

УДК 629.5.07:004.9

DOI 10.47049/2226-1893-2026-1-172-186

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОНОМНИХ МОРСЬКИХ ПЛАТФОРМ

С.М. Волянський

к.т.н., доцент, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки
ORCID ID: 0000-0001-7922-0441

О.М. Мельник

д.т.н, професор, завідувач кафедри судноводіння і морської безпеки
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

А.О. Волошин

к.т.н, професор ОНМУ, професор кафедри судноводіння і морської безпеки
ORCID ID: 0000-0003-3993-5826

Л.О. Добровольська

асистент кафедри судноводіння і морської безпеки
ORCID ID: 0009-0000-1330-4087

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

***Анотація.** У статті розглянуто роль інформаційного забезпечення в експлуатації автономних морських платформ як складних кіберфізичних систем. Показано, що ефективність моніторингу технічного стану таких платформ визначається не лише наявністю сенсорних даних, а насамперед якістю організації інформаційних потоків, їх синхронізацією та інтеграцією.*

Проаналізовано особливості формування навігаційних, енергетичних, силових і даних середовища, а також їх часову та функціональну неоднорідність. Виявлено основні обмеження класичних систем моніторингу, пов'язані з пороговою логікою контролю, реактивним характером прийняття рішень, фрагментованістю аналізу та високою залежністю від оператора.

Обґрунтовано доцільність виділення окремого інформаційного рівня в структурі управління експлуатацією автономних морських платформ, який забезпечує перетворення первинних асинхронних даних у структуровану інформацію, придатну для подальшого аналізу та підтримки прийняття рішень. Отримані результати формують концептуальну основу для розвитку аналітичних методів оцінки технічного стану в системі управління експлуатацією.

***Ключові слова:** автономні платформи; експлуатація засобів, морський транспорт, навігація, безекіпажні технології, інформаційні потоки; моніторинг технічного стану; інформаційний рівень; кіберфізичні системи; системи підтримки прийняття рішень.*

UDC 629.5.07:004.9

DOI 10.47049/2226-1893-2026-1-172-186

**THE ROLE OF INFORMATION SUPPORT IN THE OPERATION
OF AUTONOMOUS MARITIME SYSTEMS**

S.M. Volyansky

PhD, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Navigation and Maritime Safety
ORCID ID: 0000-0001-7922-0441

O.M. Melnyk

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Navigation and Maritime Safety
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

A.O. Voloshyn

PhD, Professor ONMU,
Professor of the Department of Navigation and Maritime Safety
ORCID ID: 0000-0003-3993-5826

L.O. Dobrovolska

Assistant Lecturer, Department of Navigation and Maritime Safety
ORCID ID: 0009-0000-1330-4087

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *The article discusses the role of information support in the operation of autonomous offshore platforms as complex cyber-physical systems. It is shown that the effectiveness of monitoring the technical condition of such platforms is determined not only by the availability of sensor data, but primarily by the quality of information flow organisation, its synchronisation and integration. The peculiarities of the formation of navigation, energy, power and environmental data, as well as their temporal and functional heterogeneity, are analysed. The main limitations of classical monitoring systems related to threshold control logic, reactive decision-making, fragmented analysis and high dependence on the operator are identified. The expediency of allocating a separate information level in the structure of autonomous offshore platform operation management, which ensures the conversion of primary asynchronous data into structured information suitable for further analysis and decision support, is substantiated. The results obtained form the conceptual basis for the development of analytical methods for assessing technical condition into operational management systems.*

Keywords: *autonomous platforms; operation of equipment, maritime transport, navigation, unmanned technologies, information flows; technical condition monitoring; information level; cyber-physical systems; decision support systems.*

Вступ. Автономні морські платформи в сучасних умовах розглядаються як складні кіберфізичні системи, що поєднують фізичні об'єкти, підсистеми з сенсорним обладнанням, обчислювальні засоби та алгоритми прийняття рішень. Зростання рівня автономності таких платформ супроводжується підвищенням вимог до надійності, безпеки та ефективності їх експлуатації, особливо в умовах обмеженого або відсутнього втручання оператора. У цьому контексті ключову роль відіграє система моніторингу технічного стану, яка формує інформаційну основу для управління експлуатаційними процесами.

