

SMART PORT: НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ І МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ЇХ УПРОВАДЖЕННЯ

О.В. Кириллова¹, В.Ю. Кириллова², О.Р. Магамадов³, В.Л. Ромах⁴

¹д.т.н., професор, завідувач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-3414-7364

²к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-0738-0408

³к.т.н., професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,

⁴старший викладач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет Одеса, Україна,

ORCID ID: 0000-0003-3958-0041

Анотація

Вступ. Усупереч широкомасштабній війні в Україні вже сьогодні доцільно говорити про стратегію розвитку національних портів у післявоєнній перспективі та вивчати світовий досвід із цих питань, зокрема пов'язаний із упровадженням та використанням новітніх технологій в управлінській та експлуатаційній діяльності портів. **Мета.** Огляд, аналіз і систематизація існуючих та перспективних у портовому секторі інноваційних технологій, що наближують окремі порти до відповідності статусу «Розумний порт» (Smart Port). **Результати.** У роботі наведено визначення поняття «Розумний порт» (Smart Port); розглянуто сучасні технології, на базі яких розробляються, впроваджуються та ефективно функціонують різні Smart Port-ініціативи у транспортній галузі; розглянуто інноваційні технології, які використовуються у сучасних портах і дають змогу ідентифікувати їх як Розумні (Smart Ports). Серед основних у роботі визначено такі технології, які використовують у своїй діяльності сучасні Розумні порти: технологія Великих даних (Big Data); штучний інтелект (Artificial Intelligence (AI)); Інтернет речей (Internet of Things (IoT)); технологія «Цифровий двійник» (Digital Twin (DT)); блокчейн (Blockchain). Досліджено досвід упровадження новітніх технологій у виробничу діяльність провідних портів світу, які вже сьогодні набули статусу Smart Port, але мають різні стратегії розвитку; актуалізовано питання необхідності та доцільності розроблення Smart Port-стратегії розвитку в цілому портової галузі України та персоналізованих дорожніх карт розвитку кожного українського порту у післявоєнній перспективі. **Висновки.** Сьогодні майбутнє глобального морського бізнесу і транспортної логістики змінюють Розумні порти (Smart Ports) та інноваційні технології, завдяки яким такі порти з'являються та ефективно функціонують. Поняття «Розумний порт» (Smart Port) охоплює багато різних аспектів залежно від того, яку стратегію розвитку вибирають його керівництво та органи влади. Досліджені технології

є ключовими стовпами, на які сьогодні спирається будь-який Smart Port. Ці технології є першочерговими інструментами, на які повинен орієнтуватися порт під час розроблення своєї стратегії розвитку в напрямі автоматизації та цифровізації. У післявоєнній перспективі в рамках концепції загальної транспортної політики України доцільно звернути увагу та спрямувати зусилля на розроблення офіційної Smart Port-стратегії розвитку портової галузі України. Причому така стратегія повинна містити персоналізовані дорожні карти майбутнього розвитку кожного українського порту, орієнтуючись на їх цифровізацію, забезпечення конкурентних переваг, безпеку судноплавства, соціальний та екологічний аспекти функціонування портів.

Ключові слова: Smart Port, розумний порт, новітні технології, штучний інтелект, Інтернет речей, цифровий двійник (близнюк), блокчейн, технологія 5G.

SMART PORT: THE LATEST TECHNOLOGIES AND INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THEIR IMPLEMENTATION

O.V. Kyryllova¹, V.Yu. Kyryllova², O.R. Mahamadov³, V.L. Romakh⁴

¹Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID: 0000-0002-3414-7364

²Candidate of Engineering Sciences (Ph.D), Associate Professor at the Department of Fleet Operation and Shipping Technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID: 0000-0003-0738-0408

³Candidate of Engineering Sciences, Professor ONMU, Professor at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,

⁴Senior Lecturer at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3958-0041

Summary

Introduction. Despite the large-scale war in Ukraine, today it is appropriate to talk about the strategy of the development of national ports in the post-war perspective and to study the world experience on these issues, in particular, related to the introduction and use of the latest technologies in the management and operational activities of ports.

Purpose. Review, analysis and systematization of existing and promising innovative technologies in the port sector that bring individual ports closer to compliance with the status of «Smart Port». **Results.** The work provides a definition of the term «Smart Port»; modern technologies on the basis of which various «Smart Port» initiatives in the transport industry are developed, implemented and effectively function are considered; innovative technologies used in modern ports are considered and allow to identify them as Smart Ports. Among the main ones, the work identifies the following technologies that modern Smart Ports use in their activities: Big Data technology; artificial intelligence (Artificial Intelligence (AI)); Internet of Things (IoT); Digital Twin (DT) technology; blockchain (Blockchain). The paper examines the experience of introducing the latest technologies into the production activities of the world's leading ports, which have

