

АНАЛІЗ АВТОНОМНИХ НАДВОДНИХ СУДЕН ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ГІДРОГРАФІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Б.О. Єрмоленко

аспірант кафедри «Програмованої електроніки електротехніки та телекомунікацій»,
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова, Миколаїв, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0353-891X

Анотація

Вступ. У наш час питання автоматизації багатьох процесів набуває широкого поширення. Роботизовані системи з дистанційним керуванням є важливою віхою розвитку цього напрямку. Використання дронів та роботів у різних сферах діяльності пов'язане перш за все з великим попитом на такі апарати, тому багато досліджень відбуваються з застосуванням подібних систем. Гідрографія не стала виключенням, де застосування автономних апаратів є актуальним питанням. **Мета** статті полягає у проведенні огляду та аналізу автономних надводних суден, історично важливих етапів їх створення та виявити основні особливості їх конструкції. Дослідити застосування АНС у галузі гідрографічних досліджень для вирішення задач моніторингу. **Результати.** Розглянуті і аналізовані поняття Автономних надводних суден, основні етапи їх створення та використання АНС у гідрографічних дослідженнях. **Висновки.** У результаті проведеного дослідження Автономних надводних суден, розглянуто ряд питань: ключові етапи розробки АНС, проаналізовано головні характеристики конструкції та досліджено питання актуальності використання АНС у гідрографічних дослідженнях. Розвиток цієї галузі призвів до наявності різних варіацій корпусів, різноманітності корисного навантаження, що дозволяє використовувати АНС у різних дослідницьких місцях. Галузь гідрографії є однією з основних, у якій активно застосовуються АНС, це дає змогу проводити дослідження морів, океанів та річок, при зменшенні фінансових витрат. Детальна зйомка рельєфу і точні гідрографічні дані, отримані від таких комплексів, впливають не тільки на гідрографію, а й на всі галузі які пов'язані з водним середовищем. Подальші дослідження у цьому напрямі, дозволять змінити гідрографічні дослідження у новий, інноваційний бік.

Ключові слова: Автономні надводні судна, гідрографія, моніторинг, дистанційне керування, електродвигун, судно, навігація.

**ANALYSIS OF AUTONOMOUS SURFACE VEHICLES
FOR SOLVING HYDROGRAPHIC MONITORING TASKS**

B.O. Yermolenko

Postgraduate Student at the Department of “Programmable Electronics,
Electrical Engineering and Telecommunications”,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0353-891X

Summary

Introduction. Nowadays, the issue of automation of many processes is becoming widespread. Robotic systems with remote control are an important milestone in the development of this direction. The use of drones and robots in various fields of activity is primarily associated with a high demand for such devices, so many studies are conducted using such systems. Hydrography was not an exception, where the use of autonomous devices is a topical issue. **Purpose** of the article is to review and analyze autonomous surface vehicles, the historically important stages of their creation, and to identify the main features of their design. Investigate the application of ASV in the field of hydrographic research to solve monitoring problems. **Results.** The concept of autonomous surface vessels, the main stages of their creation and the use of ASV in hydrographic research are considered and analysed. **Conclusions.** As a result of the study of autonomous surface vessels, a number of issues were considered: the key stages of the development of ASV, the main characteristics of structures were analyzed, and the question of the relevance of using ASV in hydrographic research was investigated. The development of this field has led to the presence of different variations of the hulls, a variety of payloads, which allows the use of ASV in various research missions. The field of hydrography is one of the main ones in which ASV is actively used, it makes it possible to conduct research of seas, oceans and rivers, while reducing financial costs. Detailed surveying of the terrain and accurate hydrographic data obtained from such complexes affect not only hydrography, but also all areas related to the water environment. Further research in this direction will allow changing hydrographic research in a new, innovative direction.

Key words: Autonomous surface vehicles, hydrography, monitoring, remote control, electric motor, ship, navigation.

Вступ. Тема автоматизації багатьох процесів набуває широкого поширення. Роботизовані системи з дистанційним керуванням є важливою віхою розвитку цього напрямку. Використання різного роду дронів та роботів у багатьох сферах діяльності пов'язане перш за все з великим попитом на такі апарати, тому велика кількість досліджень відбуваються з застосуванням подібних систем. Гідрографія не стала виключенням, де застосування подібних апаратів наразі є актуальним питанням.

