

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-52>

УДК 338.2:656.6

Шапошніков Дмитро Сергійович
кандидат юридичних наук, підприємець
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4298-7417>

Dmytro Shaposhnikov
Private Entrepreneur

КОМПЛЕКСНА ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТІЙКОСТІ МОРСЬКИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ

COMPREHENSIVE INTEGRATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN ENSURING THE RESILIENCE OF MARITIME SUPPLY CHAINS

Анотація. Стаття присвячена дослідженню комплексної інтеграції цифрових технологій у забезпеченні стійкості морських ланцюгів постачання. Розкрито сутність та структуру морських логістичних систем, визначено ключові групи цифрових технологій (операційно-виробничі, аналітичні, інтеграційно-координаційні, судові) та проаналізовано їх вплив на економічну, екологічну та операційну стійкість. На основі аналізу світового та українського досвіду наведено приклади ефектів впровадження цифрових технологій (штучний інтелект, інтернет речей, цифрові двійники, блокчейн, великі дані, системи портового співтовариства тощо) у провідних портах. Запропоновано аналітичну модель оцінювання синергетичного ефекту від поєднання технологій та визначено бар'єри їх реалізації в умовах глобальних викликів. Сформульовано практичні рекомендації для підвищення цифрової зрілості та стійкості морських ланцюгів постачання України.

Ключові слова: цифрові технології, стійкість ланцюгів постачання, морський транспорт, комплексна інтеграція, цифрова трансформація.

Abstract. This article presents a comprehensive study of the integration of digital technologies in ensuring the resilience of maritime supply chains, with a particular focus on their systemic and synergistic impact under the conditions of complex network interactions among stakeholders. The research highlights the critical role of maritime logistics systems in global trade, detailing their structure, operational processes, and interdependencies between shippers, carriers, port operators, regulatory authorities, and digital service providers. It emphasizes that resilience in such systems is not achieved through isolated technological adoption but through integrated coordination and real-time data exchange across the entire supply chain. A detailed classification of digital technologies is proposed according to their functional purpose, scope of impact, and type of integration. The categories include: operational and production solutions aimed at streamlining physical processes; analytical tools that support predictive decision-making, scenario modeling, and risk management; integration and coordination platforms enhancing transparency, trust, and interoperability; and vessel-based technologies contributing to navigation safety and operational efficiency. The article analyzes global best practices in implementing IoT, AI, Big Data, blockchain, PCS, and digital twin solutions in leading ports such as Rotterdam, Singapore, Hamburg, Antwerp-Bruges, and Pusan, supported by quantitative performance indicators including reductions in CO₂ emissions, vessel idle times, documentation processing times, and operational costs. An original analytical model is developed to assess the synergistic effect of combining technologies, enabling the evaluation of their integrated impact on economic, environmental, operational, and informational dimensions of resilience. The findings reveal that the most significant gains arise when operational, analytical, and coordination technologies are deployed in combination, producing efficiency improvements of 40–50% compared to isolated implementations. At the same time, the study identifies persistent barriers to digital transformation, including fragmented systems, lack of standardized data formats, limited participation of key stakeholders (such as customs authorities and financial institutions), and insufficient digital competencies among port and logistics personnel.

Keywords: digital technologies, sustainability of supply chains, sea transport, complex integration, digital transformation.

Постановка проблеми. Морський транспорт забезпечує понад 80 % світового вантажообігу за обсягом і залишається критично важливим елементом глобальної економіки [1]. Проте сучасні ланцюги постачання, зокрема у сфері морських перевезень, відзначаються високою складністю, багаторівневістю та міжсекторальною взаємозалежністю. У їхньому функціонуванні беруть участь численні актори – вантажовласники, судноплавні компанії, портові оператори, митні та регуляторні органи, логістичні посередники, страхові

компанії та цифрові провайдери, – кожен з яких формує власний вузол даних, рішень і ризиків.

Ключову роль у забезпеченні стійкості морських ланцюгів постачання відіграють порти як логістичні хаби, де концентруються матеріальні, інформаційні та фінансові потоки. Їхня цифрова зрілість є одним з вирішальних чинників здатності всієї системи адаптуватися до зовнішніх шоків – від глобальних логістичних збоїв до енергетичних, кліматичних чи воєнних криз. Досвід провідних світових портів свідчить, що інтегра-

ція цифрових технологій забезпечує мультиплікативний ефект: навіть часткове оновлення одного вузла впливає на ефективність та екологічну стійкість всієї мережі [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика цифрової трансформації морських ланцюгів постачання є предметом активного вивчення в останні роки. Дослідження Котвицької Н. та Захарченко А. [3] окреслює ключові бар'єри функціонування транспортних коридорів України та визначає шляхи інтеграції у європейський транспортний простір. Чуніхіна Т. та ін. [4] наголошують на геополітичних факторах, які впливають на стабільність глобальних ланцюгів постачання.

