

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-286-6-166-173>

УДК 681.5

АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ МОРСЬКОЇ ОБСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

Збруцький О.В., Сірівчук А.С., Клочков О.П.

AUTOMATION OF A ROBOTIC MARINE MONITORING NETWORK USING AN UNMANNED SURFACE VESSEL

Zbrutsky O.V., Sirivchuk A.S., Klochkov O.P.

Моніторинг надводної та підводної обстановки є одним з важливих аспектів забезпечення захисту кожної морської країни. На даний час найбільш затребуваними засобами висвітлення підводної обстановки є статичні гідроакустичні станції та безекіпажні надводні судна. Основними проблемами їх використання є те, що гідроакустичні станції, які знаходяться далеко в морі, можуть бути виявлені порушниками з-за наявності радіосигналів, які транслюються з радіобуїв, а безекіпажні надводні судна не забезпечують безперервного моніторингу визначеної морської акваторії. Метою статті є розробка концепції побудови системи автоматичного моніторингу надводної та підводної обстановки у територіальних водах держави на базі оперативно розгорнутої морської мережі, яка побудована на основі використання безекіпажних надводних суден та стаціонарних гідроакустичних станцій з радіобуями. Запропонована структура оперативно розгорнутої мережі пасивних гідроакустичних станцій для виявлення підводних і надводних потенційно небезпечних об'єктів та порушників в територіальних водах держави. Основною складністю експлуатації запропонованої мережі є просторове розташування гідроакустичної станції при встановленні її у визначеному місці донної поверхні. Для можливості контролю цього процесу та обслуговування гідроакустичних станцій передбачено використання ненаселеного прив'язного підводного апарата. Надано опис концепції функціонування оперативно розгорнутої мережі пасивних гідроакустичних станцій, яка базується на почерговому отриманні безекіпажним надводним судном інформації від гідроакустичних станцій про стан підводної обстановки. Як невід'ємну складову мережі розглянуто канал зв'язку судна з береговим постом керування системою моніторингу морської обстановки. Запропоновано алгоритм штатної

роботи оперативно розгорнутої мережі, в якому перед обміном даними між безекіпажним надводним судном та пасивною гідроакустичною станцією, передбачена процедура ініціалізації каналу гідроакустичного зв'язку. Для підвищення достовірності ідентифікації виявленого об'єкта-порушника передбачено залучено берегових систем керування рухом суден.

Ключові слова: моніторинг морської обстановки; безекіпажне надводне судно; гідроакустична станція; система керування; алгоритм керування.

Вступ. Моніторинг надводної та підводної обстановки в межах територіальних вод морських держав є актуальною задачею сьогодення [1, 2].

В провідних країнах світу для моніторингу територіальних вод вже використовуються безекіпажні надводні судна (БНС) [3-5]. Такі засоби дозволяють більш ефективно проводити моніторинг за рахунок автоматичного руху судна та забезпечують можливість керування однією командою операторів декількома транспортними засобами одночасно. Проте, такий підхід не дає змоги забезпечити спостереження за акваторією захисту цілодобово.

Постійний моніторинг надводної та підводної обстановки можуть забезпечити спеціалізовані гідроакустичні станції, які стаціонарно встановлюються на донну поверхню [6, 7]. Такі станції мають обмежений радіус дії, але дозволяють отримувати дані

практично в режимі реального часу. Вони можуть встановлюватися неподалік від берега та передавати сигнал по кабельним каналам зв'язку або розміщуватись далеко в морі та передавати інформацію про морську обстановку радіо- та супутниковими каналами через спеціалізовані радіобуї [8,9].