already acquired the status of «Smart Port», but have different development strategies; the issue of the necessity and expediency of developing a «Smart Port» Strategy for the development of the port industry of Ukraine as a whole and personalized roadmaps for the development of each Ukrainian port in the post-war perspective is updated. **Conclusions.** Today, the future of global maritime business and transport logistics is being changed by Smart Ports and innovative technologies, thanks to which such ports appear and function effectively. The term «Smart Port» encompasses many different aspects depending on the development strategy chosen by its management and authorities. Researched technologies are the key pillars on which any Smart Port today rests. These technologies are the primary tools that the port should focus on when developing its development strategy in the direction of automation and digitalization. In the post-war perspective, within the framework of the concept of the general transport policy of Ukraine, it is advisable to pay attention and direct efforts to the development of the official «Smart Port» Strategy for the development of the port industry of Ukraine. Moreover, such a «Smart Port» Strategy should contain personalized roadmaps for the future development of each Ukrainian port, focusing on their digitalization, ensuring competitive advantages, shipping safety, social and environmental aspects of port functioning.

Key words: Smart Port, smart port, latest technologies, artificial intelligence, Internet of Things, digital double (twin), blockchain, 5G technology.

Вступ. Усупереч широкомасштабній війні в Україні вважаємо доцільним уже сьогодні говорити про стратегію розвитку національних портів у післявоєнній перспективі та вивчати світовий досвід із цих питань, зокрема пов'язаний з упровадженням та використанням новітніх технологій в управлінській та експлуатаційній діяльності портів.

Постановка проблеми. Сьогодні майбутнє портового та судноплавного секторів світової транспортної системи змінюють Розумні порти (Smart Ports) та інноваційні технології, завдяки яким такі порти з'являються та ефективно функціонують. Проте у сучасних наукових дослідженнях недостатньо уваги приділяється комплексному розгляду та аналізу подібних передових технологій, запровадження яких сприяє набуттю портом статусу «Розумний». Існуючі дослідження даної проблематики у портовій галузі носять фрагментарний характер та обмежуються розглядом окремих технологічних рішень. Повністю відсутня систематизація вже впроваджених та перспективних технологій у частині їх використання в управлінській та експлуатаційній діяльності портів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] проведено аналіз існуючих у світі підходів до періодизації процесів розвитку портів та наведено теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів на базі методів ретроспективного аналізу діючих у міжнародній практиці та систематизованих у роботі теоретичних моделей, кожна з яких на емпіричному рівні може бути вибрана особою, що приймає рішення, як наочний «шаблон» розвитку конкретного порту з урахуванням поточного стану і наявних реалій. Проте матеріали статті [1] обмежено ретроспективним аналізом концептуальних моделей розвитку портів з акцентом на інфраструктурний, вантажознавчий та просторовий аспекти,

без урахування сучасних Smart Port-технологій, дослідження яких виходило за рамки мети та завдань розглянутої роботи.

Роботи [2; 3] присвячено дослідженню проблеми управління функціонуванням і розвитком українських портів. У них: узагальнено та систематизовано наявні у світі концептуальні моделі управління портами; встановлено, що у світовій практиці використовують чотири основні концептуальні моделі управління портами, які називають «класичними» або «типовими»: модель «Сервісний порт» (Service port); модель «Порт-інструмент» (Tool port); модель «Порт-лендлорд» (Landlord port); модель «Приватний порт» (Privat port); висвітлено та проаналізовано особливості типових концептуальних моделей управління портами під час побудови, втілення та реалізації відповідних класичних систем управління об'єктами портової інфраструктури; окреслено основні риси концептуальних моделей класичних систем управління портами залежно від форм власності активів; визначено характерні риси «гібридних» моделей управління портами; встановлено особливості системи управління українськими портами і те, що ця система сьогодні не вкладається в жодну з чотирьох розглянутих у статті концептуальних моделей; оглянуто рекомендації Світового банку, які у своєму звіті, присвяченому аналізу користування портовими територіями в Україні, закликають розглянути можливість поступового наближення до моделі управління «Порт-Лендлорд»; поряд із тим наведено застереження Світового банку з приводу того, що запровадження в Україні системи управління портами за моделлю «Порт-Лендлорд» не повинно порушувати права вже наявних інвесторів щодо відносин власності на земельні ділянки у портах; сформульовано причини, чому неможливий перехід української портової галузі на систему управління за «чистою» моделлю «Порт-Лендлорд» у традиційному розумінні її змісту; зазначено, що під час опрацювання сценаріїв майбутнього розвитку портів важливо обґрунтовано підходити до визначення співвідношення державних і приватних інтересів у портовому бізнес-середовищі, встановлюючи, насамперед, де проходить межа між державним і приватним секторами. Проте, незважаючи на фундаментальність проведених досліджень, роботи [2; 3] також не містять інформацію про використання сучасних Smart Port-технологій у системах управління функціонуванням і розвитком портів.