Марценюк В. і Марценюк М. [5] аналізують роль технологій Індустрії 4.0 у створенні прозорих та адаптивних логістичних систем, а Македонін В. [6] демонструє приклади інтеграції цифрових платформ у провідних портах світу. Кириллова О.В. та інш. [7] досліджує ефективність впровадження концепції «розумного порту» для зниження витрат і скорочення часу обробки вантажів. Заборський Л. та інш. детально описують особливості формування цифрового потенціалу підприємств морського транспорту в умовах сталого розвитку [8] та досліджують методи прогнозування експорту зерна через порти України на основі підходів до аналізу часових рядів [9].

Іноземні автори також приділяють увагу системному впливу цифрових інновацій на стійкість. Парола Ф. та інш. [10] пропонують концептуальні рамки оцінки ефектів цифровізації. Чіджіоке А. [11] наводить кількісні докази зростання ефективності та зменшення екологічного впливу завдяки технологіям штучний інтелект, інтернет речей та великі дані.

Водночас, як наголошують Угрінов С. та інш. [12], більшість наукових робіт зосереджені на окремих інструментах або фрагментах ланцюга, а комплексний міждисциплінарний ефект залишається дослідженим недостатньо.

Таким чином, сформувалася наукова прогалина: недостатньо вивчено, як комплексна інтеграція цифрових технологій у портах впливає на стійкість морських ланцюгів постачання одночасно в економічному, екологічному, інформаційному та інституційному вимірах.

Метою статті є визначення та обґрунтування ролі цифрових технологій у забезпеченні стійкості ланцюгів постачання на морському транспорті з акцентом на їхню системну дію в умовах складної мережевої взаємодії всіх учасників. Особлива увага приділяється портам як ключовим логістичним вузлам, де перетинаються інтереси та інформаційні потоки різних учасників.

Дослідження ґрунтується на поєднанні аналізу наукових публікацій, порівняльного аналізу міжнародних кейсів та аналітичного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Морські ланцюги постачання – це складні багаторівневі системи, що об'єднують вантажовласників, перевізників, портових операторів, логістичних посередників, регуляторні органи, цифрових провайдерів тощо. Ключовою ланкою цих систем є порти, які виконують роль вузлових точок концентрації матеріальних та інформаційних потоків. Саме в портах відбувається інтеграція морських, наземних і адміністративних сегментів, що забезпечує злагоджену роботу всієї логістичної мережі.

Стійкість морських ланцюгів постачання не може забезпечуватися ізольованим використанням цифрових технологій окремими учасниками. Її основою є інтегрована координація дій усіх стейкхолдерів у реальному часі, що можлива завдяки розвитку концепції Smart Port (розумного порту).

Smart Port (розумний порт) – це комплексна логістично-інформаційна система, у якій операційні та управлінські процеси автоматизовані й інтегровані за допомогою цифрових технологій (штучний інтелект, інтернет речей, цифрові двійники, блокчейн, великі дані, системи портового співтовариства тощо) з метою підвищення ефективності, прозорості та екологічної стійкості портової діяльності [7; 13].

Розвиток технологій Smart Port має чітко виражену позитивну динаміку. У 2010–2014 рр. ринок таких рішень не перевищував 0,5 млрд. дол. США та обмежувався пілотними проектами у провідних світових хабах (Роттердам, Гамбург, Сінгапур) і впровадженням перших версій систем портового співтовариства (PCS – Port Community System). У 2015–2018 рр. активне розгортання технологій інтернет речей, великі дані та блокчейн-платформ для електронного документообігу сприяло зростанню обсягу ринку з 0,8–0,9 млрд. до 1,5 млрд. дол. США. Пандемія COVID-19 у 2020 р. ще більше підвищила попит на віддалене управління та автоматизацію, внаслідок чого ринок зріс до 1,9 млрд. дол. США.