Актуальність системи моніторингу стану територіальних вод України, особливо для задач виявлення незареєстрованих плавучих засобів, підтверджується у публікаціях щодо цієї теми [10-12]. Наразі для задач автоматизованого моніторингу акваторій використовуються спеціалізовані БНС та стаціонарні системи [4-9]. Перший варіант моніторингу не може пропустити події, які виникають тоді, коли поряд немає спеціалізованого надводного судна, а другий варіант може бути виявлений порушниками через активне випромінювання радіохвиль від радіобуїв

Також постійна передача даних призводить до високих енергетичних затрат радіобуя, а періодичне його спускання та піднімання також є енерговитратним.

В свою чергу, швидкий розвиток та застосування безкіпажних самохідних підводних апаратів практично в усіх сферах, в тому числі й охороні захищених акваторій, породжує новий тип комунікаційних систем, які мають назву Інтернет дронів (ІД) (Internet of Drones) [13]. Такі системи розробляються з оптимізацією енергозатрат, що значно підвищує їх час автономної роботи. На базі таких систем будуються літаючі сенсорні мережі, які забезпечують моніторинг навколишнього середовища у віддалених та важкодоступних місцях [14].

Об'єднання існуючих концепцій моніторингу підводної обстановки з принципами, на яких побудовано авіаційні бездротові сенсорні мережі, є перспективним напрямком розвитку систем моніторингу територіальних вод морської держави.

Мета дослідження. Метою є розробка концепції побудови системи автоматичного моніторингу надводної та підводної обстановки на базі оперативно розгорнутої морської мережі, яка побудована на основі використання безкіпажних надводних суден та стаціонарних гідроакустичних станцій з радіобуями.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження є оперативно розгорнута сенсорна мережа на базі донних гідроакустичних станцій та БНС. Предметом дослідження є технологія застосування та узагальнений алгоритм функціонування оперативно розгорнутої мережі для моніторингу морської обстановки.

Викладання основного матеріалу. Для моніторингу надводної та підводної обстановки пропонується використання мережі пасивних гідроакустичних станцій (ПГС), які обладнані гідроакустичними модемами [6]. Збір та використання за призначення інформації, яка накопичується на ПГС, забезпечується безкіпажними патрульними катерами, які мають проходити поряд з передаючими пристроями, а отримана інформація через супутниковий канал зв'язку буде надходити на наземний пост керування (рис. 1).

Робота по створенню оперативно розгорнутої мережі включає в себе чотири етапи:

- Етап-1 (планування мережі) – визначення технічних складових мережі на базі донних гідроакустичних станцій та місць їх розташування;

- Етап-2 (розгортання мережі) – доставка кожної ПГС до визначеного для неї місця встановлення, фіксація географічних координат та перевірка правильності її просторового розташування, для чого використовуються прив'язні підводні апарати, які з'єднані з судном-носієм, або автономні підводні апарати, які реалізують відомі технології доставки і встановлення ПГС [8, 15];

- Етап-3 (штатна робота) – збирання гідроакустичної інформації про морську обстановку стаціонарно розташованими на донній поверхні ПГС згідно Етапу-2 та подальше її накопичення в енергонезалежній пам'яті станції. При підході БНС у робочу зону конкретної ПГС відбувається ініціалізація з'єднання між судном та станцією і виконується, власне, передача накопичених даних до системи зв'язку БНС. У подальшому БНС передає отриманні дані на наземний пост керування та після закінчення процесу передачі даних продовжує свою місію переходу до наступної ПГС;

