УДК 62-519
DOI https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).14

DEVELOPMENT OF LOW-COST AUTONOMOUS SURFACE DRONE BASED ON ELECTRIC MOTOR AND MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM

РОЗРОБКА LOW-COST АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО ДРОНА НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА МІКРОКОНТРОЛЕРНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ

Bohdan O. Yermolenko
bohdan.errmolenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0353-891X

Б. О. Єрмоленко,
аспірант

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. Autonomous surface vessels are widely used to perform tasks in industries related to water resources. An important feature is the absence of any crew on board, and the control is carried out remotely, and the necessary equipment allows you to perform tasks: measuring the seabed, researching port areas, analyzing the ecological state of water, military missions of various nature. The active development of this technology has created many samples that differ in their functionality.

The range of tasks that can be solved thanks to the use of an autonomous surface vessel is very large. Sounding the bottom, analyzing water for pollution, coastal protection and monitoring, monitoring the condition of living organisms, engineering work, mineral exploration - all this can be done with the involvement of such drones. But it is precisely in the field of hydrography that autonomous surface vessels are most widely used since the first prototypes appeared. There is a limited availability of such vessels, due to the high cost of development and production. That is why there is a need for the development of cheaper options that will have functionality and opportunities for conducting full-fledged hydrographic studies. The potential use of electric motors and microcontroller control systems during development will not only reduce the price, but also the impact on the environment. The purpose of the work is to develop a low-budget autonomous surface vessel based on an electric motor and a microcontroller control system. The article describes the main stages of development of an Autonomous Surface Vessel. The hull is made of fiberglass in the form of a catamaran. A brushless motor, lithium-polymer batteries and a navigation and control module based on the Mega 2560 controller were used for movement. The Ardupilot open-source autopilot system with ground station support was implemented.

As a result, a low-cost autonomous surface vessel was developed, capable of moving autonomously along a given route, and the small size of the hull allows it to work on shallow water reservoirs. Trial tests were conducted on the reservoir to identify deficiencies and further research goals were set. The proposed platform, taking into account its features, can potentially be involved in various hydrographic studies, for example, sounding of port areas, environmental monitoring.
Key words: autonomous surface vessel; brushless motor; control system; microcontroller; remote control; autopilot.

Анотація. Автономні надводні судна широко застосовуються для виконання завдань в галузях, які пов'язані з водними ресурсами. Важлива особливість полягає у відсутності будь якого екіпажу на борту, а управління відбувається дистанційно, необхідне обладнання дозволяє виконувати завдання: вимірювання морського дна, дослідження портових зон, аналіз екологічного стану води, військові місії різного характеру. Активний розвиток цієї технології створив багато зразків які різняться за своїм функціоналом.

Спектр задач які можливо вирішити завдяки застосуванню автономного надводного судна дуже великий. Зондування дна, аналіз води на предмет забруднення, берегова охорона та моніторинг, стеження за станом живих організмів, інженерні роботи, розвідка корисних копалин – все це можливо виконувати з залученням таких дронів. Проте саме у сфері гідрографії, автономні надводні судна найбільше використовуються з появ перших прототипів. Наявна обмежена доступність таких суден, через високу ціну на розробку та виготовлення. Саме тому, існує потреба в розробці більш дешевих варіантів, які матимуть функціонал та можливості для проведення повноцінних гідрографічних досліджень. Потенційне використання електродвигунів та мікроконтролерних систем керування при розробці не тільки зменшить ціну, та вплив на навколишнє середовище. Мета роботи полягає у розробці низько бюджетного автономного надводного судна на основі електродвигуна та мікроконтролерної системи керування. У статті описано основні етапи розробки Автономного надводного судна.

Корпус виконано зі скловолокна у вигляді катамарану. Для руху використали безколекторний двигун, літій-полімерні акумулятори та модуль навігації та управління на основі контролеру Mega 2560. Впроваджено систему автопілоту з відкритим вихідним кодом Ardupilot з підтримкою наземної станції.
Як результат розроблено low-cost автономне надводне судно, здатне рухатись в автономному режимі по заданому маршруту, а невеликий розмір корпусу дозволяє працювати на водоймах з мілководдям. Проведені випробувальні тести на водоймі для виявлення недоліків та поставлені подальші цілі дослідження. Запропонована платформа з урахуванням її особливостей, потенційно може бути залучена у різних гідрографічних дослідженнях, наприклад зондування портових зон, екологічному моніторингу.
Ключові слова: автономне надводне судно; безколекторний двигун; система керування; мікроконтролер; дистанційне керування; автопілот.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Активний розвиток технічного прогресу активізує дослідження, які пов'язані з розробкою та впровадженням автоматизованих систем. Різноманітні роботизовані комплекси є важливою частиною розвитку цього напряму. Зокрема, широкого застосування наразі набувають різні автономні засоби. Прикладом є автономні надводні судна (дрони), які наразі стали невід'ємною частиною сучасної морської індустрії. Серед їх переваг – перш за все відсутність екіпажу на борту, можливість використання у середовищах різної складності, та підвищення точності отриманих даних. З створення перших зразків, автономні надводні судна (АНС) мали вигляд звичайних човнів, та використовуватись для різних завдань: вимірювання морського дна, аналіз екологічного стану води, дослідження портових зон, військові цілі різного характеру [1]. Але технології розвиваються, і з експериментальних початків з обмеженими можливостями щодо автономності, витривалості, корисного навантаження, за останні роки було досягнуто значного прогресу в удосконаленні всіх структурних елементів з яких складаються такі судна. Це дозволило АНС стати провідним технологічним інструментом для проведення робіт як у промисловості, так і в військових цілях [2, 3, 4].