Сучасні прогнози підтверджують збереження цього тренду. За даними Mordor Intelligence [13], у 2025 р. обсяг ринку Smart Port становитиме 4,49 млрд. дол. США, а до 2030 р. очікується його зростання до 11,1 млрд. дол. США. Це відображає перехід від локальних цифрових рішень до комплексних інтегрованих екосистем, що охоплюють усі ключові ланки морського ланцюга постачання та підвищують його економічну, екологічну й операційну стійкість.

Водночас зберігаються й суттєві виклики. Одним із головних бар'єрів залишається недо-

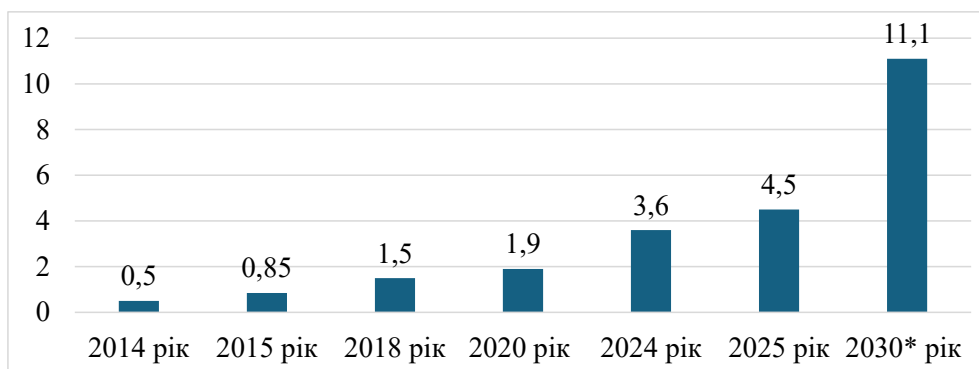


Рисунок 1 – Розмір ринку Smart Port - тенденції зростання та *прогнози, млрд доларів США

Джерело: [13]

стаття інтеграція інформаційних систем між стейкхолдерами, особливо у країнах із перехідною економікою. У глобальних кризових умовах саме здатність портів хабів забезпечити цифрову конвергенцію інтересів усіх учасників визначає швидкість відновлення їх функціонування та конкурентоспроможність на світових ринках.

Аналіз міжнародних та національних джерел засвідчив, що цифрові технології в морському транспорті формують багаторівневу систему впливу на стійкість ланцюгів постачання, охоплюючи економічний, екологічний, інформаційний та інституційний виміри. На основі аналізу наукових джерел було визначено три взаємопов'язані групи технологій (комплекси технологій), які найбільш суттєво змінюють параметри функціонування портово-орієнтованих логістичних систем.

Першу групу становлять операційні рішення, що автоматизують матеріальні процеси та сприяють оптимізації використання ресурсів. Досвід провідних портів Сінгапур та Роттердам свідчить, що впровадження автоматизованих кранів, транспортних засобів з автономним керуванням, систем глобального позиціонування та радіочастотної ідентифікації, а також автоматичних швартувальних механізмів забезпечило скорочення часу обробки контейнерів [7].

Другу групу формують аналітичні технології, зокрема великі дані, прогнозна аналітика, цифрові двійники та алгоритми штучного інтелекту. Їх застосування у логістиці охоплює автоматизацію складських операцій, прогнозування попиту, оптимізацію маршрутів та управління ризиками. Серед поширених практик – використання автономних роботизованих систем, дронів для швидкої доставки та інвентаризації, а також створення точних віртуальних моделей процесів із допомогою цифрових двійників. Такі підходи дозволяють знижувати операційні витрати, підвищувати точність інвентаризації та забез-

печувати ефективне планування логістичних операцій [14].

Третю групу складають інтеграційно-координаційні технології, до яких належать системи портового співтовариства, блокчейн для електронних коносаментів та хмарні сервіси для управління мультимодальними перевезеннями. Їх впровадження забезпечує синхронізацію дій між усіма учасниками ланцюга, підвищення прозорості операцій та зростання рівня довіри між стейкхолдерами. Так, інтеграція блокчейн-рішень у систему портового співтовариства порту Роттердам зменшила логістичні затримки на 23 дні та скоротила витрати на документообіг на 40 % [15].

Аналіз кейсів провідних портів показав значні позитивні результати від інтегрованого впровадження цифрових технологій (табл. 1).

Ці приклади підтверджують тезу про те, що ключовим фактором підвищення стійкості є не стільки окреме впровадження технологій, скільки їхня інтегрована взаємодія в єдиній цифровій екосистемі.

