

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МОРСЬКОГО ПРАВА ТА
МЕНЕДЖМЕНТУ

Кафедра економічної теорії та підприємництва на морському транспорті

Швець Анастасія Дмитрівна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

НА ТЕМУ

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ В УКРАЇНІ

Спеціальність – 073 «Менеджмент»

Освітня програма – «Менеджмент в галузі морського та річкового транспорту»

Науковий керівник
старший викладач
Примачова Н.М.

Здобувач вищої освіти _____

Науковий керівник _____

Завідуючий кафедрою _____

Одеса 2025

ЗАВДАННЯ

на розробку кваліфікаційної роботи бакалавра

за темою:

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ В УКРАЇНІ

	Зміст окремих частин дослідження	Строк виконання	Фактично виконано
1	2	3	4
1	Мета дослідження: провести комплексний аналіз процесу цифровізації портової логістики в Україні, вивчити світовий досвід, дослідити приклади реалізації цифрових рішень, охопити питання безпеки праці персоналу та сформулювати пропозиції щодо подальшого розвитку цифрових портів.	05.03.2025	05.03.2025
2	Об'єкт дослідження – портова логістика України в умовах цифрової трансформації.	05.03.2025	05.03.2025
3	Предмет дослідження – цифрові технології та інструменти, що забезпечують ефективне управління логістичними процесами в морських портах.	05.03.2025	05.03.2025
4	ВСТУП	08.03.2025	08.03.2025
5	РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ	10.03.2025	10.03.2025
6	РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТІВ	18.03.2025	18.03.2025

7	РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВИ ТА СТРАТЕГІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ	29.03.2025	29.03.2025
8	РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	10.04.2025	10.04.2025
9	ВИСНОВКИ	20.04.2025	20.04.2025
10	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	25.04.2025	25.04.2025
11	Анотація	30.04.2025	30.04.2025
12	Формування ілюстративного матеріалу	10.05.2025	10.05.2025
13	Відгук керівника	до 15.12.24	
14	Рецензування	до 10- 15.06.25	
15	Дата захисту	15- 17.06.25	

Здобувач вищої освіти

Керівник

Завідувач кафедри

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ.....	10
1.1. Сутність і значення цифровізації у портовій логістиці.....	10
1.2. Основні технології цифрової трансформації (Big Data, IoT, AI, блокчейн).....	15
1.3. Роль цифровізації у забезпеченні екологічної стійкості Портів.....	27
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТІВ.....	33
2.1. Оцінка рівня цифрової трансформації у провідних світових Портах.....	33
2.2. Аналіз цифрових рішень у логістичних процесах українських портів.....	42
2.3. Проблеми та бар'єри впровадження цифрових технологій.....	49
РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВИ ТА СТРАТЕГІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ.....	56
3.1. Концепція «Розумного порту» та її реалізація.....	56
3.2. Розробка стратегії цифровізації портів України.....	60
3.3. Оцінка ефективності цифрових технологій у портовій Логістиці.....	66
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
4.1. Призначення та структура Міжнародної морської організації (ІМО).....	70
4.2. Обробка вхідної інформації і проблема уваги. Вплив	

емоційних станів оператора на процеси переробки інформації.....	75
4.3 Моделювання причинно-наслідкових зв'язків аварійних ситуацій.....	79
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
АНОТАЦІЯ.....	91

ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи. Світові тенденції розвитку транспортної та логістичної інфраструктури невпинно рухаються у напрямку глибокої цифровізації, що передбачає застосування інноваційних рішень для забезпечення ефективності, прозорості та сталого функціонування логістичних систем. Морські порти, будучи критичними точками глобального товарообігу, дедалі частіше трансформуються у високотехнологічні логістичні хаби, що функціонують на основі інтелектуального управління даними, автоматизації операцій та інтеграції цифрових платформ.

Цифровізація портової логістики — це процес глибокої трансформації всіх логістичних і управлінських процесів у портах, що базується на впровадженні таких технологій, як Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), блокчейн, штучний інтелект (AI), автоматизовані системи управління (TOS), цифрові документообіги та хмарні платформи. Завдяки цим технологіям сучасні порти можуть працювати швидше, ефективніше, прозоріше та безпечніше, забезпечуючи високий рівень обслуговування, зниження витрат і екологічно чисту логістику.

Для України це питання є стратегічно важливим. У зв'язку з географічним положенням та потужною мережею морських портів, країна має потенціал стати одним з провідних логістичних вузлів Чорноморського регіону. Проте на заваді цьому стоять застаріла інфраструктура, фрагментарне впровадження цифрових рішень, відсутність єдиного бачення цифрового розвитку портів та дефіцит кваліфікованих кадрів. У цих умовах цифровізація портової логістики стає ключовим напрямом реформування

галузі, інтеграції України до європейської транспортної системи та зміцнення економічної безпеки держави.

Актуальність обраної теми зумовлена потребою у глибокому осмисленні сучасного стану цифрової трансформації українських портів, аналізі прикладів успішного впровадження цифрових рішень, виявленні бар'єрів та розробці практичних рекомендацій щодо побудови ефективної та безпечної цифрової логістичної інфраструктури.

Метою кваліфікаційної роботи є провести комплексний аналіз процесу цифровізації портової логістики в Україні, вивчити світовий досвід, дослідити приклади реалізації цифрових рішень, охопити питання безпеки праці персоналу та сформулювати пропозиції щодо подальшого розвитку цифрових портів.

Досягнення мети ставляться такі основні завдання:

- дослідити теоретичні аспекти цифровізації логістики та класифікувати основні цифрові технології, що використовуються у морських портах;
- проаналізувати рівень цифрової трансформації провідних світових портів;
- оцінити стан цифровізації українських портів, дослідити практики PCS (Одеський порт) та DocPort (Чорноморськ);
- виявити бар'єри впровадження цифрових рішень в Україні;
- розробити концептуальну модель «розумного порту» для національного контексту;
- охарактеризувати ризики та нові виклики для охорони праці в умовах цифрової логістики;
- сформулювати практичні рекомендації щодо модернізації портової галузі України на основі цифрових технологій.

Об’єкт дослідження – портова логістика України в умовах цифрової трансформації.

Предмет дослідження – цифрові технології та інструменти, що забезпечують ефективне управління логістичними процесами в морських портах.

Методи дослідження: У процесі написання кваліфікаційної роботи використовувалися загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, зокрема: метод теоретичного аналізу та синтезу – для узагальнення наукових підходів до визначення сутності цифровізації, її впливу на портову логістику та основних цифрових технологій (Big Data, IoT, блокчейн, штучний інтелект); системний підхід – для розгляду цифрової логістики як єдиної інтегрованої системи взаємопов’язаних процесів; порівняльний аналіз – для зіставлення рівня цифрової трансформації провідних світових портів (Роттердам, Антверпен, Сінгапур) і українських (Одеса, Чорноморськ); SWOT-аналіз – для виявлення сильних і слабких сторін, можливостей і загроз впровадження цифрових рішень в Україні; PEST-аналіз – для оцінки зовнішніх факторів (політичних, економічних, соціальних, технологічних), що впливають на процес цифровізації портів в Україні; графічний метод – для візуалізації етапів цифровізації, моделей «розумного порту» та аналізу ризиків; метод експертного оцінювання – для визначення основних загроз охороні праці персоналу в умовах цифрової трансформації та впливу автоматизації на безпеку праці; елементи моделювання – для аналізу ризиків за допомогою Fault Tree Analysis та Bayesian Networks.

Робота складається з чотирьох розділів. У першому розглядаються теоретичні основи цифровізації логістики та класифікація цифрових технологій. У другому – проведено аналіз сучасного стану цифрової

трансформації українських портів. Третій розділ присвячено вивченню бар'єрів цифровізації, розробці концепції «розумного порту» та етапів її реалізації. У четвертому розділі досліджено вплив цифровізації на охорону праці, управління ризиками та психофізіологічну безпеку персоналу.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ

1.1. Сутність і значення цифровізації у портовій логістиці

Цифровізація портової логістики — це впровадження інноваційних, інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ), що забезпечують автоматизацію та оптимізацію всіх етапів портових операцій, починаючи від обробки вантажів і закінчуючи управлінням інфраструктурою та моніторингом екологічних процесів. Вона охоплює різні аспекти функціонування портів, включаючи використання автоматизованих систем управління вантажопотоками, Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (рис. 1.1), а також технологій для безпечного обміну даними, таких як блокчейн [1].

Рис. 1.1. Цифровізація портової логістики

Цифровізація в портах передбачає інтеграцію технологій для значного зменшення часу на обробку вантажів, прискорення транзиту, покращення процесів логістики та підвищення загальної ефективності роботи портових підприємств. Цей процес включає впровадження таких інструментів, як автоматизовані термінали для перевантаження контейнерів, електронний документообіг, віддалене управління портовими процесами за допомогою сенсорів та аналітичних систем [2].

Технології в логістиці відіграють надважливу роль та сприяють розвитку галузі. Логістика та послуги пошти стали невід'ємною частиною життя в сучасному світі, де ефективність та швидкість постачань мають важливе значення.

Зі стрімким зростанням сегмента інтернет-торгівлі та системним



розширенням мереж логістики задачі компаній з логістики та поштових сервісів стають все складнішими.

Виходячи з цього факту, потреба у впровадженні сучасних технологічних рішень для оптимізації та нарощення якості послуг набуває все більшої актуальності.

Цифровізація в портовій логістиці є не просто технологічним трендом, а необхідністю, без якої сучасні морські перевезення та міжнародна торгівля не змогли б функціонувати ефективно.

Вантажопотоки постійно зростають, що створює великі виклики для портів, які мають забезпечувати їх швидко та безперебійну обробку [1]. Старі методи управління портовими процесами стають неефективними, оскільки вони забирають багато часу, збільшують адміністративні витрати та створюють затримки. Саме тому впровадження цифрових технологій є критично важливим для розвитку логістики, зокрема у портовому секторі.

Цифровізація портової логістики має численні переваги для розвитку портів та транспортної інфраструктури в цілому. Вона дозволяє знизити операційні витрати, підвищити швидкість обробки вантажів, покращити безпеку і знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Застосування інноваційних технологій дає змогу зменшити час на виконання операцій, що суттєво знижує витрати на перевезення товарів і дозволяє порту працювати більш ефективно. Одним із головних завдань цифровізації є скорочення часу, необхідного для обробки вантажів. Ще кілька десятиліть тому більшість процесів у портах виконувалася вручну: документи оформлювали на папері, розклад прибуття суден коригували по телефону, а вантажі відстежували через паперові звіти.

Це створювало хаос, особливо у великих портах, де щодня обробляються тисячі контейнерів [2]. Завдяки цифровим рішенням ці

процеси стали автоматизованими, що дозволяє значно знизити ризик помилок, затримок та додаткових витрат.

Цифровізація також допомагає зробити логістичні операції прозорими та контрольованими. Раніше порти часто стикалися з проблемою відсутності точної інформації про місцезнаходження вантажів.

Через це виникали затримки та труднощі з координацією транспорту [3]. Тепер, завдяки сучасним цифровим платформам, вся інформація доступна в режимі реального часу. Власники товарів, транспортні компанії, портові оператори та митні служби можуть швидко отримувати необхідні дані, що дозволяє краще планувати перевезення і уникати зайвих простоїв.

Ще одним важливим аспектом цифровізації є її вплив на економічну ефективність портів. Кожен день у світі через морські порти проходять величезні обсяги товарів, а будь-яка затримка може спричинити значні фінансові втрати. Наприклад, якщо судно змушене довго чекати своєї черги на розвантаження, це призводить до додаткових витрат на паливе, простою транспорту та штрафних санкцій. Цифрові технології дозволяють прогнозувати та оптимізувати ці процеси, зменшуючи витрати та підвищуючи продуктивність.

Не менш важливим є підвищення безпеки, яке забезпечує цифровізація. В портах працюють тисячі людей, і навіть одна незначна помилка може призвести до серйозних наслідків, наприклад, до аварій під час навантаження контейнерів або порушення техніки безпеки.

Завдяки цифровим рішенням, таким як автоматизовані системи моніторингу та контролю, ризики нещасних випадків значно зменшуються. Крім того, цифровізація сприяє зниженню рівня контрабанди та інших незаконних операцій, оскільки всі процеси стають більш прозорими та відстежуваними.

Ще одним важливим аспектом є екологічний вплив [4]. Порти – це об’єкти, які споживають велику кількість енергії та створюють значне навантаження на навколишнє середовище через викиди CO₂ та використання ресурсів. Цифровізація відкриває можливості для розвитку «зелених» технологій і сприяє покращенню екологічної ситуації, зокрема через оптимізацію логістичних ланцюгів та зменшення викидів CO₂ (рис. 1.2).

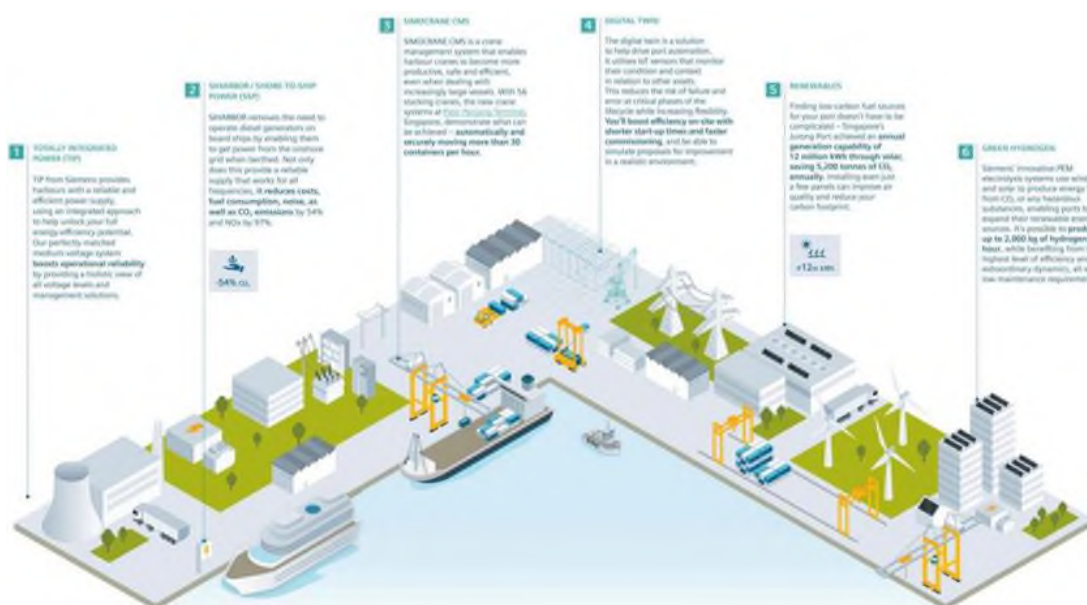


Рис. 1.2. Зелені технології в порту

Цифровізація змінює всю систему морської логістики, роблячи її швидшою, точнішою та безпечнішою. Вона дозволяє не лише спростити повсякденні операції, а й зробити їх більш вигідними як для підприємств, так і для кінцевих споживачів. У глобальному масштабі це сприяє зростанню міжнародної торгівлі, підвищенню конкурентоспроможності портів та інтеграції транспортних мереж у єдину цифрову екосистему [5].