У роботі [4] досліджено питання діджиталізації на морському транспорті; наведено приклади використання певних цифрових технологій у морському секторі, які сприяють забезпеченню екологічності, безпеки і сталого функціонування портів, судноплавних підприємств та інших суб'єктів ринку транспортних послуг; зроблено огляд ініціативи Міжнародної морської організації (International Maritime Organization, IMO) щодо електронної навігації та цифрової звітності суден; наведено результати співпраці датського конгломерату Maersk та американської корпорації IBM щодо впровадження технології блокчейн у морський сектор; розглянуто факти та конкретні приклади успішної експлуатації повністю автоматизованих контейнерних терміналів, наприклад APM Terminals Maasvlakte II (порт Роттердам), Qingdao New Qianwan Container Terminal (порт Циндао). Проте, незважаючи на ретельне дослідження, усі розглянуті в роботі [4] питання носять фрагментарний характер, але у цілому представляють інтерес у контексті системного підходу до розгляду сучасних Smart Port-технологій.

У роботі [5] розглянуто передові робототехнічні технології, які вже сьогодні вживаються для ефективного та безпечного вирішення багатьох важливих завдань у різних сферах експлуатації флоту та портів як у морі, так і на березі. Упровадження робототехнічних технологій у різних сферах морегосподарської діяльності сприяє ефективному управлінню часом, збільшенню продуктивності, забезпеченню безпеки судноплавства, охорони людського життя та зовнішнього середовища. У дослідженні висвітлено не лише переваги роботизації у морській галузі, а й її недоліки, які переважно охоплюють соціальний аспект і полягають у її впливі на можливості працевлаштування в галузі. Проте в роботі зроблено застереження про те, що хоча роботи можуть виконувати різні функції та допомагати у виконанні багатьох важливих операцій, вони не здатні повністю замінити людину, а також ті знання, уміння, навички та, безумовно, досвід, які різні фахівці, зокрема моряки, приносять із собою у морську галузь. У практичній діяльності необхідно дотримуватися розумного балансу між роботизацією та зусиллями персоналу, що є ключем до підвищення якості та безпеки роботи у різних сферах морського виробництва на благо всієї галузі.

У статті [6] досліджено питання щодо основних технологічних трендів у сфері транспортно-експедиторської діяльності, без стабільної та якісної реалізації якої неможливе ефективне функціонування портових систем. Сьогодні провідні компанії – лідери транспортної галузі все більш використовують новітні технології у частині інформаційного забезпечення систем доставки вантажів та ланцюгів постачань. Зазначено, що світова індустрія вантажних перевезень сьогодні у цілому перебуває у процесі поступового переходу від аналогового до цифрового управління. При цьому подальший розвиток транспортної галузі шляхом диджиталізації виявляється дієвим інструментом підвищення ефективності виробничої діяльності транспортних підприємств. Розглянуто основні технології, які вже використовують у своїй діяльності провідні транспортно-експедиторські компанії світу. Виявлено, що існування технології Supply Chain Center (SCV) та її використання неможливі без прогресу у сфері розвитку та впровадження інших технологій інформаційного забезпечення транспортних процесів і систем, таких як хмарні системи (Cloud-based systems) та пристрої на базі Інтернету речей (IoT), що з'єднують усі боки ланцюга постачання.

Усі питання, які розглядаються у вищенаведених роботах [1–6], є актуальними та своєчасними. Новітні технології, які досліджуються у цих роботах, мають оглядовий характер і стосуються різних сфер транспортного бізнесу, які пов'язані з функціонуванням портових систем. Тому в цілому результати наведених досліджень представляють інтерес у контексті системного підходу до розгляду сучасних Smart Port-технологій.

Формулювання цілей статті. Метою статті є огляд, аналіз і систематизація існуючих та перспективних у портовому секторі інноваційних технологій, що наближують окремі порти до відповідності статусу «Розумний Порт» (Smart Port). Для досягнення мети в дослідженні поставлено і вирішено такі завдання:

- наведено визначення поняття «Розумний порт» (Smart Port);
- розглянуто сучасні технології, на базі яких розробляються, впроваджуються та ефективно функціонують різні Smart Port-ініціативи у транспортній галузі;

– проаналізовано досвід портів, які відомі у світі своїми унікальними Smart Port-рішеннями в управлінській та експлуатаційній діяльності, але мають різні стратегії розвитку;

– актуалізовано питання необхідності та доцільності розроблення Smart Port-стратегії розвитку в цілому портової галузі України та персоналізованих дорожніх карт розвитку кожного українського порту, орієнтуючись на їхню цифровізацію, забезпечення конкурентних переваг, безпеку судноплавства, соціальний та екологічний аспекти функціонування портів у післявоєнній перспективі.