Незважаючи на досягнення в цій галузі, наразі існують проблеми, пов'язані перш за все з високими витратами на розробку і обслуговування, і як наслідок – обмеженою доступністю АНС. Складність навігаційного обладнання яке вимагає багато ресурсів теж можна вважати складним питанням. Інша проблема, це розмірність таких дронів, що створює певні проблеми для роботи в важкодоступних місцях. Вплив на навколишнє середовище теж необхідно врахувати як одну із важливих проблем. Однак потенційне використання електродвигунів та мікроконтролерних систем керування при розробці, може зменшити витрати та відкрити нові можливості для створення доступних та багатофункціональних надводних дронів.

Викладене вище, дає підстави вважати, що існує постійна потреба у розробці низько бюджетних (low-cost) автономних надводних суден. Саме тому, мета статті полягає у розробці низько бюджетного автономного надводного судна на основі електродвигуна та мікроконтролерної системи керування для подальшого проведення гідрографічних місій.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для вирішення поставлених цілей необхідно сформувати вимоги до АНС які повинні враховуватись на початку розробки, а саме:

– невеликий розмір корпусу, маневреність та портативність – для забезпечення маневреності та зручності транспортування, дрон повинен бути легким та компактним. Це також сприяє зменшенню витрат на транспортування;

– стійкість до впливу зовнішніх факторів – надводний дрон повинен бути стійким до впливу різних агресивних чинників водного середовища;

– система руху і живлення – обрати ефективну систему руху і живлення, яка б забезпечувала енергією, та дозволяла зменшити вплив на екологію;

– застосування та можливості по розширенню: необхідно враховувати завдання які необхідно буде виконувати АНС. Корисне навантаження може відрізнятися для наукових досліджень, моніторингу довкілля, комерційних застосувань або рятувальних операцій.

На основі проведеного дослідження базових конструкцій АНС було обрано двокорпусний човен з двох катамаранів поєднаних між собою [5]. Таке рішення було зумовлене насамперед високою поперечною стійкістю таких конструкцій, та з огляду на вимоги мати підвищену остійність та перевозити корисне навантаження. Концепція конструкції полягає в тому, щоб АНС мав високу стійкість під час руху на воді, зберігаючи при цьому його маневреність і мінімальні розміри. А також дозволяє користуватись дроном у умовах мілководдя.

Для мінімізації взаємодії електронних частин з водою вони були розміщені у спеціально змодельованому критому відсіку з кришкою. Розмір корпусу без врахування відсіку для обладнання – 600x350x100 мм, що на думку автора забезпечує легку транспортабельність, мобільність і доступність для виконання місій у різних середовищах, таких як портові зони, затоки, і так далі. Для візуалізації проекту було створено 3d зразок корпусу (рис. 1). Верхня кришка знімна, в середині буде розміщено основу частину обладнання. Цей розмір є оптимальним для АНС невеликого класу.

Корпус. Корпус АНС був виготовлений з двох основних матеріалів – скловолокна та пінополістиролу

як основи для форми. Використання пінополістиролу дало змогу сформувати бажаний вид згідно з концептом. На першому етапі було сформовано основу корпусу, та оброблено для надання форми. Наступний етап це нанесення скловолокна та проклеєно епоксидною смолою, для надання міцності всій конструкції було нанесено декілька шарів (рис. 2). Для мінімізації взаємодії електронних частин з водою вони були розміщені зверху в критому відсіку, для цього утворено верхню частину корпусу у вигляді надбудови та оброблено скловолокном для виготовлення кришки. Наступним етапом було обробка та фарбування корпусу.

