

Кириллова В.Ю.

<https://orcid.org/0000-0003-0738-0408>

Одеський національний морський університет

Кириллова О.В.

<https://orcid.org/0000-0002-3414-7364>

Одеський національний морський університет

ТРИАДНА КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ РОЗВИТКУ ПОРТОВИХ СИСТЕМ: SMART PORT, PUBLIC – PRIVATE PARTNERSHIP, PEOPLE – PLANET – PROFIT

Сучасний етап розвитку портової індустрії характеризується глибокими трансформаційними процесами, зумовленими цифровізацією транспортної інфраструктури, еволюцією інституційних моделей управління портами та зростанням ролі принципів сталого розвитку у функціонуванні транспортних систем. У цих умовах порти дедалі більше трансформуються з елементів транспортної інфраструктури у складні організаційно-технологічні системи, інтегровані у глобальні транспортні мережі та системи розподілу матеріальних потоків. Це актуалізує необхідність розроблення інтегрованих теоретичних підходів до аналізу трансформації портових систем.

Метою статті є теоретичне обґрунтування інтегрованого концептуального підходу до аналізу розвитку портових систем на основі формування триадної моделі їх трансформації. У роботі запропоновано *Triadic Framework for Smart Port Development* – триадну концептуальну модель розвитку портових систем, яка інтегрує три ключові виміри трансформації портової індустрії: технологічний (концепція *Smart Port*), інституційний (механізми *Public–Private Partnership*) та соціально-еколого-економічний (принципи *People–Planet–Profit*).

У дослідженні узагальнено сучасні наукові підходи до аналізу цифрової трансформації портів, інституційних моделей управління портовою інфраструктурою та концепцій сталого розвитку. Встановлено, що існуючі дослідження характеризуються методологічною фрагментацією, зумовленою ізольованим розглядом технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних аспектів розвитку портових систем. Запропонована модель дозволяє подолати зазначену фрагментацію шляхом інтеграції відповідних вимірів у межах єдиної аналітичної рамки.

Концептуальну модель формалізовано у вигляді функціональної залежності розвитку портової системи від рівня технологічної трансформації, ефективності інституційних механізмів та відповідності принципам сталого розвитку. Показано, що їх взаємодія формує інтегровану систему розвитку портових систем у сучасних умовах цифрової трансформації.

Практичне значення запропонованого підходу полягає у можливості його використання як аналітичного інструменту для оцінювання стратегій розвитку портів, аналізу інфраструктурних проєктів та обґрунтування управлінських рішень у сфері модернізації портової інфраструктури. Зокрема, *Triadic Framework for Smart Port Development* може застосовуватися для комплексного аналізу альтернативних моделей розвитку портових систем, включаючи проєкти державно-приватного партнерства та концесійного розвитку.

Ключові слова: транспортні системи, транспортні технології, водний транспорт, портові системи, *Smart Port*, державно-приватне партнерство, концесія, сталий розвиток, цифрова трансформація портів, портова інфраструктура.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку портової індустрії характеризується глибокими трансформаційними процесами, пов'язаними з цифровізацією транспортної інфраструктури, еволюцією моделей управління портами та зрос-

танням ролі інтегрованих транспортних систем у глобальній економіці. У цих умовах порти перестають розглядатися виключно як локальні транспортні вузли та дедалі більше трансформуються у багатофункціональні транспортно-розподільні



центри і портово-промислові комплекси, що інтегрують технологічні, виробничі та сервісні функції. Вони виступають як складні організаційно-технологічні системи, інтегровані у міжнародні транспортні мережі та глобальні системи розподілу матеріальних потоків.

Одним із ключових напрямів трансформації портової діяльності є реалізація концепції *Smart Port*, яка передбачає використання цифрових технологій, систем управління даними, автоматизації портових процесів і платформної інтеграції учасників транспортного процесу. Впровадження технологій Internet of Things, штучного інтелекту, цифрових платформ та аналітики великих даних трансформує логіку функціонування портів, забезпечуючи підвищення ефективності управління, прозорості операцій та інтеграції портів у сучасні транспортні системи.

Паралельно з технологічною трансформацією відбувається еволюція інституційних моделей управління портами, пов'язана з поширенням механізмів державно-приватного партнерства (*Public – Private Partnership, PPP*). У сучасних умовах PPP-моделі виступають ключовим інституційним механізмом модернізації портової інфраструктури, забезпечуючи залучення інвестицій, розвиток терміналів та підвищення ефективності управління портовими активами. Особливого значення набувають концесійні моделі, які формують інституційну основу реалізації інфраструктурних проєктів і забезпечують баланс між державними інтересами та ефективністю приватного управління [8, с. 295-301].

Попри значну кількість досліджень, присвячених цифровізації портів і використанню механізмів державно-приватного партнерства, у сучасній науковій літературі ці напрями здебільшого розглядаються ізольовано. Технологічні аспекти розвитку портових систем аналізуються у межах концепції *Smart Port*, тоді як інституційні механізми – у межах теорії державно-приватного партнерства. Така диференціація підходів зумовлює фрагментарність наукового аналізу процесів трансформації портової індустрії.

Водночас практичний досвід розвитку портових систем свідчить, що технологічні рішення, інституційні моделі управління та стратегічні підходи до розвитку портів формують єдину взаємопов'язану систему, ефективність якої визначається ступенем узгодженості цих компонентів.

Додаткову складність у дослідженні портових систем створює варіативність їх організаційно-функціональних ролей. Порти та портові

термінали можуть функціонувати як елементи транспортних систем або інтегруватися у структуру виробничих і торговельних підприємств, виступаючи складовими їхніх операційних систем [3, с. 234-242]. Це обумовлює суттєву диференціацію технологічних рішень, інституційних моделей управління та стратегій розвитку, яка у більшості досліджень не отримує належного теоретичного узагальнення.

