

SMART-КЛАСТЕРИ В ПОРТОВІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ: КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ТА ПРИКЛАДНІ ОРІЄНТИРИ

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. У статті розглянуто передумови формування Smart-класстерів у портовій системі України як перспективного напрямку технологічної трансформації морської інфраструктури. Концепція Smart-класстеризації ґрунтується на поєднанні просторово-інфраструктурної інтеграції з впровадженням цифрових технологій (IoT, штучного інтелекту, блокчейн-рішень, цифрових двійників), що дозволяє переосмислити організацію портових процесів на основі мережевої взаємодії, адаптивності та технологічної взаємопов'язаності. **Мета** дослідження полягає в обґрунтуванні Концепції дворівневих Smart-класстерів як інструменту модернізації портової системи України, здатного забезпечити цифрову інтеграцію, екологічну сталість і масштабовану взаємодію з глобальними транспортними мережами, з урахуванням провідного міжнародного досвіду, актуальних технологічних трендів і стратегічних завдань інфраструктурного відновлення у поствоєнний період. **Результати.** У статті систематизовано теоретичні підходи до класстеризації портів, класифіковано типи портових класстерів, проаналізовано їхній вплив на ефективність портової інфраструктури. Розкрито ключову роль просторово-інфраструктурної класстеризації у взаємодії портів із національними та міжнародними транспортними мережами. Запропоновано Концепцію дворівневих Smart Port класстерів (Concept of Two-Level Smart Ports Clusters, TL-SPC) / Дворівневих Інтелектуальних портових класстерів (Concept of Two-Level Intelligent Port Clusters, TL-IPC), що поєднує міжпортову та внутрішньопортову інтеграцію, забезпечуючи масштабованість, функціональну цілісність і адаптивність. Розглянуто приклади формування Smart-класстерів у Європі (Північноморський мегакласстер) та Азії (Greater Bay Area, Кітай), що підтверджують ефективність цифрової синергії у класстерних моделях. Встановлено, що дворівнева класстеризація слугує платформою для впровадження інтелектуальних технологій (штучного інтелекту, блокчейну, цифрових двійників) та сприяє екологічній трансформації. Запропонована модель формує стратегічну основу для трансформації українських портів у високотехнологічні інфраструктурні Smart-об'єкти, здатні забезпечувати безперервну цифрову

взаємодію, раціональне управління ресурсами та інтеграцію до глобальних транспортних мереж. **Висновок.** Дослідження підтвердило, що кластеризація є ключовим інструментом модернізації портів систем. Концепція TL-SPC/TL-IPC забезпечує структурну гнучкість, цифрову інтеграцію та підвищує інноваційний потенціал портів. Перехід до Глобальних Smart Port кластерів (Global Smart Port Clusters, G-SPC) або Глобальних Інтелектуальних портів систем (Global Intelligent Port Clusters, G-IPC) є наступним етапом еволюції портів систем, що передбачає комплексну інтеграцію в глобальну транспортну інфраструктуру. Запропонована концепція для України формує системоутворюючу основу для післявоєнного відновлення портової інфраструктури та її подальшого сталого розвитку, а також вимагає розроблення Національної Smart Port Стратегії та персоналізованих стратегій розвитку портів з урахуванням їхньої спеціалізації та інфраструктурного потенціалу.

Ключові слова: Smart Port, розумний порт, портові Smart-кластери, портові кластери, транспортні системи, транспортна інфраструктура, транспортні технології, вантажні перевезення.

SMART CLUSTERS IN THE PORT SYSTEM OF UKRAINE: CONCEPTUAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL ORIENTATIONS

O.V. Kyrylova¹, V.Yu. Kyrylova²

¹Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head at the Department of Ports Operation and Cargo Handling Technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 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 ID: 0000-0003-0738-0408

Summary

Introduction. This article explores the prerequisites for the development of Smart Clusters within Ukraine's port system as a forward-looking vector of technological transformation in maritime infrastructure. The concept of Smart Clustering is based on the convergence of spatial-infrastructural integration with the deployment of advanced digital technologies—such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, blockchain solutions, and digital twins. This synergy enables a rethinking of port operations through network-based interaction, adaptability, and technological interconnectivity. **Purpose.** The aim of this research is to substantiate the Concept of Two-Level Smart Clusters as a tool for modernizing Ukraine's port system, capable of ensuring digital integration, environmental sustainability, and scalable interaction with global transport networks, taking into account leading international experience, current technological trends, and the strategic tasks of infrastructure recovery in the post-war period. **Results.** The paper systematizes theoretical approaches to port clustering, classifies cluster types, and analyzes their impact on port infrastructure efficiency. It highlights the essential role of spatial and infrastructural clustering in enhancing the connectivity of ports with national and international transport corridors. The study introduces the Concept of Two-

*Level Smart Ports Clusters (TL-SPC) / Two-Level Intelligent Port Clusters (TL-IPC), combining inter-port and intra-port integration to ensure scalability, functional cohesion, and adaptive capacity. Case studies from Europe (North Sea Mega Cluster) and Asia (Greater Bay Area, China) demonstrate the effectiveness of digital synergy within cluster-based port models. The research confirms that two-level clustering acts as a platform for the implementation of intelligent technologies (AI, blockchain, digital twins) and supports the transition toward sustainable, environmentally conscious port operations. The proposed model lays a strategic foundation for transforming Ukrainian ports into high-tech Smart infrastructure nodes capable of continuous digital interaction, efficient resource management, and seamless integration into global transport networks. **Conclusions.** The findings underscore that clustering is a key instrument in modernizing port systems. The TL-SPC/TL-IPC framework offers structural flexibility, digital integration, and enhanced innovation potential. The transition towards Global Smart Port Clusters (G-SPC) or Global Intelligent Port Clusters (G-IPC) represents the next evolutionary step, emphasizing comprehensive integration into the global transport infrastructure. For Ukraine, this concept offers a system-building foundation for post-war reconstruction and sustainable redevelopment of port infrastructure. It also calls for the development of a National Smart Port Strategy and individualized port development strategies based on specialization and infrastructural capacity.*

Key words: Smart Port, intelligent port, port Smart Clusters, port clusters, transport systems, transport infrastructure, transport technologies, freight transportation.