Основний матеріал дослідження. У загальному сенсі «Розумний порт» (Smart Port) – це сучасний і технологічно передовий порт, який використовує новітні технології, водночас більше дбаючи про безпеку судноплавства, екологію навколишнього середовища і морського простору. Розумні порти є цифровими, автоматизованими, екологічно чистими, більш пов'язаними з інфраструктурою та мережами суміжних видів транспорту, промисловим середовищем і ресурсами, тобто зі своїми хінтерлендом (hinterland) та форлендом (foreland) [1–3]. Розумні порти охоплюють: технологію великих даних (Big Data); штучний інтелект (Artificial Intelligence (AI)); Інтернет речей (Internet of Things (IoT)); технологію «Цифровий двійник (близнюк)» (Digital Twin (DT)); технологію блокчейн (Blockchain) і технологію 5G.

Системи Великих даних (Big Data) базуються на відповідній технології Big Data, яка кардинально змінює індустрію судноплавства та портового виробництва. Ця технологія дає змогу компаніям використовувати величезні обсяги інформації з нетрадиційних джерел у вигляді оперативних та чутливих до часу вхідних даних. Їх раціональне використання сприятиме розвитку технологій прогнозування та систем очікуваного часу прибуття суден та інших засобів суміжних видів транспорту (Predictive technology and estimated time of arrival (ETA) systems) [7]. Наприклад, тепер до суден прикріплюють датчики, які передають інформацію у режимі реального часу. Системи Великих даних використовують цю інформацію для відстеження суден і вантажів, включаючи тексти, аудіо, відео в реальному часі. Точні вхідні дані забезпечують максимальну ефективність та продуктивність реалізації виробничої діяльності сучасних портів.

Штучний інтелект (ШІ) (Artificial Intelligence (AI)) належить до комп'ютерних систем, які імітують процеси людського інтелекту за допомогою різних методів, включаючи машинне навчання, обробку природної мови, робототехніку тощо. Проте «двигуном» ШІ вважається саме машинне навчання (ML). ШІ, по суті, спрямований на створення систем, які можуть виконувати завдання та розв'язувати проблеми, які зазвичай потребують людського інтелекту. ШІ має здатність автоматизувати завдання, які повторюються, що підвищує загальну ефективність того, для чого він використовується. Так, ШІ у портовій галузі покращує бізнес-операції та підвищує ефективність їх реалізації. ШІ застосовується як система прийняття рішень для точного прогнозування роботи порту, а також надання управлінському персоналу порту інформації та рекомендацій. ШІ використовує Великі дані (Big Data), щоб передбачити, що станеться в майбутній глобальній системі поставок. ШІ створює більш безпечне робоче середовище в порту, зокрема попереджає аварії та зменшує кількість помилок працівників порту. Методи ШІ реалізуються

в морському бізнесі кількома основними способами. По-перше, ІТ використовується для оптимізації роботи флоту та управління ним, забезпечуючи ефективні маршрути доставки вантажів. Це робиться за результатами аналізу даних GPS, погоди та руху суден. По-друге, за допомогою ІТ порти оптимізують увесь процес доставки вантажу у порт відправлення, завантаження вантажу на судно, перехід судна, вивантаження вантажу в порту призначення, подальшу доставку вантажу суміжним видом транспорту до місця призначення тощо. Портова екосистема з підтримкою ІТ на базі Port Community Systems забезпечує поліпшення співпраці між різними учасниками транспортного процесу, такими як адміністрація порту, вантажовласники, сервісні підприємства та постачальники додаткових транспортних послуг. Таким чином, Port Community Systems дають змогу ефективно узгоджувати індивідуальні цифрові дорожні карти всіх суб'єктів ринку портових послуг. Це, своєю чергою, створює взаємовигідні можливості для підвищення ефективності та скорочення відходів, оскільки Port Community Systems дають змогу сторонам обмінюватися даними та надають стандартний інтерфейс для аналізу, прогнозів і обмежень на основі штучного інтелекту. Таким чином, сфера використання ІТ у морському бізнесі дуже широка, але немає однозначного та уніфікованого підходу, який би відповідав потребам кожного порту. Для вдосконалення управлінської та/або експлуатаційної діяльності із застосуванням інструментів ІТ порти та термінали повинні чітко усвідомлювати, що саме їм потрібно та де найкраще можна використати цю технологію. Відомо, що деякі з найбільших портів світу, зокрема Сінгапур, Роттердам і Гамбург, орієнтовані на покращення своїх бізнес-операцій шляхом використання саме інструментів ІТ для створення систем підтримки прийняття рішень на основі прогнозованої моделі поведінки.