За результатами аналізу міжнародних кейсів побудовано модель взаємозв'язку між типами технологій, їх функціями та чотирма компонентами стійкості – економічною, екологічною, інформаційною та інституційною (табл. 2).

Для подальших досліджень модель буде адаптована до умов України, включаючи специфіку обмеженого доступу до інфраструктури, нестабільного середовища та потребу у відновленні портів після пошкоджень внаслідок війни. Це створює простір для використання цифрової стійкості як засобу швидкої реадaptaції та відновлення логістичних функцій.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що цифрові технології відіграють вирішальну роль у формуванні стійких ланцюгів постачання в морському транспорті, зокрема через трансформацію функціонування портів. Порти, як ключові вузли логістичних мереж, ста-

Таблиця 1 – Приклади ефектів впровадження цифрових технологій у світових портах

Порт / країна	Комплекс використаних технологій	Основні ефекти
Пусан Ньюпорт, Південна Корея	IoT + Digital Twin	Зменшення викидів CO ₂ на 75 %, скорочення часу обробки вантажів на 15 %
Роттердам, Нідерланди	Blockchain + PCS	Скорочення логістичних затримок на 23 дні, зниження витрат на документообіг на 40 %
Сінгапур	IoT + AI	Зменшення простоїв на 30 %, підвищення точності прогнозування на 35 %
Антверпен-Брюгге, Бельгія	Big Data + AI	Скорочення енергоспоживання на 20 %, оптимізація планування на 15 %
Гамбург, Німеччина	Blockchain + e-BL	Зменшення часу документообігу на 50–70 %, зростання довіри між учасниками

Пояснення до таблиці:

AI (Artificial Intelligence) – штучний інтелект

Big Data (Big Data) – великі дані

IoT (Internet of Things) – інтернет речей

Blockchain (Blockchain) – блокчейн

e-BL (Electronic Bill of Lading) – електронний коносамент

Digital Twin (Digital Twin) – цифровий двійник

PCS (Port Community System) – система портового співтовариства

Джерело: розроблено автором за [1; 10; 16–18]

Таблиця 2 – Модель впливу комплексу цифрових технологій на стійкість портово-орієнтованих ланцюгів постачання

Комплекс технологій	Ключові функції	Компонент стійкості			
		економічна	екологічна	інформаційна	інституційна
IoT + Big Data	Моніторинг у реальному часі, прогнозування	зниження витрат на обслуговування (до –25%)	зниження енергоспоживання (–15%)	зростання точності прогнозів (+30%)	часткова (залежить від стандартів доступу)
Blockchain + e-документи	Прозорість, уніфікація документів	зниження витрат на документообіг (–40%)	зниження непродуктивних перевалок (–12%)	зростання довіри до джерел даних	зростання правової узгодженості
Digital Twin	Моделювання сценаріїв, оптимізація	зниження простоїв (–30%), зростання ефективності (+20%)	зниження викидів CO ₂ (–15–20%)	зростання точності планування (+25%)	зростання координації між відомствами

Джерела: розроблено автором

ють не лише місцем фізичної обробки вантажів, а й платформами інтегрованої взаємодії численних учасників – від перевізників і вантажовласників до митних органів, банків і страхових компаній. Саме цифрова координація цих акторів створює основу для стійкості у чотирьох головних вимірах: економічному, екологічному, інформаційному та інституційному.

Результати аналітичного огляду й емпіричних кейсів дозволили виокремити три критичні класери технологій, які демонструють синергійний ефект лише за умови їхньої системної інтеграції. Запровадження цифрового моніторингу, автоматизованого документообігу та моделювання у вигляді цифрових двійників дає змогу одночасно досягти скорочення витрат, зменшення викидів, підвищення точності планування та рівня довіри між учасниками логістичного процесу.

Втім, реалізація потенціалу цифрової трансформації потребує усунення інституційних бар'єрів: низької інтероперабельності даних, фрагментарного регулювання, недостатньої кооперації між стейкхолдерами. Успішність цифровізації учасників ланцюга значною мірою залежить від координації стратегій, стандартів, інвестиційних стимулів та розвитку цифрових компетенцій.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою кількісних моделей оцінки цифрової зрілості портів, моделюванням цифрової інфраструктури, а також дослідженням поведінкових бар'єрів синхронного впровадження цифрових технологій учасниками логістичної мережі. Для України особливо актуальним є аналіз того, як цифрові рішення можуть слугувати інструментом швидкого відновлення ланцюгів постачання в умовах війни та посткризової реконструкції.