Постановка проблеми. Сучасна світова портова індустрія переживає швидкі зміни під впливом цифрових технологій, автоматизації та інтеграції транспортних процесів. Традиційні портові системи вже не відповідають вимогам ефективності, екологічної стійкості та безпеки [1].

Концепція Smart Ports передбачає використання інтелектуальних технологій для підвищення ефективності, автоматизації процесів і цифрової взаємодії між усіма учасниками транспортного середовища. Однак ефективність окремих «розумних» портів буде обмеженою без створення єдиної мережі взаємодії між ними. Саме тому сучасна портова галузь потребує комплексного підходу, який реалізується через Концепцію Smart-кластерів. Вона передбачає інтеграцію кількох портів, транспортних вузлів, індустріальних зон та цифрових платформ у єдину високотехнологічну систему [2].

Через війну портова інфраструктура України зазнала значних втрат, що суттєво вплинуло на її функціонування, стан транспортних коридорів і загальну економічну ефективність. Блокада портів, руйнування критичних об'єктів та скорочення обсягів вантажоперевезень створили кризові умови для розвитку галузі. Однак після завершення воєнних дій відновлення портової системи має відбуватися не лише шляхом реконструкції зруйнованих об'єктів, а й через глибоку модернізацію. Реалізація Концепції Smart-кластерів сприятиме підвищенню конкурентоспроможності українських портів, їх технологічному розвитку та адаптації до глобальних транспортних тенденцій.

Актуальність дослідження. У післявоєнний період очікуються глибокі трансформації у структурі транспортних коридорів, торговельних потоків, економічних

зв'язків та геополітичних балансів у регіоні Чорного та Балтійського морів [2]. Одним із перспективних підходів до відновлення та модернізації портової системи України є впровадження Smart-кластерів – цифровізованих, автоматизованих та інтегрованих транспортних екосистем нового покоління [2]. Ця концепція дозволяє:

- створити єдину цифрову систему управління портами для ефективної взаємодії всіх учасників транспортного процесу;
- синхронізувати технологічні операції в межах кластеру, підвищуючи швидкість та ефективність вантажоперевезень;
- мінімізувати екологічний вплив портової діяльності завдяки інтелектуальному управлінню ресурсами;
- посилити конкурентоспроможність українських портів у глобальній транспортній системі.

Концепція Smart-кластерів передбачає об'єднання портів за географічними, функціональними та транспортними критеріями з метою оптимізації ланцюгів доставки та підвищення стійкості портової інфраструктури. Ефективність такого підходу підтверджується міжнародним досвідом кластерного управління, зокрема працями Майкла Портера [3] та інших дослідників. Дослідження [4] підкреслює важливість інтеграції Концепції Smart Ports у сучасні транспортні системи, що є особливо актуальним для України в контексті післявоєнної відбудови.

Таким чином, впровадження Smart-кластерів у портах України є стратегічно важливим кроком для модернізації морської інфраструктури та забезпечення її конкурентоспроможності [2]. Реалізація цієї Концепції дозволить не лише відновити втрачені потужності, а й створити сучасну транспортну систему, що відповідатиме міжнародним стандартам та сприятиме інтеграції України у європейські та світові ринки. Дослідження можливостей формування Smart-кластерів у портах України має визначальне значення для подальшого розвитку національної транспортної системи та її адаптації до нових гео економічних реалій.

Аналіз досліджень і публікацій за тематикою. Дослідження портової кластеризації активно проводяться в розвинених країнах, зокрема в Європі, Азії та Північній Америці. Наукові праці таких авторів, як Notteboom T., Rodrigue J.-P., De Langen P.W., та інших експертів [5–9] підтверджують ефективність кластерного підходу до організації функціонування портових комплексів. Портові кластери, такі як Rotterdam Smart Port (Нідерланди) та Singapore Maritime Cluster (Сінгапур), є успішними прикладами інтеграції цифрових технологій у портові екосистеми [1]. У фундаментальній праці [3] автор описує загальну концепцію кластерів та їх вплив на конкурентоспроможність регіонів і країн. У роботі [5] автори розглядають концепцію регіоналізації портів, яка передбачає їхню інтеграцію в регіональні логістичні мережі. Дослідження демонструє, що порти вже не є лише точками входу-виходу для товаропотоків, а стають частиною складних мульти-модальних логістичних ланцюгів. Формування портових кластерів розглядається як ключовий етап у розвитку сучасних портових систем. Дослідження [6] присвячене питанням управління морськими портовими кластерами. Автор аналізує механізми координації та взаємодії між державними регуляторами, приватними операторами та логістичними компаніями. Особлива увага приділена питанням

стратегії управління портовими кластерами для підвищення їхньої конкурентоспроможності. У роботі [7] розглядається роль портових кластерів у глобальних ланцюгах постачання. Автори досліджують, як порти можуть інтегруватися в міжнародні логістичні мережі, зокрема, через цифровізацію, автоматизацію та спільне використання інфраструктури. Дослідження містить порівняльний аналіз провідних світових портових кластерів. У статті [8] аналізується розвиток порту Дубай та його інтеграція в глобальні логістичні ланцюги. Автори визначають основні чинники, що впливають на формування стратегії портових кластерів, зокрема географічне розташування, державну політику та технологічні інновації. У статті [9] досліджується потенціал створення портових кластерів в Ірландії. Автори розглядають можливості кооперації між портами, що може сприяти підвищенню їхньої конкурентоспроможності. Робота містить детальний аналіз економічних вигод від кластерного підходу до розвитку портової інфраструктури.

Ці роботи є важливими для розуміння світового досвіду у сфері кластеризації портів та можуть бути використані для розробки моделей Smart-кластерів в Україні.

Формулювання цілей. Метою дослідження є обґрунтування Концепції дворівневих Smart-кластерів як інструменту модернізації портової системи України, здатного забезпечити цифрову інтеграцію, екологічну сталість і масштабовану взаємодію з глобальними транспортними мережами, з урахуванням провідного міжнародного досвіду, актуальних технологічних трендів і стратегічних завдань інфраструктурного відновлення у поствоєнний період.