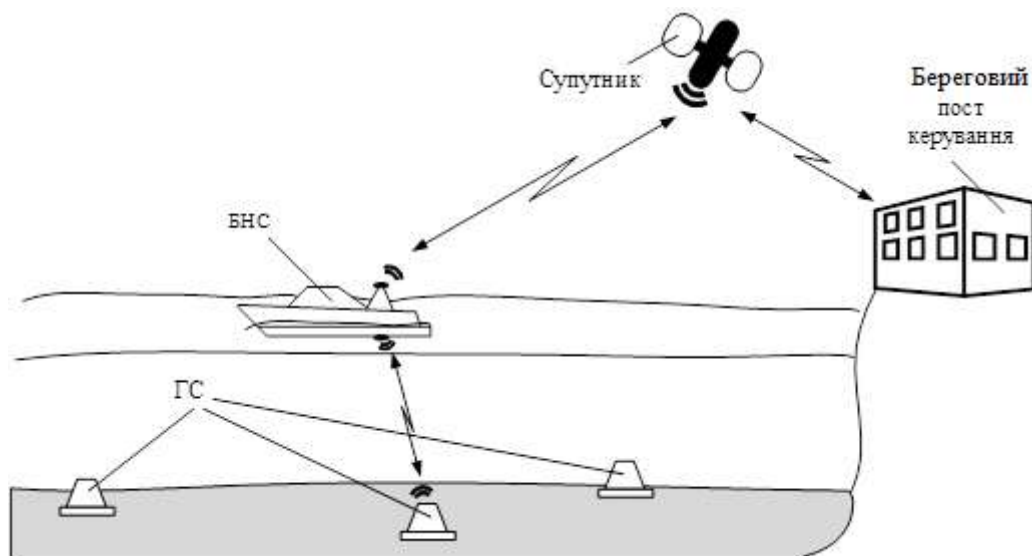


Рис. 1. Структура оперативно розгорнутої мережі для моніторингу морської обстановки

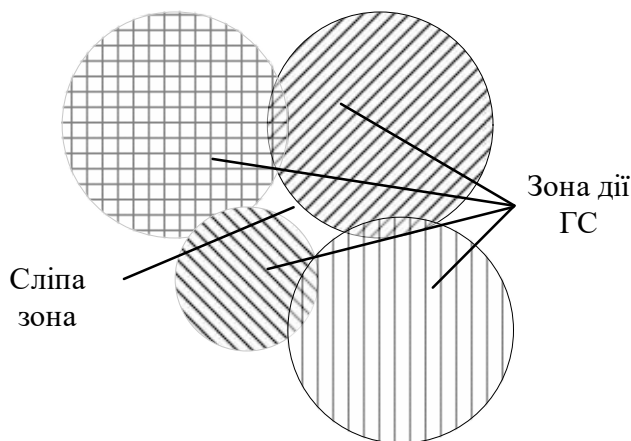


Рис. 2. Зона спостереження мережі

— Етап-4 (обслуговування мережі) — проводиться періодично в залежності від вимог обслуговування ПГС. Це передбачає діагностику ПГС, заміну елементів енергоживлення або інші профілактичні роботи. Розглянемо дані етапи більш детально.

Для ефективного розгортання даної мережі перш за все необхідно визначити типи ПГС, що будуть входити до її складу, в залежності від зони їхньої дії. Наразі виділяються три зони: зона ближньої дії (до 500 м), зона середньої дії (до 15 км) та зона дальньої дії (понад 15 км). Виходячи з даної класифікації до складу оперативно розгорнутої мережі моніторингу морської обстановки доцільним є використання лише ПГС середньої та дальньої дії.

Гідроакустичні станції необхідно встановлювати в місцях ймовірного виявлення

порушників або в місцях, де знаходяться критично важливі об'єкти, такі як підводні трубопроводи, комунікаційні кабелі тощо [16]. Місця встановлення ПГС необхідно обирати таким чином, щоб не було «сліпих» зон або «сліпі» зони мали замкнутий контур (рис. 2).

Замкнутий контур «сліпої» зони дозволить гарантувати, що імовірний порушник до неї не проникне без виявлення зовнішніми ПГС, а також не вийде з неї непоміченим. Це гарантує ефективність роботи мережі.

Розгортання мережі загалом складається з доставки та установки гідроакустичних станцій в місце їх базування та фіксація координат установки кожної конкретної ПГС.

