

“SMART PORTS” ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ВЕКТОР ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТІВ:
ВІД ІДЕЇ ДО КОНЦЕПЦІЇ ТА ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

О.В. Кириллова¹, В.Ю. Кириллова²

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

Анотація

Вступ. Сучасна світова економіка переживає трансформації внаслідок четвертої промислової революції, що позначається інтенсивною цифровізацією та технологічними інноваціями. Морські порти стають центрами таких змін. Високі темпи зростання торгівлі та загострення конкуренції спонукають портові влади й операторів до модернізації обладнання та оновлення технологічних процесів з огляду на нові стандарти «зелених» рішень та кліматичні вимоги. В умовах, коли традиційні управлінські методи більше не відповідають запитам на продуктивність, точність, екологічність та безпеку, виникає нагальна потреба в переході до концепції “Smart ports”. Ця концепція передбачає використання інтелектуальних технологій для оптимізації операцій, автоматизації та цифровізації портів. **Мета** статті полягає в дослідженні еволюції концепції “Smart ports” як нового парадигмального вектору цифровізації та автоматизації в портовій індустрії, включаючи встановлення історичних передумов її формування, аналіз ключових світових кейсів успішного впровадження та розкриття сучасних технологічних рішень і викликів, що виникають у процесі її міжнародної інтеграції. **Результати.** У статті проаналізовано еволюцію концепції “Smart ports”, що виникла у відповідь на глобальні виклики цифровізації та автоматизації портової індустрії. Особливу увагу приділено інноваційним рішенням, таким як інтеграційні платформи та автоматизовані системи управління, які підвищують ефективність, безпеку й екологічність портів. Розглянуто успішні кейси, зокрема у портах Гамбург, Роттердам і Сінгапур, де цифрові рішення покращують пропускну здатність і якість обслуговування клієнтів. Акцентовано на цифровізації та автоматизації в управлінні портами, що зменшує ризики впливу людського фактора. Запропоновано розмежовувати поняття «ідея», «парадигма» та «концепція» «розумних портів» (“Smart ports”), де ідея є початковим імпульсом для впровадження технологій, парадигма – системою нових поглядів та підходів до управління портами, а концепція включає конкретні рішення і механізми їх цифрової реалізації. Таке розмежування сприяє кращому розумінню стадій цифрової трансформації портів та оцінці внеску кожного етапу у формування сучасної портової інфраструктури. **Висновки.** Сформульований у статті підхід

демонструє еволюцію концепції “Smart ports” як поступову інтеграцію цифрових та автоматизованих технологій на послідовних етапах – від зародження ідеї і формування парадигми до її концептуалізації та практичної імплементації у глобальну портову індустрію. Дослідження розкриває нові аспекти інтеграції інновацій у портові системи, що буде слугувати основою для подальших наукових розробок. Аналіз враховує глобальні тенденції розвитку автоматизованих і цифрових систем, що дозволяє виявити напрямки для майбутніх досліджень. Таким чином, стаття сприяє підвищенню наукового інтересу до концепції “Smart ports” і стимулює дослідження нових технологічних рішень у портовій діяльності. Висновки будуть корисними як для практиків у сфері управління портами, так і для науковців, що займаються питаннями інноваційної портової інфраструктури.

Ключові слова: Smart port, розумний порт, ідея, концепція, парадигма, цифровізація портів, автоматизація портів, роботизація портів, екологізація портів.

“SMART PORTS” AS AN INNOVATIVE VECTOR OF TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION AND DIGITALIZATION OF PORTS: FROM IDEA TO CONCEPT AND PRACTICAL IMPLEMENTATION

O.V. Kyryllova¹, V.Yu. Kyryllova²

¹Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of 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

Summary

Introduction. The modern global economy is undergoing transformations driven by the Fourth Industrial Revolution, marked by intensive digitalization and technological innovations. Seaports are becoming hubs of these changes. The rapid growth of trade and heightened competition compel port authorities and operators to modernize equipment and update technological processes, taking into account new standards for “green” solutions and climate requirements. As traditional management methods no longer meet demands for productivity, precision, environmental sustainability, and safety, there is an urgent need to transition to the “Smart ports” concept. This concept involves the use of intelligent technologies to optimize operations, automate processes, and digitalize ports. **Purpose.** The aim of the article is to investigate the evolution of the “Smart ports” concept as a new paradigmatic vector of digitalization and automation in the port industry, encompassing the identification of its historical foundations, analysis of key global case studies of successful implementation, and exploration of modern technological solutions and challenges arising in the course of its international integration. **Results.** The article analyzes the evolution of the «Smart ports» concept, which emerged in response to global challenges of digitalization and automation in the port industry. Special attention is given to innovative solutions such as integration platforms and automated management systems, which enhance the efficiency, safety,

and sustainability of ports. Successful cases are discussed, particularly in the ports of Hamburg, Rotterdam, and Singapore, where digital solutions enhance port capacity and customer service quality. Emphasis is placed on digitalization and automation in port management, which reduces the risks associated with human factors. It is proposed to differentiate the notions “idea”, “paradigm” and “concept” of “Smart ports”, where the idea serves as the initial impetus for technology adoption, the paradigm represents a system of new perspectives and approaches to port management, and the concept encompasses specific solutions and mechanisms for their digital implementation. This distinction fosters a better understanding of the stages of digital transformation in ports and allows for the assessment of each stage’s contribution to the formation of modern port infrastructure. **Conclusions.** The approach formulated in the article demonstrates the evolution of the “Smart ports” concept as a gradual integration of digital and automated technologies at sequential stages: from the inception of the idea and the formation of the paradigm to conceptualization and practical implementation in the global port industry. The research reveals new aspects of integrating innovations into port systems, which will serve as a basis for further scientific developments. The analysis takes into account global trends in the development of automated and digital systems, allowing for the identification of directions for future research. Thus, the article contributes to increasing scientific interest in the “Smart ports” concept and stimulates the exploration of new technological solutions in port operations. The conclusions will be useful for both practitioners in port management and researchers dealing with issues of innovative port infrastructure.

Key words: Smart port, idea, concept, paradigm, digitalization of ports, automation of ports, robotics in ports, sustainability of ports.

Вступ. Сучасна світова економіка вступає в епоху масштабних трансформацій під впливом четвертої промислової революції, що позначається інтенсивною цифровізацією та технологічними інноваціями. Морські порти як ключові елементи інфраструктурного каркасу міжнародних транспортних комунікацій та глобальних ланцюгів постачання стають епіцентрами таких змін, де на перший план виходить потреба у підвищенні ефективності, стійкості, екологічності та безпеки.

Постановка проблеми. Високі темпи зростання торгівлі та загострення конкуренції спонукають портові влади й операторів до модернізації обладнання та оновлення технологічних процесів з урахуванням нових стандартів «зелених» рішень та кліматичних вимог. В умовах, коли традиційні управлінські методи більше не відповідають запитам на продуктивність, точність, екологічність та безпеку, виникає нагальна потреба в переході до концепції “Smart ports”, яка:

- базується на використанні інтелектуальних транспортних та інформаційних технологій для оптимізації портових операцій;
- передбачає технологічну трансформацію, автоматизацію, роботизацію та цифровізацію портів [1; 2].