Виходячи з мети, поставлені такі завдання:

1. Провести систематизацію теоретичних підходів до кластеризації портів, визначити основні типи портових кластерів та оцінити їхній вплив на ефективність портових систем.

2. Визначити роль просторово-інфраструктурної кластеризації у розвитку портових систем, а також їх взаємодії з національними та міжнародними транспортними мережами. Сформулювати положення щодо фундаментальної ролі просторово-інфраструктурної кластеризації у розвитку портових систем.

3. Обґрунтувати Концепцію Дворівневих Smart Port кластерів (Concept of Two-Level Smart Ports Clusters, TL-SPC) / Дворівневих Інтелектуальних портових кластерів (Concept of Two-Level Intelligent Port Clusters, TL-IPC) як інноваційну модель просторово-інфраструктурної кластеризації портів, передбачивши можливість її масштабування та трансформації у Концепцію Глобальних Smart Port кластерів (Concept of Global Smart Port Clusters, G-SPC) / Глобальних Інтелектуальних портових кластерів (Concept of Global Intelligent Port Clusters, G-IPC).

4. Оглянути приклади світового досвіду формування та розвитку Smart-кластерів у портовій індустрії.

5. Висвітлити можливості та перспективи впровадження концептуальної моделі Smart-кластерів у портову систему України в контексті глобальних трендів цифровізації, автоматизації та екологічної сталості, а також з урахуванням специфічних викликів і потреб, спричинених війною та необхідністю стратегічного відновлення української портової інфраструктури.

Основний матеріал дослідження. Кластеризація портів є сучасним підходом до підвищення ефективності та конкурентоспроможності морської

інфраструктури. Вона передбачає об'єднання портів та пов'язаних із ними підприємств у єдину систему для раціонального використання ресурсів, зниження витрат та стимулювання інновацій.

1. Теоретичні засади кластеризації портів. Кластеризація базується на концепції кластерів, яка була вперше детально описана Майклом Портером у його роботі «The Competitive Advantage of Nations» (1990) [3]. Портер визначив кластери як географічні концентрації взаємопов'язаних компаній, постачальників, сервісних фірм та пов'язаних інституцій у певній сфері, які одночасно співпрацюють та конкурують. Таким чином, класичне визначення кластеру передбачає сукупність взаємопов'язаних підприємств, організацій і структур, які взаємодіють у межах спільного економічного простору.

У контексті портової індустрії кластерний підхід передбачає інтеграцію портів, транспортних компаній, виробничих підприємств та інших зацікавлених сторін у єдину мережу. Це сприяє підвищенню ефективності технологічних процесів, зниженню витрат та стимулюванню інновацій.

У сучасній науковій літературі виокремлюють два основні підходи до визначення портових кластерів:

- міжпортові кластери – об'єднання кількох портів у рамках однієї економічної чи географічної зони, які спільно використовують транспортну інфраструктуру, технології та послуги;
- внутрішньопортові кластери – сукупність підприємств, що функціонують у межах одного великого порту, формуючи внутрішню мережу для інтеграції різноманітних функцій.

У наукових працях закордонних авторів також застосовуються інші підходи до класифікації портових кластерів, які враховують різноманітні характеристики та функції цих утворень. Наприклад:

- деякі класифікації акцентують увагу на рівні інтеграції між портами та на функціональних можливостях кластерів у глобальних транспортних ланцюгах;
- інші класифікації зосереджуються на взаємодії портів з іншими економічними секторами, такими як промисловість, енергетика та сільське господарство, підкреслюючи роль портових кластерів у розвитку регіональних економік;
- окремі підходи визначають порти як частину більш масштабних транспортних чи інфраструктурних мереж, що мають спільні інфраструктури та технології.

Така класифікація дозволяє врахувати важливість транспортних хабів, де порти є вузловими точками при взаємодії між різними видами транспорту. У цьому контексті порти розглядаються не лише як окремі інфраструктурні об'єкти, а й як частини міжнародних і міжрегіональних транспортних систем, які активно взаємодіють між собою для досягнення синергетичного ефекту.

Крім того, деякі класифікації зосереджуються на розвитку інноваційних портових технологій і послуг, таких як автоматизація вантажних операцій, використання «розумних» технологій для оптимізації портових процесів та підвищення енергоефективності.

Отже, загальний підхід до класифікації портових кластерів є багатограним і залежить від множини факторів, серед яких важливими є рівень інтеграції, функціональна спеціалізація та інноваційний потенціал портів у контексті глобальних

і локальних транспортних мереж. У зв'язку з цим існує кілька різних підходів до класифікації портових кластерів, які зосереджуються на різних аспектах їх функціонування та взаємодії. Серед них можна виділити такі класифікації, детально розглянуті в роботах закордонних авторів:

1. Функціональна класифікація [10]:

- транспортно-технологічні кластери зосереджені на наданні транспортних послуг, включаючи перевалку вантажів, зберігання та дистрибуцію;
- промислові кластери інтегрують виробничі підприємства, які використовують портову інфраструктуру для імпорту сировини та експорту готової продукції;
- інноваційні кластери спрямовані на розвиток досліджень та впровадження новітніх технологій у портовій сфері.

2. Географічна класифікація [6]:

- міжнародні кластери охоплюють порти, які обслуговують глобальні торговельні маршрути та мають стратегічне значення у світовій торгівлі;
- регіональні кластери об'єднують порти, що обслуговують певний географічний регіон та забезпечують внутрішньорегіональні перевезення;
- локальні кластери складаються з портів, які обслуговують місцеві потреби та мають обмежений радіус дії.

3. Структурна класифікація [11]:

- горизонтальні кластери об'єднують порти, які співпрацюють на одному рівні ланцюга постачання, наприклад кілька контейнерних терміналів;
- вертикальні кластери інтегрують порти з підприємствами різних рівнів ланцюга постачання, наприклад виробниками, дистриб'юторами та транспортно-експедиторськими компаніями.