Установка станції можлива декількома способами:

– спуск модулів ПГС за допомогою вантажних лебідок. Така установка не забезпечує задану точність встановлення на ґрунт, оскільки неможливо контролювати знос модулів під дією течії. Також антенний модуль може бути встановлено зі значним відхиленням від горизонтального положення з-за нерівностей морського дна, що призведе до погіршення роботи ПГС;

– використання ненаселених підводних апаратів-роботів. Такі апарати забезпечують точне розміщення ПГС на донній поверхні та контроль правильності встановлення обладнання, але вимагають додаткових технічних засобів. Для встановлення ПГС на територіях з вільним судноплавством бажано використовувати прив'язні підводні системи, а там, де використання судна-носія неможливе або необхідна велика глибина встановлення, використовуються автономні ненаселені підводні апарати. Принцип їх встановлення описаний в [15].

Згідно з запропонованою концепцією штатне функціонування мережі передбачає проходження БНС траєкторією, яка має пролягати через координати кожної ПГС мережі. При підході до координат місця розміщення конкретної пасивної гідроакустичної станції БНС вмикає судову апаратуру гідроакустичного модему та надсилає сигнал до ПГС для ініціалізації з'єднання з апаратурою його гідроакустичного модему.

Процес ініціалізації з'єднання складається з декількох процедур:

– періодичне надсилання запиту на підключення. Дана частина вважається завершеною, якщо від адресата було отримано пакет відповіді або перевищено час спроб підключення. Для мережі час спроб на підключення відповідає часу від входження в зону дії модему ГС (визначається можливостями гідроакустичного модему) до часу, коли БПК проходить над географічними координатами ГС;

– авторизація ГС та БПК – пропонується використання сертифікатів, що забезпечить надійність підключення та неможливість повторного відтворення після перехоплення;

– обмін службовою інформацією – під службовою інформацією мається на увазі ідентифікатори ПГС та БПК, протокол обміну тощо;

– після проходження даних процедур канал зв'язку вважається налаштованим.

Узагальнений алгоритм роботи БНС в штатному режимі наведено на рис. 3.

Якщо ініціалізація не проходить через відсутність зворотного пакету даних за з'єднання або помилок авторизації, тоді передається сигнал оператору, що зв'язок з ПГС відсутній, а БНС буде рухатися до координат наступної ПГС. У разі правильного налаштування каналу зв'язку БНС отримує дані від ПГС та транслює їх до берегового поста керування. До таких даних відносяться: внутрішній стан ПГС та рівень заряду акумуляторних батарей, відомості про надводні або підводні об'єкти з прив'язкою до часу їх виявлення гідроакустичною станцією. У разі, якщо об'єкти було виявлено, інформація передається на пост керування та обробляється оператором з урахуванням інформації, яка надходить від берегових систем керування рухом суден, що дозволить ідентифікувати об'єкти [17].

Якщо об'єкт не вдається ідентифікувати, рух БНС може бути змінено в напрямку руху до неідентифікованого об'єкта або в бік наступної ПГС, яка могла його виявити. Рішення про напрямок подальшого руху приймається оператором берегового посту керування системою моніторингу морської обстановки.

Зазначимо, що для підтримки тривалого функціонування запропонованої системи її необхідно обслуговувати. До основних задач обслуговування відносяться:

– заміна акумуляторних батарей – на сьогодні для багатьох підводних систем існують готові рішення для безпечного рознімання силових батарей під водою та їх повторного з'єднання, тому даний процес під час періодичного обслуговування не вимагає піднімання ПГС на судно забезпечення;

– ремонт ПГС – для ремонту або заміни ПГС її необхідно підняти на судно обслуговування; підняття ПГС доцільно виконувати за допомогою ненаселених підводних апаратів [18]. Ремонтні роботи виконуються в разі відсутності сигналів від ПГС при штатній роботі або при отриманні коду несправності під час отримання внутрішніх даних ПГС.