Впровадження цих інновацій супроводжується низкою викликів, що підкреслює актуальність дослідження та аналітичного осмислення визначеної проблеми.

Аналіз досліджень і публікацій. Існує широке коло робіт, які присвячені питанням впровадження окремих технологій у портах. Наприклад, у роботах [3; 4]

розглядається вплив інтернету речей (Internet of Things (IoT)) та штучного інтелекту (Artificial Intelligence (AI)) на окремі процеси роботи портів. Деякі автори роблять акцент на важливості екологічності та розглядають питання «зелених» портів [5], інші – на оптимізації логістичних процесів [6].

Наукові праці [7; 8] демонструють можливості автоматизації для зниження витрат і підвищення безпеки, що підтверджує і дослідження “McKinsey & Company” [9], яке вказує, що автоматизація здатна зменшити експлуатаційні витрати на 25–55% та збільшити продуктивність на 10–35%. Проте для досягнення цих цілей потрібні значні інвестиції та зміни в управлінні даними й технологіями. Дослідження [9] також вказує на необхідність подолання бар’єрів, таких як нестача кваліфікованих кадрів і проблеми з якістю даних, щоб повною мірою реалізувати потенціал автоматизованих портів.

Огляд звіту Організації Об’єднаних Націй (ООН) [10] акцентує важливість інтеграції інновацій для сталого розвитку та підкреслює стратегічну необхідність «зеленої» та цифрової модернізації портів. UNCTAD 2022 звертає увагу на взаємодію цифрових і екологічних технологій, вказуючи на потребу у синхронізації відповідних стратегій.

Існує значний інтерес до впровадження інноваційних ініціатив у портах, прикладами яких є порти Гамбург та Роттердам [11; 12], які вже інтегрують інтелектуальні системи для управління вантажопотоками, підвищення безпеки та забезпечення стійкості екологічних стандартів. Однак ці дослідження здебільшого мають прикладний характер і мало уваги приділяють стратегічним аспектам масштабного переходу до “Smart ports”.

У роботах [13; 14] підкреслюється, що цифровізація портів не лише підвищує їхню ефективність, але й сприяє зменшенню людського впливу на навколишнє середовище.

У роботі [2], яка опублікована у 2024 р., вітчизняні автори надають таке визначення: «В 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)» [2]. У цій роботі автори також зазначають, що технологічними передумовами, які стали фундаментом для зародження поняття “Smart port” та відповідної концепції, стали ключові технологічні розробки, які вже знайшли своє практичне втілення у практиці функціонування сучасних портів. Ці розробки в частині їх впровадження у діяльність транспортних підприємств і портів детально розглянуто в роботі [2]. Вони базуються на використанні технології великих даних (Big Data), штучного інтелекту (Artificial Intelligence), інтернету речей (Internet of Things), технології «цифровий двійник (близнюк)» (Digital Twin (DT)), технології блокчейн (Blockchain), технології 5G.

Вищенаведений огляд публікацій, а також аналіз інформаційних джерел і наукових статей, зроблений в роботі [1], демонструє, що наявні підходи до ідеї

«розумних портів» (“Smart ports”) часто фокусуються на локальних питаннях та окремих технологічних рішеннях, тоді як комплексний підхід залишається недослідженим.

Таким чином, незважаючи на актуальність теми, лише незначна кількість досліджень акцентує увагу на комплексному підході до інтеграції всіх розглянутих технологій. Такий підхід сприятиме перетворенню ідеї «розумних портів» (“Smart ports”) на цілісну парадигму та повноцінну концепцію. Це становить інтерес з науково-теоретичної точки зору в контексті створення та формалізації парадигми «розумних портів» (“Smart ports”) та відповідної концепції в теорії управління функціонуванням і розвитком портових систем, що передбачає:

- встановлення критеріїв для надання порту статусу «розумного порту» (“Smart port”);
- розробку загальних інструментів для оцінки рівня розвитку («зрілості») «розумних портів» (“Smart ports”);
- визначення показників для оцінки ступеня реалізації концепції «Smart port» у конкретному порту.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає в дослідженні еволюції концепції “Smart ports” як нового парадигмального вектору цифровізації та автоматизації в портовій індустрії, включаючи встановлення історичних передумов її формування, аналіз ключових світових кейсів успішного впровадження та розкриття сучасних технологічних рішень і викликів, що виникають у процесі її міжнародної інтеграції.

З огляду на мету в роботі визначено такі завдання:

1) проаналізувати парадигмальні зміни у філософії науки та їх вплив на сучасну глобальну портову індустрію, визначити історичні передумови і ключові етапи становлення ідеї “Smart ports” у міжнародному контексті;

2) оглянути успішні кейс-стаді (case study) провідних портів світу Гамбург, Роттердам, Сінгапур щодо впровадження концепції “Smart ports”, висвітлити приклади портів, які також застосовують автоматизацію та цифровізацію у своїй діяльності;

3) оглянути інноваційні технології, що сприяють загальному процесу автоматизації та цифровізації в портовій інфраструктурі й оцінити результати технологічної конвергенції в модернізації інфраструктур “Smart cities” та “Smart ports”;

4) формалізувати ключові етапи розвитку концепції “Smart ports” на основі історичного та технологічного аналізу, встановити та проаналізувати основні виклики та бар’єри у реалізації концепції “Smart ports” на міжнародному рівні.

Основний матеріал дослідження. Парадигма у філософії науки – це концептуальна основа, що визначає рамки, в яких здійснюється наукове дослідження. Вона охоплює загальноприйняті теорії, методи, цінності та норми, які формують спільне розуміння конкретної наукової галузі. Перші зусилля до формулювання поняття «парадигма» були здійснені Густавом Бергманом, який розумів під нею «загальні принципи і стандарти методологічного дослідження». Але масштабного значення це поняття набуває лише в рамках роботи Томаса Куна «Структура наукових революцій», де він визначає парадигму як «загальноприйнятий набір переконань і теоретичних підходів, які визначають спосіб розуміння наукової реальності в межах певної дисципліни» [15].

Томас Кун також вводить поняття наукової революції, яка свідчить про «зміну парадигми» або «зрушення» (зсув) парадигм, що відбувається не внаслідок поступового накопичення знань, а через радикальні зміни у підходах до наукових проблем. Під час «наукової революції» стара парадигма, що зазнала кризи, часто замінюється новою, яка є несумісною зі старою. Цей процес змін парадигм ілюструє динамічний характер розвитку науки, де одні теорії та моделі поступаються місцем іншим, що зумовлює еволюцію наукового знання [16].