Попри значний обсяг наукових праць, присвячених окремим аспектам цифровізації портів, інституційним механізмам розвитку портової інфраструктури та питанням сталого розвитку, у сучасній науковій літературі відсутній інтегрований теоретичний підхід, який дозволяє розглядати ці процеси як взаємопов'язані складові трансформації портових систем. Унаслідок цього не сформовано концептуальних моделей, здатних інтегрувати технологічні, інституційні та соціально-еколого-економічні аспекти розвитку портових систем у межах єдиної аналітичної рамки.

У зв'язку з цим виникає потреба у формуванні інтегрованого теоретичного підходу, який забезпечує системне поєднання технологічних, інституційних та організаційно-функціональних аспектів розвитку портів.

Саме таким підходом у даному дослідженні виступає інтегрована концептуальна модель *Smart Port – PPP – Sustainable Development*, яка формує основу для комплексного аналізу трансформації портових систем у сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній транспортній науці проблематика розвитку портових систем дедалі частіше розглядається крізь призму цифрової трансформації транспортної інфраструктури та інтеграції портів у глобальні транспортні й виробничі системи. У наукових дослідженнях порти трактуються як складні інфраструктурні вузли, що забезпечують взаємодію різних видів транспорту, формують вузлові елементи міжнародних транспортних коридорів та виконують функції інтеграційних центрів глобальних транспортних мереж [1, с. 85-94].

У цьому контексті дослідники приділяють значну увагу взаємозв'язку розвитку портів із розвитком портових міст і регіонів. Порти розглядаються не лише як елементи транспортної інфраструктури, але і як ключові компоненти просторової організації економічних систем, що впливають на формування виробничих кластерів, регіональних транспортних вузлів та просторових систем взаємодії порту з його хінтерлендом і форлендом [16, с. 311-331].

Розвиток цієї проблематики відображено також у дослідженнях просторової еволюції портів систем. Зокрема, у роботах Т. Notteboom та J.-P. Rodrigue показано, що трансформація портів супроводжується процесами регіоналізації портів систем, у межах яких формуються нові моделі взаємодії портів із внутрішніми транспортними коридорами, а також із системами хінтерленду, що забезпечують інтеграцію портів у глобальні транспортні мережі [8, с. 297-313].

Поряд із дослідженнями просторової еволюції портів систем активно розвивається напрям, пов'язаний із цифровою трансформацією портів діяльності. У цьому контексті сформувалася концепція *Smart Port*, яка розглядається як результат впровадження технологій Industry 4.0 у портову індустрію. У науковій літературі *Smart Port* трактується як інтегрована система управління портовою діяльністю, що базується на використанні інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизації портових процесів, цифрових платформ взаємодії учасників транспортного процесу та аналітики великих даних. У дослідженні L. Neilig та S. Voß підкреслюється, що цифрова трансформація портів передбачає інтеграцію інформаційних систем управління, платформ обміну даними між учасниками транспортного процесу та інструментів аналізу даних, що дозволяє підвищити ефективність портових операцій і якість управлінських рішень [10, с. 843-858].

Подальший розвиток цього підходу представлено у роботі А. Molavi, G.J. Lim та В. Race, де запропоновано концептуальну модель формування *Smart Port Index*, що дозволяє оцінювати рівень цифрової зрілості портів систем. У дослідженні визначено ключові технологічні компоненти цифрової трансформації портів, серед яких Internet of Things, системи управління даними та інтегровані цифрові платформи управління портовою діяльністю [11, с. 686-700].

Питання цифровізації транспортних систем у ширшому контексті розглядаються також у роботах М. Ассіаго та співавторів, де показано, що цифровізація контейнерного судноплавства та портових операцій виступає одним із ключових факторів трансформації сучасних транспортних систем і формування нових моделей взаємодії учасників глобальних транспортних мереж [15, с. 1-26].

Значна увага у наукових дослідженнях приділяється також оцінюванню впливу цифрових технологій на ефективність функціонування портів систем. Зокрема, у роботі G.S. Dwarakish та

А.М. Salim показано, що використання сучасних інформаційних технологій у портовій діяльності дозволяє підвищити ефективність використання портової інфраструктури, оптимізувати управління вантажними потоками та скоротити час обробки суден у портах [13, с. 13-23].

У свою чергу, F. Parola, С. Ferrari та А. Теї підкреслюють, що цифрова трансформація портів має комплексний характер і пов'язана не лише з впровадженням нових технологій, але й із трансформацією організаційних моделей управління портовими системами та зміною ролі портів у глобальних транспортних мережах [14, с. 1-10].

Водночас результати систематичного аналізу наукової літератури, проведеного В. Belmoukari, J.-F. Audy та Р. Forget, свідчать, що концепція *Smart Port* перебуває на етапі активного теоретичного формування. Автори зазначають, що у більшості наукових робіт досліджуються окремі технологічні аспекти цифровізації портів, тоді як комплексні моделі розвитку портів систем залишаються недостатньо розробленими [12, с. 3-6].

У вітчизняних дослідженнях концепція *Smart Port* також розглядається як один із ключових напрямів технологічної трансформації портової індустрії. У роботах О.В. Кириллової, В.Ю. Кириллової та О.Р. Магамадова показано, що формування концепції *Smart Port* відбувалося еволюційно – від впровадження окремих інноваційних технологій до формування комплексної моделі цифрового управління портовими системами [5, с. 77-95; 6, с. 81-87].

Поряд із дослідженнями цифрової трансформації портів важливе місце у науковій літературі займають роботи, присвячені інституційним моделям управління портами. У цих дослідженнях підкреслюється, що класичні моделі *port governance* (*service port*, *tool port*, *landlord port*) формують основу сучасних систем управління портовою інфраструктурою та визначають характер взаємодії державних і приватних суб'єктів портової діяльності [4, с. 122-139; 7; 9].