Таким чином, цифровізація не просто покращує роботу портів – вона повністю змінює спосіб організації логістичних процесів, роблячи їх ефективнішими, безпечнішими та екологічно дружніми. Це невід’ємний крок до майбутнього, де технології будуть визначати успіх світової торгівлі та міжнародного співробітництва.

Завдяки впровадженню цифрових рішень порти можуть стати більш конкурентоспроможними на глобальному ринку, знижуючи затримки в обробці вантажів та підвищуючи ефективність роботи.

Це важливий крок для інтеграції українських портів у міжнародну логістичну систему та покращення їх взаємодії з іншими учасниками транспортної мережі.

1.2. Основні технології цифрової трансформації (Big Data, IoT, AI, блокчейн)

Сучасна міжнародна логістика є одним із найбільш динамічних напрямів глобального бізнесу. Розвиток світової торгівлі, зростання обсягів товарного обміну та активізація глобалізаційних процесів створюють нові виклики для управління логістичними процесами. Зростаючі вимоги до якості обслуговування, швидкості доставки, гнучкості та оптимізації витрат змушують компанії шукати нові підходи до організації транспортних операцій.

Ключовим фактором конкурентоспроможності стають інноваційні технології, які дають змогу впроваджувати сучасні методи планування, контролю й координації ланцюгів постачання. Це включає ефективне управління транспортними засобами, автоматизацію процесів, оптимізацію маршрутів і використання ресурсів. Завдяки таким підходам компанії можуть

підвищувати точність і швидкість виконання замовлень, забезпечувати зниження витрат та покращувати взаємодію між усіма учасниками логістичного ланцюга.

Інноваційні технології дозволяють ідентифікувати та управляти ризиками, покращувати ефективність використання транспортних засобів і ресурсів, а також мінімізувати витрати на складування, транспортування й операційні процеси. Завдяки впровадженню таких технологій підвищується продуктивність, задоволеність клієнтів і адаптивність до мінливих умов ринку. Усе це сприяє зміцненню конкурентних позицій компаній, розширенню клієнтської бази та забезпеченню стабільності в умовах динамічного розвитку міжнародної логістики. Інноваційні технології є основою розвитку сучасної міжнародної логістики, яка стикається з постійними викликами глобалізації, зростаючої складності ланцюгів постачання та потреби в підвищенні конкурентоспроможності [6].

Логістичні підприємства, які активно інтегрують ці технології у свою діяльність, мають можливість не лише покращити свої операційні показники, але й стимулювати інноваційну активність, створюючи нові продукти та послуги, а також оптимізуючи існуючі (рис. 1.3).

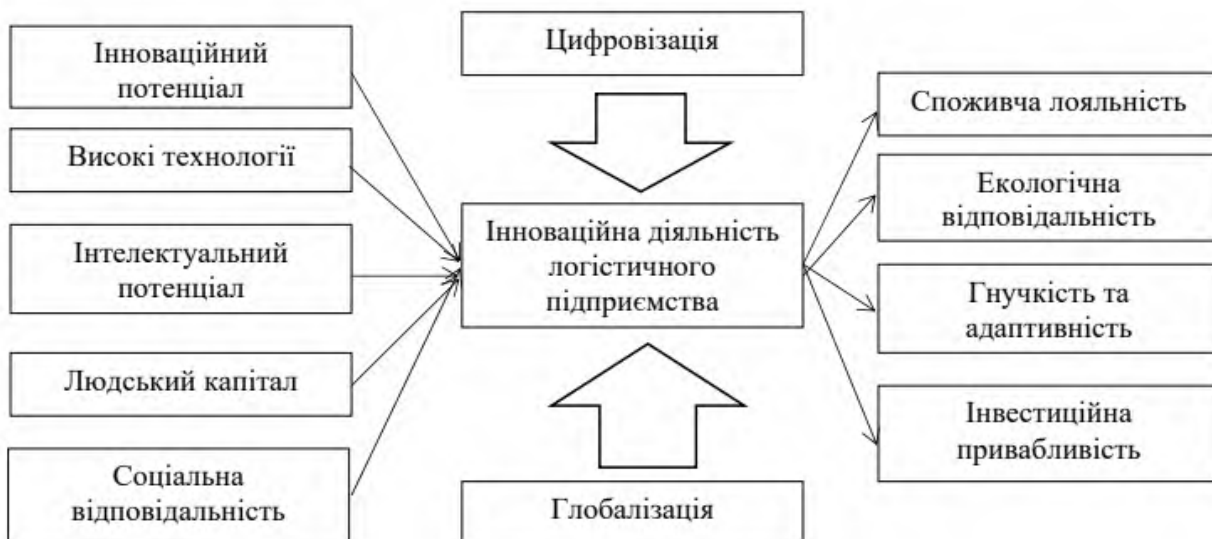


Рис. 1.3. Схематичне відображення впливу цифрових трансформацій на інноваційну активність логістичних підприємств

Джерело: сформовано автором за [7].

У контексті глобалізації та зростаючої конкуренції, здатність логістичних компаній швидко адаптуватися до змін та впроваджувати інновації є вирішальним чинником їх успіху.

Цифрові інструменти та платформи дозволяють логістичним підприємствам більш точно прогнозувати попит, оптимізувати маршрути доставки, зменшувати витрати та покращувати обслуговування клієнтів. Більш того, цифрова трансформація сприяє розвитку екосистем, де різні учасники логістичного ланцюга можуть ефективно співпрацювати та обмінюватися даними в режимі реального часу [8].

Сучасний світ зазнає стрімких змін під впливом цифрових технологій, і транспортна галузь, зокрема портова логістика, не є винятком. Традиційні методи управління портами поступово поступаються місцем інноваційним технологічним рішенням, які дозволяють значно підвищити ефективність

операцій, зменшити витрати та мінімізувати людський фактор. Однією з ключових складових цифровізації є використання таких технологій, як великі дані (Big Data), Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та блокчейн, що кардинально змінюють способи управління логістичними процесами та забезпечують новий рівень безпеки, прозорості та автоматизації [1].

Одним із найважливіших аспектів цифровізації є застосування технологій Big Data (рис. 1.4). Технологія Big Data (великі дані) відіграє ключову роль у цифровій трансформації портів та логістичних процесів. Великі дані – це величезна кількість структурованої та неструктурованої інформації.

До великих даних можна віднести потік повідомлень із соціальних мереж, системи підрахунку відвідувачів для інтернет-магазинів та інших сайтів, супутникові знімки, потокові аудіо та відеопотоки, банківські транзакції, контент веб-сторінок та мобільних додатків, телеметрію — віддалену автоматизовану систему збору показань з автомобілів та мобільних пристроїв, дані фінансового ринку — тобто майже всю інформацію, яка є у світі [9].

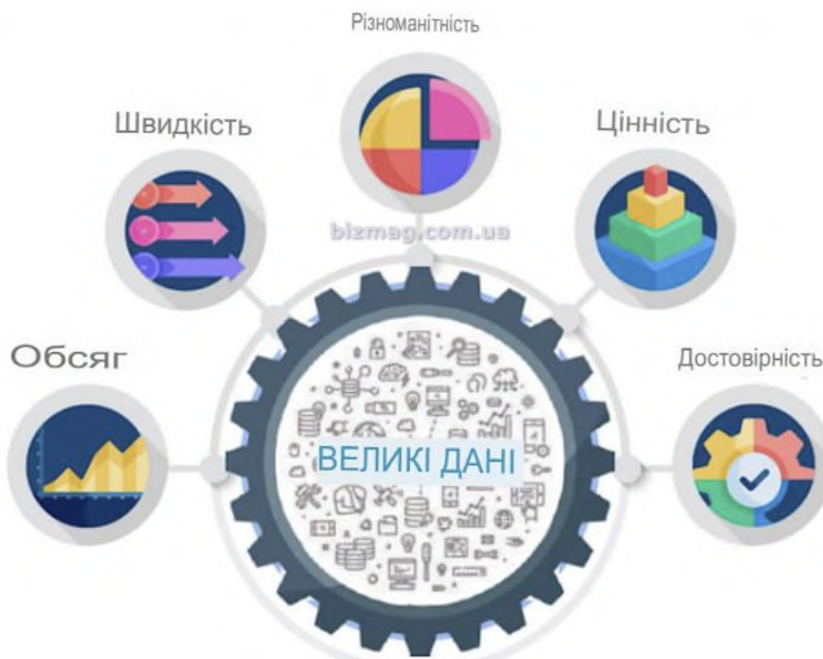


Рис. 1.4. Основні характеристики BigData

Джерело: сформовано автором за [9].

Технологія Big Data дозволяє аналізувати величезні масиви інформації, що генеруються у процесі перевезень, митного оформлення, роботи обладнання та інших аспектів діяльності портів. Одним із головних застосувань Big Data у портовій логістиці є оптимізація перевалки вантажів. Завдяки аналізу історичних даних та прогнозуванню тенденцій можливо визначати найбільш ефективні способи організації логістичних процесів. Наприклад, використовуючи дані про потоки контейнерів та завантаженість терміналів, порти можуть планувати свою роботу таким чином, щоб мінімізувати затримки та простої суден [1].

Також великі дані дозволяють автоматизувати управління портовими ресурсами. Алгоритми аналізу даних можуть оцінювати рівень використання інфраструктури та допомагати в оптимізації роботи портових кранів, складів,

терміналів тощо. Це не лише підвищує ефективність, а й сприяє економії ресурсів, знижуючи витрати на обслуговування та енергоспоживання [10].

Ще одним важливим аспектом застосування Big Data є моніторинг та прогнозування заторів у портах та навколишній транспортній інфраструктурі.

Завдяки аналізу руху суден, завантаженості причалів, метеорологічних даних та інших чинників, порти можуть заздалегідь адаптувати свої операції до змін у трафіку, уникати перевантаження терміналів та ефективніше планувати розвантаження суден.

Крім того, великі дані сприяють поліпшенню безпеки у портах. Аналіз історичних інцидентів, відстеження підозрілих дій та моніторинг стану контейнерів у реальному часі дозволяє виявляти потенційні загрози, що сприяє запобіганню аваріям, крадіжкам та іншим порушенням.

Загалом, використання Big Data у портовій логістиці дає змогу значно підвищити ефективність управління, зменшити затримки та скоротити витрати. Порти, які активно впроваджують цю технологію, стають більш конкурентоспроможними на міжнародному ринку, забезпечуючи швидке та безпечне транспортування вантажів.

Ще однією важливою технологією, яка активно впроваджується у портову логістику, є Інтернет речей (IoT). Інтернет речей (IoT) є однією з ключових технологій цифрової трансформації портів, що забезпечує автоматизований контроль та управління логістичними процесами. Завдяки використанню сенсорів, GPS-трекерів та смарт-пристроїв, IoT дозволяє отримувати дані в реальному часі про стан контейнерів, місцезнаходження вантажів, завантаженість терміналів і справність обладнання [1].

Одним із головних напрямків застосування IoT є оптимізація операцій порту. Смарт-системи можуть аналізувати рух контейнерів, автоматично коригувати розклад розвантаження суден та скорочувати час очікування. Це

сприяє зменшенню заторів, підвищенню ефективності роботи та зниженню витрат на експлуатацію [10].

Ще одним важливим аспектом є забезпечення безпеки (рис.1.5). Завдяки IoT можна здійснювати моніторинг доступу до території порту, контролювати стан контейнерів (температуру, вологість, рівень пошкоджень) та виявляти потенційні загрози, такі як спроби несанкціонованого втручання або витік небезпечних речовин [11].



Рис. 1.5. Система управління місцем розташування

Також IoT допомагає знизити екологічне навантаження. Смарт-системи оптимізують роботу транспортних засобів у порту, що сприяє зменшенню споживання пального та викидів CO₂. Крім того, автоматичний контроль витрат води та електроенергії дозволяє ефективніше використовувати ресурси.

Завдяки впровадженню IoT, порти стають більш автоматизованими, безпечними та екологічними, що є важливим фактором їхньої конкурентоспроможності у глобальній логістиці.

Дали хочу поговорити про штучний інтелект (AI). Застосування штучного інтелекту (AI) відкриває нові можливості для автоматизації багатьох процесів у портах. AI дозволяє автоматизувати логістичні процеси, оптимізувати рух вантажів та прогнозувати завантаженість портів, що допомагає уникати затримок. Також він забезпечує моніторинг безпеки у реальному часі, аналізуючи відеодані та виявляючи потенційні загрози.

Окрім цього, AI сприяє зниженню операційних витрат, оптимізуючи споживання енергії та ресурсів. Також активно застосовуються цифрові двійники – віртуальні моделі портів, що дозволяють тестувати нові технології без ризиків. AI робить порти більш технологічними та інтегрованими у глобальну логістичну систему, забезпечуючи швидку й ефективну обробку вантажів.

Також алгоритми машинного навчання дозволяють аналізувати історичні дані та прогнозувати можливі сценарії розвитку подій, що сприяє ефективному плануванню суднозаходів і управлінню портовими ресурсами. Наприклад, AI може використовуватися для визначення оптимального маршруту переміщення вантажів усередині порту, що значно знижує час обробки контейнерів та збільшує загальну продуктивність [11].

Не менш важливою складовою цифрової трансформації є блокчейн – технологія, що забезпечує безпечний і прозорий обмін інформацією між усіма учасниками логістичних процесів.