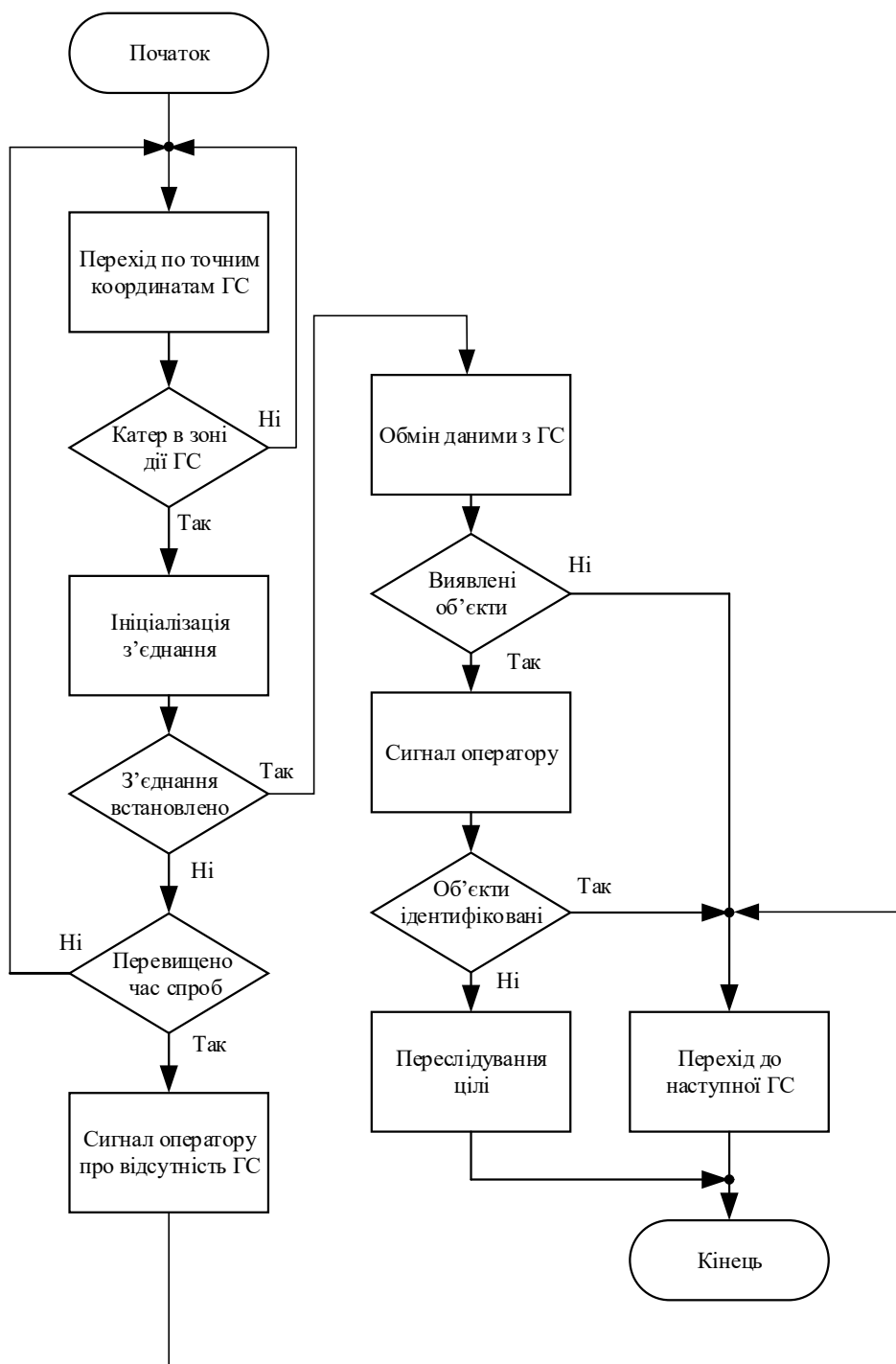


Рис. 3. Узагальнений алгоритм роботи катера в штатному режимі

Висновки. Представлена структура автоматизації роботизованої мережі моніторингу підводної обстановки доповнює традиційні технології моніторингу з використанням безпечних надводних суден. Запропонована концепція дозволяє виключити пропуски в обстеженні підводного простору, які може допустити традиційно оснащене безпечне надводне судно, є більш

енергоєфективною та збільшує час автономної роботи гідроакустичних систем.

