Волянський Сергій Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна. ORCID: 0000-0001-7922-0441

Мазур Оксана Миколаївна, к.т.н., доцент, доцент кафедри устрою судна Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, Україна, ORCID: 0000-0002-9316-288X

Щенявський Геннадій Сергійович, аспірант кафедри судноводіння і морської безпеки, Одеського національного морського університету, ORCID: 000-0001-7803-978X

Volyanskiy Serhii, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering of Ship and Robotic Complexes, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-7922-0441

Mazur Oksana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ship Structure, National University “Odessa Maritime Academy,” Odessa, Ukraine, ORCID: 0000-0002-9316-288X

Shcheniavskiy Gennadiy, Postgraduate Student, Department of Navigation and Maritime Safety, Odessa National Maritime University, ORCID: 000-0001-7803-978X

АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОРСЬКИХ АВТОНОМНИХ ПЛАТФОРМ

ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF MARITIME AUTONOMOUS PLATFORMS

Анотація. У статті розглянуто задачу аналітичної оцінки технічного стану морських автономних платформ, що функціонують в умовах змінного морського середовища та обмеженої участі оператора. Показано, що традиційні системи моніторингу технічного стану, засновані на пороговому контролі окремих параметрів, не забезпечують комплексної оцінки працездатності платформи та є недостатніми для умов автономної експлуатації. Запропоновано підхід до аналітичної оцінки технічного стану на основі інтеграції структурованих інформаційних показників, сформованих у системі моніторингу. Підхід передбачає нормалізацію та зважене агрегування показників, що характеризують стан ключових підсистем, з формуванням інтегрального індексу технічного стану платформи. Динамічна інтерпретація інтегрального індексу дозволяє виявляти тенденції деградації та забезпечує перехід від реактивного моніторингу до проактивного управління експлуатацією. Отримані результати формують кількісну основу для підтримки прийняття рішень в автономних морських платформах і створюють передумови для подальшого розвитку інформаційно-аналітичних систем управління.

Ключові слова: автономні платформи; технічний стан; аналітична оцінка; моніторинг стану; інтегральний індекс; експлуатація засобів транспорту.

Abstract. The article addresses the problem of analytical assessment of the technical condition of maritime autonomous platforms operating under variable environmental conditions and limited operator involvement. It is shown that traditional condition monitoring systems based on threshold control of individual parameters do not provide a comprehensive evaluation of platform operability and are insufficient for autonomous operation. An analytical approach to technical condition assessment based on the integration of structured information

indicators formed within the monitoring system is proposed. The method involves normalization and weighted aggregation of indicators characterizing the state of key subsystems, allowing the formation of an integral health index of the platform. The dynamic interpretation of the integral index enables the identification of degradation trends and supports the transition from reactive monitoring to proactive operational management. The proposed approach provides a quantitative basis for decision support in autonomous maritime platform operation and creates prerequisites for further development of advanced information-analytical architectures.

Keywords: maritime autonomous platforms; technical condition assessment; condition monitoring; integral health index; analytical methods; autonomous operation.

Постановка проблеми. Зростання рівня автономності морських платформ супроводжується ускладненням їх технічної структури та умов експлуатації, що висуває підвищені вимоги до систем моніторингу та оцінки технічного стану. У реальних умовах автономні морські платформи функціонують під впливом змінного морського середовища, нерівномірних експлуатаційних навантажень і обмежень зв’язку з оператором, що унеможливлює застосування виключно реактивних підходів до контролю працездатності.

Класичні системи моніторингу технічного стану, які ґрунтуються на пороговому контролі окремих параметрів, не забезпечують комплексної оцінки функціонального стану платформи як єдиної системи. Такі підходи не враховують взаємозв’язки між підсистемами, динаміку зміни параметрів у часі та накопичувальні ефекти деградації, що призводить до запізнілого виявлення небезпечних станів і зниження ефективності управління експлуатацією.