Список використаних джерел:

1. Review of Maritime Transport 2023. New York: United Nations Publications, 2023. 157 p.
2. Belmoukari B., Audy JF., Forget P. Smart port: a systematic literature review. *European Transport Research Review*. 2023. Vol. 15. P. 4. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00581-6>
3. Котвицька Н., Захарченко А. Логістичне забезпечення зовнішньоекономічної діяльності підприємств України в умовах глобальних викликів. *Сталий розвиток економіки*. 2025. Вип. 3(54). С. 191-197. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-54-29>
4. Чуніхіна Т., Корж М., Краснощок В. Міжнародна торгівля в умовах глобальних трансформацій. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. Серія. Економічні науки*. 2024. № 2. С. 30-52. DOI: [https://doi.org/10.31617/3.2024\(133\)02](https://doi.org/10.31617/3.2024(133)02)
5. Марценюк В.В., Марценюк М.В. Цифрова трансформація логістики у зовнішньоекономічній діяльності: виклики та перспективи. *Підприємництво та інновації*. 2025. № 34. С. 246-249. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34.39>
6. Македонін В.В. Інтеграція цифрових інструментів у міжнародну логістичну діяльність. *Економіка та суспільство*. 2024. № 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-109>
7. Кириллова О.В. Кириллова В.Ю., Магамадов О.Р., Ромах В.Л. SMART PORT: новітні технології і міжнародний досвід їх впровадження. *Розвиток транспорту*. 2024. № 2(21). С. 62-74.
8. Заборський Л.О., Шапошніков Д.С., Белаковський Л.М. Особливості формування цифрового потенціалу підприємств морського транспорту в умовах сталого розвитку. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2024. № 7 (89). С. 81-96
9. Заборський Л.О., Шапошніков Д.С. Прогнозування експорту зерна через порти України на основі ARIMA-моделі. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2025. № 1 (90). С. 7-22.
10. Parola F., Satta G., Buratti N., Vitellaro F. Digital technologies and business opportunities for logistics centres in maritime supply chains. *Maritime Policy & Management*. 2021. Vol. 48. No. 4. P. 461-477. DOI: [10.1080/03088839.2020.1802784](https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1802784)
11. Chijioke A., Tochi N., Mobolaji S. The role of digital technologies and government policy in enhancing sustainable development and efficiency of maritime transport. *International Journal of Maritime and Interdisciplinary*. 2025. Vol. 7(3). P. 372-385
12. Ugrinov S., Čočkaló D., Bakator M., Stanisavljev S. Literature review of integrating sustainability and digital innovation in waterway transport and maritime logistics. *Journal of Applied Engineering Science*. 2025. Vol. 23. Br. 2. Str. 359-373.
13. Smart Port Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025–2030). URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/smart-port-market> (дата звернення 24.07.2025 р.)
14. Зрибнева І.П. Аналіз новітніх технологій, методів та підходів у логістиці, їх вплив на оптимізацію ланцюгів постачання та підвищення продуктивності. *Економіка та суспільство*. 2024. № 60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-60>
15. Jović M., Tijan E., Žgaljić D., Aksentijević S. Improving Maritime Transport Sustainability Using Blockchain-Based Information Exchange. *Sustainability*. 2020. Vol. 12(21):8866. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12218866>
16. Jeong-On Eom, Jeong-Hyun Yoon, Jeong-Hum Yeon, Se-Won Kim. Port Digital Twin Development for Decarbonization: A Case Study Using the Pusan Newport International Terminal. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. Vol. 11(9). P. 1777. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11091777>
17. Our strategy. Port digitalisation: boosting our sustainable ambitions. URL: <https://publications.portofrotterdam.com/digital-report/boosting-our-sustainable-ambitions> (дата звернення 01.08.2025 р.)
18. MPA Annual Report 2024: Leading Maritime Singapore Towards a Greener and Innovative Future. Singapore. 2024. 104 p.