Гідрографія характеризується як галузь науки, яка пов'язана з вимірюванням та описом фізичних елементів і процесів океанів, морів, річок, озер та берегових зон. Отриманні дані використовуються у навігаційних цілях та для підтримки всіх структур пов'язаних з морем. Для забезпечення безпеки та ефективності навігації

суден гідрографія також є основою будь-якої іншої діяльності пов'язаної з морем, а саме: експлуатація ресурсів, охорона та управління навколишнім середовищем, делімітація морського кордону, національні інфраструктури морських просторових даних, управління прибережною зоною, морська оборона та безпека, моделювання повеней і затоплення цунамі, морські науки [1].

Постановка проблеми. Зі стрімким розвитком техніки, новітні методи та засоби проведення досліджень приходять на заміну більш застарілим та дорогим інструментам. Питання як швидше і ефективніше виконувати певні задачі набуває актуальності у суспільстві. Роботизовані пристрої широко використовуються у різних сферах як виробництва так і науки. Одним із таких засобом є Автономне надводне судно.

Аналіз останніх робіт і публікацій. Автономні надводні комплекси можуть застосовуватись при вирішенні широкого спектру завдань у різних сферах, таких як інженерні роботи, дослідження портових зон, патрулювання водних акваторій, навігаційні роботи, військові цілі, екологічні та гідрографічні дослідження. Важлива особливість полягає у відсутності будь якого екіпажу на борту, а все управління відбувається автоматично або дистанційно. Вони можуть бути оснащені різними видами корисного навантаження, такими як гідролокатор (бічного сканування), камери та багатопроменеві ехолоти. Три важливі переваги формують попит на судна без екіпажу: нижчі витрати на використання, більша витривалість і зниження ризику для життя людей.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає у здійсненні огляду та аналізу автономних надводних суден, історично важливих етапів їх створення, виявити основні особливості їх конструкції. Дослідити застосування АНС у галузі гідрографічних досліджень для вирішення задач моніторингу.

Виклад основного матеріалу. Автономний або безпілотний надводний апарат - це автоматизована система, яка рухається водною поверхнею без присутності екіпажу на борту. З появи перших дослідних зразків почався стрімкий розвиток цієї галузі та було розроблено багато рішень які відрізняються призначенням, розмірами корпусу та системами керування. Розвиток цієї галузі сягнув великих обертів, багато країн використовують автономні надводні судна для вирішення задач різного ступеню складності.

США активно проводили дослідження у цій сфері. Саме тому можна вважати що історія створення розробок починається з 1993 році коли було розроблено перше АНС, яке було виготовлене у Массачусетському Технологічному Інституті за програми Sea Grant, та мало назву Artemis (див. рис. 1). Це судно є копією рибальського траулера в масштабі 1/17, був обладнаний електродвигуном та рульовим управлінням з серводвигуном, для функцій навігації та контролю також встановили мікропроцесор і цифровий компас. Основна задача судна полягала в проведенні досліджень та тестуванні систем управління для подальшого розвитку АНС. Також було встановлено ехолот, що дало змогу виконувати батиметричне картографування на річці Чарльз у Кембриджі де і проходили тестування. Головна інновація полягала у розмірі цього комплексу. Із недоліків Artemis слід зауважити невелику швидкість руху, невелике корисне навантаження та неможливість рухатись у середовищах більших ніж невелика річка.



Рис. 1. Автономне надводне судно Artemis

Поява АНС Artemis стало великим кроком для розвитку і подальших досліджень у цій галузі. Напрацювання отримані під час його розробки дали змогу створити наступне автономне надводне судно ACES [2].

Також важливий приклад, це розроблений у 2004 році автономне надводне судно SCOUT (Surface Craft for Oceanographic and Undersea Testing) (див. рис. 2). Корпус у вигляді байдарки, який вироблений із поліетилену високої щільності, керування було реалізовано завдяки вбудованому бортовому комп'ютеру з системами Wi-Fi та радіо модемним зв'язком. Рух здійснювався з застосуванням електродвигуну та серводвигуну для зміни напрямку руху. Головна ідея – це створити відносно недорогої платформу для швидкого розгортання місії [3].