4. Класифікація за рівнем інтеграції [12]:

- формальні кластери мають офіційно встановлені структури управління та координації між учасниками;
- неформальні кластери базуються на неофіційних домовленостях та співпраці між учасниками без чітко визначених структур.

Наведені вище систематизовані підходи до класифікації кластерів дають змогу висвітлити ключові теоретичні засади кластеризації портів, глибше усвідомити різноманітність портових кластерів та їхню функцію в глобальній економіці. Це, своєю чергою, створює підґрунтя для формування дієвих стратегій управління та розвитку портової інфраструктури.

Сучасний розвиток кластерних моделей передбачає інтеграцію таких технологій [1, 2]:

- штучного інтелекту та великих даних для прогнозування вантажопотоків;
- IoT (Інтернету речей) для моніторингу стану вантажів у режимі реального часу;
- блокчейну для забезпечення прозорості технологічних операцій;
- цифрових двійників портів для моделювання та оптимізації технологічних процесів.

2. Роль просторово-інфраструктурної кластеризації у розвитку портових систем. У сучасних умовах трансформації портової індустрії кластеризація портів відіграє дедалі важливішу стратегічну роль як інструмент підвищення конкурентоспроможності, технологічної ефективності та інтеграції в глобальні транспортні

мережі. Водночас наявні наукові підходи до кластеризації потребують уточнення та розширення, насамперед щодо визначення ролі просторово-інфраструктурної організації у формуванні та функціонуванні портів кластерів.

З огляду на це, у межах даного дослідження сформульовано низку теоретичних положень, що розкривають фундаментальне значення просторово-інфраструктурної кластеризації у розвитку портів систем. Це не лише актуалізує новий науковий підхід, а й створює умови для подальшого вдосконалення теоретико-методологічних засад кластеризації портів.

У цьому контексті просторово-інфраструктурна кластеризація розглядається не лише як основа класифікації або типологізації портів кластерів, але і як ключовий механізм їх створення, фундаментальна форма організації, функціонування, взаємодії та інтеграції у глобальні транспортні мережі. Такий підхід дозволяє осмислити кластеризацію як інструмент адаптації портів систем до сучасних викликів: цифрової трансформації, зростання екологічних вимог та автоматизації технологічних процесів.

На підставі проведеного аналізу теоретичні положення щодо ролі просторово-інфраструктурної кластеризації систематизовано в такий спосіб:

Положення 1. Міжпортів та внутрішньопортів кластери доцільно розглядати як ключові елементи просторово-інфраструктурної кластеризації портів.

Кластеризація портів базується на тривірневій ієрархічній структурі, що включає:

- макрорівень – міжнародні транспортні коридори, великі міжпортів класери глобального масштабу;
- мезорівень – регіональні міжпортів класери, які об'єднують декілька портів в межах однієї країни або суміжних країн, що функціонують у тісній взаємодії. Ці класери можуть мати як національний (портів класери однієї країни), так і транснаціональний характер (портів класери різних країн);
- мікрорівень – внутрішньопортів класери, що включають термінали, операторів, транспортні компанії та інших суб'єктів ринку портів послуг, які діють у межах одного порту.

Такий тривірневий підхід, а також гібридні варіанти кластеризації визначають провідну практику управління транспортними системами, портами та їх інфраструктурою. Вибір конкретного варіанту залежить від регіональної специфіки, рівня технологічного розвитку, ступеня цифровізації та масштабів транспортної мережі.

Приклади реалізації тривірневої кластеризації:

- Європейська транспортна мережа TEN-T (Trans-European Transport Network, TEN-T): на макрорівні – об'єднання основних транспортних вузлів у міжнародні коридори; на мезорівні – створення регіональних транспортних центрів; на мікрорівні – функціонування локальних терміналів.
- Порт Сінгапуру: на макрорівні – глобальна інтеграція в азійські транспортні мережі; на мезорівні – регіональна кооперація з портами Малайзії та Індонезії; на мікрорівні – цифрові та автоматизовані внутрішньопортів термінали.

Міжпортів та внутрішньопортів класери в межах існуючого підходу до класифікації портів кластерів є невід'ємними елементами просторово-інфраструктурної кластеризації. Вони не лише типологічно належать до класифікації

портових кластерів, але й визначають територіальну організацію портів. Між-портові та внутрішньопортові кластери виступають організаційно-просторовими формами реалізації кластерного підходу, формуючи основу для розвитку сучасних транспортних технологій, оптимізації вантажопотоків та ефективної інтеграції у міжнародні транспортні мережі.

Положення 2. Міжпортові кластери формуються через регіоналізацію портів і об'єднання їх форлендів та хінтерлендів в єдину систему.

Такі кластери виникають у процесі інтеграції прибережних портів із навколишніми територіями та внутрішніми регіонами [13], що дозволяє сформувати єдину транспортно-інфраструктурну систему. Така взаємодія виступає не лише типологічною ознакою, а й чинником підвищення ефективності використання ресурсів та територіального розвитку. Це створює умови для інтеграції портів у глобальні транспортні ланцюги.

Міжпортові кластери сприяють оптимізації вантажопотоків; ефективній координації та взаємодії між портами і перевізниками; підключенню до глобальних транспортних коридорів.

На підставі вищесказаного сформулюємо наступне визначення (рис. 1):

Міжпортовий кластер – це інтегроване об'єднання декількох портів у межах однієї геоелектричної зони, які спільно використовують транспортну інфраструктуру та технології, координують свої форленди, хінтерленди, вантажопотоки, потоки транспортних засобів, транспортні зв'язки, інформаційні системи й технологічні процеси, функціонуючи в межах регіоналізованого середовища. Така взаємодія не лише визначає типологічні характеристики, а й виступає важливим чинником підвищення ефективності використання ресурсів і сприяння територіальному розвитку, що створює передумови для функціонування кластера як єдиної інтегрованої структури.