Таким чином, парадигма – це система переконань, яка формує загальне розуміння проблеми або сфери дослідження. Парадигма включає базові постулати, цілі та методи досліджень у конкретній сфері. Аналіз парадигм у філософії науки є важливим не лише для розуміння самих змін у науковому середовищі, але й для виявлення можливостей для нових відкриттів. Натомість концепція зазвичай описується як конкретна ідея або модель, яка витікає з парадигми і може бути застосована в конкретному контексті.

Отже, парадигма є загальною системою мислення, яка визначає основні напрямки розвитку науки чи індустрії, тоді як концепція є її практичним втіленням у конкретних моделях або рішеннях.

Таким чином, розгляд парадигми в контексті філософії науки дозволяє глибше зрозуміти механізми, що лежать в основі наукового прогресу, і служить важливим підґрунтям для дослідження нових концепцій.

На підставі сказаного вище в контексті портової індустрії парадигма “Smart ports” – це набір ідей стосовно автоматизації та цифрової трансформації портів, що описують те, як інноваційні технології впливають на продуктивність, безпеку й екологічність портового виробництва, змінюють його функціонування, включаючи управління процесами та операціями.

Концепція – це конкретний підхід, що виникає в рамках певної парадигми. Вона є конкретним описом того, як парадигма застосовується на практиці в реальному світі та у виробничому процесі.

Наприклад, парадигма включає загальні принципи (наприклад, диджиталізація), тоді як концепція відображає конкретні рішення, такі як впровадження системи автоматизації в певному порту.

Отже, на нашу думку, наукова революція, про яку говорив Томас Кун [15; 16], у сфері портових технологій розгорталася поступово, проходячи етапи від народження ідеї та її усвідомлення до формування нової парадигми і відповідної концепції “Smart ports”, що, зрештою, привело до її практичної реалізації.

Ідея створення «розумних портів» (“Smart ports”) вперше виникла на початку ХХІ ст. у відповідь на глобальну потребу модернізації портової інфраструктури шляхом цифровізації та автоматизації [1]. Першими реалізували її порти Гамбург, Роттердам і Сінгапур, інтегрувавши новітні технології в управління портовими операціями та виробничими процесами, що суттєво підвищило ефективність і безпеку. Однак точне першоджерело терміна «розумний порт» (“Smart port”), як сказано в роботі [1], не є однозначно визначеним і залишається предметом наукових дискусій, оскільки він спочатку з’являвся у вербальних анонсах конкретних проєктів і лише згодом у періодичних виданнях і наукових публікаціях. Незважаючи на це, очевидним є те, що використання терміна “Smart ports” позначило нову

еру розвитку портової індустрії, яка базується на інтеграції цифрових та інформаційних технологій.

Таким чином, порти Гамбург, Роттердам та Сінгапур стали першими у глобальному портовому секторі, які реалізували значні ініціативи з впровадження передових технологій на основі цифровізації, автоматизації та роботизації.

Порт Гамбург (Німеччина) – один із найбільших і найтехнологічніших портів Європи, який запровадив стратегію “Smart port” для підвищення ефективності операцій та зменшення затворів. У 2011 р. Адміністрація порту розпочала проєкт “SmartPort Logistics”, спрямований на інтеграцію «розумних технологій» для моніторингу транспорту і вантажів. У 2014–2015 рр. в порту розпочалася активна фаза цифровізації, що включала використання Інтернету речей та хмарних технологій для збору й аналізу даних. Аналітична платформа на базі SAP дозволила об’єднати всі технологічні процеси порту в єдину інформаційну систему та сприяла прогнозуванню графіків обробки суден, підвищуючи ефективність обслуговування вантажів і транспортних засобів суміжних видів транспорту, що значно підвищило ефективність роботи порту.

Порт Роттердам (Нідерланди) є одним із найбільших та найінноваційніших контейнерних портів світу, відомим своїми ініціативами у цифровізації й автоматизації. Він першим у світі почав реалізовувати інтегровані автоматизовані рішення для управління портовою інфраструктурою. Перша спроба автоматизації в порту Роттердама відбулася ще в 90-х рр. ХХ ст. Важливим етапом його розвитку стало впровадження системи “PortXchange”, спрямованої на оптимізацію портових операцій. Розробка платформи розпочалася у 2018 р. за ініціативи керівництва порту та у співпраці з компаніями Shell та IBM. “PortXchange” – це хмарна платформа, що надає в реальному часі інформацію про всі портові операції, дозволяючи судновласникам, термінальним операторам та постачальникам послуг взаємодіяти. Офіційне впровадження платформи відбулося у 2019 р. після успішного пілотного проєкту. Система забезпечує обмін даними про рух суден, завантаження та готовність терміналів, оптимізує графіки, зменшує викиди CO₂ та підвищує прозорість для всіх учасників процесу. Це збільшує рівень довіри, сприяє кращій координації між різними сторонами транспортного процесу та підвищує конкурентоспроможність порту. Таким чином, порт Роттердам залишається лідером у впровадженні цифрових рішень у портовій індустрії.

Порт Сінгапур є одним із найважливіших і технологічно просунутих портів світу. Його інфраструктура постійно розвивається завдяки інноваційним технологіям, спрямованим на підвищення ефективності та продуктивності обробки вантажів. Автоматизація портових операцій у Сінгапурі розпочалася на початку 2000-х рр., проте значний прогрес у розвитку технологій спостерігався з 2010 р. Модернізація порту з використанням автономних систем почалася в 2018 р., коли провели випробування автономних вантажівок та роботизованих кранів на терміналах PSA (Port of Singapore Authority). Одним із перших проєктів стало впровадження автономних технологій компанії Airdrivers на терміналах “Tanjong Pagar і Pasir Panjang”. У 2019 р. PSA продовжила модернізацію, включаючи автоматизацію кранів на терміналі “Pasir Panjang Terminal”, що завершилась успішними випробуваннями. Автономні системи розвантаження суден суттєво скорочують

час навантаження та розвантаження, а також зменшують залежність від людської праці, що є важливим для збільшення пропускної здатності порту. Сьогодні ключовими технологіями порту є роботизовані крани, які працюють на основі даних з систем моніторингу в реальному часі, та автономні транспортні засоби (AGVs – Automated Guided Vehicles), що ефективно переміщують контейнери. Активне впровадження цих технологій почалося у 2017 р. в рамках підготовки до відкриття “Tuas Megaport” – найбільшого автоматизованого контейнерного терміналу у світі, який планується завершити до 2040 р. з метою обробки понад 65 млн контейнерів на рік. У рамках цього проєкту автономні крани та AGVs відіграють ключову роль. Крім того, автоматизовані склади та інтеграція даних дозволяють мінімізувати людський фактор і оптимізувати процеси в реальному часі, забезпечуючи ефективність портової інфраструктури.