В умовах автономної роботи особливо актуальною є задача переходу від аналізу розрізнених інформаційних показників до кількісної аналітичної оцінки технічного стану, здатної відображати поточний рівень працездатності платформи та його зміну у часі. Це зумовлює необхідність розробки формалізованих методів аналітичної оцінки, які базуються на інтеграції різнорідних інформаційних показників і можуть бути використані як основа для підтримки прийняття рішень у системах автономного управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється розвитку систем моніторингу та оцінки технічного стану складних технічних об’єктів, зокрема автономних морських платформ і автономних надводних суден. У роботах, присвячених експлуатації офшорних енергетичних платформ і морських автономних систем, розглядаються підходи до збору та попередньої обробки сенсорних даних, а також методи виявлення аномалій на основі машинного навчання та штучного інтелекту [1-3].

Окремий напрям досліджень пов’язаний із застосуванням інтегральних показників і індексів стану для оцінки працездатності технічних систем. Такі підходи дозволяють зменшити розмірність задачі моніторингу та забезпечити узагальнене представлення технічного стану, проте в багатьох випадках вони орієнтовані на конкретні підсистеми або окремі режими роботи та не враховують особливості автономної експлуатації в морському середовищі [4-7].

У ряді публікацій запропоновано прогностичні моделі та методи оцінки деградації обладнання, які демонструють високий потенціал для підвищення надійності морських систем. Водночас більшість існуючих рішень зосереджені на аналізі окремих параметрів або локальних процесів і не формують єдиного формалізованого підходу до аналітичної оцінки

технічного стану автономної морської платформи як цілісного об'єкта управління [8-10].

Таким чином, аналіз наукових публікацій свідчить про наявність значного масиву досліджень у сфері моніторингу та діагностики, однак питання інтеграції різнорідних інформаційних показників у системну аналітичну оцінку технічного стану автономних морських платформ залишається недостатньо опрацьованим і потребує подальшого розвитку.

Мета статті. Метою статті є розробка та обґрунтування підходів до аналітичної оцінки технічного стану морських автономних платформ на основі інтеграції структурованих інформаційних показників, сформованих у системі моніторингу. У межах дослідження передбачається визначення принципів формалізації показників стану, їх узгодження та об'єднання в інтегральні аналітичні характеристики, придатні для оцінки працездатності платформи та підтримки прийняття рішень в умовах автономної експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Аналітична оцінка технічного стану автономних морських платформ

Сформоване на інформаційному рівні представлення стану морської автономної платформи (МАП) у вигляді узгоджених інформаційних показників створює передумови для переходу до кількісної аналітичної оцінки. На цьому етапі ключовим завданням є перетворення різнорідної інформації про стан підсистем у формалізовані критерії, здатні відображати рівень працездатності платформи в цілому та його зміну у часі.

Аналітична оцінка технічного стану розглядається як процес інтеграції інформаційних показників, що характеризують функціонування навігаційної, енергетичної, силової та інших критично важливих підсистем. На відміну від локального контролю окремих параметрів, такий підхід дозволяє враховувати взаємозв'язки між підсистемами та оцінювати

платформу як єдиний об’єкт управління.

Формалізація показників стану

Нехай на інформаційному рівні сформовано множину інформаційних показників

$$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}, \tag{1}$$

де кожен показник x_i відображає стан відповідної підсистеми або функціонального вузла платформи. Для забезпечення порівнюваності ці показники підлягають нормалізації та приведенню до безрозмірного вигляду в інтервалі [0,1], де значення, близькі до одиниці, відповідають номінальному режиму роботи.

Інтегральна оцінка технічного стану

Для формування узагальненої аналітичної оцінки доцільно використовувати інтегральний індекс технічного стану H, який визначається як зважена сума нормалізованих показників:

$$H = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i, \tag{2}$$

де w_i - вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість відповідних підсистем і задовольняють умову

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1. \tag{3}$$

Запровадження вагових коефіцієнтів дозволяє адаптувати аналітичну модель до конкретного типу автономної морської платформи, умов експлуатації та пріоритетів безпеки. Таким чином, інтегральний індекс H відображає узагальнений рівень працездатності платформи та може використовуватися для порівняння різних режимів функціонування.

