

УДК 62-519

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2024.1\(494\).11](https://doi.org/10.15589/znп2024.1(494).11)

OPTIMIZATION OF THE MOVEMENT OF AN AUTONOMOUS SURFACE VESSEL ON ELECTRIC THRUST AS A WAY TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

ОПТИМІЗАЦІЯ РУХУ АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО СУДНА НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТЯЗІ ЯК ШЛЯХ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

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

Б. О. Єрмоленко,
аспірант

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

Abstract. Unmanned surface vessels (USV) are a promising solution that is actively used in various industries related to water resources. During hydrographic monitoring in the traditional approach, data acquisition occurs using research missions using large ships and specialized equipment. However, there are many problems with the water research approach. An important feature of autonomous surface vessels is their ability to perform tasks without the direct presence of a person on board, which leads to a reduction in the cost of research missions. Another advantage is the ability to work in different environments, with different underwater terrain. The improvement of the Autonomous Surface Vessels led to an increase in the economic efficiency of operations related to water resources. By eliminating the need for on-board operators, USV reduce labor costs and increase operational efficiency. Further development and improvement of vessels is an important issue and has great practical significance for industries related to water resources. *The purpose* of the article is to study the issue of increasing the energy efficiency of an autonomous surface vessel by introducing criteria for moving along a given route. The research uses an approach that combines analysis, modeling of the ship's movement with consideration of the energy consumption model, to implement requirements that will affect the optimization of energy consumption. *The results* are the data obtained during the simulation of the movement of an autonomous surface vessel with a typical energy model, along typical routes of hydrographic research on a certain section of the reservoir. On the basis of these data, the criteria that must be taken into account during movement have been formed. These criteria will make it possible to reduce energy consumption in a logistical way. *Conclusions.* Development and research of Unmanned Surface Vessels continues. Solving problems of energy conservation in USV based on an electric motor is an important issue for many scientists. An analysis of the issue of energy efficiency of USV was carried out, and ways to solve it. On the basis of the USV energy consumption model, a simulation of the movement of an autonomous vessel along typical routes on a section of the reservoir was carried out. Modeling was carried out by simulating the movement of a small-class USV, and obtaining energy consumption data during movement. The data is analyzed, and criteria for traffic optimization are put forward, the observance of which will make it possible to reduce energy consumption during hydrographic missions. For further research, it is necessary to take into account the influence of external factors, and conduct testing in an open area.

Key words: autonomous surface vessel; energy efficiency; navigation; remote control; electric motor.

Анотація. Автономні надводні судна (АНС) є перспективним рішенням, який активно використовують у різних галузях пов'язаних з водними ресурсами. Під час гідрографічного моніторингу у традиційному підході, отримання даних відбувається з використанням дослідницьких місій з застосування великих кораблів та спеціалізованого обладнання. Однак у підході досліджень на воді існує багато проблем. Важливою особливістю автономних надводних суден є їх можливість виконувати завдання без посередньої присутності людини на борту, що веде до зменшення витрат на дослідницькі місії. Інша перевага, це можливість працювати у різному середовищі, з різним підводним рельєфом. Удосконалення АНС призвело до підвищення економічної ефективності операцій пов'язаних з водними ресурсами. Усуваючи потребу в бортових операторах, АНС знижують витрати на робочу силу та підвищують ефективність роботи. Подальша розробка та вдосконалення суден важливе питання та має велике практичне значення для галузей пов'язаних з водними ресурсами. *Метою* статті

