Wen, Y. (2020). The review unmanned surface vehicle path planning: Based on multi-modality constraint. *Ocean Engineering*, 200, 107043.
5. Males, L., Sumic, D., & Rosic, M. (2022). Applications of multi-agent systems in unmanned surface vessels. *Electronics*, 11 (19), 3182.
6. Wu, A., Yang, R.N., & Liang, X.L. (2021). Cooperative search algorithm based on pheromone decision for UAV swarm. *Journal of Beijing Univ Aeronautics Astronautics*, 47 (4), 814–827.
7. Xiao, Q., & Zheng, W.G. (2014). Design of ship anti-collision alarm system based on laser range-finding. *Applied Mechanics and Materials*, 496 (500), 1502–1505.
8. Pinheiro, L., Fortes, C.J., Lopes, P., Poseiro, P., & Santos, J.A. (2018). Warning system for navigation and moored ships in ports. *Revista de Engenharia Térmica*, 16 (2), 27.
9. Yujuan, W., Chao, S., Jiahui, H., & Hua, C. (2024). Model-free adaptive control for unmanned surface vessels: A literature review. *Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal*, 12 (1), 1–9.
10. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shumylo, O., Voloshyn, A., Koskina, Y., & Volianska, Y. (2023). Review of ship information security risks and safety of maritime transportation issues. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav)*, 16 (4), 717–722.
11. Liu, J., Achurra, A., Zhang, C., Bury, A., & Wang, X. (2024). A long short-term memory network-based, global navigation satellite system/inertial navigation system for unmanned surface vessels. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 23 (1), 1–13.
12. Tang, H., Yin, Y., & Shen, H. (2022). A model for vessel trajectory prediction based on long short-term memory neural network. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 21 (3), 136–145.
13. Zitouni, F., Maamri, R., & Harous, S. (2019). FA-QABC-MRTA: A solution for solving the multi-robot task allocation problem. *Intelligent Service Robot*, 12 (4), 407–418.
14. Guo, M., Zhou, X., Guo, C., Liu, Y., Zhang, C., & Bai, W. (2024). Adaptive federated filter-combined navigation algorithm based on observability sharing factor for maritime autonomous surface ships. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 23 (2), 98–112.
15. Wang, Q., & Zhang, M. (2022). Inertial navigation system gyroscopic on-line calibration assisted by marine star sensor based on forgetting factor selection of a Sage-Husa filter. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 21 (1), 1–8.
16. Wu, G., Xu, T., Sun, Y., & Zhang, J. (2022). Review of multiple unmanned surface vessels collaborative search and hunting based on swarm intelligence. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 19 (2), 1–20.
17. Zheng, Y.B., Fan, W.X., & Han, M.Y. (2021). Research on multi-agent collaborative hunting algorithm based on game theory and Q-learning for a single escaper. *Journal of Intelligent Fuzzy System*, 40 (3), 1–15.
18. Zhao, Y., Fenglei, H., Duanfeng, H., Xiao, P., & Wangyuan, Z. (2022). Decision-making for the autonomous navigation of USVs based on deep reinforcement learning under IALA maritime buoyage system. *Ocean Engineering*, 266 (5), 112557.
19. Wei, G.A., & Zhang, J.Q. (2024). Research on formation navigation of USV based on improved A* and DWA fusion algorithm. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 24 (4–5), 3191–3209.
20. Liu, W., Chen, S., Hu, Y., Lou, N., & Wang, S. (2024). Enhancing USVs navigation based on minimum error entropy of GPS vector tracking. *Measurement Science and Technology*, 35 (7), 076307.
21. Bahatskji, O., & Bahatskji, V. (2023). Review and analysis of the characteristics of IoT sensors. *Cybernetics and Computer Technologies*, 4, 62–75.
22. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., & Voloshyn, A. (2022). Water quality monitoring and measuring physicochemical parameters using wireless sensor networks. *Scientific Journal of Silesian University of Technology Series Transport*, 114, 91–101.
23. Murthy, N.S., & Shaik, F.A. (2023). Water quality monitoring and measuring physicochemical parameters using wireless sensor networks. *African Journal of Aquatic Science*, 48 (4), 1–8.

Стаття надійшла 10.10.2024