Ефективність моніторингу морських автономних платформ (МАП) безпосередньо залежить від якості інформації, що формується на основі даних різної фізичної природи. Навігаційні параметри, енергетичні показники, силові навантаження та характеристики зовнішнього середовища надходять у вигляді потоків даних з різними часовими масштабами, частотами дискретизації та рівнями достовірності. Така неоднорідність ускладнює їх інтеграцію, синхронізацію та подальше використання для оцінювання технічного стану платформи.

Опановані джерела показують, що інформаційне забезпечення стає «нервовою системою» експлуатації автономних морських платформ – від офшорних вітрових ферм до MASS і смарт-портів. Інтегровані системно-інженерні підходи для управління офшорними вітровими турбінами та платформами (Wang et al., 2026; Ambarita et al., 2023; Noshchenko et al., 2025) спираються на безперервні потоки даних про стан обладнання, енергосистеми й довкілля, що далі обробляються AI-платформами для аномалій та безпеки (Ahmad et al., 2025; Li et al., 2025; Li H. et al., 2025). В офшорному сегменті інформаційні моделі газорозповсюдження, гідроген-платформ і subsea-O&M (Li H. et al., 2025; Zhang M. et al., 2024; Larsen et al., 2026) формують основу для проактивного управління ризиками, а правове поле експлуатації таких об'єктів (Wang Q., 2024) дедалі більше залежить від прозорості й трасованості даних. Для автономних надводних суден критичними стають сенсорні комплекси (LiDAR-навігація, гібридні датчики; Guo et al., 2026; Brushane et al., 2020), алгоритми уникнення зіткнень та слідування траєкторіям на базі deep RL і anti-disturbance-керування (Yu et al., 2026; Xu et al., 2025), а також моделі «людина–машина» в дистанційному контролі й прийнятті рішень (Xiang et al., 2025; Li Z. et al., 2025; Othman et al., 2025). Паралельно технологічна еволюція автономних систем і smart-портів (Belabyad et al., 2025; Reshetkov et al., 2023) і розробки з підвищення надійності автономних технічних систем та дистанційного судноводіння (Chymshyr, 2023; Melnyk et al., 2022) демонструють перехід від локальних автоматизованих рішень до комплексних інформаційно-орієнтованих архітектур. Таким чином, роль інформаційного забезпечення в експлуатації автономних морських платформ полягає не лише в зборі даних, а в побудові інтегрованих, адаптивних, юридично й операційно осмислених систем, які пов'язують технічний стан, людино-машинну взаємодію, енергетичну стійкість та безпеку в єдине цифрове середовище управління.

Постановка проблеми. Класичні підходи до моніторингу, що базуються переважно на пороговому контролі окремих параметрів, не забезпечують комп-

лексного уявлення про стан складної автономної системи. Фрагментарність інформаційних потоків, асинхронність надходження даних та відсутність єдиного інформаційного рівня призводять до реактивного характеру прийняття рішень і обмежують можливості прогнозування деградації або відмов елементів платформи. В умовах автономної експлуатації такі обмеження можуть суттєво знижувати загальну ефективність і безпеку функціонування.

У зв'язку з цим актуальною є задача формалізації інформаційних потоків та визначення вимог до інформаційного забезпечення систем моніторингу технічного стану автономних морських платформ. Особливу увагу необхідно приділити ролі інформаційного рівня як проміжної ланки між фізичними процесами та системами управління, що забезпечує перетворення первинних даних у придатну для аналізу та прийняття рішень форму.

Мета дослідження. Метою цієї статті є аналіз особливостей інформаційних потоків в автономних морських платформах, визначення обмежень класичних систем моніторингу та формування вимог до сучасного інформаційного забезпечення моніторингу технічного стану. Отримані результати створюють концептуальну основу для подальшої розробки методів аналітичної оцінки технічного стану та інтеграції цифрових двійників у системи підтримки прийняття рішень.