Окрім портів Гамбурга, Роттердама та Сінгапура, інші приклади повністю автоматизованих контейнерних терміналів включають порти в Китаї, Кореї та Сполучених Штатах Америки (США):

– порт Яньтянь (Yantian Port), Китай. Контейнерний термінал Яньтянь (Yantian International Container Terminal (YICT)) є одним із найсучасніших автоматизованих контейнерних терміналів світу. Проєкт став частиною масштабної стратегії Китаю з розвитку «розумних портів», спрямованих на цифрову трансформацію та автоматизацію портової інфраструктури. Реалізація проєкту з його будівництва розпочалася в 2018 р. Офіційний запуск терміналу з повністю автоматизованими системами перевалки вантажів відбувся у 2021 р. Цей термінал оснащений автоматизованими кранами, безпілотними транспортними засобами та інтелектуальними системами управління, які дозволяють значно підвищити ефективність обробки контейнерних вантажопотоків та знизити експлуатаційні витрати. Яньтянь є одним із найбільших портів, що активно впроваджує цифрові рішення для автоматизації операцій [17];

– порт Кваньян (Gwangyang Port), Південна Корея. Автоматизований контейнерний термінал (Gwangyang Automated Container Terminal) в порту Кваньян відомий високим ступенем автоматизації. Реалізація проєкту автоматизації порту почалася у 2015 р., а офіційний запуск відбувся у 2017 р. Цей термінал був побудований як частина стратегії Південної Кореї щодо створення «розумних портів» і цифровізації технологічних процесів з метою підвищення продуктивності та конкурентоспроможності своїх портів на міжнародній арені. Термінал Кваньян став першим великим проєктом Південної Кореї з впровадження автоматизованих технологій для обробки контейнерів. Він використовує роботизовані крани та безпілотні транспортні засоби для транспортування контейнерів між складськими зонами та причалами. Крім того, на терміналі впроваджено систему інтелектуального управління портовими операціями, яка дозволяє знижувати витрати, підвищувати ефективність і забезпечувати безпеку процесів [18];

– порт Лонг-Біч (Long Beach Port), США. Автоматизований контейнерний термінал Лонг-Біч (Long Beach Container Terminal (LBCT)) є одним з найбільш інноваційних та автоматизованих портових об'єктів у Сполучених Штатах. Проєкт автоматизованого контейнерного терміналу в порту Лонг-Біч став частиною глобальної стратегії розвитку «розумних портів» у США. Проєкт модернізації

та автоматизації терміналу, відомий як “Middle Harbor Redevelopment Project”, розпочався у 2011 р. Метою було об’єднання двох старих терміналів у один високотехнологічний, екологічно чистий та повністю автоматизований термінал. Офіційне відкриття нового повністю автоматизованого терміналу відбулося у серпні 2021 р. Термінал використовує роботизовані крани, автоматизовані (безпілотні) транспортні засоби та інтелектуальні системи управління для підвищення ефективності операцій, зменшення експлуатаційних витрат і покращення екологічної стійкості [19].

Ці порти не лише впроваджують інноваційні рішення для автоматизації та цифровізації, але й акцентують увагу на дотриманні екологічних стандартів, зниженні впливу на навколишнє середовище, зменшенні викидів вуглецю та підвищенні безпеки.

Практична реалізація ідеї «розумних портів» (“Smart ports”) у діяльності провідних контейнерних портів світу була б неможливою без впровадження інноваційних технологій цифровізації й автоматизації. Це підкреслює, що адаптація до нових технологічних умов є ключовим фактором для успішного функціонування портових систем. Перехід до парадигми «розумних портів» (“Smart ports”) у сфері транспортних систем і технологій, а також концептуалізація терміна «розумний порт» (“Smart port”) стала результатом поступового розвитку у відповідь на появу та поширення інноваційних технологій, які змінювалися в контексті загальної тенденції автоматизації та цифровізації без чіткої прив’язки до конкретної галузі чи сфери діяльності. Ці зміни продовжують відбуватися на фоні глобальних тенденцій, які впливають на різні аспекти економіки та бізнесу. Серед основних світових трендів, що підтримують цю трансформацію, можна виділити концепції «Індустрії 4.0» (“Industry 4.0”) і «Цифрової трансформації» (“Digital transformation”):

1) «Індустрія 4.0» (“Industry 4.0”) – це провідний тренд четвертої промислової революції, що характеризується повною автоматизацією виробництва, де керування процесами відбувається в режимі реального часу з урахуванням змінних зовнішніх умов. Кіберфізичні системи створюють віртуальні копії фізичних об’єктів, контролюють процеси та приймають децентралізовані рішення. Ці системи, об’єднуючи в собі різноманітні технології, такі як Інтернет речей та штучний інтелект, здатні взаємодіяти та самонавчатися. Ініціатива «Індустрія 4.0» була започаткована в Німеччині для забезпечення конкурентоспроможності через впровадження кіберфізичних систем (Cyber Physical Systems – CPS) [20]. Основною рисою четвертої промислової революції є реалізація ідеї сервіс-орієнтованого проектування та виробництва. Ключова особливість цієї ідеї – це зв’язок між «розумними машинами» і «розумними речами». «Розумні речі» самостійно дають команду «розумним машинам» виробляти себе в міру зносу або аналізу потреб споживача [21]. Прогрес технологій забезпечує промисловість готовими середовищами для збору й обробки даних. Такі середовища розробляють та підтримують в актуальному стані компанії Microsoft AZURE, Intel IoT Platform, IBM Big Data, Amazon AWS, Google Cloud Platform, Open Stack тощо. Представлені середовища мають широкий набір обчислювальних сервісів, готових для побудови користувачами складних

і високонавантажених технологічних сервісів обробки даних, включаючи і побудову складних математичних моделей виробничих об'єктів, і зберігання даних як в традиційній реляційній моделі, так і в інших формах [22]. Основні технології «Індустрії 4.0»:

- машинні обчислення та автоматизація. Вони забезпечують збір та обробку великих обсягів даних для моніторингу стану обладнання та прийняття рішень;
- інтернет речей (IoT) забезпечує підключення пристроїв до Інтернету для обміну даними в реальному часі, що дозволяє покращувати контроль за вантажами, транспортними засобами, підприємствами, процесами тощо;
- штучний інтелект (AI). AI використовується для оптимізації виробничих процесів, виявлення дефектів та автоматизації рішень на основі аналізу великих даних;
- доповнена та віртуальна реальність використовуються для навчання персоналу, діагностики обладнання, візуалізації проєктів, що підвищує ефективність процесів;
- блокчейн забезпечує прозорість в ланцюгу постачання, контроль за рухом матеріалів і компонентів на всіх етапах виробництва. Блокчейн допомагає позбутися посередників і досягти безумовної довіри, прозорості у відносинах між державою, бізнесом та клієнтом;

2) «цифрова трансформація» (“Digital transformation”) передбачає перехід до нових способів діяльності підприємства шляхом впровадження цифрових технологій та відповідних цифрових сервісів, що базуються на стратегічному партнерстві всіх зацікавлених сторін та одночасній розробці програмного забезпечення, цифровій трансформації та оцінці рівня цифрової трансформації підприємства [23]. Слід відмітити, що, крім уточнення поняття «цифрова трансформація», в роботі [23] дуже ретельно та якісно досліджена в цілому цифрова парадигма.