Інтернет речей (Internet of Things (IoT)) – це система, у яку вбудовано різні типи технологій, наприклад датчики. Так, датчики IoT, які встановлені на судах, забезпечують моніторинг їхнього руху та управління ризиками. Вони здатні контролювати одночасно декілька робочих аспектів, включаючи продуктивність двигуна, споживання палива, температуру та цілісність корпусу. Отримані дані передаються на берег, даючи змогу судноплавним компаніям відстежувати стан флоту та віддалено виконувати прогнозне технічне обслуговування транспортних засобів. Це сприяє скороченню фінансових витрат і періодів простою суден. Також система IoT здатна детально визначати, що перевозить кожне судно. IoT дає змогу портовим адміністраціям у режимі реального часу відстежувати вантажі та судна, що прибувають до порту. IoT також полегшує реалізацію всіх процесів управління роботою порту для підвищення його ефективності та обмеження затримок і часу обробки суден. Це досягається шляхом відстеження руху суден, контейнерів, а також інших активів навколо території порту через систему IoT. Окрім того, це підвищує безпеку порту та знижує ризик крадіжок вантажів.

Технологія «Цифровий двійник (близнюк)» (Digital Twin (DT)) – це технологія віртуального представлення об'єкта, системи або процесу, яка використовує дані та розширену аналітику про них у реальному часі для імітації їхніх характеристик та поведінки. Це віртуальне наближення до реального об'єкта дає змогу операторам відстежувати, тестувати та аналізувати вихідну фізичну сутність, щоб потім

оптимізувати її продуктивність. Ця технологія вже надає великі переваги судноплавній галузі. Наприклад, підбір DT судна або суднового обладнання дає змогу судноплавним компаніям збирати дані про різні показники ефективності, такі як продуктивність двигуна, витрати палива, стан обладнання тощо. Таким чином, транспортні компанії можуть аналізувати ці дані, щоб прогнозувати, наприклад, потреби в технічному обслуговуванні та ремонті, що призводить до більш ефективного планування операцій. Окрім того, дані, що стосуються моделей споживання палива, допомагають підвищити паливну ефективність, що сприяє зниженню викидів та економії коштів. DT також застосовується до різних елементів ланцюга постачання, включаючи порти, склади тощо, для моделювання різних сценаріїв їх взаємодії, що забезпечує оптимізацію операцій у загальному ланцюзі постачання. Наприклад, на початку 2023 р. компанії Huawei та Tianjin Port Group оголосили про план співпраці щодо створення цифрового двійника порту Тяньцзінь у Китаї. Ця співпраця базується на існуючому партнерстві двох компаній для розроблення цифрових і автоматизованих процесів у порту для підвищення його стійкого функціонування. План, який складається з трьох частин, передбачає будівництво нових автоматизованих терміналів, модернізацію традиційних терміналів і комплексну цифрову трансформацію. Термінал Секції С порту Тяньцзінь був визначений оператором як «розумний портовий термінал із нульовим викидом вуглецю». Термінал використовує передові технології автономного водіння 5G і L4 для поліпшення своєї роботи. На терміналі контейнерні крани працюють автоматично, а для горизонтального транспортування використовуються розумні роботи, керовані навігаційною супутниковою системою BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System). За даними порту, це рішення забезпечує нову модель для модернізації та трансформації існуючих традиційних контейнерних терміналів у всьому світі [8]. Керівництво порту відзначає, що інновації, які вже використовуються, сприяють розумному розвитку глобальної портової галузі та мають величезний вплив на всю світову портову інфраструктуру.

Технологія блокчейн (Blockchain Technology) забезпечує прозору наочність руху товарів уздовж ланцюга постачання, забезпечуючи відстеження відправлень у реальному часі. Завдяки технології блокчейн торгіві й транспортні компанії можуть стежити за кожною подією, що відбувається у глобальній системі доставки вантажів. Ці дані зберігаються назавжди та не можуть бути видалені. Технологія блокчейн дає змогу зберігати всі дані, що кардинально змінює процеси прийняття рішень у секторі судноплавства та надає йому певні переваги, бо всі учасники транспортного процесу матимуть доступ до незмінних даних у реальному часі. Таким чином, виробники, постачальники, вантажовідправники, клієнти та всі, хто зацікавлений у вантажоперевезеннях, можуть отримати доступ і перевірити дані, обмежуючи випадки затримок та суперечок, мінімізуючи при цьому можливість шахрайства. Ця безпека додатково посилюється децентралізованою природою блокчейну та криптографічними алгоритмами, які забезпечують захист даних від фальсифікації та несанкціонованого доступу, тим самим зберігаючи цілісність процесу доставки. Блокчейн також може надавати смарт-контракти (Smart Contracts), тобто угоди, що виконуються самостійно, із заздалегідь установленими умовами, мінімізуючи паперову роботу та людські ресурси. Пропонуючи