Окремий напрям досліджень пов'язаний з аналізом ефективності функціонування портів терміналів та організаційно-технологічних аспектів портової діяльності. У роботах О.В. Кириллової та І.М. Ларіної запропоновано підходи до оцінювання умов сталого функціонування контейнерних терміналів, а також обґрунтовано дуальний підхід до розмежування понять «порт» і «портовий термінал» з позицій транспортної науки та організації транспортних процесів [2, с. 75-86; 3, с. 234-242].

Разом із тим аналіз сучасних досліджень свідчить, що більшість наукових робіт зосереджується на окремих аспектах розвитку портових систем. Технологічні питання цифровізації портів досліджуються переважно у межах концепції Smart Port, інституційні аспекти розвитку портів – у межах досліджень державно-приватного партнерства, тоді як організаційно-функціональні характеристики портів розглядаються здебільшого у межах транспортної науки.

Унаслідок цього у сучасних дослідженнях зберігається методологічна фрагментація підходів до аналізу портових систем, що ускладнює формування комплексних теоретичних моделей їх розвитку.

Таким чином, у сучасній транспортній науці залишається невирішеною частина загальної проблеми, яка полягає у відсутності інтегрованого підходу до аналізу технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних аспектів розвитку портових систем. Це зумовлює необхідність формування інтегрованої концептуальної моделі, яка поєднує зазначені виміри у межах єдиної аналітичної рамки. Саме вирішенню цього завдання присвячено дане дослідження.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення та теоретичне обґрунтування тріадної концептуальної моделі розвитку портових систем (*Triadic Framework for Smart Port Development*), яка інтегрує технологічний, інституційний та соціально-еколого-економічний виміри трансформації сучасних портів.

Для досягнення поставленої мети у статті вирішено такі завдання:

- узагальнити сучасні наукові підходи до аналізу цифрової трансформації портових систем, інституційних механізмів розвитку портової інфраструктури та принципів сталого розвитку портової індустрії;

- виявити методологічні обмеження існуючих досліджень, зумовлені фрагментарним розглядом технологічних, інституційних та організаційно-функціональних аспектів розвитку портів;

- обґрунтувати тріадну концептуальну модель розвитку портових систем (*Triadic Framework for Smart Port Development*), яка інтегрує концепції *Smart Port*, *Public – Private Partnership* та *People – Planet – Profit*;

- визначити зміст, функціональну роль та взаємозв'язки технологічного, інституційного та соціально-еколого-економічного вимірів у трансформації сучасних портових систем;

- сформулювати узагальнену аналітичну рамку застосування запропонованої моделі для оціню-

вання стратегій розвитку портів, інфраструктурних проєктів та механізмів концесійної модернізації портової інфраструктури.

Реалізація поставлених завдань забезпечує формування цілісного теоретичного підходу до аналізу трансформації портових систем у межах інтегрованої тріадної моделі.

Виклад основного матеріалу.

1. Тріадна концептуальна модель розвитку «розумних» портів: Smart Port – PPP – 3P (*Triadic Framework for Smart Port Development*).

У сучасних умовах трансформації портової індустрії розвиток портових систем визначається взаємодією кількох ключових груп факторів, серед яких ключове значення мають технологічні інновації, інституційні механізми розвитку інфраструктури та принципи сталого розвитку. Це зумовлює необхідність застосування інтегрованого підходу до аналізу трансформації портових систем.

У межах даного дослідження запропоновано тріадну концептуальну модель розвитку «розумних» портів (*Triadic Framework for Smart Port Development*), яка розглядає розвиток сучасних портових систем як результат взаємодії трьох взаємопов'язаних концептуальних складових:

- Smart Port – технологічний вимір трансформації портів, що передбачає цифровізацію портових процесів, інтеграцію інформаційних платформ управління, автоматизацію операцій та використання сучасних технологій обробки даних;

- PPP (*Public – Private Partnership*) – інституційного механізму модернізації портової інфраструктури, який забезпечує залучення приватних інвестицій, розподіл ризиків між державою та бізнесом і формування ефективних моделей управління портовими активами;

- 3P (*People – Planet – Profit*) – концептуальна рамка оцінювання результатів розвитку портових систем, що відображає необхідність забезпечення економічної ефективності, екологічної стійкості та соціальної відповідальності функціонування портів.

У запропонованій моделі концепція *Smart Port* визначає технологічний зміст трансформації портових систем, механізми *Public – Private Partnership* (PPP) формують інституційну основу реалізації інфраструктурних проєктів, тоді як принципи *People – Planet – Profit* (3P) задають систему критеріїв оцінювання результатів розвитку портових систем у контексті сталого розвитку.

У запропонованій моделі розвиток портових систем інтерпретується як результат взаємодії

трьох рівнів трансформації портової індустрії – технологічного, інституційного та соціально-еколого-економічного, що у сукупності формують інтегровану систему розвитку сучасних портів.

Формалізація моделі. У загальному вигляді розвиток портової системи доцільно представити як функцію взаємодії технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних факторів:

$$PS = f(SP, PPP, 3P),$$

де

PS – рівень розвитку портової системи;

SP – рівень технологічної трансформації порту відповідно до концепції Smart Port;

PPP – ефективність використання механізмів державно-приватного партнерства;

3P – інтегральна характеристика відповідності розвитку портової системи принципам *People – Planet – Profit*.

Запропонована модель дозволяє розглядати трансформацію портових систем у трьох взаємопов'язаних вимірах (табл. 1).

У межах запропонованого підходу цифрова трансформація портів, інституційні механізми розвитку портової інфраструктури та принципи сталого розвитку розглядаються як взаємодоповнювальні складові єдиної системи розвитку портових систем (рис. 1).

Три вершини трикутника (рис. 1) характеризують три взаємопов'язані виміри трансформації портових систем.