є дослідження питання підвищення енергоефективності Автономного надводного судна, шляхом впровадження критеріїв до руху по заданому маршруту. Для дослідження використовує підхід, який поєднує аналіз, моделювання руху судна з врахуванням моделі енерговитрат, для впровадження вимог які впливатимуть на оптимізацію енергоспоживання. *Результатами* є отриманні дані під час моделювання руху автономного надводного судна з типовою енергетичною моделлю, по типовим маршрутам гідрографічних досліджень на певному відрізьку водойма. На основі цих даних сформовано критерії які повинні враховуватись під час руху. Ці критерії дадуть змогу логістичним шляхом зменшити витрати енергії. *Висновки.* Розробка та дослідження Автономних надводних суден продовжуються. Вирішення проблем зі збереження енергії у АНС на основі електродвигуну важливе питання для багатьох науковців. Проведений аналіз питання енергоефективності АНС, та шляхи вирішення. На основі моделі енергоспоживання АНС, проведено моделювання руху автономного судна по типовим маршрутам на відрізьку водойми. Моделювання було проведено шляхом симуляції руху АНС невеликого класу, та отримання даних енерговитрат під час руху. Дані проаналізовані, та висунуто критерії оптимізації руху, дотримання яких дасть змогу зменшувати енерговитрати під час гідрографічних місій. Для подальших досліджень необхідно враховувати вплив зовнішніх факторів, та проводити тестування на відкритій місцевості.

Ключові слова: автономне надводне судно; енергоефективність; навігація; дистанційне керування; електродвигун.

ВСТУП

Людство наразі знаходиться на етапі активних досліджень водних ресурсів. Кліматичні зміни які впливають на водне середовище, проблематика охорони навколишнього середовища, та вимоги до людських ресурсів призвели до підвищення можливостей по дослідженню водного середовища. Широко впроваджуються новітні засоби та інструменти для проведення досліджень. Під час гідрографічного моніторингу у традиційному підході, отримання даних відбувається з використанням дослідницьких місій з застосування великих кораблів та спеціалізованого обладнання. Однак у підході досліджень на воді існує багато проблем. Для прикладу, один із різновидів гідрографічного моніторингу базується на відборі проб для експериментального аналізу. Як результат, витрачається багато ресурсів та часу. Також класичний підхід може бути обмежений з фінансової сторони, та з точки зору доступу до віддалених районів.

АНС є перспективним рішенням, який активно використовують у різних галузях пов'язаних з водними ресурсами [1–3]. Серед головних галузей які широко застосовують АНС можна відокремити: наукові дослідження – батиметрична зйомка, дослідження діяльності океану; екологічні місії – вимірювання стану забруднення, аналіз стану води, екологічний моніторинг навколишнього середовища, аналіз для попередження катастроф, допоміжне прогнозування; розвідка ресурсів океану – розвідка родовищ газу та нафти, будівництво та обслуговування морських платформ; військове використання – охорона та спостереження портової та берегової зони, пошукові та рятувальні роботи, розмінування, та дрони для інших військових потреб [4, 5].

АНС зазвичай має модульну конструкцію, що дає змогу виконувати різні завдання. Їх відносна швидкість і висока маневреність, дозволяють їм швидко переміщатися в різних умовах, таких як мілководдя і вузькі смуги, куди не можуть дістатися звичайні судна.

Важливою особливістю АНС є їх можливість виконувати завдання без посередньої присутності людини на борту, що веде до зменшення витрат на дослідницькі місії. Інша перевага, це можливість працювати у різному середовищі, з різним підводним рельєфом. Удосконалення АНС призвело до підвищення економічної ефективності операцій пов'язаних з водними ресурсами. Крім того, АНС можуть працювати протягом тривалого періоду часу, зменшуючи потребу в частій зміні екіпажу та дозволяючи безперервний збір даних або спостереження. Новітнім етапом у розвитку цієї технології є активне дослідження та розробка АНС компактного класу, які застосовують новітні технології у супутниковій навігації та системи автопілотування [6].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Енергоефективність була в центрі уваги розвитку АНС. Традиційні силові установки були замінені або розширені електричними або гібридними системами, що зменшило споживання палива та викиди. Крім того, прогрес у технології акумуляторів подовжив довговічність АНС, що дозволяє їм працювати довше без втручання людини.