такий прозорий огляд ланцюга постачання, портові оператори можуть виявляти різні «вузькі місця» та обмежувальні чинники у реалізації технологічних процесів на шляху доставки вантажів для подальшого виправлення ситуації, поліпшення продуктивності та підвищення ефективності роботи. Однак варто зазначити, що ступінь переваг, які можна отримати від упровадження блокчейну, значною мірою залежить від співпраці та стандартизації між різними зацікавленими сторонами. Визнаною організацією, яка сьогодні займає передові позиції у впровадженні технології блокчейн у судноплаванні, є Global Shipping Business Network (GSBN). У березні 2023 р. GSBN повідомила про співпрацю у використанні технології блокчейн із судноплавними компаніями COSCO Shipping Lines (COSCO) і Orient Overseas Container Line (OOCL), а також із Шанхайським дослідницьким інститутом хімічної промисловості (Shanghai Research Institute of Chemical Industry Testing Co., Ltd (SICIT)). Таке співробітництво дало змогу отримати перший у галузі доказ ефективного використання технології блокчейн для підвищення безпеки транспортування вантажів у судноплавній галузі [9].

Технологія 5G – це п'яте покоління технології бездротового зв'язку. 5G є новітньою та найдосконалішою мережевою інфраструктурою, яка забезпечує підвищену швидкість передачі даних завдяки роботі на високочастотних радіохвилях. 5G має вирішальне значення для розвитку Smart Ports у їх переході до інтелектуальних систем управління. 5G дає змогу портам використовувати більше даних із меншим енергоспоживанням, передавати дані в режимі реального часу та швидко й ефективно використовувати інформацію, яку вони отримують від систем IoT. Окрім того, до появи 5G різні сигнали в порту часто втрачалися через поширену кількість металевих поверхонь. Однак у 5G існує технологія формування променя, яка дає змогу безперервно надсилати бездротові сигнали в певному напрямку. Наприклад, оператори терміналів Santos Port і Brasil Terminal Portuário (BTP) приділяють велику увагу технології 5G. Наприкінці 2022 р. ці портові оператори почали співпрацювати з телекомунікаційними провайдерами TIM і Nokia для впровадження приватної мережі 5G у порту. Таке партнерство забезпечило створення першої у портовому секторі приватної мережі 5G на латиноамериканському континенті. У 2023 р. глобальний портовий оператор Hutchison Port Holdings Trust (HPH Trust) також оголосив про впровадження технології 5G на своїх контейнерних терміналах у Гонконзі. Порт Гамбург також тестує технологію 5G, готуючись до того, щоб стати центром передового промислового мобільного зв'язку. У порту вже пройшли випробування 5G як засобу підтримки роботи інженерів на місцях, а також для моніторингу та оптимізації планування розвитку та будівництва портової інфраструктури.

Найбільш наочними прикладами портів, які застосовують технології та системи Smart Port, є такі:

Порт Роттердам (Port of Rotterdam) – найбільший порт Європи. У порту створено Цифровий близнюк (Digital Twin (DT)), який імітує порт у цифровому вигляді, тобто є його цифровою копією (моделлю). Таким чином, управлінський персонал порту може завчасно побачити, як їхні рішення та дії вплинуть на порт, навколишню екосистему та судноплавну галузь. Наявні бази даних і системи їх обробки дають змогу керівництву порту робити точні прогнози, щоб залишатися

конкурентоспроможними та ефективними в морській галузі, яка швидкими темпами рухається до повної цифровізації. DT порту дає змогу керівництву зрозуміти, як обладнання в порту працює одне з одним. Це також допомагає здійснювати моніторинг усіх операцій у реальному часі. Установлені датчики IoT вимірюють рух води, каламутність і тиск, щоб переконатися, що діяльність порту не погіршує екологічний стандарт води. Порт активно працює над переходом на зелені та відновлювані джерела енергії.

Порт Гамбург (Port of Hamburg) – найбільший німецький порт, другий за величиною порт Європи. Порт активно втілює ініціативи, спрямовані на підтримання статусу «Розумний порт». У порту реалізується авторитетний проєкт IoT для відстеження різних видів забруднення. Навколо порту встановлені метеодатчики. Порт має IT-системи для всього технічного обслуговування транспортних засобів у порту та загальний монітор порту, щоб зацікавлені сторони завжди могли бачити всі технологічні операції, які здійснюються на території порту з вантажами, транспортними засобами, а також засобами портового перевантажувального обкладання.

Порт Антверпен (Port of Antwerp) – найбільший порт Північної Європи за обсягом вантажів, найбільший економічний «двигун» Бельгії. Стратегія розвитку порту враховує не лише стале майбутнє для самого порту, а й те, як його діяльність вплине на прилеглі території. Таким чином, порт росте і розвивається «у гармонії із суспільством і навколишнім середовищем». Розширення порту та будівництво його інфраструктури виконуються одночасно з підвищенням безпеки та охорони порту. У порту будується інтегрована мережа цифрових портових систем.