Конвергенція технологій, згаданих вище, сприяла уніфікації інноваційних підходів до управління такими інфраструктурними системами, як «розумні міста» (“Smart cities”) та «розумні порти» (“Smart ports”). Ця взаємодія стала стимулом для розвитку інтелектуальних транспортних систем, що забезпечують значний прорив в операційній ефективності, автоматизації процесів, екологічній стійкості та безпеці управління інфраструктурою цих об'єктів. Інтеграція передових технологій, таких як IoT, AI та Big Data, є основою цих трансформаційних процесів, дозволяючи в режимі реального часу підвищувати ефективність управління та автоматизувати критичні операції. Важливо підкреслити, що глобальна цифровізація, яка є рушійною силою модернізації як міських, так і портових інфраструктур, відкрила нові можливості для гнучкого й адаптивного управління, оптимізації ресурсів, підвищення продуктивності та зменшення впливу на довкілля.

Перші кроки у впровадженні концепції «розумних міст» були зроблені у 2008 р. в Китаї, де почали застосовувати інноваційні технології для управління міською інфраструктурою. Сьогодні Китай вважається світовим лідером у сфері розвитку таких міст [24]. Національна комісія з розвитку та реформ Китаю у своєму аналітичному звіті [25] визначає чотири ключові етапи розвитку “Smart cities” – від

початкової концептуалізації на місцевому рівні до всебічного впровадження інноваційних підходів у сучасну урбанізацію¹.

У свою чергу, практична реалізація концепції «розумних портів» (“Smart ports”) розпочалася з проєкту “SmartPort Logistics” у Гамбурзі, що був представлений у 2011 р. і почав впроваджуватися з 2014 р. Згідно з дослідженням О.В. Кириллової, В.Ю. Кириллової та О.Р. Магамадова [1], одна з перших спроб надати визначення поняттю «розумний порт» (“Smart port”) з’явилася у науковій літературі лише у 2014 р. в роботі S.W. Cho, S.H. Won [26]. У ній «розумний порт» (“Smart port”) описується авторами як порт з автоматизованими операціями, високою продуктивністю та розвинутою інфраструктурою.

Таким чином, термін «розумний порт» (“Smart port”) в період з 2011 р. (презентація проєкту “Smart port Logistics” у порту Гамбург) до 2014 р. (початок реалізації проєкту “Smart Port Logistics”) став не просто словосполученням, а наповнився певним сенсом, тобто з точки зору формальної логіки поступово набув певного змісту та обсягу, отже ставав визнаним у портовій індустрії поняттям². Проте процес його розвитку є перманентним і незавершеним, оскільки, як сказано в роботі [1], досі не існує єдиного та загальноприйнятого визначення поняття «розумний порт» («Smart port») ні у національному законодавстві, ні у міжнародному контексті. Це свідчить про різноманіття тлумачень та підходів до інтерпретації концепції “Smart ports” серед експертів у різних країнах.

На нашу думку, період 2011–2014 рр. можна визначити як ключовий етап зміни парадигми розвитку портових систем, що ознаменував початок поступової концептуалізації поняття «розумний порт» (“Smart port”). Каталізатором зміни парадигми стала поява комплексних проєктів впровадження технологій «розумних портів» (“Smart ports”) у глобальній портовій індустрії, які демонстрували перехід від теоретичної ідеї до практичного впровадження інновацій. Запровадження цифрових і автоматизованих систем у портах Гамбурга (2014–2015 рр.), Роттердама і Сінгапура (2018–2019 рр.), підкреслює практичну реалізацію нової парадигми «розумних портів» (“Smart ports”) і сприяє остаточному формуванню відповідної концепції на емпіричному рівні у портовому секторі.

¹ Етапи становлення та розвитку китайських «розумних міст» [25]:

– перший етап (кінець 2008 р. – серпень 2014 р.) пов’язаний з початком відповідного світового тренду і передбачає формування концепції «розумного міста» на місцевому рівні;

– другий етап (серпень 2014 р. – грудень 2015 р.) ототожнюється з появою регуляторного механізму на центральному рівні та створенням Міжвідомчої координаційної робочої групи зі сприяння здоровому розвитку «Розумних міст»;

– третій етап (2015–2017 рр.) характеризує продовження реалізації стратегії нової урбанізації, в рамках якої виникає та стає загальнонаціональною концепція «розумного міста» нового типу;

– четвертий етап (2017 р. – дотепер) передбачає прискорений та всебічний розвиток нових «розумних міст» у нову епоху.

² З точки зору формальної логіки і незалежно від галузі наукових знань кожне поняття характеризується терміном, змістом та обсягом. Зміст поняття – це сукупність всіх істотних властивостей і відносин, за допомогою яких проводиться виділення і узагальнення об’єктів з універсуму. Логічна операція, при якій розкривається зміст поняття, називається його визначенням. Кожен об’єкт вивчення має певні властивості, які впливають на процес його виділення з безлічі інших об’єктів. Сукупність усіх взаємопов’язаних істотних властивостей поняття становить зміст відповідних понять, тобто його інтенціональну характеристику. Всі об’єкти, що позначаються одним і тим же терміном, є елементами обсягу поняття – його екстенціональною характеристикою [27].

Таким чином, ідея «розумних портів» (“Smart ports”) виникла як відповідь на необхідність модернізації портових інфраструктур шляхом впровадження технологічних рішень, спрямованих на оптимізацію операційних процесів, зниження витрат і підвищення рівня безпеки. Вона стала стимулом для розвитку інноваційних технологій, що використовуються для моніторингу та управління портовими процесами.

Варто зазначити, що парадигма з погляду наукового дискурсу, є більш фундаментальним поняттям, яке визначає загальні рамки, в межах яких формується конкретна концепція, тому парадигма «розумних портів» (“Smart ports”) виходить за межі простого технологічного оновлення, відображаючи зміну мислення та підходів до управління портами та їх ролі у глобальних транспортних ланцюгах. Вона охоплює такі аспекти, як сталий розвиток, ефективність та інтеграція передових технологій. Ця парадигма передбачає нову стратегію управління портами та портовою інфраструктурою, побудовану на засадах цифровізації, автоматизації, екологічної стійкості, безпеки та сталого розвитку.

Концепція «розумних портів» (“Smart ports”) є результатом реалізації цієї парадигми. Вона описує конкретні технологічні рішення та їхнє застосування в управлінні портами. Серед ключових елементів концепції можна виділити інтеграцію інтелектуальних систем для моніторингу вантажопотоків, оптимізацію використання енергетичних ресурсів, автоматизацію технологічних процесів та операцій. Концепція «розумних портів» (“Smart ports”) передбачає стратегічне впровадження новітніх технологій з метою підвищення продуктивності, безпеки й екологічної відповідальності. Вона окреслює напрямки розвитку портової індустрії для досягнення оптимальної роботи портів, мінімізації операційних витрат і зменшення впливу на навколишнє середовище.

Таким чином, представлений підхід відображає еволюційний розвиток концепції «розумних портів» (“Smart ports”) через кілька ключових етапів, які систематизують основні віхи цього процесу.