Але питання автономності все ще залишається актуальним. Це викликає певні труднощі у застосуванні, тому що можливості АНС для виконання своїх місій обмежуються ємністю батареї. Автономність впливає на можливість тривалого використання у складних місцях. На питання автономності також впливають різні зовнішні фактори, з якими взаємодіє автономне надводне судно. Отримати результати спожитої енергії АНС можна наприклад вимірявши потужність яку споживає судно завдяки впровадженню бортових датчиків, але такий підхід має багато технічних проблем, які можуть виникати на етапі розробки АНС. Підвищення енергоефективності розглядаються науковцями з різних сторін, зокрема застосування більш об'ємних акумуляторів, які в свою

чергу мають більшу вагу і розмір, або застосування технологій з переробки сонячної енергії що технічно ускладнює конструкцію АНС. Також деякі підходи пов'язані з роботою навколо навігаційної системи та системи планування шляху. Вирішення питання автономності АНС дасть змогу активно використовувати їх у складних умовах та розширить можливості використання у довготривалих дослідженнях.

МЕТА СТАТТІ

Метою статті є дослідження питання підвищення енергоефективності Автономного надводного судна, шляхом впровадження критеріїв до руху по заданому маршруту. Для дослідження використовує підхід, який поєднує аналіз, моделювання руху судна з врахуванням моделі енерговитрат, для впровадження вимог які впливатимуть на оптимізацію енергоспоживання.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблема витрат енергії властива всім роботичним системам. Багато досліджень спрямовано на огляд цього питання. Активно це досліджувалось у Автономних підводних суднах, та у різних роботизованих системах. Метод енергетичного моделювання шляхом вимірювання загальної потужності для промислового робота був розглянутий у роботі [7]. Метод дозволяє уникати проблеми безпосереднього вимірювання відповідних параметрів усередині робота. Основним принципом цього методу є спільне моделювання крутного моменту, а оцінка параметрів є одним з найважливіших етапів у процесі моделювання крутного моменту. В роботі [8] енергозбереження розглядається з точки зору апаратної частини. Використання енергоефективних елементів дає змогу зменшити загальні витрати енергії. У дослідженні [9] аналізувалось споживання енергії редукторним двигуном постійного струму, що виконує динамічне завдання для передбачення витрат енергії.

Багато дослідників розглядають підвищення економії енергії шляхом оптимізації траєкторії руху різних автономних дронів повітряного та наземного використання [10–12]. Наприклад у роботі [13] застосовували імовірнісний, керований даними підхід до оцінки споживання енергії мобільним роботом з набором певних траєкторій. Зокрема, робот розглядався як чорний ящик, таким чином усунувши залежність від часто недоступних характеристик системи. У дослідженні [14] використовувався підхід до аналізу ґрунтів які впливають на моделі споживання енергії, та використано схему прогнозування, засновану на розпізнаванні типу рельєфу. Деякі із запропонованих алгоритмів оптимізовані для зменшення споживання енергії в питанні планування шляху. Але в контексті застосування у Автономних надводних суднах на основі електродвигуну та акумуляторів, вони не враховують фактори які можуть погіршувати загальну роботу.

Аналіз робіт на цю тему демонструє широкий підхід до вирішення проблеми автономності автономних надводних суден. Використовується як засоби впровадження технічних рішень для покращення енергоефективності, так і різні підходи які можуть вплинути на збереження енергії. З огляду на аналіз, подальша робота буде спрямовано на моделюванні руху АНС під час гідрографічних дослідженнях для аналізу витрат енергії.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для подальшої роботи, необхідно сформувати енергетичну модель АНС. Загальна модель енергоспоживання будь якого мобільного робота розділена на три частини: сенсорна система, система керування та система руху. Споживана потужність АНС - це потужність, яка використовується: бортовим комп'ютером, датчиками, системами керування, обладнанням в залежності від місії, а також втратами рушія та, головним чином, корисною потужністю рушія, яка перетворюється на механічну енергію. Енергія, що споживається бортовим комп'ютером, електричними втратами та електричними компонентами (датчиками, системою керування тощо), є невеликою величиною порівняно з корисним споживанням потужності двигуна.