За своєю суттю блокчейн у логістиці — це розподілена цифрова книга, яка записує та зберігає дані в мережі комп'ютерів. Ця технологія створює ланцюжок інформаційних блоків, які криптографічно пов'язані, що

ускладнює зміну або підробку даних після їх запису. Технологія блокчейн у логістиці — це новаторська інновація, яка революціонізує роботу ланцюгів поставок, пропонуючи безпрецедентний рівень прозорості, безпеки та ефективності(рис. 1.6). Ця цифрова система трансформує традиційні логістичні процеси, створюючи незмінний і спільний запис кожної транзакції та руху в ланцюжку постачання.

Це особливо важливо у міжнародній торгівлі, де швидкий і безпечний обмін митними та транспортними документами відіграє ключову роль у забезпеченні безперервного руху вантажів [12].

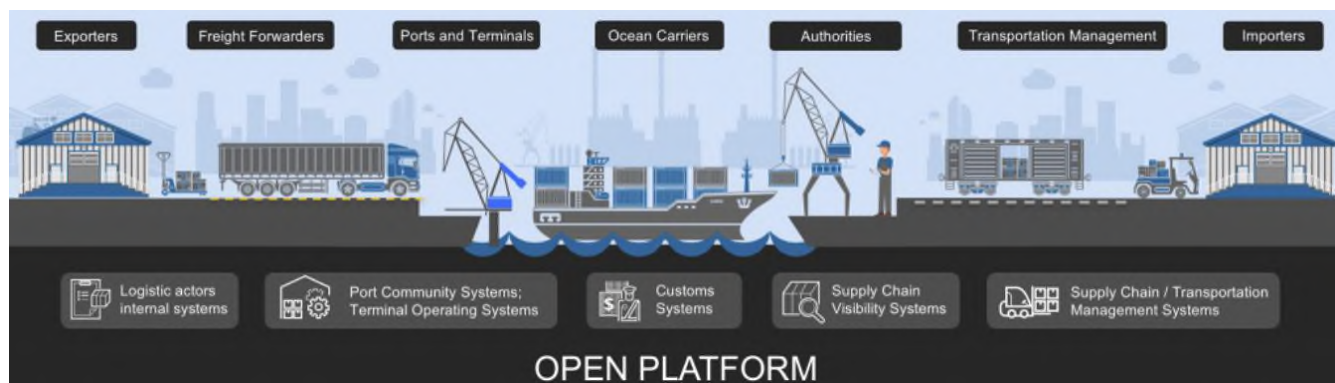


Рис. 1.6. Платформа, над якою працюють IBM та Maersk, об'єднує всі ланки ланцюжка поставок

Також ще хочеться зазначити що, інноваційні технології в транспортній логістиці можна класифікувати на три основні групи: інформаційні, технологічні та управлінські(табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Види інноваційних технологій в міжнародній логістиці

Види інноваційних технологій	Зміст інноваційних технологій
------------------------------	-------------------------------

Інформаційні технології	Використання цифрових платформ, баз даних, IoT, AI та Big Data для управління логістичними процесами, моніторингу вантажів, прогнозування та оптимізації маршрутів.
Технологічні інновації	Впровадження автоматизованих складів, робототехніки, дронів для доставки, автономних транспортних засобів і екологічно чистих транспортних рішень.
Управлінські технології	Використання систем управління ланцюгами постачання (SCM), ERP, CRM, а також програмного забезпечення для координації міжнародних перевезень і оптимізації витрат.
Екологічні інновації	Розробка та впровадження технологій зменшення викидів CO ₂ , використання відновлюваних джерел енергії та розвиток «зелених» транспортних коридорів.
Технології моніторингу та контролю	Інтеграція GPS, RFID та систем відстеження вантажів у реальному часі для забезпечення прозорості та

	безпеки логістичних операцій.
Цифрові платформи	Використання платформ для електронного обміну даними, управління замовленнями та координації між учасниками логістичних ланцюгів.
Блокчейн	Впровадження технології блокчейн для створення прозорих, незмінних та захищених реєстрів операцій у логістичних ланцюгах. Застосовується для відстеження вантажів, підтвердження транзакцій й оптимізації митних процедур.

Джерело: складено автором за [13]

Отже, розглянувши основні види інноваційних технологій у міжнародній логістиці, варто звернути увагу на їхнє практичне впровадження у різних країнах світу. У наступній таблиці представлено приклади застосування цих технологій у глобальному масштабі.

Таблиця 1.2

Світові лідери впровадження інноваційних технологій у міжнародній логістичній діяльності

№	Компанія	Ключові інноваційні технології
1	DHL Supply Chain	Автоматизовані склади, IoT для відстеження вантажів, екологічний транспорт
2	UPS Supply Chain	Штучний інтелект для оптимізації

	Solutions	маршрутів, блокчейн для прозорості постачання
3	Kuehne + Nagel	Big Data для прогнозування попиту, інвестиції в стійкі транспортні рішення
4	DB Schenker	Впровадження автономних вантажівок, використання доповненої реальності для оптимізації складів
5	DSV	Інтеграція цифрових платформ для управління ланцюгами поставок, екологічно чисті рішення

Джерело: складено автором за [13].

Тепер поговоримо щодо отриманих переваг від інноваційних технологій в міжнародній логістиці:

1. Економічна ефективність:

- скорочення витрат на транспорт і зберігання товарів;
- оптимізація ланцюгів постачання через використання автоматизованих систем управління;
- мінімізація втрат і простоїв завдяки точному прогнозуванню попиту.

2. Технологічний розвиток:

- впровадження штучного інтелекту (AI) для прогнозування попиту і управління запасами;
- використання Інтернету речей (IoT) для моніторингу вантажів у реальному часі;
- аналіз великих даних (Big Data) для оптимізації маршрутів і прийняття рішень.

3. Екологічна стійкість:

- зниження викидів парникових газів через оптимізацію логістичних процесів;

- перехід на екологічно чистий транспорт (електричні або водневі транспортні засоби).

4. Покращення обслуговування:

- прискорення доставки завдяки автоматизації процесів і використанню дронів;

- підвищення точності і надійності постачання;

- покращення комунікації між учасниками логістичних ланцюгів.

5. Конкурентоспроможність:

- збільшення гнучкості компаній у реагуванні на зміни попиту та ринкових умов;

- створення нових бізнес-моделей (наприклад, логістика «останньої милі»);

- підвищення репутації завдяки впровадженню інноваційних та екологічних рішень.

6. Глобальна інтеграція:

- спрощення міжнародної торгівлі через стандартизацію цифрових процесів;

- розвиток глобальних логістичних коридорів і партнерств.

7. Безпека:

- зниження ризиків крадіжок і втрат завдяки розумним системам моніторингу;

- забезпечення прозорості логістичних операцій [13].

Отже, цифровізація портової логістики, зокрема впровадження Big Data, IoT, AI та блокчейн, дозволяє значно підвищити ефективність управління портами, зменшити операційні витрати та мінімізувати

екологічний вплив за рахунок оптимізації ресурсів. Використання новітніх технологій сприяє створенню «розумних» портів, які відповідають вимогам сучасної глобальної економіки та забезпечують безперебійне функціонування логістичних ланцюгів на міжнародному рівні.

1.3. Роль цифровізації у забезпеченні екологічної стійкості портів

Цифровізація є одним із ключових напрямів розвитку сучасної портової логістики. Вона сприяє підвищенню ефективності управління ресурсами, зниженню операційних витрат та покращенню екологічної ситуації у прибережних районах. Традиційно порти є об'єктами підвищеного екологічного навантаження через значне енергоспоживання, викиди парникових газів, морське та повітряне забруднення. Використання цифрових технологій дозволяє мінімізувати негативний вплив портової діяльності на довкілля, а також забезпечити більш сталий розвиток морської індустрії

В умовах невинної трансформації глобального екологічного ландшафту та зростаючих антропогенних втручань у природні баланси, особлива увага спрямовується на проблематику екологічної стійкості у контексті портової інфраструктури. За сприятливих умов, порти виконують ключову роль у міжнародній торгівлі та забезпеченні господарських потреб суспільства, але водночас вони конфронтуються з трансграничними екологічними викликами.

Прискорена індустріалізація, збільшення обсягів судноплавства та зростаюча залежність від енергоресурсів формують середовище, в якому портова інфраструктура стає у центрі важливих екологічних перетворень.

Широка гама антропогенних факторів, таких як емісії забруднюючих речовин, відходи, шум та зміни гідрологічних режимів, формує суттєвий вплив на екосистеми при бережних територій та водних ресурсів. У цьому контексті актуалізується необхідність системного аналізу та комплексного вирішення екологічних проблем, що виникають на стику портової інфраструктури, транспортних маршрутів та біорізноманітних комплексів.

Таким чином, проблема екологічної стійкості портової інфраструктури викликає нове звучання в умовах глобальних змін, вимагаючи розробки та впровадження науково-обґрунтованих стратегій підтримки екологічно збалансованого розвитку портового комплексу у контексті екологічної стійкості[14].

Оптимізація ресурсів є ключовим аспектом, де цифрові технології, такі як розумні мережі, дозволяють у реальному часі відстежувати споживання та розподіл енергії. Це допомагає мінімізувати втрати та запобігати перевантаженням у мережах, що є критично важливим для сталого розвитку. Використання алгоритмів та машинного навчання також сприяє прогнозуванню споживання, що покращує планування та управління ресурсами.

Поліпшення енергоефективності реалізується завдяки інноваційним рішенням, таким як системи управління будівлями та розумні лічильники. Вони не лише знижують енергоспоживання, а й надають користувачам дані про витрати. Це сприяє усвідомленому споживанню та впровадженню енергоефективних практик, що в свою чергу знижує загальний вуглецевий слід.

Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) стає можливою завдяки цифровізації, яка забезпечує гнучкість для включення сонячних і вітрових ресурсів в існуючу енергосистему. Використання систем зберігання

енергії та розумного управління навантаженням допомагає компенсувати коливання у виробництві, забезпечуючи стабільність поставок і мінімізуючи залежність від викопних джерел (рис 1.7).



Рис. 1.7. Відновлювальні джерела енергії

Вплив цифрових технологій на екологічну стійкість підприємств морського транспорту охоплює кілька важливих аспектів. Одним із ключових є оптимізація маршрутів є важливим елементом, в якому цифрові рішення, зокрема системи управління флотом та аналітика великих даних, допомагають не лише покращити маршрути, але й враховувати погодні умови, течії та навантаження суден. Це забезпечує економію пального та скорочує час в подорожі, що, в свою чергу, призводить до зменшення викидів CO₂ і підвищує ефективність використання ресурсів.

Моніторинг викидів також відіграє ключову роль завдяки використанню датчиків і технологій IoT. Це дозволяє контролювати

дотримання норм і виявляти джерела забруднення, що надає змогу швидко вживати заходів для зменшення викидів і підвищення екологічної відповідальності компаній. Енергоефективність досягається за допомогою автоматизованих систем управління енергоспоживанням. Ці технології аналізують споживання енергії на борту суден і пропонують рекомендації щодо оптимізації витрат, включаючи можливість впровадження альтернативних джерел енергії, таких як вітрова або сонячна.

Удосконалення технічного обслуговування, завдяки прогнозуванню потреб за допомогою аналітики даних, допомагає знижувати частоту непередбачених поломок і подовжувати термін служби обладнання.

Це не лише економить ресурси, а й зменшує ризик екологічних інцидентів, таких як витоки пального або небезпечних вантажів.

Нарешті, підвищення безпеки забезпечується завдяки цифровим системам автоматичного маневрування та моніторингу. Вони зменшують вплив людського фактора на прийняття рішень, що значно знижує ймовірність аварій. Інтеграція технологій для моніторингу навколишнього середовища також дозволяє оперативно реагувати на зміни, які можуть загрожувати екології, наприклад, при потраплянні небезпечних речовин в море.

Для підвищення ефективності вантажних перевезень необхідно впроваджувати інноваційні технології, такі як автоматизація процесів, використання розумних транспортних систем і аналітики даних. Це дозволить зменшити затримки, оптимізувати маршрути та знизити витрати на перевезення.

Крім того, важливо поліпшити інтеграцію різних видів транспорту, щоб забезпечити безперервність логістичних ланцюгів. Стимулювання використання екологічних транспортних засобів і розвиток інфраструктури

для відновлюваних джерел енергії також сприятимуть зменшенню викидів та покращенню екологічної ситуації. Спільні ініціативи між державними органами, приватним сектором та міжнародними партнерами можуть допомогти реалізувати ці заходи більш ефективно, створюючи умови для сталого розвитку вантажних перевезень у Європі та за її межами.

У майбутньому для забезпечення успішного та безперервного функціонування морського транспорту важливо рівномірно враховувати такі аспекти, як екологічна стійкість, дотримання регуляторних вимог та економічні інтереси.

Незважаючи на невизначеність, пов'язану з майбутніми заходами з декарбонізації та їх впливом на логістичні витрати і торгівлю, в секторі потрібно продовжувати оновлення флоту, заміну старих суден, впровадження технологій з низьким викидом вуглецю, спрощення процедур перевезень на морському транспорті та підвищення ефективності роботи портів [15].

Сучасні порти стикаються з викликами енергозабезпечення, екологічної стійкості та економічної ефективності. Використання сонячних енергосистем може стати ключовим рішенням для зниження витрат, скорочення викидів та підвищення енергонезалежності. У таблиці нижче розглянуто вплив впровадження таких технологій на технічну, економічну та екологічну сфери портового комплексу (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Вплив використання сонячних енергосистем на технічну, економічну та

Впливовий аспект	Технічна сфера	Економічна сфера	Екологічна сфера
Генерація електроенергії	Встановлення сонячних панелей та інфраструктури для їхньої роботи	Зменшення витрат на електроенергію порту	Зниження викидів CO ₂ іншими забруднюючими речовинами через використання альтернативного джерела енергії
Зменшення витрат палива та енергії	Зменшення залежності від традиційних джерел палива для роботи двигунів суден та інших технічних систем	Зниження витрат на пальне для генерації електроенергії та операцій порту	Зниження використання вуглецю та інших шкідливих речовин за рахунок використання сонячної енергії
Зниження обсягів викидів CO ₂ та інших забруднюючих речовин	Мінімізація викидів токсичних газів та частки CO ₂ завдяки меншому використанню палива та енергії	Зменшення можливих платежів за викиди CO ₂ відповідно до регулюючих стандартів	Зменшення негативного впливу на якість повітря та води через зниження викидів та споживання енергії у процесах портових операцій

екологічну сфери портового комплексу

Джерело: складено автором за [16].