Трикутна форма моделі концептуально відображає принцип взаємодії трьох ключових вимірів трансформації портових систем – технологічного, інституційного та виміру сталого розвитку. Кожна вершина трикутника відповідає окремому концептуальному елементу моделі (*Smart Port*, *Public – Private Partnership*, *People – Planet – Profit*), тоді як центральний елемент моделі – розвиток портових систем – відображає результат їхньої взаємодії. Така структура дозволяє розглядати трансформацію портових систем як багатовимірний процес, у якому

технологічні інновації, інституційні механізми та принципи сталого розвитку формують інтегровану основу розвитку портової інфраструктури.

Відповідно до цього в моделі виділяються три ключові виміри розвитку портових систем:

а) Технологічний вимір розвитку портів (*Technological Dimension*) – концепція *Smart Port*.

Основний зміст:

– цифровізація портових процесів (digitalisation of port operations)

– автоматизація терміналів (terminal automation)

– портові інформаційні системи (port community systems)

– управління даними (data-driven port management)

б) Інституційний вимір розвитку портів (*Institutional Dimension*) – механізм PPP (*Public – Private Partnership*).

Основний зміст:

– концесійні моделі портів (port concession models)

– інвестиційні механізми (port investment mechanisms)

– партнерські моделі управління (partnership-based governance)

– інституційна взаємодія держави і бізнесу (state-business cooperation)

в) Вимір сталого розвитку портів (*Sustainability Dimension*) – концепція 3P (*People – Planet – Profit*). У межах запропонованої моделі концепція 3P (*People – Planet – Profit*) відображає вимір сталого розвитку портових систем, який у змістовному плані відповідає соціально-еколого-економічному рівню їх функціонування та розвитку.

Основний зміст:

– соціальна відповідальність портів (social responsibility of ports)

– екологічна сталість (environmental sustainability)

– економічна ефективність (economic efficiency)

Таблиця 1

Концептуальна структура *Triadic Framework for Smart Port Development*

Вимір трансформації портової системи (концептуальна категорія)	Змістовний рівень	Концепція	Роль у розвитку портів
Технологічний вимір розвитку	Технологічний	Smart Port	цифровізація та автоматизація портових процесів
Інституційний вимір розвитку	Інституційний	PPP (<i>Public – Private Partnership</i>)	механізм фінансування та управління розвитком портової інфраструктури
Вимір сталого розвитку	соціально-еколого-економічний	3P (<i>People – Planet – Profit</i>)	критерії сталого розвитку портових систем

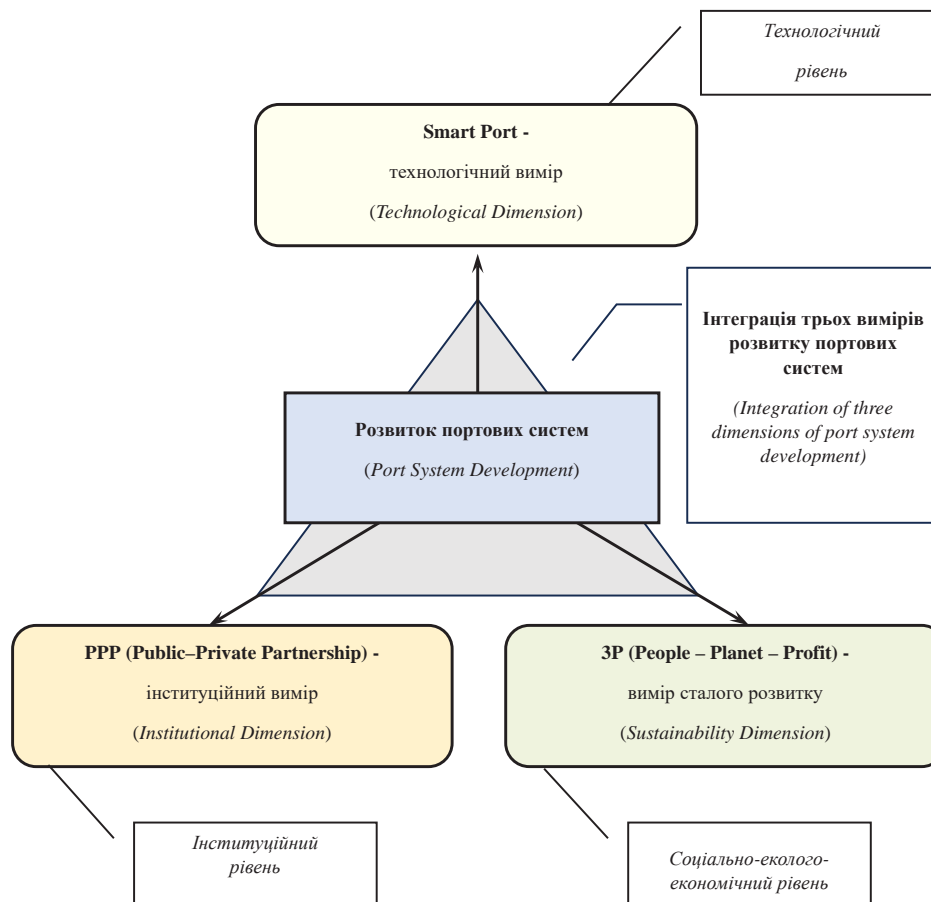


Рис. 1. Тріадна багаторівнева модель розвитку «розумних» портів
(*Triadic Framework for Smart Port Development*)

– декарбонізація портових систем (port decarbonisation)

Таким чином, запропонована тріадна концептуальна модель розвитку «розумних» портів (*Triadic Framework for Smart Port Development*) інтегрує три ключові виміри трансформації портових систем: технологічний (*Smart Port*), інституційний (*Public – Private Partnership*) та вимір сталого розвитку (*People – Planet – Profit*). Їх взаємодія формує системну основу розвитку сучасних портових систем у контексті цифрової трансформації, інституційної модернізації та забезпечення сталого розвитку.