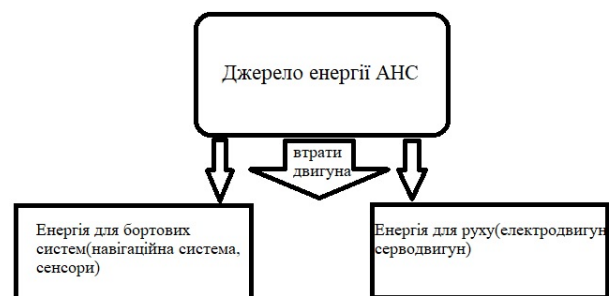


Рис. 1. Схема передачі енергії АНС

Для подальшого дослідження та проведення моделювання, буде застосовуватись АНС компактного класу на основі безколекторного двигуна, системи навігації на основі мікроконтролеру та акумуляторній батареї LiPo. Тому, показана вище схема, може застосовуватись і для цього АНС.

Далі для проведення моделювання, важливо визначити модель енергоспоживання АНС.

Загальне споживання енергії АНС можна показати виразом (1).

$$E_{anc} = \int P_{anc} \times dt \quad (1)$$

P_{anc} – загальна потужність поглинена АНС, яка вирішується виразом (2)

$$P_{anc} = P_{cm} + P_{de} + P_{vump} \quad (2)$$

де P_{cm} – статична потужність яка використовується всіма системами, P_{de} – це загальна потужність поглинена двигуном (безколекторними), P_{vump} – це потужність через електричні втрати двигуна під час роботи.

Важливо також зазначити, що у стані спокою судно все одно використовує енергію.

Формула знаходження енергії яка використовується бортовими системами:

$$E_{cm} = P_{cm} \times t$$

І загальна формула енергоспоживання автономного надводного судна має наступний вигляд (3):

$$E_{анс} = \int P_{анс} \times dt = \sum P_{анс} \times \Delta t \quad (3)$$

Ця енергетична модель може застосовуватись для будь якого АНС з електричною пропульсивною установкою. Вона необхідна для демонстрації енергетичних витрат які відбуваються у АНС.

Моделювання. Симуляцію було проведено у програмному комплексі “Gazebo” з використанням розширення спеціально розробленого для тестування АНС та різних сценаріїв руху. Для керування було під’єднано комплекс керування “QGrounControl”, який дає змогу планувати маршрут та управляти автономними засобами [15].

Для проведення досліджень обрано відрізок водоюми та аналізовано карту глибини. Обраний відрізок має великі поглиблення та зміни підводного рельєфу, що ідеально підходить для гідрографічних досліджень. Далі обрано декілька варіантів маршруту, які застосовують під час гідрографічних досліджень: Маршрут 1 – рух по прямій, маршрут 2 – рух змійкою, маршрут 3 – рух по колу, та маршрут 4 – рух у межах прямокутної зони. Кожен з обраних варіантів використовуються для роботи АНС, тобто сценарії були вибрані таким чином, щоб максимально відповідати реальній ситуації, яка відбувається при експлуатації.