Зелені технології та інновації можуть стати драйверами позитивних змін, забезпечуючи відчутний зріст ефективності, зменшення негативного впливу на довкілля та поліпшення якості життя. Проте важливо враховувати складність цього процесу, який потребує інтегрованого підходу до впровадження інновацій, їхнього адаптування під конкретні умови та постійного моніторингу результатів.

Таким чином, ефективне впровадження зелених технологій та технічних інновацій у портовому секторі вимагає взаємодії та співпраці між різними суб'єктами, а також розуміння, що це не тільки перспективна можливість, а й необхідний крок у напрямку сталого розвитку, збереження довкілля та забезпечення майбутніх поколінь належною спадщиною.

У підсумку, впровадження зелених технологій та енергоефективних рішень у портовому секторі не тільки сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, але й покладе основи для сталого розвитку портової інфраструктури, забезпечуючи баланс між економічними і екологічними інтересами [14].

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ СТАНУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТІВ

2.1. Оцінка рівня цифрової трансформації у провідних світових портах

Цифровізація є ключовим напрямом розвитку світових морських портів, оскільки сприяє підвищенню ефективності логістичних процесів, зменшенню витрат та забезпеченню екологічної сталості. Провідні порти

світу активно впроваджують технологічні інновації, серед яких автоматизація, штучний інтелект, блокчейн та електронний документообіг.

Ефективність діяльності морського порту, його конкурентоспроможність на світовому ринку перевезень залежить від оптимізації системи управління, використання сучасного технічного оснащення та запровадження інноваційних технологій, які відповідають міжнародним вимогам. Жорстка конкуренція, яка панує сьогодні на ринку, сучасні виклики, які впливають на функціонування морських портів, вимагають зміни існуючих підходів до їх розвитку. Загально визнаним трендом світового транспортного ринку визнана цифровізація та інтелектуалізація, на роль якої в розвитку різних секторів та національної економіки в цілому неодноразово зверталась увага як на європейському, так і світовому рівні.

Останнім часом найкрупніші порти світу зазнають цифрових трансформацій, в результаті яких запроваджуються інноваційні технології в управлінні роботою портових операторів, відбувається інтеграція всіх учасників глобального ланцюга поставок у єдину взаємопов'язану мережу, зростає ефективність управління трафіком порту, підвищується пропускна здатність при перевантаженні та відправленні вантажів, створюється додатковий рівень безпеки [17].

Оцінка рівня цифрової трансформації у провідних світових портах є важливим аспектом їхньої конкурентоспроможності, екологічної стійкості та ефективності управління. Сучасні морські порти активно впроваджують технології автоматизації, штучного інтелекту, блокчейн-системи, Інтернет речей (IoT) та електронний документообіг, що дозволяє знижувати витрати, оптимізувати логістичні процеси та покращувати безпеку.

Ключові аспекти цифрової трансформації портів:

1. Автоматизація та штучний інтелект:

- Великі порти, такі як Роттердам та Антверпен, вже активно впроваджують AI-алгоритми для прогнозування обсягів вантажоперевезень та оптимізації використання ресурсів. AI дозволяє зменшувати затримки, передбачати перевантаження і покращувати розподіл ресурсів [17].
- Автоматизовані крани та роботи допомагають зменшити ручну працю, скорочуючи час обробки вантажів.

2. Інтернет речей (IoT) та аналіз даних:

- Сенсори IoT у портах дозволяють в режимі реального часу відстежувати стан обладнання, контроль температури та вологості в контейнерах, а також розподіляти потоки транспорту на території порту [18].
- Динамічний контроль портового трафіку та оптимізація шляхів руху дозволяють зменшити викиди CO₂ та підвищити енергоефективність.

3. Екологічна сталість та зелена енергетика:

- У Барселонському порту активно реалізується стратегія енергетичного переходу на відновлювані джерела, такі як сонячна енергія, для зниження залежності від викопного палива[19].
- Використання екологічно чистих технологій та систем управління енергоспоживанням дозволяє зменшити викиди CO₂ та зробити порти більш екологічно безпечними.

4. Безпека та прогнозування ризиків:

- Використання штучного інтелекту для аналізу погодних умов та передбачення можливих ризиків дозволяє запобігти аваріям на морі та у портах [18].
- Блокчейн-технології допомагають у забезпеченні прозорості транзакцій та боротьбі з контрабандою.

5. Розвиток «Smart Ports»:

- Поняття «Порт 4.0» поєднує в собі цифровізацію всіх процесів, включаючи використання автономного транспорту, дронів для моніторингу, цифрових платформ для керування логістикою та впровадження передових систем кібербезпеки [20].

Такі інновації, як цифрові двійники портів, дозволяють в режимі реального часу моделювати логістичні процеси та підвищувати точність прийняття рішень.

Дослідження особливостей розвитку лідерів портової галузі дозволило констатувати, що більш ніж половина контейнерних портів світу сконцентрована в Азії, переважно в Китаї, інфраструктурні об'єкти якого очолюють рейтинг, відіграючи значну роль у світовій морській торгівлі та судноплавстві (рис. 2.1) та демонструючи зростання вантажообігу.

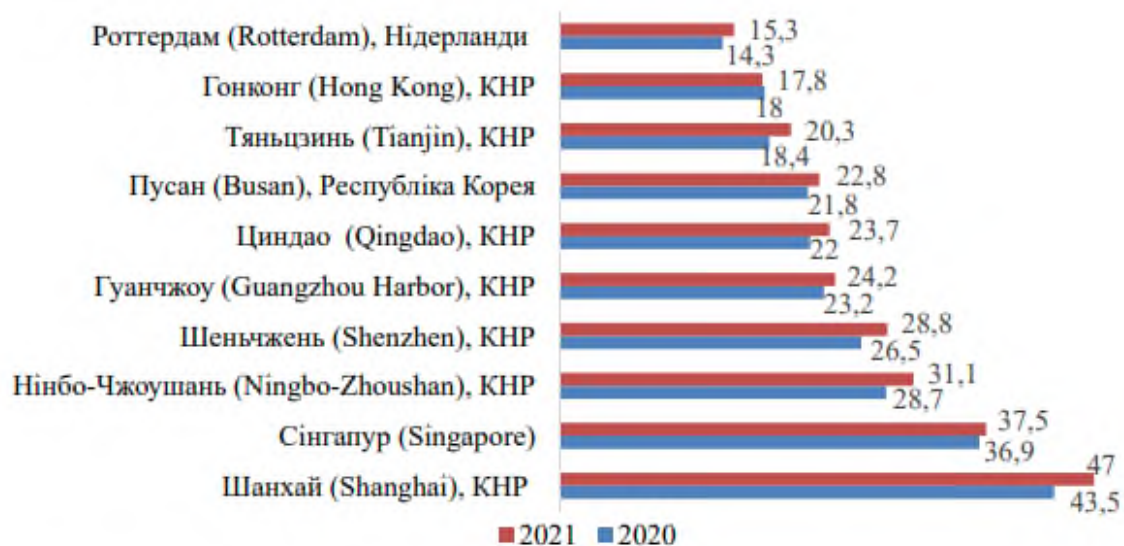


Рис 2.1 Рейтинг найкрупніших контейнерних портів світу за вантажообігом, млн TEU

Джерело: сформовано автором за [16]

Одним з найбільших портів визнано Шанхай, вантажообіг якого за даними 2021 року підвищився на 8 %, сягнувши позначки 47 млн. TEU. На другому місці – Сінгапур, який є важливим вузлом передачі контейнерів з одного лінійного сервісу до іншого для доставки до кінцевого пункту призначення (37,5 млн. TEU), на третьому – НінбоЧжоушань (31,1 млн TEU).

Трансформаційні процеси суттєво модернізували концепцію розвитку найкрупніших портів світу, яка сьогодні спирається на технологічні новації (використання інноваційного програмного забезпечення, сучасного обладнання) та передбачає зміни управлінської парадигми (формування корпоративної культури та зовнішніх комунікацій).

Першою сходинкою таких процесів було запровадження в порту Роттердам (1993 рік) безпілотних машин для обробки та горизонтального перевантаження контейнерів та автоматизації процесу цифровізації

документів, що дозволяло учасникам логістичного ланцюга відстежувати місцезнаходження контейнерів.

Сьогодні цей інфраструктурний об'єкт визнаний одним із самих передових в Європі. Серед масштабних трансформацій, які було здійснено в цьому морському порту заслуговують на увагу такі, як:

- проєкт «гіперумний» Container 42, який розпочато у 2019 році зусиллям значної кількості компаній (IBM, Cisco, Intel, Van Donge & de Roo, Simwave, Advanced Mobility Services, Kalmar і Shipping Technology тощо). Він передбачав відправку експериментального контейнеру, оснащеного датчиками, комунікаційним обладнанням, а також сонячними панелями. Його мета – збір протягом двох років інформації, яка необхідна при створенні «цифрового двійника» порту (умови транспортування на борту суден, залізницею і автотранспортом: вібрації, рівні забруднення повітря, температуру, вологість тощо);

- проєкт «Розумний порт в світі», який базується на технології Інтернету речей та передбачає створення протяг всієї портової зони цифрового двійника порту, що дозволить відслідковувати рух суден, управляти інфраструктурою та супутніми даними та до 2025 року – прийом автономних підключених вантажних суден.

Аналіз світових практик цифровізації в портах світу дозволив відзначити запровадження таких новацій, як: робототехніка, автоматизовані та полуавтоматизовані контейнерні термінали, штучний інтелект, безпілотні транспортні засоби, технологія блокчейн тощо.

Проте, звертаючи увагу на процеси автоматизації слід вказати, що в цілому технологічно та технічно ця ініціатива знаходиться на стадії запровадження. Про це свідчить той факт, що близько 97% контейнерних терміналів в портах світу не автоматизовано. При цьому частка повністю

автоматизованих дорівнює 1%. Серед них: міжнародний контейнерний термінал «Вікторія» (порт Мельбурн, Австралія), міжнародні контейнерні термінали порту Сідней (Австралія), термінал «Нью Цяньвань» (порт Циндао, Китай) та інші. Напівавтоматизованими є лише 2%. Серед них: контейнерний термінал «Фишермен айленд» (Брісбен, Австралія), термінали «Пасир-Панджанг» 1–4 (Сінгапур), термінал «Ои 5» (Токіо, Японія) тощо. Практичний інтерес, в контексті підвищення ефективності діяльності морських портів, представляє технологія блокчейн, яка дозволяє відстежувати в режимі реального часу та управляти логістичною діяльністю в ланцюгах постачань, забезпечуючи безпечність обміну даними між сторонами, сприяючи розвитку морських перевезень та оптимізації морської, в тому числі портової логістики.

Серед морських портів, в яких реалізовано такі технологічні новації – порт Роттердам, де реалізується масштабний проєкт Blockchain logistics, який спрямований на охоплення всього ланцюга постачань. Крім того, тестування цієї технології та запровадження пілотних проєктів, які спрямовані на зміну традиційної організації логістичних процесів та документообороту, здійснюються і в інших портах світу (Антверпен, Сінгапур, Циндао, Пусан та інших), доводячи її ефективність.

Тому, підкреслюючи значущість блокчейн для розвитку морських портів, погоджуюсь з думкою дослідників, які зазначають, що ця технологія виступатиме каталізатором більшої консолідації в галузі або сприятиме створенню дворівневої системи, в якій деякі лінії залишаться працювати з використанням цифрових технологій лише фрагментарно.

Морські порти світу мають накопичений досвід в сфері запровадження цифрових технологій, які характеризуються певним різноманіттям. Узагальнення напрацювань, які представляють практичний інтерес для вітчизняної галузі представлено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Запровадження цифрових рішень та технологій в ряді морських портів світу

Порт	Цифрові рішення та технології	Формування додаткового потенціалу для розвитку порту
Антверпен	пілотне тестування технології blockchain	оптимізація портової логістики та підвищення ефективності та безпеки управління базами даних
	платформа NxtPort	інтелектуальна обробка масивів інформації, що сприяє підвищенню ефективності та прозорості управління та обміну даними в порту; сумісність з існуючими платформами, що дозволить синхронізувати логістичні операції в порту, знизити витрати і затримки, збільшити пропускну спроможність і ефективність роботи
Пусан	запровадження blockchain в межах ланцюга постачання	оптимізація портової логістики, безпека обміну даними між сторонами
Роттердам	інтернет речей, блокчейн, технологій доповненого інтелекту	підвищення якості зв'язку між судами та береговими службами для раціоналізації управління рухом; оптимізація маршруту, визначення часу прибуття судна та доступності причалів
	система електронної навігації в режимі реального часу	зростання ефективності обміну інформацією між судами та між судном і берегом за рахунок досконалішої організації опрацювання даних (наприклад, стосовно дорожньої ситуації в порту, завантаженості інфраструктури тощо), підвищення рівня безпеки судноплавства, надійності та ефективності морських перевезень

Як інструмент цифровізації морських портів представляє інтерес Система портового співтовариства (Port Community Systems – PCS), яка є інформаційною системою, що працює в режимі реального часу.

Сямень	Xiamen Ocean Gate Container Terminal – «розумний» порт, в якому запроваджено інтелектуальну систему управління операціями з використанням технології 5G (від розвантаження вантажів до їх зберігання на складі)	повна автоматизація управління логістичними процесами та операціями в порту
Тілбері	інтегрований мобільний додаток бронювання транспортних засобів	можливість замовлення перевізниками контейнерів і перевірка їх місцезнаходження з мобільних пристроїв
Циндао	Повністю автоматизований контейнерний термінал, який управляється лазерними сканерами і системами позиціонування контейнерів для точного закріплення і перенесення їх на вантажівки без водія; безпілотна інтелектуальна система воріт	автоматичне швартування суден, повна автоматизація управління логістичними процесами (плануванням обладнання, доставкою контейнерів тощо)

Джерело: складено автором за [17].

Система портового співтовариства має наступні переваги: дозволяє оптимізувати логістичні процеси у ланцюзі постачання через встановлення стандартів обміну даними; забезпечує прозорість інформації на всіх етапах обробки вантажів; підвищує ефективність та швидкість портових процесів, зокрема, через спрощення системи документообороту; забезпечує високий рівень кібербезпеки всього логістичного ланцюга в порту через єдиний центр реагування на кіберзагрози.