References:

1. Review of Maritime Transport 2023. (2023) New York: United Nations Publications, 157 p.
2. Belmoukari B., Audy JF., Forget P. (2023) Smart port: a systematic literature review. *European Transport Research Review*, vol. 15, p. 4. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00581-6>
3. Kotvytska N., Zakharchenko A. (2025) Lohistychnе zabezpechennia zovnishnoekonomichnoi diialnosti pidpriemstv Ukrainy v umovakh hlobalnykh vyklykiv [Logistical support of foreign economic activity of Ukrainian enterprises under global challenges]. *Stalyi rozvytok ekonomiky*, vol. 3(54), pp. 191-197. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-54-29> (in Ukrainian)
4. Chunikhina T., Korzh M., Krasnoshchok V. (2024) Mizhnarodna torhivlia v umovakh hlobalnykh transformatsii [International trade under global transformations]. *Zovnishnia torhivlia: ekonomika, finansy, pravo. Seriia: Ekonomichni nauky*, no. 2, pp. 30-52. DOI: [https://doi.org/10.31617/3.2024\(133\)02](https://doi.org/10.31617/3.2024(133)02) (in Ukrainian)
5. Martsenyuk V.V., Martsenyuk M.V. (2025) Tsyfrova transformatsiia lohistyky u zovnishnoekonomichnii diialnosti: vyklyky ta perspektyvy [Digital transformation of logistics in foreign economic activity: challenges and prospects]. *Pidpriemnytstvo ta innovatsii*, no. 34, pp. 246-249. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34.39> (in Ukrainian)
6. Makedonin V.V. (2024) Intehratsiia tsyfrovyykh instrumentiv u mizhnarodnu lohistychnu diialnist [Integration of digital tools in international logistics activities]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no. 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-109> (in Ukrainian)

7. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Yu., Mahamadov O.R., Romakh V.L. (2024) SMART PORT: novitni tekhnolohii i mizhnarodnyi dosvid yikh uprovadzhennia [SMART PORT: latest technologies and international experience of their implementation]. *Rozvytok transportu*, no. 2(21), pp. 62-74. (in Ukrainian)
8. Zaborskyi L.O., Shaposhnikov D.S., Belakovskiy L.M. (2024) Osoblyvosti formuvannia tsyfrovoho potentsialu pidpriemstv morskoho transportu v umovakh staloho rozvytku [Features of forming the digital potential of maritime transport enterprises in the context of sustainable development]. *Rozvytok metodiv upravlinnia ta hospodariuvannia na transporti*, no. 7(89), pp. 81-96. (in Ukrainian)
9. Zaborskyi L.O., Shaposhnikov D.S. (2025) Prohnozuvannia eksportu zerna cherez porty Ukrainy na osnovi ARIMA-modeli [Forecasting grain exports through Ukrainian ports using ARIMA model]. *Rozvytok metodiv upravlinnia ta hospodariuvannia na transporti*, no. 1(90), pp. 7-22. (in Ukrainian)
10. Parola F., Satta G., Buratti N., Vitellaro F. (2021) Digital technologies and business opportunities for logistics centres in maritime supply chains. *Maritime Policy & Management*, vol. 48, no. 4, pp. 461-477. DOI: <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1802784>
11. Chijioke A., Tochi N., Mobolaji S. (2025) The role of digital technologies and government policy in enhancing sustainable development and efficiency of maritime transport. *International Journal of Maritime and Interdisciplinary*, vol. 7(3), pp. 372-385.
12. Ugrinov S., Čočkaló D., Bakator M., Stanisavljev S. (2025) Literature review of integrating sustainability and digital innovation in waterway transport and maritime logistics. *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 23, br. 2, pp. 359-373.
13. Smart Port Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025–2030). Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/smart-port-market>
14. Zrybnieva I.P. (2024) Analiz novitnikh tekhnolohii, metodiv ta pidkhodiv u lohistytsi, yikh vplyv na optymizatsiiu lantsiuhiv postachannia ta pidvyshchennia produktyvnosti [Analysis of the latest technologies, methods and approaches in logistics, their impact on optimizing supply chains and increasing productivity]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no. 60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-60> (in Ukrainian)
15. Jović M., Tijan E., Žgaljić D., Aksentijević S. (2020) Improving Maritime Transport Sustainability Using Blockchain-Based Information Exchange. *Sustainability*, vol. 12(21):8866. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12218866>
16. Jeong-On Eom, Jeong-Hyun Yoon, Jeong-Hum Yeon, Se-Won Kim. (2023) Port Digital Twin Development for Decarbonization: A Case Study Using the Pusan Newport International Terminal. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11(9), p. 1777. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11091777>
17. Our strategy. Port digitalisation: boosting our sustainable ambitions. Available at: <https://publications.portofrotterdam.com/digital-report/boosting-our-sustainable-ambitions>
18. MPA Annual Report 2024: Leading Maritime Singapore Towards a Greener and Innovative Future. Singapore, 104 p.

Стаття надійшла до редакції 12.08.2025