Порт Сінгапур (Port of Singapore) – найбільший державний порт у світі, відомий як головна морська столиця. Порт реалізує проєкт, який спрямований на стратегію Smart Port. Цей проєкт – мегапорт Туас, будівництво якого планується завершити у 2040 р. Мегапорт Туас стане найбільшим у світі повністю автоматизованим портом. У порту передбачається створення інтелектуальних систем управління та використання стійких технологій; безпілотні транспортні засоби та автоматизовані крани сприятимуть безпеці та ефективності порту. Води порту також будуть управлятися за допомогою цифрових систем.

Порт Шанхай (Port of Shanghai) – найбільший у світі автоматизований контейнерний порт, віднесений до категорії великого портового мегаполіса через його інтенсивний рух і щільне населення. Порт вважається одним із найбільш технологічно передових; характеризується повною автоматизацією кранів, вантажівок і транспортних засобів; прагне створити зелені та високотехнологічні термінали; використовує мережу 5G, яка вважається ключовою технологією Smart Port.

Гаврський порт Нагора (Port Le Havre Normandy) – один із найбільших портів Північної Європи, найбільший портовий комплекс Франції, перший контейнерний порт у Франції, об'єкт всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. Порт називають «інтелектуальним, високопродуктивним, стійким, спільним та інноваційним «Розумним портом». Порт базується на інформаційних і цифрових технологіях; має на меті зменшити трафік, щоб бути менш завантаженим портом; працює над своїм перетворенням на «місто – Розумний порт», тобто прагне розробити нову модель міської та промислової портової території, яка інтегрована за допомогою інноваційних рішень.

Висновки. На підставі викладеного вище можна зробити такі висновки [10]:

1. Сьогодні майбутнє глобального морського бізнесу і транспортної логістики змінюють Розумні порти (Smart Ports) та інноваційні технології, завдяки яким такі порти з'являються та ефективно функціонують.

2. Поняття «Розумний порт» (Smart Port) охоплює багато різних аспектів залежно від того, яку стратегію розвитку вибирають його керівництво та органи влади.

3. Досліджені технології є ключовими стовпами, на які сьогодні спирається будь-який Smart Port. Ці технології є першочерговими інструментами, на які повинен орієнтуватися порт під час розроблення своєї стратегії розвитку у напрямі автоматизації та цифровізації.

4. У післявоєнній перспективі в рамках концепції загальної транспортної політики України доцільно звернути увагу та спрямувати зусилля на розроблення офіційної Smart Port-стратегії розвитку портової галузі України.

5. Smart Port-стратегія розвитку національної портової системи України повинна містити персоналізовані дорожні карти майбутнього розвитку кожного українського порту, орієнтуючись на їх цифровізацію, забезпечення конкурентних переваг, безпеку судноплавства, соціальний та екологічний аспекти функціонування портів.

6. Персоналізовані (локальні) Smart Port-стратегії кожного українського порту залежно від певних умов та специфіки його функціонування можуть бути спрямовані на: автоматизацію та впровадження розглянутих вище технологій; створення цифрових близнюків та/або відновлюваних джерел енергії; підвищення привабливості території порту та відповідного міста для його жителів і туристів.

7. Досліджений у роботі світовий досвід використання новітніх технологій у виробничій діяльності портів охоплює унікальні Smart Port-рішення. Усі вони є доречними прикладами різних типів інноваційних стратегій розвитку Розумних портів, які сьогодні вже реалізуються у різних портах світу. У майбутньому всі розглянуті технології та відповідні стратегії можуть стати орієнтиром для розроблення Smart Port-стратегії розвитку національної портової системи України та персоналізованих Smart Port-стратегій кожного українського порту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кириллова О.В., Кириллов В.Ю. Теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів. *Транспортні системи і технології*. 2022. № 40. С. 170–189. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15>.
2. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Класичні системи управління портами та їх концептуальні моделі. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2023. № 24. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2023-24>.
3. Проблеми функціонування та розвитку портів : монографія / О.В. Кириллова та ін. ; за ред. О.В. Кириллової, І.М. Іванової. Львів ; Торунь : Liha-Pres, 2022. Т. 7. 438 с. ISBN 978-966-397-289-3. ISSN 2663-9858. doi: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-289-3>.
4. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Діджиталізація як шлях до забезпечення екологічності, безпеки і сталого функціонування