Етап 1. Виникнення ідеї “Smart ports” (кінець XX ст. – початок XXI ст.). Починаючи з кінця XX ст. та початку XXI ст., порти стикаються з низкою нових викликів – зростанням обсягів торгівлі, глобалізацією ланцюгів постачання, підвищенням вимог до екологічної стійкості, безпеки та конкуренцією між портами. Ринок потребує швидшої обробки вантажів, зниження експлуатаційних витрат і підвищення безпеки, а клієнти вимагають більшої прозорості та прогнозованості в управлінні технологічними операціями. У відповідь на ці потреби виникає ідея “Smart ports”, що передбачає модернізацію інфраструктури через впровадження цифрових технологій.

Етап 2. Формування нової парадигми “Smart ports” (початок 2010-х рр.). На початку 2010-х рр. ідея “Smart ports” піднімається на системний рівень, що спричиняє зміну підходів до управління портами. Формується нова парадигма “Smart ports”, яка ґрунтується на цифровізації, автоматизації, глобалізації транспортних зв'язків, екологічній стійкості та підвищеній безпеці. Цей новий підхід зумовлює зміну парадигми управління портами та задає вектор подальших реформ з акцентом на інтеграцію інноваційних технологій у всі сфери портової діяльності.

Етап 3. Концептуалізація ідеї “Smart ports” на основі нової парадигми (середина 2010-х рр.). На цьому етапі на основі нової парадигми “Smart ports”

розробляються конкретні технологічні рішення та стратегії, тобто суто теоретична та абстрактна ідея “Smart ports” переходить у практичну площину і набуває стратегічної форми. Розробляються конкретні технологічні рішення, такі як автоматизація, штучний інтелект, цифрові платформи та Інтернет речей, які стають основою для модернізації портів. Концепція “Smart ports” визначає нові управлінські стратегії, зокрема застосування штучного інтелекту для управління транспортом, систем автоматизованого моніторингу енергоспоживання, IoT для контролю вантажопотоків тощо. Ця концепція описує конкретні кроки для забезпечення сталого розвитку, оптимізації портових операцій, підвищення безпеки та екологічності за допомогою впровадження цифрових технологій та інновацій.

Етап 4. Практична імплементація концепції “Smart ports” (2014–2019 рр.). Цей етап передбачає реальне впровадження технологічних рішень у портову інфраструктуру, що підтверджується прикладами портів Гамбурга, Роттердама та Сінгапуру. У цих портах активно використовуються автоматизовані системи управління та цифрові платформи для моніторингу і оптимізації портових операцій. Результатом практичної імплементації концепції “Smart ports” стає формування більш інтегрованої, адаптивної та безпечної портової екосистеми.

Етап 5. Подальший розвиток концепції “Smart ports” (з 2020-х рр. до теперішнього часу). Цей етап відображає динамічне продовження еволюції «розумних портів» завдяки інтеграції новітніх досягнень науки і техніки, що дозволяє вдосконалювати управління портовою інфраструктурою та зміцнювати її позиції у глобальній економіці. На цьому етапі увага зосереджується на розширенні можливостей застосування штучного інтелекту, машинного навчання, блокчейн-технологій та нових систем кібербезпеки для забезпечення безперервності операцій і зростання продуктивності. Важливим аспектом є розвиток колаборацій між портами, державними установами та приватними компаніями для створення єдиних цифрових платформ управління портовими системами, що дозволяє забезпечити високий рівень інтеграції та інтероперабельності між різними учасниками глобальних логістичних ланцюгів. Відбувається подальше розширення цифрових рішень у портах Сінгапура, Роттердама та Лос-Анджелеса, де впроваджуються платформи на основі штучного інтелекту для передбачення завантаженості портів і оптимізації операцій в реальному часі. У Сінгапурі активно використовуються блокчейн-рішення для забезпечення прозорості та відстежуваності контейнерних перевезень, а в Роттердамі створено єдину цифрову платформу управління ланцюгами постачань, яка дозволяє оптимізувати процеси на рівні портових операцій, підвищуючи ефективність та знижуючи викиди CO₂.

Сьогодні впровадження концепції “Smart ports” стикається з низкою викликів, серед яких:

1) високі початкові витрати та капітальні інвестиції. Інвестиції в нові технології, інфраструктуру та автоматизацію є значними. Розвиток інтелектуальної інфраструктури потребує значних фінансових ресурсів, особливо для старих портів і менш розвинених портових систем, що не мають базової цифрової інфраструктури;

2) необхідність інтеграції до наявних систем. Інтеграція нових технологій з традиційними портовими системами може бути складним завданням. Важливо забезпечити «безшовну» взаємодію між старими і новими системами. Для того

щоб різні порти могли ефективно взаємодіяти в глобальній мережі, необхідна стандартизація технологічних рішень;

3) кібербезпека. Зі збільшенням залежності від цифрових технологій зростає ризик кібератак, тому питання захисту від кіберзагроз виходить на перший план. Порти повинні впроваджувати ефективні стратегії для захисту своїх інформаційних систем;

4) нестача кваліфікованих кадрів. Впровадження нових технологій вимагає спеціальних знань і навичок. Наявність кваліфікованих працівників стає критично важливою для успішної реалізації концепції “Smart ports”.

5) регуляторні бар’єри. Зміни в законодавстві або нормативних актах можуть уповільнити впровадження нових технологій. Порти повинні працювати в рамках встановлених норм і стандартів, які можуть не завжди відповідати інноваційним підходам;

6) стійкість до змін. Стійкість організацій до змін і нових підходів може стати ще одним бар’єром для впровадження концепції “Smart ports”. Психологічний опір до змін може уповільнити процеси модернізації;

7) екологічні виклики. Хоча концепція “Smart ports” передбачає підвищення екологічної стійкості, порти все ще стикаються з викликами, пов’язаними з викидами вуглецю та забрудненням, які необхідно вирішувати в рамках переходу до розумних технологій.

Висновки.

1. Аналіз парадигмальних змін у філософії науки продемонстрував їх важливість для формування сучасного підходу до розвитку портової індустрії, зокрема до концепції “Smart ports”. Принципи наукових революцій, сформульовані Томасом Куном, підтверджують, що еволюція портової індустрії є результатом критичних зрушень у способах мислення та підходах до технологій. Застосування нової парадигми “Smart ports”, що охоплює цифровізацію, автоматизацію та екологізацію, перетворилося на новий стандарт, який визначає сучасні вимоги до ефективності та стійкості портів. У цьому контексті концепція “Smart ports” стала практичним втіленням нової парадигми, інтегруючи інноваційні технології для підвищення безпеки, продуктивності та екологічності портових операцій.

2. У процесі дослідження визначено, що ідея “Smart ports” виникла на початку ХХІ ст. як відповідь на потребу в удосконаленні портової інфраструктури шляхом цифровізації та автоматизації. Перші реалізації цієї ідеї в портах Гамбурга, Роттердама та Сінгапуру продемонстрували успішну інтеграцію новітніх технологій, що підвищили ефективність, безпеку та екологічність портових операцій. Термін “Smart ports” став маркером нової ери розвитку портів, заснованої на цифрових інноваціях, хоча його точне походження залишається дискусійним.