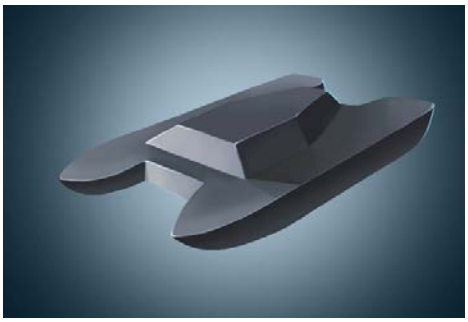

Рис. 1. 3d модель корпусу АНС

Рис. 2. Процес виготовлення корпусу

Апаратна частина, та управління. Для керування та руху АНС використовується крило та гвинт. Гвинт повністю занурений у воду під'єднаний до електродвигуна завдяки кардану. Кермо управляється за рахунок серводвигуна (рис. 3). Через розмірність крила та великого навантаження на етапі підбору деталей було обрано посилений серводвигун який має силу до 12 кг. Для виконання поставлених умов, обрано безколекторний трьохфазний двигун. Серед переваг застосування таких двигунів – велика потужність, не великі розміри двигуна, відносна надійність конструкції та еластичність. Двигун працює через регулятор швидкості на 30А. Після проведених тестувань, було додано систему охолодження двигуна та регулятора, щоб виключити ризик можливого перегріву під час роботи. Акумулятори обрано літій – полімерні, через їх гнучкість та простоту. Ємність батареї становить 40 000 мАг для однієї секції. Послідовна конфігурація була обрана для збільшення напруги до 12 В.

Схема апаратної частини показана на рис. 4. У якості головного пристрою системи керування було обрано контролер Mega 2560. На основі нього вирішено створювати контролер управління. Більшість схожих контролерів мають на борту різні датчики для вимірювання положення (актуально для квадрокоптерів). В нашому випадку для автономного надводного дрона доцільно використати лише 3х – осьовий компас та GPS передавач для роботи автопілоту. Все це працює від 5 В, які беруться з регулятора обертів.

Рис. 3. Кермо та серводвигун

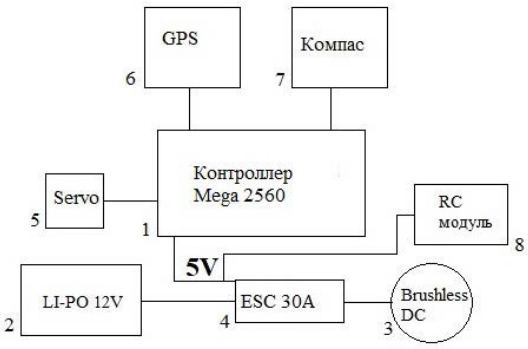

Рис. 4. Схема основних елементів апаратної частини:
1 – контролер Mega 2560; 2 – літій-полімерна батарея 12 В; 3 – безколекторний двигун; 4 – регулятор обертів 30А; 5 – серводвигун для керма; 6 – GPS модуль; 7 – 3х-осьовий компас; 8 – модуль для режиму радіокерування

Навігаційна система. Після проведеного аналізу загального принципу роботи навігаційних систем які використовуються загалом у дронах, і з урахуванням вимог, була обрана платформа з відкритим вихідним кодом Ardupilot [6]. Важливою особливістю слід

вважати подальшу можливість розширяти та додавати функції до цієї платформи. Ardupilot використовуються для керування різними радіокерованими моделями, зокрема коптерами та дронами.

Ardupilot був інтегрований для роботи з GPS для навігації човна. Завдяки цьому АНС можна не тільки керувати в мануальному режимі, але й перевести його в режим автоматичної навігації. До основних функцій апаратно-програмного забезпечення належать: стабілізація моделі під час руху, утримання позиції моделі за допомогою GPS антени, рух у авторежимі по заданих точках з GPS-координатами, та повернення на початкову позицію. Ardupilot встановлено на контролер, та налаштовано згідно обладнанню яке присутнє.

Важливо зазначити, що ця платформа підтримує різне обладнання, зокрема сонари. Для отримання даних на наземній станції, Ardupilot інтегрується з Mission Planner [7]. Програмне забезпечення Mission Planner забезпечує контроль руху та планування місії для кожного дрона, завдяки використанню протоколу Micro Air Vehicle Protocol – MAVLink. Його головні цілі включають забезпечення легкої роботи та обміну інформації. Маючи доступ до попереднього перегляду положення дрону в режимі реального часу на панелі управління, оператор може дистанційно керувати судном. Перед початком роботи було виконане конфігурування контролеру та наземної станції Mission Planer .

Перші дослідні випробування проходили на невеликому водоймі (рис. 5). Після успішного тесту руху дрону у режимі радіокерування у програмі Mission Planner було побудовано маршрут на цьому водоймі, для виконання руху у режимі автопілоту (рис. 6). Успішно виконавши рух за заданим маршрутом АНС повернувся на початкову точку. Під час тестувань виявлені недоліки пов'язані з положенням гвинта відносно води, та зроблено висновки щодо подальшої роботи над АНС, а саме: встановлення сонару та проведення тестового заміру дна озера, доопрацювання системи навігації та автопілоту за допомогою впровадження алгоритму оптимізованого руху що потенційно підвищить ефективність руху під час роботи.