Динамічна інтерпретація результатів

Оцінка технічного стану має динамічний характер і базується на

аналізі зміни інтегрального індексу у часі. Тренди зменшення значення *H* можуть свідчити про поступову деградацію окремих підсистем або несприятливий вплив умов експлуатації, що створює основу для переходу від реактивного моніторингу до проактивного управління, зокрема коригування режимів роботи платформи та планування технічного обслуговування.

Таким чином, аналітична оцінка технічного стану забезпечує формалізоване представлення результатів моніторингу у вигляді кількісних показників, придатних для використання в системах підтримки прийняття рішень автономних морських платформ.



Рис. 1. Узагальнена схема аналітичної оцінки технічного стану

Обговорення результатів. Запропонований у статті підхід до аналітичної оцінки технічного стану автономних морських платформ дозволяє перейти від аналізу окремих інформаційних показників до узагальненого кількісного представлення працездатності платформи як цілісного об’єкта. На відміну від класичних систем моніторингу, що базуються на пороговому контролі параметрів, інтегральна оцінка забезпечує врахування взаємозв’язків між підсистемами та їх спільного впливу на загальний технічний стан.

Використання нормалізованих інформаційних показників у поєднанні з ваговими коефіцієнтами забезпечує можливість адаптації аналітичної моделі до різних типів автономних морських платформ і умов їх

експлуатації. Зокрема, пріоритетність навігаційних, енергетичних або силових підсистем може змінюватися залежно від функціонального призначення платформи, району плавання та наявних експлуатаційних обмежень, що підтверджує гнучкість запропонованого підходу та його придатність до масштабування.

Аналіз динаміки інтегрального індексу технічного стану створює передумови для раннього виявлення деградаційних процесів, які можуть не проявлятися у вигляді перевищення окремих порогових значень. Таким чином, аналітична оцінка дозволяє перейти від реактивної логіки моніторингу до проактивного управління експлуатацією автономної морської платформи.

Слід зазначити, що ефективність аналітичної оцінки значною мірою залежить від якості інформаційних показників, сформованих на попередньому етапі, а також від обґрунтованості вибору вагових коефіцієнтів. Це визначає необхідність подальших досліджень, спрямованих на уточнення методів формування показників стану та адаптації аналітичних моделей до конкретних експлуатаційних сценаріїв.

Отримані результати формують аналітичну основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем управління та інтеграції методів оцінки технічного стану в більш складні інформаційно-аналітичні архітектури автономних морських платформ.

Висновки. У статті розглянуто підхід до аналітичної оцінки технічного стану автономних морських платформ, який базується на інтеграції структурованих інформаційних показників, сформованих у системі моніторингу. Запропоновано формалізовану модель інтегральної оцінки технічного стану, що дозволяє узагальнити стан окремих підсистем у вигляді кількісного індексу працездатності платформи. Показано, що використання інтегральних індексів забезпечує зменшення розмірності

задачі моніторингу, спрощує інтерпретацію результатів та створює умови для порівняння різних режимів експлуатації автономних морських платформ. Динамічний аналіз аналітичних показників дозволяє виявляти тенденції деградації технічного стану та підвищує ефективність прийняття експлуатаційних рішень в умовах автономної роботи.

Список використаних джерел

1. Simion, D., Postolache, F., Fleacă, B. and Fleacă, E. (2024) AI-Driven Predictive Maintenance in Modern Maritime Transport—Enhancing Operational Efficiency and Reliability, Applied Sciences, 14(20), 9439. https://doi.org/10.3390/app14209439

2. Sha, J., Leng, J., Mao, H. *et al.* Research Progress in Predictive Maintenance of Offshore Platform Structures Based on Digital Twin Technology. *J. Marine. Sci. Appl.* 24, 877–899 (2025). https://doi.org/10.1007/s11804-025-00649-w.