Науковий внесок запропонованої моделі. Запропонована тріадна концептуальна модель розвитку «розумних» портів (*Triadic Framework for Smart Port Development*) формує теоретичну основу інтегрованого аналізу трансформації портових систем.

Науковий внесок авторів полягає у подоланні методологічної фрагментації існуючих підходів до аналізу портових систем шляхом формування нової інтегрованої тріадної концептуальної

моделі їх розвитку, що поєднує технологічний, інституційний та соціально-еколого-економічний виміри трансформації портової індустрії. Зміст цього внеску розкривається у наступному:

По-перше, обґрунтовано доцільність розгляду розвитку сучасних портових систем у межах інтегрованої тріадної моделі, яка поєднує технологічний вимір цифрової трансформації портів (*Smart Port*), інституційні механізми модернізації портової інфраструктури (*Public – Private Partnership*) та принципи сталого розвитку (*People – Planet – Profit*).

По-друге, запропоновано концептуальну інтерпретацію взаємодії технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних факторів розвитку портових систем, що дозволяє розглядати трансформацію портової індустрії як багатовимірний процес, у якому цифровізація портових процесів, механізми партнерства держави і бізнесу та принципи сталого розвитку формують єдину систему розвитку портових інфраструктур.

По-третє, сформовано аналітичну модель взаємодії ключових факторів розвитку портових систем, формалізовану у вигляді функції

$$PS - f(SP, PPP, 3P),$$

що дозволяє інтерпретувати розвиток портових систем як результат синергетичної взаємодії технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних компонентів.

По-четверте, запропонований *Triadic Framework for Smart Port Development* створює методологічну основу для подальшого дослідження моделей управління розвитком портових систем, оцінювання ефективності інфраструктурних проєктів та формування стратегій цифрової та екологічної трансформації портової індустрії.

Запропонована модель розширює існуючі підходи до дослідження розвитку портових систем шляхом інтеграції технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних факторів у межах єдиної концептуальної конструкції.

Таким чином, у роботі сформовано тріадну концептуальну модель розвитку портових систем (*Triadic Framework for Smart Port Development*), яка інтерпретує їх трансформацію як результат взаємодії трьох взаємопов'язаних вимірів – технологічного, інституційного та соціально-еколого-економічного.

2. Ключові виміри Triadic Framework for Smart Port Development

2.1. Технологічний вимір трансформації портових систем: концепція Smart Port. Технологічна трансформація портової індустрії є одним із ключових факторів розвитку сучасних портових систем в умовах цифровізації транспортної інфраструктури та формування глобальних транспортних мереж. У цих умовах традиційні моделі організації портової діяльності поступово трансформуються у цифрово-інтегровані системи управління портовими процесами, що забезпечують підвищення ефективності використання портової інфраструктури, оптимізацію вантажних потоків та інтеграцію портів у міжнародні транспортні мережі.

Концептуальним відображенням цієї трансформації стала концепція *Smart Port*, яка сформувалася внаслідок впровадження технологій Industry 4.0 у портову індустрію. У науковій літературі *Smart Port* інтерпретується як інтегрована система управління портовою діяльністю, що базується на використанні інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизації виробничих процесів, цифрових платформ взаємодії учасників транспортного процесу та інструментів аналітики даних та прийняття управлінських рішень [4, 5, 6, 9].

З технологічної точки зору *Smart Port* можна розглядати як цифрово-керовану портову систему,

у межах якої управління портовими операціями здійснюється на основі інтегрованих інформаційних потоків, систем моніторингу та інтелектуального аналізу даних (advanced data analytics). Використання таких технологій дозволяє підвищити прозорість портових процесів, оптимізувати використання інфраструктурних ресурсів і скоротити час обробки суден та вантажів.

Ключовими технологічними компонентами концепції *Smart Port* є системи *Internet of Things*, технології обробки великих даних, автоматизовані системи управління портовими операціями, системи підтримки управлінських рішень, а також цифрові платформи обміну інформацією між учасниками транспортного процесу. Інтеграція цих технологій створює передумови для формування єдиного цифрового інформаційного середовища портової діяльності, у межах якого здійснюється координація взаємодії портових операторів, судноплавних компаній, транспортних підприємств та інших учасників ланцюгів постачання.

У практичному вимірі технологічна трансформація портових систем проявляється у цифровізації ключових операційних процесів портової діяльності, зокрема управління суднозаходами, планування вантажно-розвантажувальних операцій, управління складськими процесами, моніторингу руху вантажів та транспортних засобів, а також оптимізації використання портової інфраструктури. Впровадження цифрових систем управління дозволяє підвищити ефективність використання портових потужностей, скоротити час обробки вантажів і забезпечити більш ефективну координацію взаємодії учасників транспортного процесу.

Важливою складовою технологічної трансформації портових систем є розвиток портових інформаційних систем і цифрових платформ, що забезпечують інтеграцію портів у цифрові транспортні коридори та глобальні транспортні мережі. Формування таких платформ сприяє створенню єдиного інформаційного простору портової діяльності та дозволяє забезпечити більш ефективну взаємодію між різними учасниками транспортних систем.

Водночас цифровізація портової діяльності не може розглядатися як самодостатній фактор розвитку портових систем. Ефективність впровадження технологічних інновацій значною мірою залежить від інституційних моделей управління портовою інфраструктурою, інвестиційних механізмів модернізації портових активів та стратегічних підходів до розвитку портових систем.

У цьому контексті технологічний вимір трансформації портів повинен розглядатися у взаємодії з інституційними механізмами розвитку портової інфраструктури та принципами сталого розвитку.