3. Аналіз успішних кейсів провідних портів світу показав, що кожен з них суттєво вплинув на впровадження концепції “Smart ports” через інтеграцію цифрових рішень. Порт Гамбург розробив платформу для інтеграції та моніторингу транспорту, що підвищує ефективність технологічних операцій. Порт Роттердам впровадив систему “PortXchange”, що забезпечує прозорість і оптимізацію портових процесів у реальному часі. Порт Сінгапур інвестує в автономні системи, що суттєво підвищують продуктивність і знижують залежність від людської праці. Ці

кейси демонструють ефективність різних підходів до цифровізації портової інфраструктури.

4. Реалізація концепції “Smart ports” була б неможливою без впровадження інноваційних технологій автоматизації та цифровізації, які розвивалися в контексті загальної технологічної еволюції. Технології «Індустрії 4.0», такі як IoT, AI та Big Data, створили фундамент для трансформаційних змін у портовій індустрії. Конвергенція цих технологій дозволяє здійснювати оперативний моніторинг, автоматизацію критичних операцій і забезпечувати екологічну сталість, що підвищує продуктивність і безпеку портів.

5. У рамках проведеного історичного та технологічного аналізу виявлено, що розвиток концепції “Smart ports” відбувався у кілька ключових етапів – від виникнення ідеї на початку XXI ст. до практичної імплементації та подальшого вдосконалення. Зокрема, період з 2011 до 2014 року, що супроводжувався активним впровадженням цифрових технологій у глобальній портовій індустрії, став визначальним для концептуалізації ідеї “Smart ports”. Парадигма “Smart ports” окреслює нові підходи до управління портами, фокусуючи увагу на сталому розвитку, екологічній безпеці та ефективності використання ресурсів.

6. З розвитком цифрових технологій концепція “Smart ports” трансформувалася від суто технічного підходу до комплексної системи управління портами, яка включає аспекти сталого розвитку, екологічної безпеки, економічної ефективності та соціальної відповідальності, тому сучасний “Smart port” – це не лише автоматизація процесів, але й оптимізація енергоспоживання, управління викидами CO² та використання альтернативних джерел енергії.

7. Практичне впровадження концепції “Smart ports” стикається з численними викликами, такими як високі початкові витрати, необхідність інтеграції нових технологій з наявними системами та загрози кібербезпеки. Ці бар’єри потребують системного підходу для їх подолання, включаючи стандартизацію технологічних рішень, інвестиції в навчання персоналу та розробку комплексних стратегій безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кириллова В.Ю., Кириллова О.В., Магамадов О.Р. Поняття “Smart port” у контексті глобальних тенденцій інтеграції інтелектуальних транспортних та інформаційних технологій у портовій індустрії. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Том 35 (74), № 5. 2024. URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/5_2024/part_2/16.pdf
2. Kyryllova O., Kyryllova V., Mahamadov O., & Romakh V. (2024). Smart port: новітні технології і міжнародний досвід їх впровадження. *Transport Development*, 2024. № 2 (21), P. 62–74. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.06>.
3. Ki Jun W., Lee M.K., Young Cho J. (2018). Impact of the Smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 118, 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.004>.

4. Szu-Yu Kuo, Xiang-Rui Huang, Liang-Bi Chen. Smart ports: Sustainable smart business port operation schemes based on the Artificial Intelligence of Things and blockchain technologies. Volume 41, Issue 6, 2022. Pp. 32–37. DOI: 10.1109/MPOT.2022.3198808.
5. Chen J., Xue K., Ye J., Huang T., Tian Y., Hua C., Zhu Y. (2019). Simplified neutrosophic exponential similarity measures for evaluation of Smart port development. *Symmetry*, 11(4). <https://doi:10.3390/sym11040485>.
6. Tian Y., Hua C., Zhu Y. (2019). Simplified neutrosophic exponential similarity measures for evaluation of Smart port development. *Symmetry*, 11(4). <https://doi:10.3390/sym11040485>.
7. Weerasinghe B.A., Perera H.N. & Bai X. Optimizing container terminal operations: a systematic review of operations research applications. *Marit Econ Logist* 26, pp. 307–341. 2024. <https://doi.org/10.1057/s41278-023-00254-0>.
8. By Fox Chu, Sven Gailus, Lisa Liu, Liumin Ni. The future of automated ports. December 4, 2018. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-future-of-automated-ports>.
9. Harnessing automation for a future that works. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works>.
10. UNCTAD 2022: Sustainable Smart ports. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/presspb2023d5_en.pdf.
11. SmartPort – the intelligent port. URL: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>.
12. Smart ports: Piers of the Future 2021: sparks innovation through collaboration. 03 Dec, 2021. URL: <https://www.hafen-hamburg.de/en/press/news/smart-ports-piers-of-the-future-2021-sparks-innovation-through-collaboration/>.
13. Chu-Ting Hsu, Ming-Tao Chou, Ji-Feng Ding. Key factors for the success of Smart ports during the post-pandemic era. *Ocean & Coastal Management*. Volume 233, 15 February 2023, Page 106455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106455>.
14. Tsiulin, S., Reinau, K.H. (2023). How to Reduce Emissions in Maritime Ports? An Overview of Cargo Handling Innovations and Port Services. In: Arai, K. (eds) *Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 542. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16072-1_22.
15. Kuhn, T.S. *The structure of scientific revolutions*. Second Edition. Enlarged, Chicago, 1962, 1970. URL: <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Kuhn-SSR-2ndEd.pdf>.
16. Кун Т. Структура наукових революцій. Київ : Port-Royal, 2001. 228 с., С. 179. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Kun_Tomas/Struktura_naukovykh_revoliutsii.pdf.