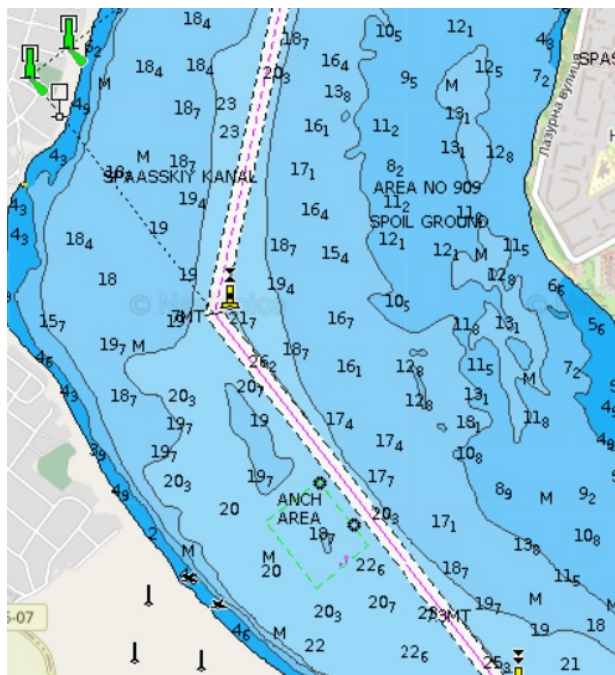


Рис. 2. Карта обраного відрізка р. Південний Буг

Далі було налаштовано середовище симуляції, та побудовано маршрути. Головна ціль – дослідити реальні енерговитрати під час руху обраними маршрутами. На думку автора, це дасть змогу визначити основні моменти, коли витрата енергії найбільша. Вплив зовнішнього середовища під час симуляції обрано мінімальним. Під час симуляції відбувались вимірювання для подальшого аналізу впливу швидкості АНС та його енергоспоживання.

Маршрут 1 – прямий рух. Змодельовано рух АНС по прямій, від стартової позиції до цільової точки (Рис. 3.). АНС рухається на максимальній швидкості. Загальне споживання енергії, отримане на графіку б).

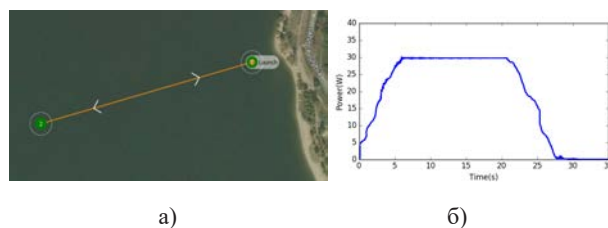


Рис. 3. Моделювання руху по прямій

Маршрут 2 – рух змійкою. Змодельовано рух змійкою. Цей тип маршруту найчастіше використовується саме під час зондування поверхні дна водоймища. Через різкі зміни напрямку руху та рух на максимальній швидкості витрата енергії найбільша.

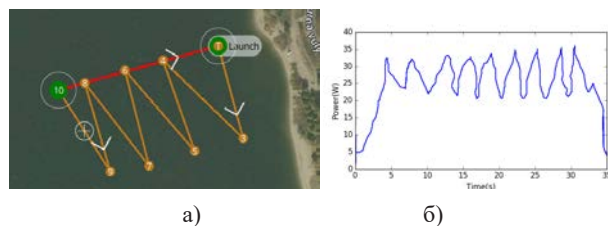


Рис. 4. Моделювання руху змійкою

Маршрут 3 – рух по колу. Цей варіант маршруту не популярний саме у гідрографічних дослідженнях, але для моделювання було обрано. Рівномірність маршруту дала змогу зменшити витрати енергії.

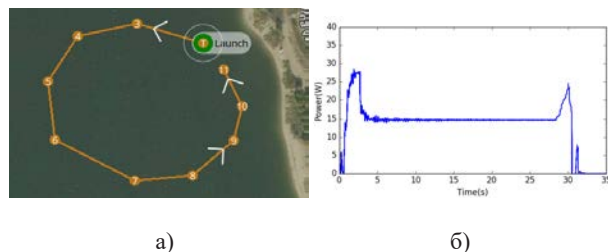


Рис. 5. Моделювання руху по колу

Маршрут 4 – рух у межах прямокутної зони. Також активно застосовуються для гідрографічних досліджень. Промодельовано рух за таким маршрутом, різкі зміни напрямку призводять до підвищення витрат енергії.