Результати дослідження.

Особливості інформаційних потоків в автономних морських платформах

Морські автономні платформи (МАП) функціонують в умовах багатofакторного впливу та формують значну кількість різномірних даних, що надходять з підсистем різної фізичної природи. Інформаційні потоки, які використовуються для моніторингу технічного стану, характеризуються відмінностями за змістом, частотою оновлення, рівнем зашумленості та критичністю для управління експлуатацією, що зумовлює необхідність їх систематизації та аналізу з позицій інформаційного забезпечення. До основних типів даних, що формують інформаційні потоки МАП, належать навігаційні, енергетичні тощо.

Функціонування МАП базується на безперервному обміні різномірними інформаційними потоками, які формуються як внутрішніми підсистемами, так і зовнішнім середовищем. Структуризація цих даних є необхідною передумовою для побудови ефективних алгоритмів для процесу навігації, систем енергоменеджменту, технічної діагностики та адаптивного управління, таблиця 1.

Сукупна обробка навігаційних, енергетичних, структурних та даних зовнішнього середовища дозволяє формувати цілісне уявлення про поточний технічний стан платформи та умови її експлуатації і саме інтеграція цих інформаційних потоків є основою для реалізації автономних рішень у режимі реального часу, зокрема для оптимізації маршрутів, зниження енергетичних витрат і підвищення рівня безпеки мореплавства.

Ключовою особливістю зазначених інформаційних потоків є їх функціональна неоднорідність. Навігаційні та силові дані, як правило, формуються з високою частотою та використовуються для оперативного управління, тоді як енергетичні й параметри середовища можуть змінюватися повільніше та аналізуватися

на більших часових інтервалах. У результаті в системі одночасно присутні дані з мілісекундними, секундними та хвилинними часовими масштабами, що ускладнює їх синхронізацію та спільну обробку.

Таблиця 1

Основні типи даних інформаційних потоків МАП

Тип даних	Зміст та характеристики	Основні джерела
Навігаційні дані	Координати, швидкість, курс, орієнтація платформи, параметри руху та положення у просторі	GNSS, INS, GPS, AIS, гіроскопи, акселерометри
Енергетичні дані	Стан джерел живлення, рівень заряду акумуляторів, споживання енергії підсистемами, режими роботи енергетичної установки	BMS, датчики струму та напруги, енергоменеджмент платформи
Силові та структурні дані	Навантаження на корпус і рушійні елементи, механічні напруження, вібрації, деформаційні стани	Тензодатчики, вібросенсори, датчики навантажень
Дані зовнішнього середовища	Параметри зовнішнього середовища: хвилювання, течії, вітер, температура та солоність води	Метеосенсори, гідрологічні датчики, анемометри, ADCP

Окрім часової неоднорідності, інформаційні потоки МАП відрізняються за походженням і напрямом передачі. Внутрішні інформаційні потоки формуються сенсорами та підсистемами платформи і використовуються для локального прийняття рішень у режимі реального часу. Зовнішні інформаційні потоки пов'язані з обміном даними з береговими центрами управління, іншими платформами або супутниковими системами зв'язку і, як правило, мають обмеження за пропускну здатністю та затримками, рис. 1.

Асинхронність надходження даних, різні рівні достовірності та можливі втрати інформації в каналах зв'язку призводять до того, що інформаційні потоки не можуть бути безпосередньо використані для комплексної оцінки технічного стану без попереднього перетворення. Первинні дані потребують фільтрації, узгодження в часі та агрегації, що підкреслює важливість виділення окремого інформаційного рівня в структурі системи моніторингу.

Таким чином, інформаційні потоки МАП характеризуються високою різноманітністю, багатоканальністю та асинхронністю, і такі особливості визначають обмеження застосування простих методів контролю та формують передумови для переходу від локального аналізу окремих параметрів до системного підходу в інформаційному забезпеченні моніторингу технічного стану. Наприклад підхід, який забезпечує інтеграцію фізичних процесів, потоків даних і аналітичних моделей у єдину ієрархічну структуру, що підтримує прийняття рішень у реальному часі в узагальненій архітектурі МАП представлено на рис. 2.