У межах запропонованої *Triadic Framework for Smart Port Development* концепція *Smart Port* виступає ключовим технологічним виміром трансформації портових систем, який визначає цифрову та інноваційну складову їх розвитку. Цей вимір охоплює процеси цифровізації портових операцій, автоматизації виробничих процесів, інтеграції інформаційних систем управління та формування цифрових платформ взаємодії учасників транспортно-логістичного процесу.

Таким чином, у межах тріадної концептуальної моделі розвитку портових систем концепція *Smart Port* формує технологічну основу трансформації портової індустрії, що створює передумови для підвищення ефективності портових операцій, інтеграції портів у цифрові транспортні мережі та формування нових моделей управління портовою діяльністю.

У цьому контексті технологічна трансформація портових систем, пов'язана із впровадженням концепції *Smart Port*, потребує відповідних інституційних механізмів реалізації інфраструктурних проєктів та залучення інвестицій у модернізацію портової інфраструктури, що зумовлює об'єктивне зростання ролі моделей державно-приватного партнерства у розвитку сучасних портів.

2.2. Інституційні механізми розвитку портів: роль державно-приватного партнерства. Поряд із технологічною трансформацією портової індустрії важливу роль відіграють інституційні механізми, які забезпечують реалізацію інфраструктурних проєктів та модернізацію портових систем. Розвиток сучасних портів потребує значних інвестиційних ресурсів і ефективних моделей управління інфраструктурними активами, що зумовлює об'єктивну необхідність використання механізмів взаємодії державного та приватного секторів.

Одним із ключових інституційних інструментів розвитку портової інфраструктури є державно-приватне партнерство (*Public – Private Partnership, PPP*). У межах цього підходу реалізація інфраструктурних проєктів здійснюється на основі довгострокової співпраці між державними органами та приватними інвесторами, що передбачає розподіл ризиків, інвестиційних зобов'язань та управлінських функцій між державою та приватним партнером.

У портовій індустрії механізми PPP у портовій індустрії реалізуються насамперед у формі кон-

цесійних моделей управління портовими терміналами, розвитку портової інфраструктури та модернізації технологічних процесів обробки вантажів. Залучення приватного капіталу сприяє підвищенню ефективності управління портовими активами, прискоренню інфраструктурного розвитку та впровадженню сучасних технологічних рішень.

Окремі аспекти інституційних механізмів розвитку портових систем та моделей взаємодії держави і приватного сектору детально розглянуто у попередніх дослідженнях автора [8], де обґрунтовано роль партнерських механізмів у модернізації портової інфраструктури.

У межах запропонованої тріадної концептуальної моделі розвитку портових систем механізми PPP розглядаються як ключова інституційна основа реалізації інфраструктурних проєктів, що формує організаційні та фінансові умови модернізації портових систем.

2.3. Принципи сталого розвитку портових систем: підхід *People – Planet – Profit*. Сучасний розвиток портової індустрії дедалі більше визначається об'єктивною необхідністю інтеграції принципів сталого розвитку у процеси функціонування та модернізації портових систем. У цьому контексті важливим концептуальним підходом до аналізу та оцінювання розвитку портових систем є модель *People – Planet – Profit (3P)*, яка передбачає збалансування соціальних, екологічних та економічних аспектів розвитку.

Підхід 3P розглядає розвиток економічних систем як результат узгодження трьох взаємопов'язаних вимірів: соціального, екологічного та економічного. У застосуванні до портової індустрії це означає необхідність забезпечення економічної ефективності портових операцій, зниження негативного впливу на навколишнє середовище та врахування соціальних аспектів розвитку портових територій.

У прикладному (операційному) вимірі реалізація принципів сталого розвитку у портовій діяльності охоплює комплекс взаємопов'язаних напрямів. Зокрема, це зниження екологічного навантаження на портові екосистеми, впровадження енергоефективних технологій, розвиток систем екологічного моніторингу та реалізація стратегій декарбонізації та зниження вуглецевого сліду портової діяльності. Водночас важливим аспектом є забезпечення соціальної відповідальності портових операторів, розвиток людського капіталу та професійних компетенцій персоналу, а також формування сприятливого соціально-економічного середовища у портових регіонах.

У межах запропонованої тріадної моделі концепція 3P визначає соціально-еколого-економічний вимір трансформації портів систем та формує систему критеріїв оцінювання результатів їх трансформації у контексті сталого розвитку.

У цьому контексті принципи *People – Planet – Profit* виступають не лише нормативною рамкою сталого розвитку, а й аналітичним інструментом оцінювання довгострокової ефективності трансформації портів систем.

2.4. Інтегрована модель розвитку портів систем. Розглянуті технологічний, інституційний та соціально-еколого-економічний виміри трансформації портів систем формують інтегровану систему факторів розвитку сучасної портової індустрії. У межах запропонованої концептуальної моделі розвиток портів систем інтерпретується як результат взаємодії трьох взаємодоповнювальних складових: цифрової трансформації портів процесів, інституційних механізмів реалізації інфраструктурних проєктів та принципів сталого розвитку.

Технологічні інновації, що реалізуються в межах концепції *Smart Port*, створюють системні передумови підвищення ефективності портів операцій та інтеграції портів у цифрові транспортні системи. Інституційні механізми *Public – Private Partnership* забезпечують організаційні та фінансові умови модернізації портової інфраструктури, тоді як принципи концепції *People – Planet – Profit* формують систему критеріїв оцінювання довгострокових результатів розвитку портів систем.

Інтеграція цих складових відображає багатовимірний характер трансформації портів систем і дозволяє інтерпретувати розвиток портової індустрії як результат синергетичної взаємодії технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних факторів.

Таким чином, у межах запропонованої моделі кожен із трьох концептуальних компонентів виконує функціонально визначену роль у трансформації портів систем: *Smart Port* визначає технологічну основу цифрової трансформації портової діяльності, механізми *Public – Private Partnership* забезпечують інституційні та інвестиційні умови розвитку портової інфраструктури, тоді як концепція *People – Planet – Profit* формує систему критеріїв оцінювання результатів розвитку портів систем у контексті сталого розвитку.