- морської галузі. *Інтелектуальні транспортні технології* : праці II міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 27–29 квітня 2021 р. Харків : УкрДУЗТ, 2021. С. 21–23. URL: <http://itt.kart.edu.ua/images/Tezu2021/TezuITT2021.pdf>
5. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Інноваційні робототехнічні технології для морської індустрії. *Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт* : праці Міжнародної конференції, м. Київ, 29–30 листопада 2022 р. Київ : НТУ, 2022. С. 72–76. URL: https://drive.google.com/file/d/1n5wjn_M0O7g8Cvk-CQwvqmjvHVDFs6Gtk/view
 6. Кириллова В.Ю., Кириллова О.В. Основні технологічні тренди у сфері інформаційного забезпечення систем доставки вантажів у діяльності транспортно-експедиторських компаній. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2023. Т. 34(73). № 6. С. 244–250. doi: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/36>.
 7. Estimated Time of Arrival Calculator for Ships. URL: <https://sinay.ai/en/sinay-hub/eta-module/>
 8. Tianjin Port, Huawei advance cutting-edge digital twin plans. URL: <https://www.porttechnology.org/news/tianjin-port-huawei-advance-cutting-edge-digital-twin-plans/>
 9. GSBN, COSCO, OOCL, SICIT collaborate on blockchain technology for cargo transportation. URL: <https://www.porttechnology.org/news/gsbn-cosco-oocl-sicit-collaborate-on-blockchain-technology-for-cargo-transportation/>
 10. Smart Port: новітні технології і міжнародний досвід їх упровадження / О.В. Кириллова та ін. *Marine Power Plants & Operation, MPP&O-2024* : матеріали V Міжнародної морської науково-практичної конференції кафедри СЕУ і ТЕ, м. Одеса, 5 березня 2024 р. Одеса : ОНМУ, 2024. URL: https://2024.depas.od.ua/?fbclid=IwAR1jIPqMX0w2WEpzk1Hwy_4jE7RmQ-QOTZB8dzN05WVSdKayw78-eTsI0zQ

REFERENCES

1. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2022) The oretical foundations of spatial and functional evolution of ports [Teoretychni osnovy prostorovoi ta funktsionalnoi evoliutsii portiv]. *Transport systems and technologies*, (40), 170–189. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15> [in Ukrainian].
2. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2023). Classical port management systems and their conceptual models [Klasychni systemy upravlinnia portamy ta yikh kontseptualni modeli]. *Scientific news of Daliv University*, 24. doi: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2023-24> [in Ukrainian].
3. Problems of functioning and development of ports [Problemy funktsionuvannia ta rozvytku portiv]. Volume 7. Monograph. O.V. Kyryllova, V.M. Pitera, O.R. Mahamadov, D.M. Reshetkov, T.Ie. Korniets and other; edited by O.V. Kyryllova, I.M. Ivanova. Lviv-Torun:

- Liha-Pres, 2022. 438 p. doi: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-289-3> [in Ukrainian].
4. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2021). Digitalization as a way to ensure environmental protection, safety and sustainable functioning of the maritime industry [Didzhitalizatsiia yak shliakh do zabezpechennia ekolohichnosti, bezpeky i staloho funktsionuvannia morskoi haluzi]. Intelligent transport technologies. 2nd international scientific and technical conference. Kharkiv, 21–23. URL: <http://itt.kart.edu.ua/images/Tezu2021/TezuITT2021.pdf> [in Ukrainian].
 5. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2022). Innovative robotic technologies for the marine industry [Innovatsiini robototekhnichni tekhnolohii dlia morskoi industrii]. Intelligent transport systems: ecology, safety, quality, comfort: proceedings of the international conference. Kyiv, 72–76. URL: https://drive.google.com/file/d/1n5wjn_M0O7g8Cvk-CQwvqmjvHVDFs6Gtk/view [in Ukrainian].
 6. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y. (2023). Main technological trends in the sphere of information secure delivery systems in the activity of transport and forwarding companies [Osnovni tekhnolohichni trendy u sferi informatsiinoho zabezpechennia system dostavky vantazhiv u diialnosti transportno-ekspedytorskykh kompanii]. Scientific journal «Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: «Technical Sciences», 34(73), № 6, 244–250. doi: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/36> [in Ukrainian].
 7. Estimated Time of Arrival Calculator for Ships. URL: <https://sinay.ai/en/sinay-hub/eta-module/>
 8. Tianjin Port, Huawei advance cutting-edge digital twin plans. URL: <https://www.porttechnology.org/news/tianjin-port-huawei-advance-cutting-edge-digital-twin-plans/>
 9. GSBN, COSCO, OOCL, SICIT collaborate on blockchain technology for cargo transportation. URL: <https://www.porttechnology.org/news/gsbn-cosco-oocl-sicit-collaborate-on-blockchain-technology-for-cargo-transportation/>
 10. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Y., Mahamadov O.R., Pitera V.M., Romakh V.L., Tykhonin V.I., Tykhonina I.I. (2024). Smart port: the latest technologies and international experience in their implementation [Smart Port: novitni tekhnolohii i mizhnarodnyi dosvid yikh vprovadzhennia]. Marine Power Plants & Operation, MPP&O-2024. V International Maritime Scientific Conference of the Ship Power Plants and Technical Operation Department of the Educational and Scientific Merchant Marine Institute of Odesa National Maritime University. Odesa, ONMU, 2024. URL: https://2024.depas.od.ua/?fbclid=IwAR1jIPqMX0w2WEpzk1Hwy_4jE7RmQ-QOTZB8dzN05WVSdKayw78-eTsI0zQ [in Ukrainian]