Такий проєкт був реалізований та довів ефективність в таких портах, як: Лос-Анджелес, Барселона, Шанхай тощо [17].

Оцінка рівня цифрової трансформації у провідних світових портах є ключовим аспектом розвитку сучасної морської логістики. У світі активно впроваджуються технології Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI), машинного навчання, 5G та хмарних обчислень для оптимізації роботи портів, покращення безпеки та зменшення екологічного впливу.

Приклади цифрової трансформації в портах:

1. Порт Роттердама (Нідерланди) – один із найбільш цифровізованих портів світу. Використовує IoT-датчики та штучний інтелект для прогнозування погодних умов, рівня води та оптимізації причалювання суден. Впроваджено «цифрових дельфінів» – сенсорні буї та системи машинного навчання для управління рухом суден. Співпрацює з IBM та Cisco для впровадження автономних кораблів до 2025 року.

2. Порт Сінгапуру – один із найрозвиненіших портів світу з точки зору цифровізації. Використовує PORTNET – мережевий портал для синхронізації операцій між судноплавними компаніями, вантажоперевізниками та урядовими агентствами. Автоматизовані ворота Flow-Through Gate здатні обробляти до 700 вантажівок на годину, що значно прискорює логістичні процеси.

3. Порт Антверпена (Бельгія) – активно використовує віртуальну реальність (VR) для аналізу рівня води та розробки екологічно чистих гідротурбін. Також створено 3D-модель порту, яка дозволяє швидко оцінювати необхідність технічного обслуговування інфраструктури.

4. Порт Гамбурга (Німеччина) – один із перших портів, який розгорнув мережу 5G для поліпшення зв'язку між портовими об'єктами. Датчики на суднах передають дані про навколишнє середовище та рух транспорту, а розумні світлофори адаптують рух суден у режимі реального часу.

5. Порт Лонг-Біч (США) – використовує штучний інтелект для автоматизації портових кранів, прогнозування технічного обслуговування обладнання та управління контейнерними перевезеннями. AI також допомагає оптимізувати логістику вантажного транспорту, що зменшує затримки та витрати [21].

Останнім часом найкрупніші порти світу зазнають цифрових трансформацій, в результаті яких запроваджуються інноваційні технології в управлінні роботою портових операторів, відбувається інтеграція всіх учасників глобального ланцюга поставок у єдину взаємопов'язану мережу, зростає ефективність управління трафіком порту, підвищується пропускна здатність при перевантаженні та відправленні вантажів, створюється додатковий рівень безпеки тощо.

В багатьох портах світу процеси цифровізації технологічно та технічно знаходяться на стадії запровадження. Але серед лідерів, які характеризуються значними цифровими трансформаціями слід відзначити такі, як: Роттердам, Циндао, Сінгапур, Пусан, Сямень, Шанхай, Антверпен та інші. Узагальнення цифрових рішень та технологій, які використовуються в морських портах світу дозволило виокремити ті, та запровадження яких представляє інтерес для вітчизняної галузі. Серед них: робототехніка, автоматизовані та полуавтоматизовані контейнерні термінали, штучний інтелект, безпілотні транспортні засоби, технологія блокчейн тощо. Це сприятиме підвищенню ефективності діяльності портів та їх конкурентоспроможності в рамках міжнародної транспортної системи.

Разом з тим, цифровізація потребує значних інвестицій, зміни управлінської моделі та міжгалузевої співпраці. Ключем до успіху є не лише впровадження окремих технологій, а інтеграція цифрових рішень у стратегію сталого розвитку порту.

2.2. Аналіз цифрових рішень у логістичних процесах українських портів

У сучасному світі цифровізація є ключовим фактором підвищення ефективності та конкурентоспроможності портів. Вона дозволяє оптимізувати логістичні процеси, зменшити витрати та покращити якість обслуговування клієнтів. Українські порти також активно впроваджують цифрові рішення, зокрема системи Port Community System (PCS) та DocPort, що сприяє інтеграції у глобальні логістичні ланцюги та покращенню взаємодії між учасниками портової діяльності.

Упродовж останнього десятиріччя цифровізація стала однією з ключових стратегій модернізації портової галузі України. Стрімкий розвиток цифрових технологій, зростання вимог до прозорості логістичних процесів, а також інтеграція в глобальні ланцюги постачання стимулювали державні органи, операторів терміналів та логістичних посередників до активного впровадження цифрових рішень. У відповідь на виклики часу в українських морських портах почали з'являтися інструменти цифрового управління — від електронного документообігу до систем трекінгу транспорту та автоматизації пропускну режиму.

Для кращого розуміння масштабів та динаміки цього процесу доцільно розглянути графік рівня цифровізації українських портів у розрізі основних напрямів. Зображення нижче ілюструє зміни у впровадженні ключових цифрових рішень за період з 2015 до прогнозованого 2025 року (рис.2.2).

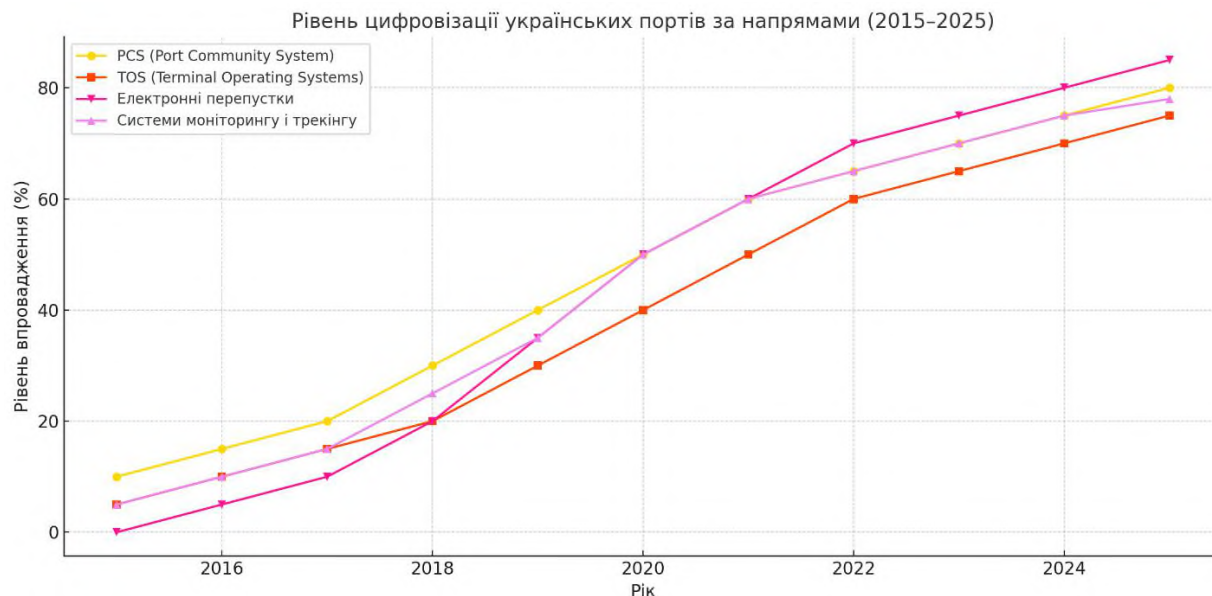


Рис. 2.2. Рівень цифровізації українських портів за напрямками (2015–2025)

Джерело: сформовано автором на основі узагальнених даних відкритих джерел та експертних оцінок

Як видно з графіка, усі чотири ключові напрями цифровізації демонструють сталу динаміку зростання впровадження. Найшвидше зростання спостерігається у сфері електронних перепусток, які почали активно застосовуватись після 2018 року — зокрема, в межах таких рішень, як DocPort. Їх рівень впровадження зріс з 20% у 2018 до понад 85% у 2025 році (прогноз), що свідчить про ефективність таких систем у забезпеченні пропускнуєї спроможності та зменшенні черг автотранспорту.

PCS (Port Community System) також демонструє значний поступ — з 10% у 2015 році до понад 80% у 2025 році. Це вказує на успішне масштабування електронного документообігу та координації між учасниками логістичного процесу.

Дещо повільніша динаміка — у систем моніторингу і трекінгу, але вони набувають дедалі більшого значення в умовах зростання потреб у прозорості та безпеці логістичних ланцюгів.

TOS (Terminal Operating Systems) демонструють впевнене, хоч і трохи повільніше зростання — особливо у контексті контейнерних терміналів.

Загалом, графік підтверджує, що впровадження цифрових інструментів в українських портах є системним і поступовим процесом, який супроводжується як державними ініціативами, так і комерційними інвестиціями у модернізацію інфраструктури.

Port Community System (PCS) — це електронна платформа, яка забезпечує обмін інформацією між усіма учасниками портової спільноти, включаючи портові адміністрації, митні органи, судноплавні компанії, експедиторів та інші зацікавлені сторони. Вона дозволяє автоматизувати та оптимізувати логістичні процеси, зменшити паперовий документообіг та підвищити прозорість операцій.

В Україні система PCS була впроваджена в усіх морських портах, зокрема в портах Великої Одеси — Одесі, Чорноморську та Південному. У цих портах функціонують модулі для обробки контейнерів, включаючи завантаження та розвантаження всіх видів транспорту. Крім того, у всіх українських портах діють модулі «Морський агент» та «Державний орган», через які здійснюється взаємодія з контролюючими службами [22].

Впровадження PCS дозволило значно скоротити час обробки вантажів, зменшити витрати та покращити координацію між учасниками логістичного процесу.

Одеський морський порт став першим в Україні, де було впроваджено систему PCS. Це дозволило перейти від паперового документообігу до електронного, значно скоротивши час обробки вантажів та зменшивши

кількість необхідних документів. Наприклад, час обробки товарів і транспортних засобів у морських портах скоротився з 15 годин до 2,5 годин, а кількість документів, які потрібно подавати морському агенту, зменшилася з 53 до 11.

Завдяки PCS, порт забезпечує ефективний обмін інформацією між усіма учасниками логістичного ланцюга, що сприяє зменшенню затримок та підвищенню продуктивності [23].

DocPort — це автоматизована система управління рухом автотранспорту в портах, яка дозволяє ефективно планувати заїзди, спрощує процедуру оформлення перепусток, підвищує пропускну спроможність та прискорює обробку вантажів. Система забезпечує прозорість та контроль за рухом транспорту на території порту, що сприяє зменшенню заторів та покращенню логістичних процесів [24].

Система DocPort вже працює в Дунайських портах та порту Чорноморськ. У травні 2025 року планується запуск DocPort в тестовому режимі в Одеському порту. Впровадження цієї системи дозволить значно покращити управління рухом автотранспорту, зменшити час очікування та підвищити ефективність логістичних операцій [24].

У порту Чорноморськ система DocPort вже активно використовується для управління рухом автотранспорту. Завдяки цій системі, порт зміг зменшити затори на в'їзді, покращити планування заїздів та підвищити загальну ефективність логістичних процесів [24].

У рамках цифрової трансформації логістичних процесів в Україні важливо оцінювати не лише загальні темпи цифровізації, але й порівнювати окремі напрями цифрових рішень у ключових морських портах. На графіку нижче представлено аналітичне порівняння рівня впровадження трьох

основних цифрових компонентів у портах Одеси, Чорноморська, Південного та Миколаєва. До них відносяться:

1. PCS (Port Community System) — єдина цифрова платформа взаємодії учасників портової діяльності.
2. TOS (Terminal Operating System) — системи управління логістичними операціями на терміналах.
3. Електронні перепустки — автоматизовані системи контролю доступу до портової території.

Графік показує, що порт Південний демонструє найвищий рівень цифровізації серед усіх досліджуваних об'єктів, що свідчить про його лідерство у впровадженні інновацій (рис. 2.3).

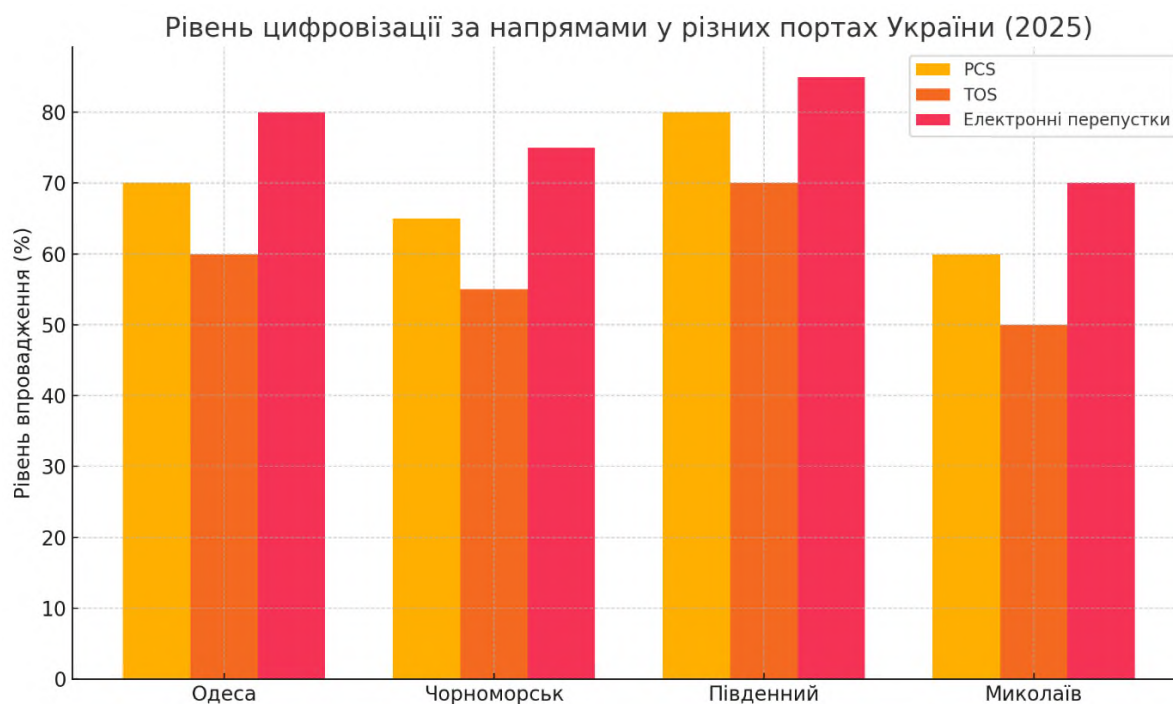


Рис. 2.3 Рівень цифровізації за напрямками у різних портах України (2025)

Джерело: сформовано автором на основі узагальнених даних відкритих джерел та експертних оцінок

Ці дані ілюструють, що цифрова трансформація в українських портах відбувається нерівномірно, і значну роль у цьому відіграють наявність інвестицій, управлінські підходи та стратегічна політика окремих портів.