ВИСНОВОК

Використання Автономних надводних суден у різних галузях які тісно пов'язані з водними ресурсами є важливою темою. Залучення подібних засобів для виконання досліджень дозволяє отримувати різноманітні дані в залежності від потреби.

Рис. 5. Рух АНС під час випробувань

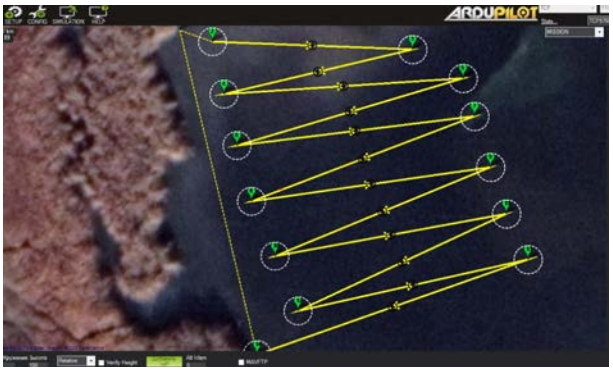

Рис. 6. Маршрут побудований у Mission planner, за яким пересувався дрон під час випробувань

Як результат, розроблено автономне надводне судно, конструкція якого відтворена з мінімальними витратами, та дозволяє виконувати завдання в автоматичному режимі уздовж необхідної траєкторії на основі позиціонування човна GPS. Корпус виконаний у вигляді катамарану, розміри якого дозволяють працювати у важкодоступних районах з мілководдям. Рушійна система побудована на основі літій – полімерного акумулятора та безколекторного двигуна забезпечують стабільну і плавну роботу човна під час руху та зменшують шкідливий вплив на навколишнє середовище. Проект розроблений на відкритій навігаційній платформі Ardupilot і дозволяє як інтегрувати додаткові датчики, так і планувати автоматично виконувані місії.

Далі проводяться роботи по вдосконаленню системи навігації та планування руху, та впровадження у неї алгоритму оптимізації який покращить можливість руху під час місії, та встановлення гідроакустичного обладнання для виконання тестових гідрографічних досліджень.

REFERENCES

[1] Manley, J.E. (2008). Unmanned surface vehicles, 15 years of development. In: OCEANS 2008. pp. 1–4 https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5152052.

[2] Tang X, Pei Z, Yin S, (2020). et al. Practical design and implementation of an autonomous surface vessel prototype: Navigation and control. International Journal of Advanced Robotic Systems. pp 17(3). doi:10.1177/1729881420919949

[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] Desa, E., Maurya, P. K., Pereira, A., Pascoal, A. M., Prabhudesai, R. G., Mascarenhas, A., Desa, E., Madhan, R., Matondkar, S. G., Navelkar, G., Prabhudesai, S., & Afzulpurkar, S. (2007). A small autonomous surface vehicle for ocean color remote sensing. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 32(2), 353–364. https://doi.org/10.1109/joe.2007.893688

[5] Yermolenko, B. (2023). Analiz avtonomnykh nadvodnykh suden dlia vyrishennia zadach hidrohrafichnoho monitorynhu. Rozvytok Transportu [Analysis of autonomous surface vehicles for solving hydrographic monitoring tasks. Transport Development], (4(15), 24-32. https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.03

[6] ArduPilot Documentation. Retrieved from: https://ardupilot.org/ardupilot/

[7] Mission Planner Overview - Mission Planner documentation. Retrieved from: https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Manley, J.E. (2008). Unmanned surface vehicles, 15 years of development. In: OCEANS 2008. pp. 1–4 https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5152052.

[2] Tang X, Pei Z, Yin S, (2020). et al. Practical design and implementation of an autonomous surface vessel prototype: Navigation and control. International Journal of Advanced Robotic Systems. pp 17(3). doi:10.1177/1729881420919949

[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] Desa, E., Maurya, P. K., Pereira, A., Pascoal, A. M., Prabhudesai, R. G., Mascarenhas, A., Desa, E., Madhan, R., Matondkar, S. G., Navelkar, G., Prabhudesai, S., Afzulpurkar, S. (2007). A small autonomous surface vehicle for ocean color remote sensing. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 32(2), 353–364. https://doi.org/10.1109/joe.2007.893688

[5] Єрмоленко Б. О. (2023). Аналіз автономних надводних суден для вирішення задач гідрографічного моніторингу. Розвиток Транспорту, (4(15), 24-32. https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.03

[6] ArduPilot Documentation.URL: https://ardupilot.org/ardupilot/

[7] Mission Planner Overview - Mission Planner documentation . URL: https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html

Дата надходження статті до редакції: 27.10.2023
Дата затвердження статті до друку: 16.11.2023