Положення 3. Внутрішньопортові кластери є ядром локальної просторової організації портової діяльності. Вони формуються як сукупність підприємств, портових операторів та інших суб'єктів ринку, що функціонують у межах однієї портової території. Їхня взаємодія забезпечує: синергетичний ефект за рахунок координації операцій; підвищення ефективності портових процесів; сталий розвиток інфраструктури. Таким чином, внутрішньопортові кластери не є лише територіальними об'єднаннями підприємств, а являють собою комплексні просторово-інфраструктурні системи, що забезпечують координацію діяльності суб'єктів у межах визначеної портової території та акваторії, підвищуючи ефективність портових операцій.

На підставі вищесказаного сформулюємо таке визначення (рис. 1):

Внутрішньопортовий кластер – це інтегроване виробничо-економічне об'єднання підприємств, що функціонують у межах одного порту (його території та акваторії, визначених законодавством), формуючи локалізовану мережу взаємодії для координації ключових функцій портової діяльності та забезпечення синергетичної співпраці всіх учасників кластера. В умовах цифровізації, автоматизації та екологічної трансформації такі кластери сприяють підвищенню конкурентоспроможності порту та сталому розвитку його інфраструктури.



Рис. 1. Структуруючі елементи просторово-інфраструктурної кластеризації портів

Положення 4. Просторово-інфраструктурна кластеризація є базовим механізмом формування портових систем.

Вона визначає структурну організацію кластерів, функціональну взаємодію між суб'єктами ринку та рівень інтеграції портів у глобальні транспортні мережі. Будь-який портовий кластер функціонує на основі взаємопов'язаних виробничих, транспортних, фінансових, інформаційних потоків, які формують єдину екосистему. У цьому контексті просторово-інфраструктурна організація не лише забезпечує фізичну присутність і координацію учасників, а й визначає саму можливість існування кластерних форм організації портової діяльності.

Положення 5. Сучасні тенденції свідчать, що просторово-інфраструктурна кластеризація не лише забезпечує локальну взаємодію між портами, а й виступає ключовим механізмом їх глобальної інтеграції.

Просторово-інфраструктурна кластеризація дозволяє: ефективно інтегрувати порти в міжнародні транспортні коридори та глобальні ланцюги постачання; реалізовувати Концепцію Smart Ports; адаптувати порти до викликів цифровізації, глобалізації та екологічної трансформації. Кластеризація, яка виходить за межі локальної взаємодії, стає інструментом глобальної трансформації портової індустрії, формуючи нові моделі співпраці, координації та інтеграції між портами на світовому рівні.

Таким чином, просторово-інфраструктурна кластеризація не лише окреслює структурні контури сучасних портових систем, але й визначає стратегічні напрями

їх розвитку в умовах цифрової економіки, технологічної еволюції та екологічних викликів. Вона виступає фундаментальною платформою для формування та реалізації нової Концепції Дворівневих Smart Port кластерів (Concept of Two-Level Smart Ports Clusters, TL-SPC) з можливістю подальшого масштабування та трансформації в Концепцію Глобальних Smart Port кластерів (Concept of Global Smart Port Clusters, G-SPC). Йдеться про концепції інтелектуальних, сталих та інтегрованих портових кластерів, здатних ефективно функціонувати у складному глобальному середовищі.

3. Концепція Дворівневих Smart Port кластерів: стратегія масштабування у глобальну кластерну архітектуру. На основі вищезазначених положень можна зробити припущення, що просторово-інфраструктурна кластеризація портів на мезорівні розвивається відповідно до загальної тенденції глобалізації та масштабування, охоплюючи як міжпортові, так і внутрішньопортові кластерні утворення. Виходячи з цієї закономірності, доцільно сформулювати Концепцію Дворівневої кластеризації портів, у межах якої інтеграція міжпортових і внутрішньопортових кластерів забезпечує формування нової масштабної функціональної структури. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності функціонування портових систем, поглибленню їх інтеграції у міжнародні транспортні мережі та зміцненню конкурентоспроможності.

Логічним продовженням такого підходу є його концептуалізація у таких варіантах:

- на макрорівні – Концепція Глобальних Smart Port кластерів (Global Smart Port Clusters, G-SPC) або Глобальних Інтелектуальних портових кластерів (Global Intelligent Port Clusters, G-IPC);
- на мезорівні – Концепція Дворівневих Smart Port кластерів (Two-Level Smart Port Clusters, TL-SPC) або Дворівневих Інтелектуальних портових кластерів (Two-Level Intelligent Port Clusters, TL-IPC).

З метою подальшого конкретизування визначених ідей викладемо їх теоретичні засади, які обґрунтовують необхідність інтеграції різних фаз кластеризації у глобальній транспортній системі.

Основні теоретичні положення:

Положення 1. Концепція TL-SPC/TL-IPC пропонує новий інтеграційний підхід до просторово-інфраструктурної кластеризації портів, що передбачає структурне та функціональне поєднання міжпортових і внутрішньопортових кластерів. У межах такої моделі формується єдина масштабована система, яка створює синергію між окремими елементами портової інфраструктури й забезпечує її адаптивність та стійкість у глобальному транспортному середовищі.

Положення 2. Кластер, сформований на основі інтеграції міжпортових і внутрішньопортових структур, доцільно ідентифікувати як Дворівневий Smart Port кластер (TL-SPC) або Дворівневий Інтелектуальний портовий кластер (TL-IPC). Такий кластер функціонує як адаптивна, динамічна система з високим рівнем гнучкості, здатна трансформуватись відповідно до змін у зовнішньому середовищі.

Положення 3. Кластер TL-SPC/TL-IPC забезпечує високий рівень інтеграції між його учасниками: узгодженість інформаційних потоків, оптимізацію ресурсів та зростання операційної ефективності. Його роль полягає не лише

у функціонуванні як транспортно-інфраструктурного комплексу, а й у створенні платформи для цифрової трансформації, автоматизації та інноваційного розвитку портової галузі.