Окрім підвищення ефективності та прозорості, цифрова трансформація логістичних процесів українських портів також істотно вплинула на економіку функціонування учасників логістичних ланцюгів. Особливо це помітно в аспектах, що стосуються витрат на документообіг, простої транспорту, адміністративного навантаження та часу очікування (рис.2.4).



Рис. 2.4. Зміна структури логістичних витрат до та після впровадження цифрових рішень у портах України.

Джерело: сформовано автором на основі узагальнених даних відкритих джерел та експертних оцінок)

Як видно з діаграми, витрати на документообіг зменшились удвічі — з 30% до 15%. Це зумовлено впровадженням таких систем, як Port Community System (PCS) та DocPort, які забезпечують автоматизовану подачу, обробку

та обмін інформацією між усіма учасниками логістичного процесу. Аналогічна динаміка спостерігається і в категоріях "Очікування на терміналі" та "Простій транспорту", де цифрові рішення дозволили значно оптимізувати логістику та зменшити непередбачувані затримки.

Зменшення адміністративного навантаження на 25% є результатом централізації даних, автоматизації звітності та переходу до цифрових платформ взаємодії з державними органами, що особливо актуально в умовах воєнного часу, коли оперативність прийняття рішень є критично важливою.

Ця інформація підкреслює економічну доцільність подальшого розвитку цифрової інфраструктури портів та підтверджує, що цифровізація є не лише технологічним, але й економічним важелем підвищення конкурентоспроможності українських портів на міжнародному ринку.

Впровадження цифрових рішень, таких як PCS та DocPort, в українських портах є важливим кроком на шляху до підвищення ефективності та конкурентоспроможності портової логістики. Ці системи дозволяють автоматизувати логістичні процеси, зменшити витрати та покращити якість обслуговування клієнтів. Подальший розвиток та вдосконалення цифрових технологій в портах сприятиме інтеграції України у глобальні логістичні ланцюги та забезпечить сталий розвиток портової інфраструктури.

2.3. Проблеми та бар'єри впровадження цифрових технологій

Цифрові технології стають невід'ємною складовою розвитку портової логістики в усьому світі. Їхнє впровадження спрямоване на підвищення ефективності операцій, зниження витрат, прискорення обробки вантажів та забезпечення прозорості взаємодії між усіма учасниками логістичного

процесу. Однак процес цифровізації портів України стикається з рядом серйозних проблем та бар'єрів, що уповільнюють трансформаційні зміни. Аналіз основних перешкод дозволяє краще зрозуміти реальну ситуацію та визначити можливі шляхи подолання існуючих труднощів.

Для більшої наочності на рисунку 2.5 представлено основні проблеми цифровізації портової логістики України та їхню питому вагу у загальній структурі викликів.



Рисунок 2.5. Основні проблеми цифровізації портової логістики України

Джерело: *сформовано автором на основі узагальнених даних відкритих джерел та експертних оцінок*

Як видно з діаграми, ключовими бар'єрами є:

1. Недостатнє фінансування (25%) — найсуттєвіший чинник, що уповільнює цифрові зміни;

2. Відсутність загальнонаціональної стратегії (20%) — дестабілізує процеси модернізації на рівні галузі;

3. Застаріла інфраструктура (15%) та низький рівень цифрової грамотності персоналу (15%) — ускладнюють інтеграцію новітніх технологій;

4. Кібербезпека (10%) та вплив військових дій (15%) — створюють додаткові ризики для функціонування портів у сучасних умовах.

Таким чином, успішна цифровізація потребує системного вирішення одразу кількох груп проблем, що пов'язані як із внутрішніми, так і із зовнішніми факторами розвитку морської галузі України.

Після візуального огляду основних проблем цифровізації портової логістики в Україні, представленого на рисунку ..., доцільно перейти до детального розгляду кожного з ключових бар'єрів. Нижче наведено розгорнутий аналіз найбільш вагомих чинників, що гальмують цифрову трансформацію портів: від відсутності державної стратегії та фінансових обмежень — до технічної відсталості, нестачі кадрів і загроз кібербезпеці.

Розуміння природи кожної з цих проблем дозволяє не лише окреслити реальний стан речей, а й сформувані обґрунтовані рекомендації для подальших дій.

Однією з найбільш системних проблем цифровізації портової галузі України є відсутність чітко сформованої загальнодержавної стратегії. Незважаючи на проголошення намірів цифрової трансформації, більшість дій реалізуються спонтанно, без належної координації між ключовими учасниками галузі. Це створює хаотичність у процесах, призводить до фрагментарного впровадження технологій та ускладнює синхронізацію інформаційних систем між портами та іншими логістичними структурами.

У багатьох випадках ініціативи впровадження цифрових рішень надходять від приватних операторів або адміністрацій окремих портів, що діють ізольовано одне від одного. Відсутність єдиного бачення уповільнює загальний темп модернізації, ускладнює залучення міжнародних партнерів та інвесторів, які шукають системність та стабільність у реалізації технологічних проєктів [25].

Модернізація портової логістики передбачає значні інвестиції у цифрову інфраструктуру, програмне забезпечення та навчання персоналу.

Проте в умовах економічної нестабільності та воєнного стану залучення капіталу до портової галузі ускладнено. Українські морські порти змушені обмежувати інвестиційні плани через брак ресурсів та високі ризики.

Крім того, потенційні інвестори не бачать гарантій повернення вкладених коштів, що знижує привабливість цифрових проєктів. Державне фінансування здебільшого спрямовується на оборонну сферу, і залишків бюджету недостатньо для реалізації інноваційних ініціатив.

На думку фахівців, стабільність економіки є базовою умовою для залучення інвесторів до модернізаційних проєктів у транспортному секторі [25].

Суттєвою проблемою є фізичне та моральне зношення технічної бази портів. Велика кількість причалів, вантажних терміналів, а також супутнього обладнання не відповідає вимогам сучасних цифрових систем. Відсутність автоматизації, нестача сучасних датчиків і сканерів, слабка ІТ-інфраструктура унеможливають ефективну інтеграцію цифрових рішень.

Інколи для впровадження нових рішень потрібна повна перебудова логістичних процесів. Але через технічні обмеження або обмежений бюджет

модернізація відкладається, що призводить до технологічного відставання у порівнянні з міжнародними портами-конкурентами.

Ця проблема відзначена як один із ключових бар'єрів цифровізації в аналітичних звітах дослідників [25].

Впровадження цифрових технологій неможливе без участі кваліфікованого персоналу, здатного ефективно використовувати сучасне програмне забезпечення та обладнання. Проте, у багатьох українських портах досі не створені умови для системного навчання працівників.

Особливо проблемним є рівень цифрової грамотності серед адміністративного персоналу, що звик до традиційних методів управління та опирається впровадженню нововведень. Відсутність мотивації до підвищення кваліфікації, нестача внутрішніх ІТ-фахівців та нерозвинена корпоративна культура цифрового управління ще більше загострюють ситуацію.

Збільшення обсягу цифрових операцій природно тягне за собою зростання ризиків кіберзагроз. Морські порти, які впроваджують електронний документообіг, автоматизовані системи моніторингу або цифрові логістичні платформи, стають мішенню для хакерських атак.

На жаль, багато українських портів не мають достатньо ресурсів або досвіду для побудови ефективної системи кіберзахисту. Це створює вразливість не тільки для внутрішніх баз даних, а й для безпеки міжнародних партнерів, які побоюються витоку критичної інформації.

Необхідність створення ефективної стратегії кібербезпеки для морської галузі неодноразово піднімалася в наукових публікаціях.

Повномасштабна війна в Україні стала критичним чинником, який поставив під загрозу більшість цифрових ініціатив. Зруйновані портові об'єкти, заблоковані морські маршрути, постійні загрози обстрілів та

мінування значно ускладнюють не тільки фізичну роботу портів, а й плани на їхню цифрову трансформацію.

Крім того, зменшення обсягу перевалки, втрата доступу до ключових ринків, дефіцит персоналу та ресурсів негативно позначаються на здатності портів інвестувати в технології. У таких умовах навіть успішні пілотні проєкти змушені були призупинити реалізацію.

Військові дії негативно впливають на фінансову спроможність портів інвестувати в нові технології, що підтверджується актуальними аналітичними дослідженнями.

Після аналізу основних бар'єрів цифровізації портової логістики доцільно розглянути реальний стан цифрової готовності українських портів. На рисунку наведено розподіл портів за рівнем впровадження цифрових технологій (рис. 2.6).



Рисунок 2.6. Рівень цифрової готовності портів України

Джерело: складено автором на основі узагальнених даних відкритих джерел та експертних оцінок

Пояснення до графіка:

1. Більшість портів (50%) мають низький рівень цифрової готовності — вони майже не використовують автоматизовані системи обробки вантажів або електронний документообіг.
2. 35% портів перебувають на середньому рівні: окремі цифрові рішення впроваджені, але немає комплексного підходу.
3. Лише 15% портів демонструють високий рівень цифровізації: мають інтегровані ІТ-системи, автоматизацію основних процесів та елементи «розумної логістики».

Процес цифровізації портової логістики в Україні стикається з багатьма проблемами: відсутністю стратегії, браком фінансування, технічними обмеженнями, низькою цифровою грамотністю персоналу та загрозами кібербезпеці. Війна лише посилила існуючі бар'єри та створила нові виклики. Подолання цих труднощів вимагає комплексного підходу: розробки загальнонаціональної стратегії цифровізації, активізації інвестиційної політики, модернізації інфраструктури, навчання кадрів та впровадження стандартів кіберзахисту.

Тільки через системний підхід можливо забезпечити ефективну цифрову трансформацію українських морських портів у післявоєнний період та підвищити їхню конкурентоспроможність на глобальному ринку.

Отже, подальший розділ дослідження мають бути присвячені пошуку рішень, обґрунтуванню механізмів впровадження сучасних цифрових інструментів та визначенню найперспективніших моделей розвитку портової логістики в умовах воєнного та післявоєнного відновлення.

РОЗДІЛ 3.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА СТРАТЕГІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ПОРТОВОЇ ЛОГІСТИКИ

3.1. Концепція «Розумного порту» та її реалізація

У сучасному світі, де глобальна конкуренція за логістичні потоки посилюється, концепція «розумного порту» набуває значної актуальності (редаговано зі стилістично нейтральною формулою).

Смарт-порт — це не просто цифровізована гавань, а інтегрована екосистема, яка забезпечує ефективну взаємодію усіх учасників логістичного процесу через новітні інформаційні технології. Для України, з огляду на її географічне положення та транзитний потенціал, запровадження такої концепції є не лише актуальним, а й стратегічно необхідним кроком [26].

Попри значний потенціал, українські порти сьогодні часто страждають від неефективного ручного управління, застарілої інфраструктури та відсутності інтегрованих цифрових систем. Серед найбільш болючих проблем варто виділити: паперовий документообіг, що сповільнює операції; відсутність централізованого моніторингу руху вантажів; застаріле портове обладнання, яке не може бути інтегроване в сучасні цифрові платформи; слабка автоматизація вантажно-розвантажувальних процесів. Такі недоліки призводять до затримок, зростання витрат та зниження

конкурентоспроможності портів України у порівнянні з сучасними портами Європи [27].

Успішне впровадження концепції смарт-портів у світі базується на застосуванні технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту, блокчейну, цифрових двійників, автономного обладнання та централізованих платформ управління. Наприклад, порт Роттердама впровадив систему цифрового двійника, яка в реальному часі моделює всі операції у гавані, підвищуючи ефективність та безпеку. У порту Сінгапуру використовується AI для оптимізації завантаження суден і прогнозування прибуття. У порту Лонг-Біч (США) успішно функціонує система IoT-моніторингу для відстеження вантажів у реальному часі [28].

Процес цифрової трансформації порту доцільно реалізовувати поетапно. Це дозволяє уникнути збоїв і поступово адаптувати персонал та системи до нових умов. Основні етапи впровадження включають (Рис.3.1):

1. Оцифрування документообігу: створення електронної бази для митних декларацій, коносаментів, дозволів на вхід суден, портових квитанцій тощо.
2. Створення аналітичних та моніторингових систем: запровадження IoT-сенсорів для контролю температури, вібрацій, вантажного місця; систем трекінгу переміщення контейнерів.
3. Автоматизація вантажно-розвантажувальних процесів: використання безпілотних кранів, автономних візків, роботизованих палетувальників.
4. Інтеграція в єдину цифрову платформу: об'єднання всіх компонентів у систему, яка дозволяє здійснювати моніторинг, управління та аналітику в реальному часі [26].



Рис. 3.1. Етапи цифровізації портів за моделлю Smart Port

Джерело: створено автором за [26].

Втім, на шляху до цифрової трансформації портів постають низка викликів. Серед них: високі початкові витрати на модернізацію; ризики кібербезпеки через збільшення кількості підключених пристроїв; опір змінам з боку персоналу, що боїться втратити роботу; складність інтеграції нових технологій із наявною інфраструктурою. Вирішення цих проблем потребує не лише технічних, а й управлінських та правових рішень. Смарт-порти також сприяють екологічній сталості – зменшенню викидів завдяки оптимізації логістики, переходу на електричне обладнання та автоматизованому плануванню маршрутів. Однак зміни впливають і на ринок праці – деякі традиційні професії можуть зникнути, тому необхідно заздалегідь готувати програми перекваліфікації персоналу.

Також ефективне функціонування смарт-порту вимагає висококваліфікованих фахівців у сферах ІТ, логістики, інженерії та кібербезпеки. Тому варто розвивати спеціалізовані освітні програми на базі українських морських академій, залучати міжнародних партнерів до підготовки персоналу, створювати центри компетенцій на базі портів.