В подальших дослідженнях доцільно провести аналіз алгоритмів побудови оптимальної траєкторії руху для безпечного надводного судна при обході робочих зон пасивних гідроакустичних станцій розгорнутої мережі.

Література

- Vasiljević A., Nađ Đ., Mandić F., Mišković N., Vukić Z. Coordinated Navigation of Surface and Underwater Marine Robotic Vehicles for Ocean Sampling and Environmental Monitoring. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2017. Vol. 22, Issue 3. P. 1174–1184. DOI: 10.1109/TMECH.2017.2684423.
- Suciu G., Suciu V., Dobre C., Chilipirea C. Tele-Monitoring System for Water and Underwater Environments Using Cloud and Big Data Systems. 2015 20th International Conference on Control Systems and Computer Science. 2015. DOI: 10.1109/SCSCS.2015.31.
- Uncrewed Patrol Vessel. Ocean alpha. URL: <https://oceanalpha.com/product-item/m75/>.
- U.S. Navy Tests Unmanned Patrol Boat for Port Security. The Maritime Executive. 2020. URL: <https://www.maritime-executive.com/article/u-s-navy-tests-unmanned-patrol-boat-for-port-security>.
- Unmanned Oceanic Patrol Vessel. TECNOVERITAS. URL: <https://www.tecnoveritas.net/rd-projects/uopv/>.
- Олімп-3К. Spets Techno Export. URL: <https://spetstechnoexport.com/uk/product/olimp-3k>.
- SAES solutions defence & security. URL: https://electronica-submarina.com/wp-content/uploads/2018/08/Portfolio_SAES_english-1.pdf.
- Блінцов В.С., Войтасик А.М. Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно. Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія. 2016. № 04. С. 50–59.
- Контроль за морем: якою має бути українська система висвітлення надводної та підводної обстановки. Defense Express. 2020. URL: https://defence-ua.com/news/kontrol_za_morem_abo_jakoju_maje_buti_ukrajinska_sistema_visvitlennja_nadvodnoji_ta_pidvodnoji_obstanovki-1715.html.
- Мазур В.Ю., Боровик О.В. Концепція розбудови єдиної системи висвітлення надводної обстановки на морській (річковій) ділянці в контексті забезпечення прикордонної безпеки. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. 2018. № 1(31). С. 137–142. DOI: 10.33099/2311-7249/2018-31-1-137-142.
- Інформаційно захищена система моніторингу морської акваторії на базі безекіпажних підводних апаратів: метод. вказівки / Ж.Ю. Буруніна та ін.; за заг. ред. В.С. Блінцова. Миколаїв: НУК, 2018. 40 с.
- Askerbekov D., Garza-Reyes J.A., Ghatak R.R., Joshi R., Kandasamy J., Nascimento D.L.M. Embracing drones and the Internet of drones systems in manufacturing – An exploration of obstacles. *Technology in Society*. 2024. Vol. 78. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X24001969>.
- Kumar K., Kumar S., Kaiwartya O., Kashyap P.K., Lloret J., Song H. Drone assisted Flying Ad-Hoc Networks: Mobility and Service oriented modeling using Neuro-fuzzy. *Ad Hoc Networks*. 2020. Vol. 106. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570870520301062>.
- Zhang F., Liu H., Ma Z., Yang Y., Wan X. Study of UAV Application in Wireless Sensor Networks. 2020 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT). 2020. DOI: 10.1109/MECnIT48290.2020.9166681.
- Войтасик А.М. Розробка системи автоматичного керування багатовимірним рухом вантажного самохідного підводного носія в умовах невизначеності. Інформаційні системи, механіка та керування. 2020. № 22. С. 33–44.
- Coventry T. What should states do to combat the sabotage of submarine cables and pipelines beneath the high seas/EEZs? *European Journal of International Law*. 2024. URL: <https://www.ejiltalk.org/what-should-states-do-to-combat-the-sabotage-of-submarine-cables-and-pipelines-beneath-the-high-seas-eezs/>.
- Мельник О.М., Онищенко О.А., Васалатій Н.В., Корякін К.С., Пуляєв І.О., Щенявський Г.С. Технології інформаційної взаємодії у процесі підвищення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33 (72). № 4. С. 260–265.
- Blintsov V., Babkin G. Theoretical Basis of Design and Production of Marine Robotics. Prospects and priorities of research in science and technology: collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2020. Vol. 1. P. 25–43.