Положення 4. Функціональна структура кластеру TL-SPC/TL-IPC базується на принципах: системної інтеграції; цифрової трансформації; сталого розвитку. Це дозволяє:

- оптимізувати транспортні потоки за рахунок впровадження інноваційних технологій та автоматизованих систем управління;
- зменшити екологічне навантаження через використання «зелених» технологій та енергоефективних рішень;
- забезпечити глобальну синергію між портами, транспортними коридорами та логістичними хабами;
- гарантувати високу адаптивність до технологічних змін, ринкових коливань та нових вимог у глобальному транспортному середовищі.

Положення 5. Кластери TL-SPC/TL-IPC виконують ключову роль у світовій транспортній мережі, виступаючи як:

- єдиний цифровий простір для обміну інформацією між портами та транспортними операторами;
- середовище для впровадження штучного інтелекту, блокчейн-технологій та автоматизованих алгоритмів управління;
- інтеграційна платформа для розвитку мультимодальних транспортних систем;
- інструмент формування глобальної конкурентоспроможності портових систем.

Положення 6. Просторово-інфраструктурна кластеризація у формі TL-SPC/TL-IPC має розглядатися не лише як інструмент класифікації, а і як базова системоутворююча модель організації портових систем. Вона формує основу для забезпечення узгодженої взаємодії між структурними рівнями управління, інтегрує порти у глобальні транспортні мережі та підвищує їхню функціональну стійкість у динамічному середовищі міжнародних перевезень.

Положення 7. Реалізація концепції TL-SPC/TL-IPC та перехід до форматів G-SPC/G-IPC – це стратегічна модель трансформації глобальної портової інфраструктури, яка поєднує інноваційність, гнучкість управлінських рішень, цифрову підтримку процесів та орієнтацію на принципи сталого розвитку. У цьому контексті порти перестають бути лише транспортними вузлами й перетворюються на стратегічні структуроутворюючі елементи, що формують інфраструктурний каркас глобальних транспортних зв'язків. Вони не лише забезпечують ефективну інтеграцію міжрегіональних потоків, а й функціонують як платформи для цифрових сервісів, інтелектуального управління та адаптивної координації в умовах динамічного глобального середовища.

4. Світовий досвід формування та розвитку Smart-кластерів у портовій індустрії. Інституціоналізація та практична реалізація Концепції Smart Port кластерів у сучасному світі набувають все більшого поширення. У різних регіонах спостерігається тенденція до формування не лише окремих цифрових або автоматизованих портів, а саме кластерних структур, які об'єднують інтелектуальні рішення на декількох рівнях: внутрішньопортовому, міжпортовому та макрорегіональному. Цей підхід узгоджується із запропонованою вище Концепцією Дворівневих

Smart Port кластерів (TL-SPC / TL-IPC), в основі якої лежить інтеграція кластерів у масштабну функціональну екосистему. У цьому контексті особливо показовими є кейси Європейського та Азійського регіонів, де реалізація кластерної моделі відбувається на високому рівні інтеграції.

А) Європейський кейс. Північноморський Smart Port мегакластер.

У межах північноєвропейського регіону формується один із найбільш показових прикладів мезо- та макрокластеризації – Північноморський Smart Port мегакластер, до складу якого входять ключові глибоководні порти Західної Європи: Роттердам, Антверпен, Гамбург та низка менших портів Північного моря [1].

Ключові характеристики:

- інтеграція цифрових платформ для управління ланцюгами поставок (Port Community Systems);
- автоматизація вантажопереробки, використання цифрових двійників портової інфраструктури;
- єдиний цифровий простір, що забезпечує обмін даними між портами та терміналами;
- міжпортова координація екологічних ініціатив, зокрема у сфері скорочення викидів CO₂;
- переорієнтація з конкуренції на кооперацію, що дозволяє будувати кластерну стратегію розвитку в межах макрорегіону.

Усі ці аспекти свідчать про наявність дієвої дворівневої структури, що поєднує індивідуальні Smart-ініціативи портів з їх синергетичною взаємодією на міжпортовому та макрорівнях.

Б) Азійський кейс. Smart-кластер Greater Bay Area, Китай

Інший стратегічно важливий приклад кластеризації – це регіон Greater Bay Area на півдні Китаю, який охоплює порти Шеньчжень, Гонконг, Гуанчжоу та інші транспортні вузли. У межах цієї агломерації реалізується інтегрована Smart-екосистема портів, що підтримує як регіональні, так і глобальні потоки.

Ключові характеристики:

- цифрова уніфікація портових операцій, впровадження AI-рішень для управління транспортними потоками;
- створення єдиного інформаційного середовища, що об'єднує комерційні, адміністративні та технологічні компоненти;
- спільне управління даними та транспортною інфраструктурою в межах регіону;
- високий рівень технологічної взаємодії між портами з урахуванням державної стратегії «Один пояс – один шлях».

Цей приклад демонструє успішне втілення дворівневої моделі кластеризації з подальшим переходом до макрорівневої координації на міжнародному рівні, що повністю відповідає запропонованій вище ідеї Global Smart Port Clusters (G-SPC / G-IPC).

Таким чином, світовий досвід підтверджує ефективність кластерного підходу до цифрової трансформації портів, який ґрунтується на таких положеннях:

- поєднання інтелектуальних технологій з просторовою координацією;
- поступовий перехід від внутрішньопортових Smart-рішень до міжпортової інтеграції;

- розвиток функціональної взаємодії в межах макрорегіонів та глобальних транспортних мереж;

- створення умов для підвищення конкурентоспроможності портових систем.

Розглянуті приклади підтверджують доцільність адаптації запропонованої вище Концепції TL-SPC / TL-IPC до розвитку національних портових систем.

5. Потенціал впровадження концептуальної моделі Smart-кластерів у портову систему України в умовах глобальних трендів та післявоєнного відновлення. Україна має стратегічно вигідне географічне розташування та сформовану систему морських і річкових портів. Проте внаслідок масштабної військової агресії РФ більшість ключових портів зазнали суттєвих ушкоджень, що поставило перед країною безпрецедентні завдання з їх відновлення, модернізації та адаптації до нових умов і вимог глобальних транспортних систем.