Рис. 2. Автономне надводне судно SCOUT

Слід зазначити, що у Європі науковці та дослідники також розробляли АНС. З 1998 року у Німеччині почався проект *Measuring Dolphin*. Було поставлено багато задач, зокрема тестовий зразок повинен був мати автоматичне керування, захист від впливу навколишнього середовища та навігаційні системи. Прототип був зроблений у вигляді катамарану зі скловолокна, це дало змогу підвищити корисне навантаження та зменшити вразливість від впливу навколишнього середовища. Для руху застосували гібридну систему живлення яка складається з акумуляторів та двигуна внутрішнього згорання для зарядки, також судно мало автопілот. Для отримання даних про рух було створена система на основі супутникового навігаційного передавача DGPS та встановлені гідроакустичні глибинні сенсори для проміру глибини [4].

Іншою важливою та цікавою розробкою можна вважати проект *ASIMOV* (*Advanced System Integration for Managing the coordinated operation of robotic Ocean Vehicles*). Започаткований Комісією Європейських Співтовариств та програмою *Mast III*. Головною ідеєю цього дослідницького проекту було поєднання Автономного надводного комплексу *DELFIM* (див. рис. 3) з Автономним підводним судном для збору та передачі даних. Таке поєднання забезпечувало швидкий зв'язок та передачу отриманих даних та команд від АНС до АПС, і подальшу передачу пункту управління який розміщується на іншому судні або березі. *DELFIM* також використовується як незалежний пристрій, який рухається в автономному режимі по заданій траєкторії [5].



Рис. 3. Автономне надводне судно DELFIM

У військовій галузі також проявляли інтерес до автономних надводних апаратів. Лабораторія протимінної оборони ВМС США створила у 1954 році проект протимінного катеру. До 1960 х років ВМС застосовувала катери-мішені на базі «авіаційно-рятувальних» човнів з дистанційним керуванням для проведення навчань зі стрільб. Надалі попит на протимінні безпілотики для застосування у інших небезпечних місцях продовжував зростати. Розробка та використання безпілотних надводних комплексів продовжується та розвивається протягом останніх років. Сьогодні ВМС США використовують ряд АНС такі як безпілотики – мішені, включаючи *Mobile Ship*

Target (MST), а також High Speed Maneuvering Seaborne Target (див. рис. 4) [6]. Наразі АНС широко використовуються також для охорони та патрулюванні портів та кордонів, розширювався асортимент АНС та спектр їх застосування для військових потреб, зробивши АНС універсальним засобом розвідки та отримання даних.



Рис. 4. Військове АНС High Speed Maneuvering Seaborne Target

Автономні надводні засоби невеликого розміру набирають популярності серед розробників та користувачів. Це новий етап розвитку АНС який насамперед пов'язаний з розвитком технологій в цілому. Відносно малі розміри корпусу(переважно до 1 м) у поєднанні з можливостями більших АНС дозволяє проводити дослідження у важкодоступних умовах та робить проведення дослідницьких місій більш ефективними. Серед таких рішень слід виділити Apache 4 (див. рис. 5) [7] та дослідницький комплекс I-Boat bs-3 [8], важливими перевагами яких є саме невелика розмірність та можливість виконувати поставлені задачі.



Рис. 5. Автономне надводне судно Apache 4

За останні роки автономні надводні комплекси пройшли довгий шлях розвитку та тестувань. Аналіз історії розробок автономних надводних суден демонструє особливості які притаманні всім АНС.

Існують безліч варіацій зовнішнього вигляду, та які відрізняються функціональними особливостями в залежності від їх призначення. Основні характеристики автономних надводних суден складаються з:

1. Корпус. Існують безліч варіантів корпусів які умовно можна розділити на такі групи: жорсткі надувні корпуси, каяки (однокорпусні), катамарани (подвійні корпуси) і тримарани (потрійні корпуси).