Тепер хотілося б зробити порівняння портових операцій до та після цифровізації (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1

Порівняння портових операцій до та після цифровізації

Критерій	До цифровізації	Після цифровізації
Документообіг	Паперовий, займає години/дні	Електронний, обробка за хвилини
Моніторинг вантажів	Ручний, неточний, із затримками	ІоТ-сенсори, трекінг у реальному часі
Управління кранами та технікою	Людське управління	Автоматизоване/роботизоване
Аналітика та планування	Відсутня або постфактум	Штучний інтелект, передбачуване планування
Взаємодія з клієнтами та партнерами	Через телефон/факс	Через єдину цифрову платформу
Безпека та контроль доступу	Фізичні перепустки, мало даних	Біометрія, контроль доступу в режимі реального часу
Пропускна здатність	Обмежена людським фактором	Підвищена завдяки автоматизації
Екологічність	Високі викиди, неефективна логістика	Зниження викидів, оптимізовані маршрути

Джерело: Складено автором

Таким чином, перехід до розумної портової моделі є не лише технологічним викликом, а й необхідною умовою підвищення

конкурентоспроможності українських портів у глобальному логістичному середовищі. Цифровізація забезпечує швидший обіг вантажів, ефективне використання інфраструктури, прозорість процедур і інтеграцію до європейських транспортних та інформаційних систем.

3.2. Розробка стратегії цифровізації портів України

Цифровізація портової галузі в Україні набирає обертів, проте наразі перебуває на початковому етапі розвитку. Впровадження електронних систем, таких як «Єдине вікно» та e-Docs, стало важливим кроком у напрямку оптимізації логістичних процесів та зменшення бюрократичного навантаження. Зокрема, за даними Міністерства інфраструктури України, впровадження системи «Єдине вікно» дозволило скоротити час оформлення документів на 30% та зменшити кількість фізичних перевірок на 25% [29].

Крім того, в рамках цифровізації портової інфраструктури, у 2025 році планується запуск системи DocPort в Одеському порту, яка вже функціонує в портах Чорноморськ та дунайських портах. Ця система спрямована на автоматизацію процесу заїзду автомобільного транспорту, що дозволить ефективніше планувати заїзди, спростити процедуру оформлення перепусток та підвищити пропускну спроможність портів [30].

Однак, незважаючи на ці досягнення, цифровізація портової галузі в Україні залишається фрагментарною та не має єдиної стратегії розвитку. Відсутність комплексного підходу та координації між різними органами влади та учасниками ринку створює перешкоди для ефективного впровадження цифрових технологій. Це підкреслює необхідність розробки та реалізації національної стратегії цифровізації портової галузі, яка б

враховувала специфіку кожного порту та забезпечувала інтеграцію з європейськими та міжнародними стандартами.

Важливо також зазначити, що Національна транспортна стратегія України до 2030 року визначає цифровізацію як один із ключових напрямків розвитку транспортної інфраструктури. Проте, для досягнення поставлених цілей, необхідно забезпечити належне фінансування, кадрове забезпечення та нормативно-правову базу, що сприятиме ефективному впровадженню цифрових рішень у портовій галузі.

Тепер поговоримо про аналіз проблем та викликів на шляху цифровізації. Поглиблений аналіз виявляє низку системних проблем, що гальмують процес цифровізації портів:

1. Інфраструктурні обмеження: Багато портів мають застарілу IT-інфраструктуру, що ускладнює впровадження сучасних цифрових рішень.

2. Кадровий дефіцит: Відсутність кваліфікованих фахівців у сфері IT та цифрових технологій обмежує можливості для розвитку та підтримки нових систем.

3. Фінансові обмеження: Недостатнє фінансування з боку держави та обмежений доступ до інвестицій стримують впровадження масштабних цифрових проектів.

4. Бюрократичні бар'єри: Складні та непрозорі процедури прийняття рішень уповільнюють процес впровадження нових технологій.

5. Кібербезпека: Зростаюча загроза кіберзлочинності вимагає посилення заходів безпеки, що потребує додаткових ресурсів та експертизи.

Розробимо SWOT-аналіз Миколаївського порту (Табл. 3.2).

Сильні сторони (Strengths) - Стратегічне розташування порту - Наявність базової інфраструктури - Досвід співпраці з міжнародними вантажовідправниками	Слабкі сторони (Weaknesses) - Низький рівень цифрової грамотності персоналу - Відсутність системних програм навчання і підвищення кваліфікації - Застаріла IT-інфраструктура
Можливості (Opportunities) - Залучення міжнародних інвестицій і грантових програм - Інтеграція з європейськими цифровими транспортними системами	Загрози (Threats) - Недовіра до нових цифрових систем через попередній негативний досвід - Політична та економічна нестабільність у країні

Таблиця 3.2. SWOT-аналіз Миколаївського порту

Джерело: складено автором.

Тепер поговоримо про PEST-аналіз (Табл. 3.3.):

Політичні чинники - Підтримка уряду в напрямку цифровізації, але існує ризик змін у політичному курсі.	Економічні чинники - Обмежене фінансування, але можливість залучення міжнародної допомоги.
Соціальні чинники - Опір змінам з боку персоналу та необхідність перекваліфікації.	Технологічні чинники - Наявність сучасних технологій, але складність їх адаптації до існуючих умов.

Таблиця 3.3. PEST-аналіз цифровізації Миколаївського порту

Джерело: складено автором

Для ефективної цифровізації портів України необхідно розробити чітку дорожню карту, яка включатиме наступні етапи:

1. Аудит ІТ-інфраструктури та бізнес-процесів: Визначення "вузьких місць" та потреб кожного порту.
2. Розробка стратегії цифровізації: Врахування специфіки кожного порту та узгодження з національними пріоритетами.
3. Впровадження сучасних технологій: Зокрема, систем управління портовими процесами (Port Community Systems), які забезпечують обмін даними між усіма учасниками портової спільноти.
4. Моніторинг та оцінка ефективності: Встановлення ключових показників ефективності та регулярний перегляд стратегії.

Ключовими ініціативами мають стати:

- Інтеграція з міжнародними системами. Забезпечення сумісності з європейськими стандартами та системами.
- Розвиток людського капіталу. Проведення навчальних програм для підвищення цифрової грамотності персоналу.
- Залучення інвестицій. Створення сприятливих умов для приватних інвесторів та міжнародних партнерів.

Тепер я наведу приклад практичного впровадження стратегії: «Цифровізація порту Миколаєва».

Миколаївський порт є одним з ключових логістичних вузлів для експорту української аграрної продукції, зокрема зернових, олійних культур та продуктів переробки. Його вигідне географічне розташування на Південному Бугі забезпечує зручне сполучення з центральними та південними регіонами України.

У 2023–2024 роках в порту Миколаєва розпочалась поетапна цифрова трансформація логістичних процесів. Основними напрямками стали

впровадження електронної черги вантажного транспорту, цифрових систем обліку вантажів, інтеграція з митними базами та запуск автоматизованої системи управління документообігом. За аналогією з досвідом портів Чорноморськ та Рені, де впровадження аналогічних рішень (зокрема системи DocPort) призвело до суттєвого скорочення затримок і зростання пропускної спроможності, очікується, що цифровізація Миколаївського порту забезпечить:

- Зростання обсягів перевалки вантажів на 15% протягом перших двох років, за умови стабілізації безпекової ситуації та збереження попиту на агроекспорт. Такий прогноз ґрунтується на даних АМПУ щодо ефекту від впровадження цифрових рішень у портах Одеської області, де автоматизація процесів скоротила час обробки одного вантажного автомобіля на 20–25% [31].
- Скорочення простою транспорту на 30–40%, що зменшує витрати операторів і стимулює додатковий вантажопотік.
- Підвищення прозорості та зменшення корупційних ризиків завдяки автоматизації взаємодії між портом, митницею та іншими службами.

У 2024 році було оголошено про запуск пілотного проєкту SmartPort Mykolaiv у співпраці з місцевою адміністрацією та приватними операторами, з планами масштабування на всі об'єкти порту до кінця 2025 року. Проєкт фінансується частково за рахунок державного бюджету, а також інвестицій приватних логістичних компаній.

Таким чином, цифровізація Миколаївського порту є показовим кейсом ефективного впровадження інноваційних технологій у морську логістику України. Вона демонструє потенціал для масштабування подібних рішень на інші регіональні порти за умови наявності політичної волі, інвестицій і збереження єдиного стратегічного бачення.

3.3. Оцінка ефективності цифрових технологій у портовій логістиці

Цифровізація портової логістики є одним із ключових векторів модернізації морської інфраструктури, особливо в умовах глобальної конкуренції та зростаючих вимог до прозорості та ефективності логістичних процесів. Запровадження цифрових рішень у морських портах дозволяє не лише оптимізувати документообіг і прискорити обробку вантажів, а й значно знизити витрати та ризики, пов'язані з людським фактором і бюрократичними процедурами.

Оцінка ефективності цифровізації має стратегічне значення, адже без системного аналізу результатів упроваджених рішень неможливо визначити їхню доцільність, окупність та вплив на загальну конкурентоспроможність портової галузі. До ключових аспектів оцінки належать: рівень витрат і економії ресурсів, час логістичних операцій, якість надання послуг, зниження ризиків і можливість довгострокового підвищення ефективності всієї логістичної екосистеми.

Поговоримо про ключові критерії оцінки ефективності цифрових рішень.

1. Операційна ефективність:
 - Скорочення часу обробки вантажів.
 - Зменшення тривалості логістичних операцій (внутрішньопортовий рух, оформлення документів, контроль).
2. Фінансова ефективність:
 - Зменшення витрат на персонал шляхом автоматизації повторюваних операцій.
 - Скорочення витрат на паперовий документообіг, друк, архівацію.

- Мінімізація простоїв транспорту та суден, що дозволяє зменшити втрати та неустойки.

3. Інфраструктурна ефективність:

- Раціоналізація використання портових потужностей.
- Покращення планування завантаженості терміналів та складів.

4. Соціальні ефекти:

- Зменшення навантаження на працівників завдяки автоматизованим рішенням.

- Підвищення безпеки праці шляхом дистанційного моніторингу та зменшення контакту з небезпечними зонами.

Для ілюстрації ефекту від цифровізації логістичних процесів у порту можна розглянути умовну ситуацію до і після впровадження електронного документообігу та системи електронної черги (табл. 3.4):

Таблиця 3.4

Приклад умовного розрахунку ефективності

Показник	До цифровізації	Після цифровізації	Зміна
Час оформлення вантажу (год)	6 годин	3,5 години	-41,6%
Помилки у документах (на тиждень)	25	10	-60%
Час простою вантажівки (хв)	90	50	-44,4%
Витрати на папір і друк (грн/міс)	12 000	2 500	-79,2%

Джерело: складено автором на основі даних АМПУ, а також результатів впровадження системи e-Port в порту Рені [31].

Для наочного уявлення ефективності цифрових змін доцільно провести умовний розрахунок результатів впровадження електронного документообігу та системи електронної черги у роботі морського порту.

У таблиці наведено ключові показники логістичних операцій до та після цифровізації, а також відповідний розрахунок змін у відсотках.

Розрахунок зменшення проводиться за формулою:

$$\text{Зміна (\%)} = \left(\frac{\text{До} - \text{Після}}{\text{До}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Показник 1: Час оформлення вантажу (год)

- До: 6 годин
- Після: 3,5 години
- Розрахунок: $(6 - 3.5/6) * 100 = 2,5/6 * 100 = 41,6\%$

Зміна: завдяки цифровим формам та автоматичній перевірці даних скорочуються час очікування та перевірки вручну на 41,6%.

Показник 2: Помилки у документах (на тиждень)

- До: 25 помилок
- Після: 10 помилок
- Розрахунок: $(25 - 10/25) * 100 = 15/25 * 100 = 60\%$

Зміна: Кількість помилок у документах зменшилась на 60% — з 25 до 10 на тиждень.

Показник 3: Час простою вантажівки (хвилин)

- До: 90 хвилин
- Після: 50 хвилин
- Розрахунок: $(90 - 50/90) * 100 = 40/90 * 100 = 44,4\%$

Зміна: електронна черга зменшує затримки в оформленні і прибутті до порту на 44,4%.

Показник 4: Витрати на папір і друк (грн/місяць)

- До: 12 000 грн
- Після: 2 500 грн
- Розрахунок: $(1200 - 2500/12000) * 100 = 9500/12000 * 100 = 79,2\%$

Зміна: електронний документообіг практично повністю усуває потребу в друкуванні супровідних документів на 79,2%.

Ці показники демонструють, що навіть часткова автоматизація процесів призводить до суттєвого покращення продуктивності та економії ресурсів. При масштабуванні таких рішень на рівень всієї портової інфраструктури України очікується синергетичний ефект.

Для оцінки зовнішнього середовища, що впливає на впровадження цифрових рішень у портах України, доцільно застосувати PEST-аналіз(табл. 3.5):

Таблиця 3.5

PEST-аналіз, оцінка зовнішнього середовища, що впливає на впровадження цифрових рішень у портах

Фактор	Вплив на цифровізацію портів України
P (Політичний)	Державні програми цифрової трансформації, інтеграція з цифровими стандартами ЄС, участь у міжнародних ініціативах з розвитку "розумних" портів.
E (Економічний)	Висока потреба в інвестиціях, залежність від державно-приватного партнерства, окупність інфраструктурних проєктів.
S (Соціальний)	Недостатній рівень цифрової грамотності частини персоналу, необхідність перекваліфікації кадрів, зміна

Фактор	Вплив на цифровізацію портів України
	ролей у логістиці.
Т (Технологічний)	Швидкий розвиток ІТ-сектору в Україні, наявність вітчизняних рішень (наприклад, DocPort, e-Queue), доступ до хмарних платформ та API.

Джерело: складено автором

Таким чином, макросередовище в Україні є переважно сприятливим для цифровізації портової галузі, але потребує системної державної підтримки й кадрового оновлення.

Цифрові технології мають вагомий позитивний вплив на основні показники ефективності портової логістики — час, витрати, прозорість і точність. Прикладні розрахунки підтверджують, що навіть початковий етап цифровізації дає відчутні результати.

З точки зору стратегії, впровадження цифрових рішень створює довгострокові конкурентні переваги для портової галузі України: підвищує її привабливість для міжнародних партнерів, стимулює інвестиції та полегшує інтеграцію до глобальної логістичної мережі.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Призначення та структура Міжнародної морської організації (ІМО)

Міжнародна морська організація (ІМО) є спеціалізованою установою Організації Об'єднаних Націй, яка відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки морського судноплавства, охороні морського середовища та розробці міжнародних стандартів у сфері морського транспорту. Заснована в 1948 році, ІМО розпочала свою діяльність у 1959 році з метою створення єдиної платформи для співпраці урядів у галузі морського транспорту.