У цьому контексті концепція Smart-кластерів постає як інноваційний інструмент для трансформації портової системи України. Її реалізація дозволить спрямувати відновлення портової інфраструктури у бік цифрової, автоматизованої, екологічно сталої та економічно ефективної моделі розвитку. Впровадження Smart-кластерів забезпечить підвищення конкурентоспроможності українських портів, посилення їх інтеграції у світові транспортні мережі та зміцнення ролі України в глобальних ланцюгах постачання.

Концептуальна модель Smart-кластерів для українських портів передбачає поєднання передових технологій, інноваційних управлінських підходів та орієнтацію на сталий розвиток. До її ключових компонентів належать:

- цифрова платформа управління портом – інтегрована інформаційна система, що забезпечує взаємодію всіх учасників транспортного процесу, оптимізацію ланцюгів постачання та підвищення операційної ефективності за допомогою штучного інтелекту та блокчейн-технологій. В умовах післявоєнного відновлення така платформа стане базовим інструментом забезпечення безпеки та захисту даних, зокрема для контролю руху товарів та запобігання незаконному переміщенню вантажів;

- автоматизовані транспортні коридори – впровадження цифрових рішень для забезпечення безперервного, безпечного та ефективного руху вантажів, зокрема, через використання інтелектуальних транспортних систем (ITS), автономних транспортних засобів, роботизованих перевантажувальних комплексів;

- екологічний моніторинг та енергоефективність – використання IoT-технологій для моніторингу екологічного стану портів, включаючи рівень викидів забруднюючих речовин, стан водного середовища та управління відходами. Не менш важливим є впровадження технологій відновлюваної енергетики, зокрема сонячних, вітрових і гідроенергетичних установок, що дозволять забезпечити сталий розвиток портових операцій навіть у складних умовах післявоєнного відновлення інфраструктури;

- мультимодальна інтеграція – розширення мультимодальних перевезень через цифрові платформи взаємодії між портами та залізничними, автомобільними і річковими терміналами. З огляду на потребу оптимізації маршрутів у післявоєнний період, інтеграція різних видів транспорту допоможе зменшити залежність від порушених чи відновлюваних інфраструктур;

– кібербезпека та цифровий суверенітет – створення національної системи кіберзахисту портової інфраструктури та критичних ІТ-компонентів для забезпечення стабільної роботи портових систем та захисту інформаційних потоків. Це дозволить не лише гарантувати безперебійну реалізацію портових операцій, а й зберегти контроль над національним інформаційним середовищем у період підвищених зовнішніх загроз.

Реалізація концепції Smart-кластерів у портовій системі України повинна здійснюватися поступово, із пріоритетом на відновлення критичних вузлів портової системи, які забезпечують міжнародну торгівлю, експортний потенціал та зв'язок із ключовими європейськими транспортними коридорами.

Реалізація цієї концепції матиме мультиплікативний ефект: відновлення конкурентоспроможності українських портів, підвищення ефективності мультимодальних перевезень, розширення інтеграції у міжнародні транспортні мережі, зниження вразливості до зовнішніх викликів і формування стійкої, інноваційної транспортної системи, здатної адаптуватися до глобальних змін.

Подальші дослідження мають зосередитися на розробці поетапної дорожньої карти впровадження Smart-кластерів у національну портову систему з урахуванням: актуальних безпекових вимог; стану критичної інфраструктури; фінансово-економічних обмежень; потреб міжнародної торгівлі.

Особливу увагу слід приділяти економічній доцільності створення окремих портових Smart-кластерів у межах Національної стратегії розвитку інтелектуальних портів (National Strategy for the Development of Smart Ports), що має стати базовим документом для післявоєнного оновлення української портової галузі [4; 14].

Таким чином, запровадження Smart-кластерів у портовій системі України стане ключовим чинником її післявоєнної відбудови та інтеграції в сучасну глобальну транспортну систему. Реалізація цієї концепції сприятиме створенню інноваційної транспортної екосистеми, що відповідатиме світовим тенденціям цифровізації, автоматизації та екологічної стійкості. Це, своєю чергою, дозволить підвищити конкурентоспроможність українських портів, забезпечити ефективний розвиток мультимодальних перевезень та посилити позиції України у світовій системі транспортних комунікаційних мереж.

Водночас необхідно поглибити дослідження щодо формування поетапного плану впровадження Smart-кластерів, що враховуватиме актуальні безпекові ризики, стан критичної інфраструктури та адаптацію до нових економічних реалій. Важливим напрямом є також оцінка економічної ефективності створення кожного окремого портового Smart-кластера в контексті загальної Smart Port Стратегії розвитку національної портової системи України. Деталізація цієї Стратегії повинна передбачати локальні (персоналізовані) стратегії для кожного українського порту з урахуванням його спеціалізації, транспортних зв'язків і потенціалу інтеграції в міжнародні транспортні ланцюги [4; 14].

Висновки. Кластеризація портів виступає стратегічним інструментом підвищення ефективності та конкурентоспроможності морської інфраструктури, забезпечуючи зниження витрат і стимулювання інновацій. Сучасна кластерна модель, інтегрована з інтелектуальними технологіями (ІІТ, блокчейн, цифрові двійники), підсилює роль портів у глобальних транспортних системах. Запропонована нова