Рис. 1. Потіки інформації в МАП

Наведена архітектура демонструє багаторівневу організацію, де фізична система виступає джерелом первинних даних, а рівні обробки інформації та аналітичного моделювання забезпечують їх фільтрацію, агрегування й прогнозування станів. Контур зворотного зв'язку дозволяє коригувати поведінку фізичної платформи на основі результатів аналізу ризиків та сценарного моделювання, а цифровий двійник виступає ключовим елементом інтегрованої системи підтримки рішень.

Обмеження класичних систем моніторингу технічного стану МАП

Класичні системи моніторингу технічного стану, що широко застосовуються в інженерній практиці, були розроблені для умов обмеженої складності об'єктів та постійної участі оператора. У контексті МАП такі підходи демонструють низку принципів обмежень, пов'язаних як з архітектурою систем, так і з логікою обробки інформації [20].



Рис. 2. Архітектура цифрового двійника автономної морської платформи

Переважає більшість традиційних систем моніторингу ґрунтується на пороговому контролі окремих параметрів, за якого стан вважається нормальним до моменту перевищення наперед заданого граничного значення. Такий підхід не враховує динаміку зміни параметрів, взаємозв'язки між окремими підсистемами та накопичувальні ефекти деградації. У результаті формуються потенційно небезпечні тенденції, які можуть залишатися непоміченими до моменту досягнення системою критичного стану.

Ще одним обмеженням є реактивний характер логіки прийняття рішень. Класичний моніторинг орієнтований на фіксацію факту відхилення, а не на його попередження. Відсутність механізмів прогнозування та оцінки розвитку технічного стану у часі суттєво знижує можливості планування експлуатаційних дій, що особливо критично для автономних платформ, які функціонують без постійного зв'язку з оператором [21].

Суттєву проблему становить також фрагментарність аналізу, за якої параметри різних підсистем розглядаються ізольовано. Навігаційні, енергетичні та силові показники, як правило, контролюються незалежно, без урахування їх взаємного впливу. Такий підхід не дозволяє сформувати цілісне уявлення про технічний стан платформи як єдиної системи та ускладнює ідентифікацію причинно-наслідкових зв'язків між відмовами.

Класичні системи моніторингу також характеризуються високою залежністю від оператора. Інтерпретація даних, прийняття рішень щодо допустимості подальшої експлуатації та вибору коригувальних дій часто покладаються на людину. В умовах автономної експлуатації або затримок у каналах зв'язку такий підхід є неприйнятним, оскільки не забезпечує необхідної швидкості та обґрунтованості рішень, рис. 3 [23].

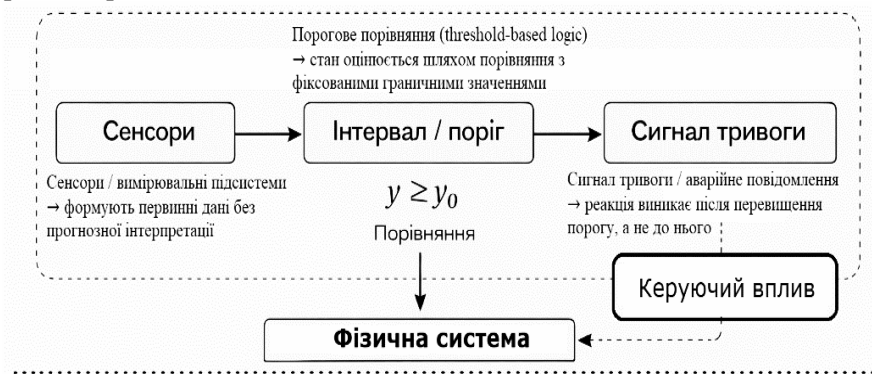


Рис. 3. Типова схема класичного моніторингу з пороговою логікою прийняття рішень

Окрім цього, традиційні підходи, як правило, не передбачають виділення окремого інформаційного рівня, що відповідає за узгодження, агрегацію та інтерпретацію різнорідних даних. Первинні вимірювання використовуються без достатньої попередньої обробки, що унеможливує їх ефективне застосування в аналітичних моделях та системах підтримки прийняття рішень. Інформаційний рівень – це проміжна ланка між фізичними процесами та рівнем управління, яка забезпечує перетворення неоднорідних і асинхронних даних у структуровану інформацію, придатну для аналізу та прийняття рішень, рис. 4.