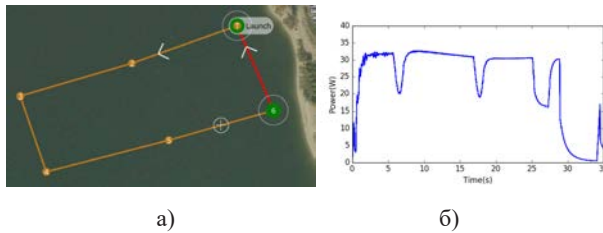


Рис. 6. Моделювання руху в межах прямокутника

Надані результати моделювання руху АНС по декільком типовим маршрутам, показують зміну використання енергії АНС що дозволяють також оцінити зв'язок між швидкістю та споживанням енергії. Різкі зміни маршруту негативно впливають на витрати енергії, застосування максимальної швидкості під час руху також негативно впливають на витрати, та не є необхідним для задач гідрографічного моніторингу. Тому з огляду на проведене моделювання, доцільно сформулювати критерії оптимальності руху, які дозволять знизити витрати енергії під час руху по заданому маршруту.

- Дотримання оптимальної швидкості за маршрут;
- Врахування впливу навколишнього середовища;

- Шлях без різких змін у траєкторії;
- Прогнозованість траєкторій руху.

ВИСНОВОК

Розробка та дослідження Автономних надводних суден продовжуються. Актуальність подібних суден обумовлено широкими можливостями, які дозволяють застосувати їх у різних дослідницьких місіях. Вирішення проблем зі збереження енергії у АНС на основі електродвигуну важливе питання для багатьох науковців.

Проведений аналіз питання енергоефективності АНС, та шляхи вирішення. На основі моделі енергоспоживання АНС, проведено моделювання руху автономного судна по типовим маршрутам на відрізок водойми. Моделювання було проведено шляхом симуляції руху АНС невеликого класу, та отримання даних енерговитрат під час руху. Дані проаналізовані, та висунуто критерії оптимізації руху, дотримання яких дасть змогу зменшувати енерговитрати під час гідрографічних місій. Для подальших досліджень необхідно враховувати вплив зовнішніх факторів, та проводити тестування на відкритій місцевості.

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] Roberts, G.N. & Sutton, Rhondasutton. (2006). Advances in Unmanned Marine Vehicles. 10.1049/PBCE069E.
- [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] Marichal Plasencia, G.N. (2021). Trends and Challenges in Unmanned Surface Vehicles (USV): From Survey to Shipping. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 1, pp. 135-142, doi:10.12716/1001.15.01.13.
- [5] E. Desa et al. (2007). A Small Autonomous Surface Vehicle for Ocean Color Remote Sensing., IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 32, no. 2, pp. 353-364.
- [6] Sarda, E.I., & Dhanak, M.R. (2017). A USV-Based Automated Launch and Recovery System for AUVs. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 42, 37-55.
- [7] Xu, W., Liu, H., Liu, J., Zhou, Z., Pham, D.T. (2017). A Practical Energy Modeling Method for Industrial Robots in Manufacturing. In: Zhang, L., Ren, L., Kordon, F. (eds) Challenges and Opportunity with Big Data. Monterey Workshop 2016. Lecture Notes in Computer Science(), vol 10228. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61994-1_3
- [8] Yang, A., Pu, J., Wong, C. B. and Moore, P.R. (2009) By-pass valve control to improve energy efficiency of pneumatic drive system. Control Engineering Practice, 17 (6), pp. 623-628.
- [9] Morales, M.F., Dogru, S., Marques, L., & Gómez, J.B. (2019). Predictive Power Estimation for a Differential Drive Mobile Robot Based on Motor and Robot Dynamic Models. 2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), 301-307.
- [10] McGuire, K.N., Croon, G.C., & Tuyls, K. (2018). A Comparative Study of Bug Algorithms for Robot Navigation. ArXiv, abs/1808.05050.
- [11] McCalmont, J., Utt, J., Deschenes, M., Taylor, M., Sanderson, R.B., Montgomery, J.B., Johnson, R.S., & McDermott, D.J. (2007). Sense and avoid technology for unmanned aircraft systems. SPIE Defense + Commercial Sensing.
- [12] Li, D., Wang, X. (2016). Energy-optimal coverage path planning on topographic map for environment survey with unmanned aerial vehicles. Electron. Lett. 52, pp 699–701.
- [13] Kang, H., Liu, C.; Jia, Y.-B. Inverse dynamics and energy optimal trajectories for a wheeled mobile robot. Int. J. Mech. Sci. 2017, 134, pp 576–588.
- [14] Otsu, K., & Kubota, T. (2015). Energy-Aware Terrain Analysis for Mobile Robot Exploration. International Symposium on Field and Service Robotics.
- [15] Paravisi M, H. Santos D, Jorge V, Heck G, Gonçalves LM. (2019). Unmanned Surface Vehicle Simulator with Realistic Environmental Disturbances. Sensors.; 19(5):1068. <https://doi.org/10.3390/s19051068>