У цьому контексті запропонована *Triadic Framework for Smart Port Development* виступає інтегрованою аналітичною моделлю дослідження

трансформації портів систем, яка дозволяє інтегрувати ключові напрями розвитку портової індустрії у єдину концептуальну структуру.

Запропонований *Triadic Framework for Smart Port Development* може бути використаний як аналітична рамка для оцінювання різних сценаріїв розвитку портів систем. У межах цього підходу альтернативні стратегії розвитку та модернізації портів можуть аналізуватися з урахуванням трьох взаємопов'язаних вимірів трансформації портової індустрії – технологічного, інституційного та соціально-еколого-економічного.

Використання запропонованої моделі дозволяє здійснювати комплексну багатокритеріальну оцінку інфраструктурних проєктів, стратегій цифрової модернізації портів та альтернативних моделей розвитку портової індустрії з урахуванням їх технологічних характеристик, інституційних механізмів реалізації та відповідності принципам сталого розвитку. У прикладному вимірі запропонований підхід може застосовуватися для аналізу перспектив розвитку національних портів систем, зокрема портів України, у процесі їх цифрової, інституційної та екологічної трансформації, а також для обґрунтування стратегічних інфраструктурних проєктів, включаючи проєкти концесійного розвитку портової інфраструктури.

Запропонована концептуальна модель інтегрує ключові напрями сучасних досліджень портової індустрії – цифрову трансформацію портів (*Smart Port*), інституційні механізми управління портовою інфраструктурою (*Public – Private Partnership*) та принципи сталого розвитку (*People – Planet – Profit*), формуючи цілісну аналітичну рамку дослідження. Поєднання цих підходів дозволяє розглядати трансформацію портів систем як багатовимірний процес, у якому технологічні інновації, інституційні механізми та принципи сталого розвитку формують інтегровану систему розвитку портової індустрії.

Подальший розвиток запропонованої моделі пов'язаний із формалізацією системи показників оцінювання її окремих вимірів та розробленням методів інтегрованого аналізу їх взаємодії. Це створює передумови для використання *Triadic Framework for Smart Port Development* як інструменту порівняльного аналізу стратегій розвитку портів систем та оцінювання ефективності інфраструктурних проєктів у портової індустрії.

Таким чином, запропонована тріадна концептуальна модель розвитку портів систем (*Triadic Framework for Smart Port Development*) формує інтегровану аналітичну рамку дослідження трансформації

ції портової індустрії, у межах якої технологічний, інституційний та соціально-еколого-економічний виміри розглядаються як взаємопов'язані та взаємозумовлені складові єдиного процесу розвитку. Такий підхід дозволяє не лише системно інтерпретувати сучасні трансформаційні процеси у портовій індустрії, але й забезпечує теоретичну основу для обґрунтування стратегічних рішень щодо модернізації портових систем, зокрема в умовах реалізації проєктів державно-приватного партнерства та концесійного розвитку.

На відміну від існуючих підходів, у яких технологічні, інституційні та соціально-еколого-економічні аспекти розвитку портових систем розглядаються переважно ізольовано, запропонована модель забезпечує їх інтеграцію у межах єдиної аналітичної конструкції, що дозволяє подолати методологічну фрагментацію сучасних досліджень.

Висновки. У межах проведеного дослідження обґрунтовано концептуальний підхід до аналізу розвитку сучасних портових систем, що ґрунтується на інтеграції технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних аспектів трансформації портової індустрії. На відміну від існуючих підходів, у яких концепція Smart Port інтерпретується переважно як технологічна модернізація портових операцій, у даному дослідженні розвиток інтелектуальних портів інтерпретується як комплексний процес структурної трансформації портових систем.

У результаті дослідження сформовано *Triadic Framework for Smart Port Development* – концептуальну модель, що інтегрує три взаємопов'язані виміри розвитку портових систем: технологічний (*Smart Port*), інституційний (*Public – Private Partnership*) та соціально-еколого-економічний (*People – Planet – Profit*). Запропонована модель формує методологічну основу для інтегрованого аналізу процесів модернізації портової індустрії в умовах цифрової трансформації та переходу до принципів сталого розвитку.

Отримані результати дозволяють обґрунтувати неможливість редукції розвитку інтелектуальних портів виключно до технологічної модернізації. Цифрові технології є лише одним із компонентів трансформації, тоді як визначальну роль відіграє узгоджена взаємодія технологічних інновацій, інституційних механізмів управління (зокрема

моделей державно-приватного партнерства та концесій) і принципів сталого розвитку.

У прикладному вимірі запропонована концептуальна рамка може бути використана як аналітичний інструмент для оцінювання стратегій розвитку портових систем, інфраструктурних проєктів та моделей модернізації портової індустрії. Зокрема, вона створює можливості для комплексного аналізу проєктів розвитку портів із урахуванням їх технологічних характеристик, інституційних механізмів реалізації та відповідності принципам сталого розвитку, що набуває особливої актуальності при обґрунтуванні концесійних моделей розвитку портової інфраструктури.

Науковий внесок дослідження полягає у формуванні інтегрованого концептуального підходу до аналізу розвитку портових систем, який дозволяє розглядати *Smart Port* не як окремий технологічний стан порту, а як результат системної взаємодії технологічних, інституційних та соціально-еколого-економічних факторів розвитку портових систем.