17. Yantian International Container Terminal (YICT). Official Site. URL: <https://yict.com.cn/index.html>.
18. Port of Gwangyang: A New Logistics Hub of Northeast Asia. URL: <https://www.scribd.com/document/565455135/cC-E-°e-I-Å-µ-2>.
19. Long Beach Container Terminal (LBCT). Official Site. URL: <https://www.lbct.com/Home/index>.
20. Kagermann H., Anderl R., Gausemeier J., Schuh G., Wahlster W. Industrie 4.0 in a Global Context. Strategies for Cooperating with International Partners. Herbert Utz Verlag GmbH, 2016. 74 p. URL: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf.
21. Кравчук Ю.Г., Скоробогатова Н.Є. Україна в умовах індустрії 4.0: можливості та бар'єри. Актуальні проблеми економіки та управління: збірник наукових праць молодих вчених. 2020. Вип. 14. URL: <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/205842>.
22. Четверта промислова революція: зміна напрямів міжнародних інвестиційних потоків : монографія / за ред. А.І. Крисоватого, О.М. Сохачької. Тернопіль : Осадца Ю.В. 2018. 478 с.
23. Нікітін Ю.О., Кульчицький О.І. Цифрова парадигма як основа визначень: цифровий бізнес, цифрове підприємство, цифрова трансформація. *Marketing and Digital Technologies*. Volume 3, No 4, 2019. С. 77–87. DOI: 10.15276/mdt.3.4.2019.7.
24. Дроботюк Л.Л. Антонюк О.В. Smart-міста у сталому розвитку Китаю. URL: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-CYTI-SITE.pdf>.
25. 我国新型智慧城市发展现状、形势与政策建议 (wo guo xin xing zhi hui cheng shi fa zhan xian Zhuang, xing shi yu zheng ce jian yi). – National Development and Reform Commission of the PRC, 2020. URL: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/wsdwhfz/202005/t20200515_1228150.html.
26. Cho, S.W., Won, S.H. (2014). A study on the future development plan of container in Korea by analysing the cases of automated container terminals in Europe. *J. Eur. Union Stud*, 38, 205–236. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.004>.
27. Кириллова О.В. Теоретичні основи управління роботою флоту у транспортно-технологічних системах : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01 – транспортні системи ; Одеський національний морський університет. Одеса, 2017. 470 с.

REFERENCES

1. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Yu., Mahamadov O.R. (2024). The concept of “Smart port” in the context of global trends of integration of intelligent transport and information technologies in the port industry. *Scientific Journal “Proceedings of the V.I. Vernadsky Tavria National University. Series: Technical Sciences”*. Volume 35(74), No. 5, Helvetika Publishing House, 2024. URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/5_2024/part_2/16.pdf

2. Kyryllova O., Kyryllova V., Mahamadov O., & Romakh V. (2024). Smart port: новітні технології і міжнародний досвід їх упровадження. *Transport Development*, 2024. №(2(21)), 62–74. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.06>.
3. Ki Jun W., Lee M.K, Young Cho J. (2018). Impact of the Smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 118, 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.004>.
4. Szu-Yu Kuo, Xiang-Rui Huang, Liang-Bi Chen. (2022) Smart ports: Sustainable smart business port operation schemes based on the Artificial Intelligence of Things and blockchain technologies. Volume 41, Issue 6, 2022. Pp. 32–37. DOI: 10.1109/MPOT.2022.3198808.
5. Chen J., Xue K., Ye J., Huang T., Tian Y., Hua C., Zhu Y. (2019). Simplified neutrosophic exponential similarity measures for evaluation of Smart port development. *Symmetry*, 11(4). <https://doi:10.3390/sym11040485>.
6. Tian Y., Hua C., Zhu Y. (2019). Simplified neutrosophic exponential similarity measures for evaluation of Smart port development. *Symmetry*, 11(4). <https://doi:10.3390/sym11040485>.
7. Weerasinghe B.A., Perera H.N. & Bai X. (2024). Optimizing container terminal operations: a systematic review of operations research applications. *Marit Econ Logist* 26, pp. 307–341. 2024. <https://doi.org/10.1057/s41278-023-00254-0>.
8. By Fox Chu, Sven Gailus, Lisa Liu, Liumin Ni. (2018). The future of automated ports. December 4, 2018. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-future-of-automated-ports>.
9. Harnessing automation for a future that works. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works>.
10. UNCTAD 2022: Sustainable Smart ports. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/presspb2023d5_en.pdf.
11. SmartPort – the intelligent port. URL: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>.
12. Smart ports: Piers of the Future 2021: sparks innovation through collaboration. 03 Dec, 2021. URL: <https://www.hafen-hamburg.de/en/press/news/smart-ports-piers-of-the-future-2021-sparks-innovation-through-collaboration/>.
13. Chu-Ting Hsu, Ming-Tao Chou, Ji-Feng Ding. (2023). Key factors for the success of Smart ports during the post-pandemic era. *Ocean & Coastal Management*. Volume 233, 15 February 2023, Page 106455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106455>.
14. Tsiulin, S., Reinau, K.H. (2023). How to Reduce Emissions in Maritime Ports? An Overview of Cargo Handling Innovations and Port Services. In: Arai, K. (eds) *Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 542. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16072-1_22.

15. Kuhn T.S. (1970). Kuhn, T.S. The structure of scientific revolutions. Second Edition. Enlarged, Chicago, 1962, 1970. URL: <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Kuhn-SSR-2ndEd.pdf>.
16. Kuhn T. (2021). The Structure of Scientific Revolutions. Kyiv: Port-Royal, 2001. 228 p. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Kun_Tomas/Struktura_naukovykh_revoliutsii.pdf?, P. 179.
17. Yantian International Container Terminal (YICT). Official Site. URL: <https://yict.com.cn/index.html>.
18. Port of Gwangyang: A New Logistics Hub of Northeast Asia. URL: <https://www.scribd.com/document/565455135/cC-E-°e-I-Å-µ-2>.
19. Long Beach Container Terminal (LBCT). Official Site. URL: <https://www.lbct.com/Home/index>.
20. Kagermann H., Anderl R., Gausemeier J., Schuh G., Wahlster W. (2016). Industrie 4.0 in a Global Context. Strategies for Cooperating with International Partners. Herbert Utz Verlag GmbH, 2016. 74 p. URL: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf.
21. Kravchuk Y.H., Skorobogatova N.Ye. (2020). Ukraine in the Context of Industry 4.0: Opportunities and Barriers. Current Issues of Economics and Management: Collection of Scientific Papers by Young Scientists. 2020. Issue 14. URL: <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/205842>.
22. The Fourth Industrial Revolution: Changing Trends in International Investment Flows. Monograph. Edited by Doctor of Economic Sciences, Professor A.I. Krysvatyi and Doctor of Economic Sciences, Professor O.M. Sokhatska. Ternopil: Osadtsia Yu.V., 2018. 478 p.
23. Nikitin Y.O., Kulchytskyi O.I. (2019). The Digital Paradigm as the Foundation for Definitions: Digital Business, Digital Enterprise, Digital Transformation. Marketing and Digital Technologies. Volume 3, No. 4, 2019. PP. 77–87. DOI: 10.15276/mdt.3.4.2019.7.
24. Drobotyuk L.L., Antoniuk O.V., et al. (2021) Smart Cities in Sustainable Development of China. Publishing House 'Zavovit', 2021. pp. 213–237. URL: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-CYTI-SITE.pdf>.
25. Current Status, Trends, and Policy Recommendations for the Development of New-Type Smart Cities in China. National Development and Reform Commission of the PRC, 2020, https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/wsdwhfz/202005/t20200515_1228150.html.
26. Cho S.W., Won S.H. (2014). A study on the future development plan of container in Korea by analysing the cases of automated container terminals in Europe. J. Eur. Union Stud, 38, 205-236. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.004>.
27. Kyryllova O.V. (2017). Theoretical foundations of the fleet operation management in the transport - technological systems. Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences: 05.22.01 – Transport Systems. Olena Viktorivna Kyryllova. Odesa National Maritime University. Odesa, 2017. 470 p.