2. Енергетична система та система управління. Існують електродвигуни або двигуни внутрішнього згоряння. Управління здійснюється завдяки кермової установки. Існують варіанти коли управління відбувається завдяки декількох двигунів закріплених на корпусі.

3. Системи зв'язку. Системи дистанційного обміну інформацією зі станцією керування, та системи зв'язку в середині самого судна.

4. Системи GNC. Один із головних компонентів. Бортовий комп'ютер завдяки якого відбувається керування.

5. Обладнання для збору даних. До складу зазвичай входять навігаційні модулі, та периферійне обладнання: камери, гідролокатори, сонари. Встановлюється в залежності від цілей які будуть виконуватись [9].

Серед загальних переваг необхідно виділити такі:

- відносно невелика розмірність у порівнянні з звичайними суднами;
- можливість орієнтування у просторі завдяки системам навігації;
- більшість АНС мають автопілот та рухаються у автоматичному режимі;
- передача даних на пункт управління.

Дослідження демонструє ряд недоліків, які наразі є притаманні багатьом зразкам. Зокрема важливими питаннями які необхідно досліджувати є: час на розгортання дослідницької місії з застосуванням АНС; ціна розробки та побудови; та система автопілоту.

Застосування у гідрографічних цілях. Гідрографія та дослідження у цьому напрямі впливають на розвиток багатьох сфер. Дані які отримують під час проведення гідрографічних досліджень використовуються для оцінки стану екології, аналізу акваторій, складання карт для судноплавства та ін. Гідрографія як галузі тісно пов'язана з судноплавством. Важливість проведення аналізу водних ресурсів, таких як: океани, моря, річки, дає змогу прогнозувати зміни у ситуації і реагувати на них.

Під час гідрографічних досліджень ставляться різні задачі, зокрема: вимірювання припливів і відпливів, визначення глибини шляхом зондування, аналіз замулення, огляд підводної поверхні. Традиційними засобами для проведення гідрографічних досліджень використовуються судна, та складне обладнання таке як багатопроменеві ехолоти, однопроменеві ехолоти, сонари бічного сканування, системи отримання та обробки даних, все це робить дослідження вкрай фінансово витратним.

Представлені результати аналізу, демонструють що АНС з самого початку створення застосовувались саме у гідрографії, океанографії і є носіями різних сенсорів, датчиків, обладнання для проведення аналізу та дослідження інформації різного характеру. Тобто, можна вважати що поняття АНС та гідрографія пов'язані один з одним, і АНС виступає важливим інструментом для виконання задач гідрографічного моніторингу. Наразі АНС можуть вирішувати майже всі задачі з проведення гідрографічного моніторингу, групи АНС спрямовуються на

інтенсивні дослідження океанів у реальному часі. Впровадження АНС великої дальності дасть змогу зменшити витрати на дослідження [10].

Обладнання яке застосовується для отримання гідрографічних даних не займає такий великий об'єм і це дозволяє встановлювати його на платформах АНС. Автономний рух по заданому маршруту дає змогу більш ефективно виконувати поставлені завдання, а швидка передача сигналу дозволяє отримувати дані у реальному часі.