Узагальнюючи результати дослідження, розвиток інтелектуальних портів може бути представлений як процес, що відбувається на перетині трьох взаємопов'язаних вимірів трансформації портової індустрії – технологічного, інституційного та виміру сталого розвитку. У цьому контексті запропонований підхід може бути формалізований у вигляді концептуальної моделі *Triadic Framework for Smart Port Development*, відповідно до якої:

$$\text{Smart Port} = \text{Technology} + \text{Governance} + \text{Sustainability}$$

З практичної точки зору запропонована модель може використовуватися як концептуальна основа для формування стратегій розвитку портів, оцінювання ефективності інфраструктурних проєктів та обґрунтування управлінських рішень у сфері модернізації портової інфраструктури.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на формалізацію запропонованої моделі, зокрема розроблення системи кількісних індикаторів оцінювання кожного з її вимірів, визначення їх вагових коефіцієнтів та створення інструментарію інтегрованого аналізу їх взаємодії.

Список літератури:

1. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів і портових систем. *Проблеми функціонування та розвитку портів* : монографія / за ред. О.В. Кириллової, І.М. Іваної. Львів–Торунь : Liha-Pres, 2022. Т. 7. С. 78–110. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-289-3>.
2. Кириллова О.В., Ларіна І.М. Критерії та умови сталого функціонування контейнерного терміналу порту. *Водний транспорт : збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. 2025. Вип. 2(43). С. 75–86. DOI: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.2.43.06>.

3. Кириллова О.В., Ларіна І.М. Дуальний підхід до розмежування поглядів на сучасний порт і портовий термінал з позицій транспортної науки і логістики. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 36 (75). № 2. Ч. 1. С. 234–242. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/35>.
4. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Smart-кластери в портовій системі України: концептуальні засади та прикладні орієнтири. *Transport Development*. 2025. № 2(25). С. 122–139. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2025.2-25.10>.
5. 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*. 2024. № 4(23). С. 77–95. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.07>.
6. 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*. 2024. Т. 35 (74). № 5. С. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.2/14>.
7. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Класичні системи управління портами та їх концептуальні моделі. *Наукові вісті Давидського університету*. 2023. № 24. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2023-24>.
8. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Приватизація портів: ризики, регуляторні механізми та стратегічні альтернативи для України. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 36 (75). № 4. С. 295–301. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.4.1/38>.
9. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Yu. Smart port clusters as a modern tool for the development of the global transport communications system and a strategic vector of the post-war recovery of Ukraine's port industry. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 36 (75). № 6. Ч. 1. С. 263–269. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/39>.
10. Хайліг Л., Фосс С. А scientometric analysis of the academic literature on smart ports. *Maritime Policy & Management*. 2017. Vol. 44(7). P. 843–858. DOI: <https://doi.org/10.1080/03088839.2017.1336509>.
11. Молаві А., Лім Г. Дж., Рейс Б. A framework for building a smart port and smart port index. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2020. Vol. 14(9). P. 686–700. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1610919>.
12. Бельмукарі Б., Оді Ж.-Ф., Форже П. Smart port: a systematic literature review. *European Transport Research Review*. 2023. Vol. 15. Article 4. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00581-6>.
13. Дваракіші Г. С., Салім А. М. Review on the role of ports in the development of a nation. *Ocean & Coastal Management*. 2015. Vol. 102. P. 13–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.09.011>.
14. Парола Ф., Феррарі К., Теї А. Determinants of port competitiveness: insights from the container shipping industry. *Transport Policy*. 2015. Vol. 41. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.03.004>.
15. Аччіаро М. та ін. Digitalization in container shipping: a systematic literature review. *Transport Reviews*. 2020. Vol. 40(1). P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1642313>.
16. Лам Дж. С. Л., Яп В. Й. A stakeholder perspective of port city sustainable development. *Transport Reviews*. 2019. Vol. 39(3). P. 311–331. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1520224>.

Kyryllova V.Yu., Kyryllova O.V. TRIADIC CONCEPTUAL MODEL OF PORT SYSTEM DEVELOPMENT: SMART PORT, PUBLIC–PRIVATE PARTNERSHIP, PEOPLE–PLANET–PROFIT

The current stage of port industry development is characterized by profound transformation processes driven by the digitalization of transport infrastructure, the evolution of institutional models of port governance, and the increasing role of sustainable development principles in the functioning of transport systems. Under these conditions, ports are increasingly transforming from elements of transport infrastructure into complex organizational and technological systems integrated into global transport networks and material flow distribution systems. This necessitates the development of integrated theoretical approaches to the analysis of port system transformation.

The aim of the article is to provide a theoretical substantiation of an integrated conceptual approach to the analysis of port system development based on the formation of a triadic model of their transformation. The study proposes the Triadic Framework for Smart Port Development – a conceptual model that integrates three key dimensions of port industry transformation: technological (the Smart Port concept), institutional (Public – Private Partnership mechanisms), and socio-environmental-economic (People – Planet – Profit principles).

The study generalizes contemporary scientific approaches to the analysis of port digital transformation, institutional models of port infrastructure governance, and sustainable development concepts. It is demonstrated that existing research is characterized by methodological fragmentation caused by the isolated consideration of technological, institutional, and socio-environmental-economic aspects of port system development. The proposed model overcomes this fragmentation by integrating these dimensions within a unified analytical framework.

The conceptual model is formalized as a functional relationship between the level of port system development and the degree of technological transformation, the effectiveness of institutional mechanisms, and compliance with sustainable development principles. It is shown that the interaction of these components forms an integrated system for port development under conditions of digital transformation.

The practical significance of the proposed approach lies in its applicability as an analytical tool for evaluating port development strategies, analyzing infrastructure projects, and supporting decision-making in port infrastructure modernization. In particular, the Triadic Framework for Smart Port Development can be applied for the comprehensive analysis of alternative development models of port systems, including public–private partnership projects and concession-based port development.

Keywords: transport systems, transport technologies, inland and maritime transport, port systems, Smart Port, public-private partnership, concession, sustainable development, digital transformation of ports, port infrastructure.

Дата першого надходження статті до видання: 16.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026