У структурі управління експлуатацією МАП доцільно виділяти окремий інформаційний рівень, який займає проміжне положення між фізичним рівнем та рівнем управління. На цьому рівні здійснюється перетворення первинних даних, що надходять від сенсорних підсистем, у структуровану інформацію, придатну для подальшого аналізу та прийняття рішень. Основними функціями інформаційного рівня є синхронізація асинхронних потоків даних, фільтрація шумів, агрегація параметрів та формування інформативних ознак, які відображають поточний технічний стан платформи.

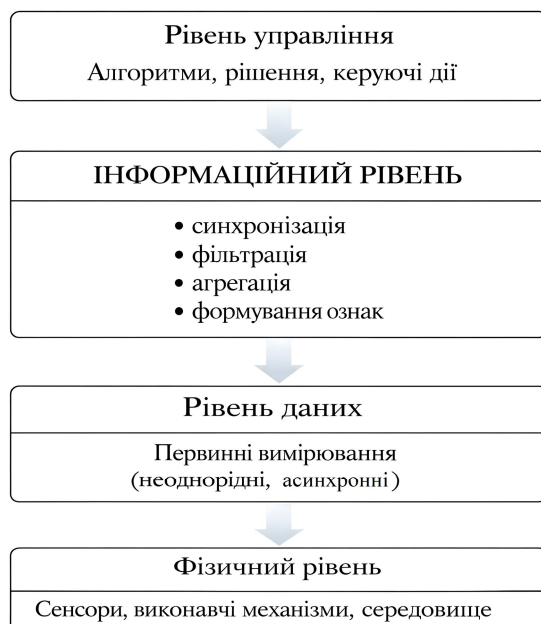


Рис. 4. Узагальнена схема інформаційного рівня в структурі управління експлуатацією

Таким чином, класичні системи моніторингу не відповідають вимогам, що висуваються до МАП, і не забезпечують перехід від контролю окремих параметрів до системної оцінки технічного стану, що обґрунтовує необхідність розвитку інформаційного забезпечення моніторингу та створення передумов для використання аналітичних методів і прогнозних моделей, що буде розглянуто в наступних розділах. Схема на рисунку 5 ілюструє роль інформаційного рівня як ключового елемента, що забезпечує перехід від різномірних первинних даних до узгодженої інформаційної бази, необхідної для ефективного моніторингу та управління експлуатацією МАП.

На схемі подано узагальнену внутрішню структуру інформаційного рівня системи моніторингу технічного стану автономної морської платформи. Вхідними потоками цього рівня є дані навігаційного, енергетичного, силового та характеру середовища, отримані від сенсорних підсистем платформи, що відзначаються неоднорідністю, різними частотами дискретизації та асинхронністю надходження.

Початковий етап обробки передбачає узгодження даних у часі, яке забезпечує приведення усіх вимірювань до єдиної часової шкали. Це необхідна умова для подальшої інтеграції параметрів, що характеризують стан різних підсистем. Наступним етапом здійснюються фільтрація та очищення даних, спрямовані на усунення шумів, вимірювальних похибок і випадкових спотворень, що в цілому підвищує достовірність та стабільність інформаційної бази.



Рис. 5. Внутрішня логіка інформаційного рівня

На етапі агрегації здійснюється узагальнення попередньо оброблених даних, яке дозволяє зменшити обсяг інформації та перейти від первинних вимірювань до індикаторів стану окремих підсистем. Цей процес сприяє формуванню єдиних часових масштабів та оптимізації структури даних без втрати їх змістової значущості.