3. Hwang, H., Joe, I. (2024). An IoT-Based Cloud Data Platform with Real-Time Connecting Maritime Autonomous Surface Ships. In: Silhavy, R., Silhavy, P. (eds) Software Engineering Methods in Systems and Network Systems. CoMeSySo 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 909. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53549-9_21

4. Xu, H., & Soares, C. G. (2026). Challenges for the Development of Maritime Autonomous Surface Ships. *Autonomous Transportation Research*. https://doi.org/10.1016/j.atres.2026.01.001

5. Seo, M., Paik, K., Yoo, W., Kim, S., & Kwon, S. (2025). A study on the avoidance timing of autonomous surface ships through machine learning. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, *18*, 100717. https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2025.100717

6. Sun, T., Yin, Y., & Liu, C. (2026). AIS-data-guided trajectory planning

and control for ship autonomous berthing. *Ocean Engineering*, *350*, 124270. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2026.124270

7. Zhang, W., Wu, G., Zhou, X., Yang, X., & Meng, X. (2025). A function-triggered framework for the feasibility analysis of autonomous ships in Arctic pendulum transport mode. *Regional Studies in Marine Science*, *93*, 104665. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104665

8. Tatar, V. (2026). Optimization-based decision support model for risk assessment of autonomous ships: Spherical fuzzy FUCOM-ARTASI approach. *Ocean Engineering*, *345*, 123486. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123486

9. Ozcan, A. B., Bayezit, I., Kinaci, O. K., & Khan, J. (2026). Nonlinear stability analysis of autonomous container ship under environmental disturbances using hardware-in-the-loop validation. *Ocean Engineering*, *351*, 124201. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2026.124201

10. Wang, J., & Yuan, M. (2026). Regulation of maritime autonomous surface ships on carbon emissions and marine pollution: Context, challenges, responses. *Marine Policy*, *186*, 107020. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.107020

References

1. Simion, D., Postolache, F., Fleacă, B. and Fleacă, E. (2024) AI-Driven Predictive Maintenance in Modern Maritime Transport—Enhancing Operational Efficiency and Reliability, Applied Sciences, 14(20), 9439. https://doi.org/10.3390/app14209439

2. Sha, J., Leng, J., Mao, H. *et al.* Research Progress in Predictive Maintenance of Offshore Platform Structures Based on Digital Twin Technology. *J. Marine. Sci. Appl.* 24, 877–899 (2025). https://doi.org/10.1007/s11804-025-00649-w

3. Hwang, H., Joe, I. (2024). An IoT-Based Cloud Data Platform with Real-Time Connecting Maritime Autonomous Surface Ships. In: Silhavy, R., Silhavy, P. (eds) Software Engineering Methods in Systems and Network Systems. CoMeSySo 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 909. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53549-9_21

4. Xu, H., & Soares, C. G. (2026). Challenges for the Development of Maritime Autonomous Surface Ships. *Autonomous Transportation Research*. https://doi.org/10.1016/j.atres.2026.01.001

5. Seo, M., Paik, K., Yoo, W., Kim, S., & Kwon, S. (2025). A study on the avoidance timing of autonomous surface ships through machine learning. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, *18*, 100717. https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2025.100717

6. Sun, T., Yin, Y., & Liu, C. (2026). AIS-data-guided trajectory planning and control for ship autonomous berthing. *Ocean Engineering*, *350*, 124270. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2026.124270

7. Zhang, W., Wu, G., Zhou, X., Yang, X., & Meng, X. (2025). A function-triggered framework for the feasibility analysis of autonomous ships in Arctic pendulum transport mode. *Regional Studies in Marine Science*, *93*, 104665. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104665

8. Tatar, V. (2026). Optimization-based decision support model for risk assessment of autonomous ships: Spherical fuzzy FUCOM-ARTASI approach. *Ocean Engineering*, *345*, 123486. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123486

9. Ozcan, A. B., Bayezit, I., Kinaci, O. K., & Khan, J. (2026). Nonlinear stability analysis of autonomous container ship under environmental disturbances using hardware-in-the-loop validation. *Ocean Engineering*, *351*, 124201. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2026.124201

10. Wang, J., & Yuan, M. (2026). Regulation of maritime autonomous

surface ships on carbon emissions and marine pollution: Context, challenges, responses. *Marine Policy*, *186*, 107020. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.107020