References

- Vasiljević A., Nađ Đ., Mandić F., Mišković N., Vukić Z. Coordinated Navigation of Surface and Underwater Marine Robotic Vehicles for Ocean Sampling and Environmental Monitoring. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2017. Vol. 22, Issue 3. P. 1174–1184. DOI: 10.1109/TMECh.2017.2684423.
- Suciu G., Suciu V., Dobre C., Chilipirea C. Tele-Monitoring System for Water and Underwater Environments Using Cloud and Big Data Systems. 2015 20th International Conference on Control

- Systems and Computer Science. 2015. DOI: 10.1109/CSCS.2015.31.
3. Uncrewed Patrol Vessel. Ocean alpha. URL: <https://oceanalpha.com/product-item/m75/>.
 4. U.S. Navy Tests Unmanned Patrol Boat for Port Security. The Maritime Executive. 2020. URL: <https://www.maritime-executive.com/article/u-s-navy-tests-unmanned-patrol-boat-for-port-security>.
 5. Unmanned Oceanic Patrol Vessel. TECNOVERITAS. URL: <https://www.tecnoveritas.net/rd-projects/uopv/>.
 6. Olimp-3K. Spets Techno Export. URL: <https://spetstechnoexport.com/uk/product/olimp-3k>.
 7. SAES solutions defence & security. URL: https://electronica-submarina.com/wp-content/uploads/2018/08/Portfolio_SAES_english-1.pdf.
 8. Blincov V.S., Vojtasyk A.M. Pidvodna robotyzovana tekhnologhija ustanovky korysnogho vantazhu na morskje dno. Pidvodni tekhnologhiji. Promyslova ta cyviljna inzhenerija. 2016. # 04. S. 50–59.
 9. Kontrolj za morem: jakuju maje buty ukrajinsjka systema vysvitlennja nadvodnoji ta pidvodnoji obstanovky. Defense Express. 2020. URL: https://defence-ua.com/news/kontrol_za_morem_abo_jakuju_maje_buti_ukrajinsjka_sistema_visvitlennja_nadvodnoji_ta_pidvodnoji_obstanovki-1715.html.
 10. Mazur V.Ju., Borovyk O.V. Koncepcija rozbudovy jedynoji systemy vysvitlennja nadvodnoji obstanovky na morskij (richkovij) diljanci v konteksti zabezpechennja prykordonnoji bezpeky. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. 2018. # 1(31). S. 137–142. DOI: 10.33099/2311-7249/2018-31-1-137-142.
 11. Informacijno zakhyshhena systema monitorynghu morskjokji akvatoriji na bazi bezekipazhnykh pidvodnykh aparativ: metod. vkazivky / Zh.Ju. Burunina ta in.; za zagh. red. V.S. Blincova. Mykolajiv: NUK, 2018. 40 s.
 12. Askerbekov D., Garza-Reyes J.A., Ghatak R.R., Joshi R., Kandasamy J., Nascimento D.L.M. Embracing drones and the Internet of drones systems in manufacturing – An exploration of obstacles. Technology in Society. 2024. Vol. 78. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X24001969>.
 13. Kumar K., Kumar S., Kaiwartya O., Kashyap P.K., Lloret J., Song H. Drone assisted Flying Ad-Hoc Networks: Mobility and Service oriented modeling using Neuro-fuzzy. Ad Hoc Networks. 2020. Vol. 106. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570870520301062>.
 14. Zhang F., Liu H., Ma Z., Yang Y., Wan X. Study of UAV Application in Wireless Sensor Networks. 2020 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT). 2020. DOI: 10.1109/MECnIT48290.2020.9166681.
 15. Vojtasyk A.M. Rozrobka systemy avtomatychnogho keruvannja baghatovymirnym rukhom vantazhnogho samokhidnogho pidvodnogho nosija v umovakh nevyznachenosti. Informacijni systemy, mekhanika ta keruvannja. 2020. # 22. S. 33–44.
 16. Coventry T. What should states do to combat the sabotage of submarine cables and pipelines beneath the high seas/EEZs? European Journal of International Law. 2024. URL: <https://www.ejiltalk.org/what-should-states-do-to-combat-the-sabotage-of-submarine-cables-and-pipelines-beneath-the-high-seas-eezs/>.
 17. Meljnyk O.M., Onyshhenko O.A., Vasalatij N.V., Korjakin K.S., Puljajev I.O., Shhenjavs'kyj Gh.S. Tekhnologhiji informacijnoji vzajemodiji u procesi pidvyshhennja bezpeky moreplavstva. Vcheni zapysky TNU im. V.I. Vernads'kogho. Serija: Tekhnichni nauky. 2022. Tom 33 (72). # 4. S. 260–265.
 18. Blintsov V., Babkin G. Theoretical Basis of Design and Production of Marine Robotics. Prospects and priorities of research in science and technology: collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2020. Vol. 1. P. 25–43.