Результатом функціонування інформаційного рівня є формування системи інформаційних показників, що у структурованій формі відображають поточний технічний стан автономної морської платформи і такі показники виступають базовими елементами для подальшого аналітичного опрацювання, прогнозування стану, підтримки прийняття рішень та інтеграції із цифровими двійниками.

Висновки. У підсумку слід зазначити що, автономні морські платформи характеризуються формуванням різномірних та асинхронних інформаційних потоків навігаційного, енергетичного, силового та характеру середовища, що ускладнює їх безпосереднє використання для оцінки технічного стану без попередньої обробки. Класичні системи моніторингу, засновані на пороговому контролі окремих параметрів, мають низку принципних обмежень, зокрема реактивний характер прийняття рішень, фрагментованість аналізу підсистем і високу залежність від участі оператора, що знижує їх ефективність в умовах автономної експлуатації. Обґрунтовано доцільність виділення окремого інформаційного рівня в структурі управління експлуатацією автономних морських платформ, який виконує функції синхронізації, фільтрації, агрегації та структуризації первинних даних. Інформаційний рівень забезпечує перехід від набору розрізнених вимірювань до узгодженої інформаційної бази, необхідної для комплексної оцінки технічного стану та підвищення обґрунтованості управлінських рішень. Сформовані підходи до організації інформаційного забезпечення створюють передумови для подальшого розвитку аналітичних методів оцінки технічного стану та інтеграції сучасних інтелектуальних технологій у системи управління експлуатацією автономних морських платформ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang, B., Xu, Q., & Yang, Y. (2026). An integrated systems engineering framework for collaborative control and autonomous operation of offshore wind turbines. *Ocean Engineering*, 348, 124060. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.124060>.
2. Ambarita, E.E., Karlsen, A., Osen, O., & Hasan, A. (2023). Towards fully autonomous floating offshore wind farm operation & maintenance. *Energy Reports*, 9, 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.148>.
3. Ahmad, A., Li, P., Piechocki, R., & Inacio, R. (2025). Anomaly detection in offshore open radio access network using long short-term memory models on a novel artificial intelligence-driven cloud-native data platform. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 161, 112274. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112274>.

4. Larsen, J.S., Pedersen, S., Liniger, J., & Sørensen, F.F. (2026). Offshore subsea IMR operations: Review of the automation potential. *Robotics and Autonomous Systems*, 105365. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2026.105365>.
5. Noshchenko, O., Hagspiel, V., & Deshpande, P. C. (2025). Assessing the sustainability of offshore platform power supply alternatives using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A case study of Norway. *Science of The Total Environment*, 973, 179053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179053>.
6. Wang, Q. (2024). Maritime law enforcement concerning offshore energy platforms: Navigating international law constraints and challenges. *Marine Policy*, 170, 106370. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106370>.
7. Li, H., Hao, L., Zhu, Z., Xu, W., Feng, J., & Wei, H. (2025). Real-Time Gas Dispersion Model Prediction on Offshore Platforms based on CNN_Transformer Model. *Process Safety and Environmental Protection*, 107983. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107983>.
8. Zhang, M., Tao, L., Nuernberg, M., Rai, A., & Yuan, Z. (2024). Conceptual design of an offshore hydrogen platform. *International Journal of Hydrogen Energy*, 59, 1004-1013. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.077>.
9. Brushane, F., Jämsä, K., Lafond, S., & Lilius, J. (2020). A Experimental Research Platform for Maritime Automation and Autonomous Surface Ship Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 54(16), 390-394. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.121>.
10. Xiang, J., Blanco-Davis, E., Xin, X., Li, H., Hifi, N., Wang, J., & Yang, Z. (2025). A systematic literature review of Human-Machine Cooperation in Maritime Autonomous Surface Ships. *Autonomous Transportation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.atres.2025.10.001>.
11. Guo, D., Yin, Y., Jing, Q., Shao, Z., & Xu, H. (2026). A LiDAR intensity-enhanced 3D object detection method for maritime autonomous navigation. *Ocean Engineering*, 343, 123586. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123586>.
12. Othman, M.K., Mohd Sabri, N.S.A., Abdul Rahman, N.S.F., & Osnin, N.A. (2025). Port operators' perceptions and acceptance of maritime autonomous surface ships (MASS) operations: Insights from Malaysia. *Case Studies on Transport Policy*, 22, 101567. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101567>.
13. Li, Z., Mao, Z., Zhang, D., Fan, S., Lyu, W., Zhou, J., & Yang, H. (2025). Mental workload-performance relationships in maritime autonomous surface ship remote control scenarios. *Ocean Engineering*, 339, 122094. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122094>.
14. Yu, H., Wu, D., Li, G., Lian, T., Li, Y., & Li, F. (2026). Collision avoidance for maritime autonomous surface ship in busy waterways based on the improved deep reinforcement learning and K-means clustering. *Ocean Engineering*, 343, 123396. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123396>.