Концепція Дворівневих Smart Port кластерів (TL-SPC) / Дворівневих Інтелектуальних портових кластерів (TL-IPC) поєднує міжпортову та внутрішньопортову кластеризацію, створюючи цілісну цифрову архітектуру, що сприяє масштабованості, трансформації та сталому розвитку. Подальшим етапом її еволюції є формування Концепції Глобальних Smart Port кластерів (G-SPC) / Глобальних Інтелектуальних портових кластерів (G-IPC) – нових підходів, що орієнтовані на глибоку інтеграцію до міжнародних транспортних мереж із фокусом на інновації, цифровізацію та екологічну сталість. Міжнародні приклади, зокрема Північноморський мегакластер і Greater Bay Area в Китаї, підтверджують ефективність такої моделі, заснованої на цифровій синергії та екополітиці. Для України Концепція Smart-кластерів може стати основою трансформації портової системи в умовах післявоєнного відновлення, забезпечуючи цифрову сумісність, національну безпеку та формування персоналізованих Стратегій розвитку портів з урахуванням їхньої спеціалізації, інфраструктурного стану та інтеграційного потенціалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. «Smart Ports» як інноваційний вектор технологічної трансформації та цифровізації портів: від ідеї до концепції та практичної реалізації. *Розвиток транспорту. Транспортні технології (за видами)*. 2024. № 4(23). С. 77–95. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.07>.
2. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Концепція Smart-кластерів у портах України. *Marine Power Plants & Operation, MPP&O-2025* : матеріали V Міжнародної морської науково-практичної конференції кафедри СЕУ і ТЕ, м. Одеса, 04 березня 2025 р. Одеса: ОНМУ, 2025. URL: <https://drive.google.com/file/d/1P7siNJ6FHyKq9HLxS8I9mumaVnamzYR8/view>.
3. Porter M. E. *The Competitive Advantage of Nations*. New York : Free Press, 1990.
4. Kyryllova O., Kyryllova, V., Mahamadov, O., & Romakh, V. Smart port: the latest technologies and international experience in their implementation. *Transport Development*. 2024. № 2(21). С. 62–74. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.06>.
5. Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2005). Port Regionalization: Towards a New Phase in Port Development.
6. De Langen, P. W. Governance in seaport clusters. *Maritime Economics & Logistics*. 2004. № 6(2). P. 141–156.
7. Song, D.-W., & Panayides, P. M. Global Supply Chain and Port/Terminal: Integration and Competitiveness. 2008.
8. Jacobs, W., & Hall, P. V. What Conditions Supply Chain Strategies of Ports? The Case of Dubai. 2007.
9. Brett, V., & Roe, M. The Potential for Port Clustering in Ireland. 2010.
10. Notteboom, T., & Winkelmann, W. Reassessing public sector involvement in European seaports. *International Journal of Maritime Economics*. 20013. № 2. P. 242–259.

11. Song, D. W. Port co-opetition in concept and practice. *Maritime Policy & Management*. 2003. № 30(1). P. 29–44.
12. Van der Lugt, L. M., De Langen, P. W., & Hagdorn, L. Beyond the landlord: worldwide empirical analysis of port authority strategies. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. 2003. № 5(1). P. 1–16.
13. Kyrylova O., & Kyrylova V. Теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів. *Транспортні системи і технології*. 2022. № 40. P. 170–189. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15>.
14. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю., Магамадов О.Р. Поняття «Smart Port» у контексті глобальних тенденцій інтеграції інтелектуальних транспортних та інформаційних технологій у портовій індустрії. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Том 35(74). № 5. Видавничий дім «Гельветика», 2024. С. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.2/14>.

REFERENCES

1. Kyrylova O.V., Kyrylova V.Y. (2024). «Smart Ports» as an innovative vector of technological transformation and digitalization of ports: from idea to concept and practical implementation [«Smart Ports» як innovatsiyniy vektor tekhnolohichnoi transformatsii ta tsyfrovizatsii portiv: vid idei do kontseptsii ta praktychnoi realizatsii]. *Transport development. Transport technologies (by type)*, 4(23), p. 77. Видавничий дім «Гельветика». DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.07> [in Ukrainian].
2. Kyrylova O.V., Kyrylova V.Y. (2025). The concept of Smart clusters in the ports of Ukraine [Kontseptsiiia Smart-klasteriv u portakh Ukrainy]. *Marine Power Plants & Operation, MPP&O-2025: materials of the V International Maritime Scientific and Practical Conference of the Department of SEU and TE (Odesa, March 04, 2025) / Odessa National Maritime University. Odesa, ONMU*. URL: <https://drive.google.com/file/d/1P7siNJ6FHyKq9HLxS8I9mumaVnamzYR8/view> [in Ukrainian].
3. Porter M.E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press.
4. Kyrylova O., Kyrylova, V., Mahamadov, O., & Romakh, V. (2024). Smart port: the latest technologies and international experience in their implementation [Smart-port: novitni tekhnolohii ta mizhnarodnyi dosvid yikh vprovadzhennia]. *Transport Development*, 2(21), 62–74. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.06> [in Ukrainian].
5. Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2005). *Port Regionalization: Towards a New Phase in Port Development*.
6. De Langen, P. W. (2004). Governance in seaport clusters. *Maritime Economics & Logistics*, 6(2), 141–156.
7. Song, D.-W., & Panayides, P. M. (2008). *Global Supply Chain and Port/Terminal: Integration and Competitiveness*.
8. Jacobs, W., & Hall, P. V. (2007). *What Conditions Supply Chain Strategies of Ports? The Case of Dubai*.

9. Brett, V., & Roe, M. (2010). The Potential for Port Clustering in Ireland.
10. Notteboom, T., & Winkelmann, W. (2001). Reassessing public sector involvement in European seaports. *International Journal of Maritime Economics*, 3(2), 242–259.
11. Song, D. W. (2003). Port co-opetition in concept and practice. *Maritime Policy & Management*, 30(1), 29–44.
12. Van der Lugt, L. M., De Langen, P. W., & Hagdorn, L. (2003). Beyond the landlord: worldwide empirical analysis of port authority strategies. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 5(1), 1–16.
13. Kyrylova O.V., Kyrylova V.Y. (2022). Theoretical foundations of spatial and functional evolution of ports [Teoretychni osnovy prostorovoi ta funktsionalnoi evoliutsii portiv] // *Transportation systems and technologies*, (40), 170–189. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15> [in Ukrainian].
14. Kyrylova O.V., Kyrylova V.Y., Mahamadz O.R. (2024). The concept of «Smart Port» in the context of global trends in the integration of intelligent transport and information technologies in the port industry [Poniattia «Smart Port» u konteksti hlobalnykh tendentsii intehratsii intelektualnykh transportnykh ta informatsiynykh tekhnolohii u portovii industrii] // *Scientific journal «Scientific notes of the V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences»*. Volume 35(74), No. 5, Helvetica Publishing House, p. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.2/14> [in Ukrainian].