Дослідження у галузі автономних надводних суден продовжуються і надалі, все більше науковців і виробників роблять свій внесок. Розробляються різні конструкції корпусу які відповідають новітнім вимогам. Тенденції розвитку базуються на додаванні новітніх технологій у передачі даних, навігації та супутниковому зв'язку, додаванні сонячних панелей для покращення запасу ходу та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Висновки. У результаті проведеного дослідження автономних надводних суден, розглянуто ряд питань: ключові етапи розробки АНС, проаналізовано головні характеристики конструкцій та досліджено питання актуальності використання АНС у гідрографічних дослідженнях. Розвиток цієї галузі призвів до наявності різних варіацій корпусів, різноманітності корисного навантаження що дозволяє використовувати АНС у різних дослідницьких місіях. Галузь гідрографії є однією з основних у якій активно застосовуються АНС, це дає змогу проводити дослідження морів, океанів та річок, при зменшенні фінансових витрат. Детальна зйомка рельєфу і точні гідрографічні дані, отримані від таких комплексів, впливають не тільки на гідрографію, але й на всі інші галузі, які пов'язані з водним середовищем. Подальші дослідження у цьому напрямі, дадуть змогу змінити гідрографічні дослідження у якісно новий, інноваційний бік.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Hydrographic Organization URL: <https://iho.int/en/importance-of-hydrography>
2. Mahley J., Development of the autonomous surface craft "ACES". Massachusetts Institute of Technology, Department of Ocean Engineering Sea Grant College Program Cambridge, C. 827. doi:10.1109/OCEANS.1997.624102.
3. Curcio, Joseph & Leonard, John & Patrikalakis, Andrew. (2005). SCOUT – A Low Cost Autonomous Surface Platform for Research in Cooperative Autonomy. 1. C. 725-729. Vol. 1. doi: 10.1109/OCEANS.2005.1639838.
4. Majohr J., Buch T., Korte C., Navigation and Automatic Control of the Measuring Dolphin (Messin™), IFAC Proceedings Volumes, Volume 33, Issue 21, 2000, C. 399-404. doi:10.1016/S1474-6670(17)37107-0.
5. A. Pascoal et al., "Robotic ocean vehicles for marine science applications: the European ASIMOV project," OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Conference Proceedings , (2000), C. 409-415 vol.1. doi:10.1109/OCEANS.2000.881293.
6. Bertram V., Unmanned Surface Vehicles – A Survey. ENSIETA, 2 rue François Verny, Brest, France, C. 2-4.

7. Apache 4 USV Used For Hydrographic Survey Project. URL: <https://geo-matching.com/content/chcnav-apache-4-usv-used-for-hydrographic-survey-project>
8. iBoat BS3 USV. URL: <https://en.hi-target.com.cn/iboat-bs3-usv>
9. Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Chi Yuan, Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges, *Annual Reviews in Control*, Volume 41, 2016, C. 71-93. doi: 10.1016/j.arcontrol.2016.04.018.
10. J. E. Manley, "Unmanned surface vehicles, 15 years of development," *OCEANS 2008*, 2008, C. 1-4. doi:10.1109/OCEANS.2008.5152052.

REFERENCES

1. International Hydrographic Organization URL: <https://iho.int/en/importance-of-hydrography> .
2. Mahley J., Development of the autonomous surface craft "ACES". Massachusetts Institute of Technology, Department of Ocean Engineering Sea Grant College Program Cambridge, pp. 827. doi:10.1109/OCEANS.1997.624102.
3. Curcio, Joseph & Leonard, John & Patrikalakis, Andrew. (2005). SCOUT – A Low Cost Autonomous Surface Platform for Research in Cooperative Autonomy. 1. pp. 725-729 Vol. 1. doi:10.1109/OCEANS.1997.624102.
4. Majohr J., Buch T., Korte C., Navigation and Automatic Control of the Measuring Dolphin (Messin™), *IFAC Proceedings Volumes*, Volume 33, Issue 21, 2000, pp. 399-404. doi:10.1016/S1474-6670(17)37107-0.
5. A. Pascoal et al., "Robotic ocean vehicles for marine science applications: the European ASIMOV project," *OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37158)*, 2000, pp. 409-415 vol.1. doi:10.1109/OCEANS.2000.881293.
6. Bertram V., *Unmanned Surface Vehicles – A Survey*. ENSIETA, 2 rue François Verny, Brest, France, pp. 2-4.
7. Apache 4 USV Used For Hydrographic Survey Project. URL: <https://geo-matching.com/content/chcnav-apache-4-usv-used-for-hydrographic-survey-project>
8. iBoat BS3 USV. URL: <https://en.hi-target.com.cn/iboat-bs3-usv>
9. Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Chi Yuan, Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges, *Annual Reviews in Control*, Volume 41, 2016, pp. 71-93. doi: 10.1016/j.arcontrol.2016.04.018.
10. J. E. Manley, "Unmanned surface vehicles, 15 years of development," *OCEANS 2008*, 2008, pp. 1-4. doi:10.1109/OCEANS.2008.5152052.