Zbrutsky O.V., Sirivchuk A.S., Klochkov O.P., Automation of a robotic marine monitoring network using an unmanned surface vessel

Monitoring of the surface and underwater situation is one of the important aspects of ensuring the protection of each maritime country. Currently, the most popular means of covering the underwater situation are static hydroacoustic stations and unmanned surface vessels. The main problems of their use are that hydroacoustic stations located far out to sea can be detected by intruders due to the presence of radio signals transmitted from radio buoys, and unmanned surface vessels do not provide continuous monitoring of a certain sea area. The purpose of the article is to develop a concept for building a system for automatic monitoring of the surface and underwater situation in the territorial waters of the state on the basis of an operationally deployed marine network, which is built on the basis of the use of unmanned surface vessels and stationary hydroacoustic stations with radio buoys. The structure of an operationally deployed network of passive sonar stations for detecting underwater and surface potentially dangerous objects and intruders in the territorial waters of the state is proposed. The main difficulty in operating the proposed network is the spatial location of the sonar

station when installing it in a specific place on the bottom surface. To be able to control this process and maintain sonar stations, the use of an uninhabited moored underwater vehicle is envisaged. A description of the concept of the functioning of an operationally deployed network of passive sonar stations is provided, which is based on the alternate receipt by an unmanned surface vessel of information from sonar stations about the state of the underwater situation. As an integral component of the network, the vessel's communication channel with the coastal control post of the marine environment monitoring system is considered. An algorithm for the regular operation of an operationally deployed network is proposed, in which, before data exchange between an unmanned surface vessel and a passive sonar station, a procedure for initializing the sonar communication channel is provided. To increase the reliability of identification of the detected offending object, it is provided for the involvement of shore-based vessel traffic control systems.

Keywords: *monitoring of the marine environment; unmanned surface vessel; sonar station; control system; control algorithm.*

Збруцький Олександр Васильович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ), zbrutsky@cisavd.kpi.ua.

Сиривчук Андрей Сергеевич – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв), sirivchuka@gmail.com.

Клочков Олександр Павлович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв), oleksandr.klochkov@nuos.edu.ua.

Стаття подана 12.12.2024.