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] Roberts, G.N. & Sutton, Rhonda. (2006). Advances in Unmanned Marine Vehicles. 10.1049/PBCE069E.
- [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] Marichal Plasencia G.N. (2021). Trends and Challenges in Unmanned Surface Vehicles (USV): From Survey to Shipping. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 1, pp. 135–142, doi:10.12716/1001.15.01.13.
- [5] E. Desa et al. (2007). A Small Autonomous Surface Vehicle for Ocean Color Remote Sensing., IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 32, no. 2, pp. 353–364.
- [6] Sarda, E.I., & Dhanak, M.R. (2017). A USV-Based Automated Launch and Recovery System for AUVs. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 42, 37–55.
- [7] Xu, W., Liu, H., Liu, J., Zhou, Z., Pham, D.T. (2017). A Practical Energy Modeling Method for Industrial Robots in Manufacturing. In: Zhang, L., Ren, L., Kordon, F. (eds) Challenges and Opportunity with Big Data. Monterey Workshop 2016. Lecture Notes in Computer Science(), vol 10228. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61994-1_3
- [8] Yang, A., Pu, J., Wong, C. B. and Moore, P.R. (2009) By-pass valve control to improve energy efficiency of pneumatic drive system. Control Engineering Practice, 17 (6), pp. 623–628.
- [9] Morales, M.F., Dogru, S., Marques, L., & Gómez, J.B. (2019). Predictive Power Estimation for a Differential Drive Mobile Robot Based on Motor and Robot Dynamic Models. 2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), 301–307.
- [10] McGuire, K.N., Croon, G.C., & Tuyls, K. (2018). A Comparative Study of Bug Algorithms for Robot Navigation. ArXiv, abs/1808.05050.
- [11] McCalmont, J., Utt, J., Deschenes, M., Taylor, M., Sanderson, R.B., Montgomery, J.B., Johnson, R.S., & McDermott, D.J. (2007). Sense and avoid technology for unmanned aircraft systems. SPIE Defense + Commercial Sensing.
- [12] Li, D., Wang, X. (2016). Energy-optimal coverage path planning on topographic map for environment survey with unmanned aerial vehicles. Electron. Lett. 52, pp 699–701.
- [13] Kang, H., Liu, C.; Jia, Y.-B. Inverse dynamics and energy optimal trajectories for a wheeled mobile robot. Int. J. Mech. Sci. 2017, 134, pp 576–588.
- [14] Otsu, K., & Kubota, T. (2015). Energy-Aware Terrain Analysis for Mobile Robot Exploration. International Symposium on Field and Service Robotics.
- [15] Paravisi M, H. Santos D, Jorge V, Heck G, Gonçalves LM. (2019). Unmanned Surface Vehicle Simulator with Realistic Environmental Disturbances. Sensors.; 19(5):1068. <https://doi.org/10.3390/s19051068>

© Єрмоленко Б. О.

Дата надходження статті до редакції: 09.02.2024

Дата затвердження статті до друку: 21.02.2024