15. Xu, Y., Peng, Z., Gu, N., Zhang, G., & Han, B. (2025). Anti-disturbance line-of-sight path following of dual-podded maritime autonomous surface ships: A case study of XIN HONG ZHUAN. *Ocean Engineering*, 341, 122468. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122468>.
16. Belabyad, M., Pyne, R., Paraskevadakis, D., Chang, C., & Kontovas, C. (2025). Technology evolution in maritime autonomous systems: A patent-based analysis. *Ocean & Coastal Management*, 267, 107744. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107744>.
17. Chymshyr, V. (2023). Conceptual principles of improving the safety and reliability of autonomous technical systems using a ship as an example. *Transport Development*, (1(16)), 79-88. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.07>.
18. Melnyk, O., Onyshchenko, O., Voloshyn, A., Vasalatii, N., Lohinov, O., & Koriakin, K. (2022). Development of remote technologies of ship control as a factor for ensuring shipping safety. *Transport Development*, (3(14)), 179-191. <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.13>.
19. Reshetkov, D., Bondaryuk, M., & Onyshchenko, S. (2023). Essence, advantages and existing experience of the smart ports development. *Transport Development*, (4(15)), 108-122. <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.09>.
20. Simion, D., Postolache, F., Fleacă, B., & Fleacă, E. (2023). AI-Driven Predictive Maintenance in Modern Maritime Transport-Enhancing Operational Efficiency and Reliability. *Applied Sciences*, 14(20), 9439. <https://doi.org/10.3390/app14209439>.
21. Sapkota, S., & Paudyal, D. R. (2022). Growth Monitoring and Yield Estimation of Maize Plant Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in a Hilly Region. *Sensors*, 23(12), 5432. <https://doi.org/10.3390/s23125432>.

REFERENCES

1. Wang, B., Xu, Q., & Yang, Y. (2026). An integrated systems engineering framework for collaborative control and autonomous operation of offshore wind turbines. *Ocean Engineering*, 348, 124060. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.124060>.
2. Ambarita, E.E., Karlsen, A., Osen, O., & Hasan, A. (2023). Towards fully autonomous floating offshore wind farm operation & maintenance. *Energy Reports*, 9, 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.148>.
3. Ahmad, A., Li, P., Piechocki, R., & Inacio, R. (2025). Anomaly detection in offshore open radio access network using long short-term memory models on a novel artificial intelligence-driven cloud-native data platform. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 161, 112274. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112274>.

4. Larsen, J.S., Pedersen, S., Liniger, J., & Sørensen, F.F. (2026). Offshore subsea IMR operations: Review of the automation potential. *Robotics and Autonomous Systems*, 105365. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2026.105365>.
5. Noshchenko, O., Hagspiel, V., & Deshpande, P. C. (2025). Assessing the sustainability of offshore power supply alternatives using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A case study of Norway. *Science of The Total Environment*, 973, 179053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179053>.
6. Wang, Q. (2024). Maritime law enforcement concerning offshore energy platforms: Navigating international law constraints and challenges. *Marine Policy*, 170, 106370. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106370>.
7. Li, H., Hao, L., Zhu, Z., Xu, W., Feng, J., & Wei, H. (2025). Real-Time Gas Dispersion Model Prediction on Offshore Platforms based on CNN_Transformer Model. *Process Safety and Environmental Protection*, 107983. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107983>.
8. Zhang, M., Tao, L., Nuernberg, M., Rai, A., & Yuan, Z. (2024). Conceptual design of an offshore hydrogen platform. *International Journal of Hydrogen Energy*, 59, 1004-1013. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.077>.
9. Brushane, F., Jämsä, K., Lafond, S., & Lilius, J. (2020). A Experimental Research Platform for Maritime Automation and Autonomous Surface Ship Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 54(16), 390-394. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.121>.
10. Xiang, J., Blanco-Davis, E., Xin, X., Li, H., Hifi, N., Wang, J., & Yang, Z. (2025). A systematic literature review of Human-Machine Cooperation in Maritime Autonomous Surface Ships. *Autonomous Transportation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.atres.2025.10.001>.
11. Guo, D., Yin, Y., Jing, Q., Shao, Z., & Xu, H. (2026). A LiDAR intensity-enhanced 3D object detection method for maritime autonomous navigation. *Ocean Engineering*, 343, 123586. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123586>.
12. Othman, M. K., Mohd Sabri, N. S. A., Abdul Rahman, N. S. F., & Osnin, N. A. (2025). Port operators' perceptions and acceptance of maritime autonomous surface ships (MASS) operations: Insights from Malaysia. *Case Studies on Transport Policy*, 22, 101567. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101567>.
13. Li, Z., Mao, Z., Zhang, D., Fan, S., Lyu, W., Zhou, J., & Yang, H. (2025). Mental workload-performance relationships in maritime autonomous surface ship remote control scenarios. *Ocean Engineering*, 339, 122094. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122094>.
14. Yu, H., Wu, D., Li, G., Lian, T., Li, Y., & Li, F. (2026). Collision avoidance for maritime autonomous surface ship in busy waterways based on the improved deep reinforcement learning and K-means clustering. *Ocean Engineering*, 343, 123396. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123396>

15. Xu, Y., Peng, Z., Gu, N., Zhang, G., & Han, B. (2025). Anti-disturbance line-of-sight path following of dual-podded maritime autonomous surface ships: A case study of XIN HONG ZHUAN. *Ocean Engineering*, 341, 122468. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122468>
16. Belabyad, M., Pyne, R., Paraskevadakis, D., Chang, C., & Kontovas, C. (2025). Technology evolution in maritime autonomous systems: A patent-based analysis. *Ocean & Coastal Management*, 267, 107744. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107744>
17. Chymshyr, V. (2023). Conceptual principles of improving the safety and reliability of autonomous technical systems using a ship as an example. *Transport Development*, (1(16)), 79-88. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.07>
18. Melnyk, O., Onyshchenko, O., Voloshyn, A., Vasalatii, N., Lohinov, O., & Koriakin, K. (2022). Development of remote technologies of ship control as a factor for ensuring shipping safety. *Transport Development*, (3(14)), 179-191. <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.13>
19. Reshetkov, D., Bondaryuk, M., & Onyshchenko, S. (2023). Essence, advantages and existing experience of the smart ports development. *Transport Development*, (4(15)), 108-122. <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.09>
20. Simion, D., Postolache, F., Fleacă, B., & Fleacă, E. (2023). AI-Driven Predictive Maintenance in Modern Maritime Transport—Enhancing Operational Efficiency and Reliability. *Applied Sciences*, 14(20), 9439. <https://doi.org/10.3390/app14209439>
21. Sapkota, S., & Paudyal, D.R. (2022). Growth Monitoring and Yield Estimation of Maize Plant Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in a Hilly Region. *Sensors*, 23(12), 5432. <https://doi.org/10.3390/s23125432>

Дата надходження статті: 20.01.2026

Дата прийняття статті: 19.02.2026

Дата публікації статті: 02.04.2026