Міжнародна морська організація (ІМО) відіграє фундаментальну роль у функціонуванні глобальної морської індустрії. У світі, де понад 80% міжнародної торгівлі здійснюється морським транспортом, питання безпеки, охорони праці, захисту довкілля та стандартизації стають критично важливими. Саме ІМО забезпечує єдиний правовий і технічний простір, у якому країни світу координують свої зусилля задля безпечного, ефективного та екологічно чистого судноплавства. Завдяки діяльності організації вдалося значно знизити рівень аварійності, втрат людських життів на морі, обсяг шкідливих викидів у води Світового океану та забезпечити захист прав мореплавців. Вона є невіддільною частиною системи міжнародної безпеки та охорони праці на водному транспорті [32].

Основною метою ІМО є розробка та впровадження міжнародних стандартів, що регулюють безпеку мореплавства, запобігання забрудненню морського середовища та забезпечення ефективності судноплавства. Організація прагне до створення справедливої та ефективної нормативної

бази, яка буде універсально прийнята та впроваджена всіма країнами-членами [32].

Серед основних завдань ІМО:

1. Розробка міжнародних конвенцій та кодексів, що регулюють різні аспекти морського транспорту.

Одним із головних завдань ІМО є створення нормативної бази, що забезпечує безпечну, надійну та екологічно чисту морську навігацію. Сюди входить розробка міжнародних конвенцій, кодексів, рекомендацій, що встановлюють обов'язкові правила для суден, екіпажів та адміністрацій країн-членів.

Наприклад:

- Конвенція SOLAS (1974) – встановлює мінімальні вимоги до конструкції, обладнання та експлуатації суден для забезпечення їх безпеки.

- Конвенція MARPOL (1973/78) – регулює запобігання забрудненню морського середовища з суден.

- Конвенція STCW (1978) – визначає стандарти підготовки, дипломування та несення вахти для морських працівників.

Завдяки уніфікації правил, ІМО забезпечує однаковий рівень безпеки для всіх суден незалежно від прапора країни, під яким вони ходять [32].

2. Сприяння співпраці між урядами у сфері морського транспорту.

ІМО об'єднує більше 170 країн-членів, забезпечуючи платформу для спільної роботи в межах органу. Тут країни:

- Обговорюють та приймають рішення щодо змін до конвенцій.
- Обмінюються передовими практиками у сфері безпеки мореплавства.
- Координують зусилля в реагуванні на надзвичайні ситуації на морі (наприклад, аварії танкерів).

Ця співпраця дозволяє уникати протиріч між національними підходами, забезпечуючи глобальну гармонізацію морських стандартів і зменшуючи ризики аварій та екологічних катастроф.

Такий формат взаємодії сприяє швидкому реагуванню на нові виклики: кібербезпека, зміна клімату, інновації в автоматизації суден тощо [33].

3. Забезпечення безпеки життя на морі та охорони морського середовища.

ІМО активно працює над запровадженням заходів, спрямованих на зменшення морських катастроф і смертельних випадків серед моряків та пасажирів, а також на охорону екосистем.

Це досягається шляхом:

- Введення вимог до навігаційного обладнання, сигналізації та аварійної евакуації.
- Регулювання перевезення небезпечних вантажів (через Кодекс IMDG).
- Контролю за скиданням нафтопродуктів, хімікатів, баластної води.
- Запровадження зон обмеженого судноплавства в екологічно чутливих регіонах.

Ефективна робота ІМО дозволила зменшити кількість інцидентів із викидами шкідливих речовин у Світовий океан [34].

4. Підтримка країн у впровадженні міжнародних стандартів через технічну допомогу та навчання.

ІМО забезпечує технічну підтримку, особливо країнам, що розвиваються, допомагаючи їм інтегрувати міжнародні стандарти у свою правову та адміністративну систему. Форми підтримки:

- Навчання фахівців (капітани, інженери, інспектори, судновласники).

- Інституційна допомога у створенні національних морських адміністрацій.
- Надання грантів та програм технічного співробітництва.
- Організація регіональних семінарів і тренінгів.

Завдяки цій підтримці навіть найменш розвинені країни отримують змогу підвищити рівень безпеки морських перевезень і захистити свої води [35].

IMO Organization Structure



Рис. 4.1. Структура міжнародної морської організації ІМО

ІМО має складну організаційну структуру (рис. 4.1), яка включає кілька основних органів та комітетів, що відповідають за різні аспекти її діяльності.

Асамблея є вищим органом ІМО, до складу якого входять усі держави-члени. Вона збирається раз на два роки для визначення загальної політики організації, затвердження бюджету та обрання членів Ради.

Рада є виконавчим органом ІМО, що складається з 40 держав-членів, обраних Асамблеєю. Вона відповідає за координацію роботи організації між сесіями Асамблеї та нагляд за виконанням її рішень.

Секретаріат, очолюваний Генеральним секретарем, відповідає за адміністративну та технічну підтримку діяльності ІМО. Штаб-квартира організації розташована в Лондоні, Велика Британія [32].

ІМО має п'ять основних комітетів, кожен з яких відповідає за певний напрямок діяльності:

1. Комітет з безпеки на морі (MSC) – відповідає за розробку стандартів безпеки судноплавства.
2. Комітет із захисту морського середовища (MEPC) – займається питаннями запобігання забрудненню морського середовища.
3. Юридичний комітет (LEG) – розглядає правові аспекти морського транспорту.
4. Комітет з технічної співпраці (TC) – надає технічну допомогу країнам у впровадженні стандартів ІМО.
5. Комітет з полегшення формальностей судноплавства (FAL) – сприяє спрощенню процедур у міжнародному судноплавстві [37].

Кожен з основних комітетів підтримується низкою підкомітетів, які займаються спеціалізованими питаннями, такими як:

- Людський фактор, навчання та вахтове несення (HTW).
- Навігація, зв'язок та пошуково-рятувальні операції (NCSR).
- Запобігання забрудненню та реагування (PPR).
- Проектування та будівництво суден (SDC).

- Системи та обладнання суден (SSE).
- Перевезення вантажів та контейнерів (CCC).

Міжнародна морська організація (ІМО) є ключовим гравцем у забезпеченні безпеки та охорони праці в морському суднопластві. Її структура дозволяє ефективно розробляти та впроваджувати міжнародні стандарти, спрямовані на захист життя моряків, збереження морського середовища та підвищення ефективності судноплавства.

Розуміння призначення та структури ІМО є необхідним для фахівців у галузі морського транспорту та охорони праці, оскільки дозволяє ефективно впроваджувати міжнародні стандарти на національному рівні.

4.2. Обробка вхідної інформації і проблема уваги. Вплив емоційних станів оператора на процеси переробки інформації.

У сучасних умовах цифрової трансформації портової логістики значно зросли вимоги до працівників, які взаємодіють із цифровими системами: диспетчерськими платформами, системами моніторингу вантажопотоків, навігаційними модулями, автоматизованими кранами та транспортними системами. Центальною фігурою в цьому процесі є оператор, який повинен швидко обробляти вхідну інформацію, приймати рішення та реагувати на зміни у виробничій ситуації. При цьому важливу роль відіграють когнітивні фактори — увага, концентрація, навички обробки інформації та емоційний стан оператора.

Оператори в портах обробляють інформацію через різні канали: візуальні дисплеї, аудіосигнали, тактильні інтерфейси. Кожен з цих каналів вимагає певного рівня когнітивної обробки. Коли обсяг інформації

перевищує когнітивні можливості оператора, виникає когнітивне перевантаження, що може призвести до помилок.

Дослідження показують, що впровадження когнітивних технологій, таких як розширена реальність (AR) та інтерфейси з оптимізованим дизайном, може зменшити когнітивне навантаження операторів, покращуючи їхню продуктивність та безпеку [38].

У цифровому портовому середовищі оператори повинні розподіляти увагу між кількома завданнями одночасно. Це включає моніторинг різних систем, реагування на сигнали тривоги та прийняття рішень у режимі реального часу. Такий багатозадачний режим може призвести до зниження концентрації та збільшення ймовірності помилок.

Дослідження вказують на те, що втома є ключовим фактором, що впливає на продуктивність операторів у складних соціотехнічних системах, таких як портова логістика [39].

Емоційний стан оператора значно впливає на його здатність обробляти інформацію та приймати рішення. Стрес, тривожність та втома можуть знижувати концентрацію, уповільнювати реакції та призводити до помилок.

Дослідження показують, що емоційне виснаження працівників портової логістики може бути пов'язане з їхнім сприйняттям корпоративної соціальної відповідальності, що, в свою чергу, впливає на їхню продуктивність та безпеку [40].

Уявімо ситуацію, коли оператор моніторить кілька систем одночасно: контроль вантажних кранів, навігаційні дані та сигнали безпеки. Раптовий сигнал тривоги може залишитися непоміченим через перевантаження інформацією або емоційний стрес, що призведе до затримки в реагуванні та потенційних аварій.

Дослідження вказують на те, що впровадження когнітивних стратегічних моделей у портових системах може покращити обробку інформації та зменшити вплив емоційних факторів на прийняття рішень[41].

Рекомендації для покращення обробки інформації та уваги операторів:

1. Впровадження когнітивних технологій: Використання розширеної реальності та оптимізованих інтерфейсів для зменшення когнітивного навантаження.

2. Моніторинг стану операторів: Використання смарт-сенсорів для відстеження фізіологічних показників та виявлення ознак втоми або стресу.

3. Психологічна підтримка: Забезпечення доступу до програм підтримки ментального здоров'я та управління стресом.

4. Оптимізація робочих графіків: Розробка змінних графіків роботи для запобігання перевтомі та забезпечення достатнього відпочинку.

У процесі цифровізації портової логістики роль людини, зокрема оператора, залишається ключовою. Навіть найсучасніші автоматизовані та інформаційні системи не можуть повністю усунути вплив людського фактора на ефективність та безпеку логістичних процесів.

Оператори, диспетчери, інженери — усі вони щоденно взаємодіють з великим потоком вхідної інформації, яка надходить через численні канали: комп'ютерні інтерфейси, візуальні дисплеї, тривожні сигнали, сенсорні системи.

Ефективна обробка цієї інформації вимагає високого рівня концентрації, швидкої реакції, аналітичного мислення та стійкості до стресу. Однак, численні дослідження підтверджують, що на ці когнітивні здібності істотно впливають зовнішні фактори, зокрема втома, перевантаження інформацією, емоційне виснаження, стресові ситуації, монотонність та інтенсивність роботи. У результаті зростає ризик людських помилок, які в

умовах складної інфраструктури портів можуть призвести до серйозних наслідків — аварій, затримок, пошкодження вантажів або порушення безпеки праці.

Особливо важливо це в умовах переходу на цифрові платформи в управлінні логістикою. Нові цифрові системи, хоча й мають на меті полегшити роботу персоналу, водночас створюють нові виклики: необхідність швидко адаптуватися до інтерфейсів, обробляти складні аналітичні дані в реальному часі, синхронізувати дії з іншими операторами, які працюють у віддаленому режимі тощо.

Таким чином, виникає нагальна потреба в інтеграції до цифрових логістичних рішень механізмів, що підтримують увагу та емоційний стан оператора. Це можуть бути: автоматизовані системи моніторингу рівня стресу та втоми, адаптивні інтерфейси користувача, що підлаштовуються під когнітивні здібності працівника, а також комплексні програми психологічної підтримки та навчання[42].

Крім того, важливою складовою безпеки є оптимізація організаційної культури — формування у працівників усвідомлення власної відповідальності за безпечну роботу та створення умов, що сприяють зниженню емоційного напруження. У цьому контексті цифровізація портової логістики має не лише технічний, але й соціально-гуманітарний вимір: вона повинна бути спрямована на покращення умов праці та підтримку психофізіологічного стану персоналу.

Отже, обробка інформації та увага — це не лише технічні процеси, а комплексна когнітивно-психологічна діяльність. Забезпечення її ефективності є фундаментом для безпечного та сталого функціонування цифрової портової логістики України у майбутньому.

4.3. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків аварійних ситуацій.

У сучасних умовах розвитку портової логістики, особливо в контексті цифровізації, питання безпеки та управління ризиками набувають особливої актуальності. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків аварійних ситуацій дозволяє не лише аналізувати вже відомі інциденти, але й прогнозувати потенційні загрози, що виникають у складних логістичних системах. Це забезпечує можливість своєчасного виявлення вразливих місць та розробки превентивних заходів для запобігання аваріям.

Застосування сучасних методів аналізу, таких як аналіз дерева відмов (Fault Tree Analysis, FTA) та Байєсівські мережі (Bayesian Networks), дозволяє ефективно ідентифікувати потенційні ризики, пов'язані з відновленням портової інфраструктури, та розробити стратегії для їх мінімізації. Це сприяє підвищенню стійкості та надійності логістичних систем, що є критично важливим для забезпечення безперебійного функціонування портів[43].

Одним із поширених методів аналізу причинно-наслідкових зв'язків є аналіз дерева відмов (Fault Tree Analysis, FTA). Цей метод дозволяє візуалізувати логічні взаємозв'язки між різними подіями, що можуть призвести до небажаних наслідків, таких як аварії або збої в роботі системи. FTA широко застосовується в транспортній галузі для оцінки надійності систем та виявлення критичних точок, де можливі відмови[44].

Аналіз дерева відмов (FTA) — це дедуктивний метод, який дозволяє визначити причини небажаних подій у складних системах. Він полягає у створенні графічної моделі, де верхній вузол дерева (так зване "основне подія") — це аварія чи відмова системи, а гілки — потенційні причини, що

призводять до неї. У моделі використовуються логічні оператори, такі як AND та OR, для відображення зв'язків між подіями (табл. 4.1).

Етапи FTA:

1. Визначення верхньої події: ідентифікація основної відмови або критичної події, яка підлягає аналізу.
2. Побудова дерева відмов: створення графічної схеми, що показує логічні зв'язки між подіями.
3. Аналіз мінімальних шляхів відмови: виявлення найменших комбінацій причин, які можуть викликати основну подію.
4. Кількісний та якісний аналіз: оцінка ймовірностей виникнення подій і їхнього впливу.
5. Розробка заходів щодо зниження ризику: планування дій для усунення або мінімізації ймовірності верхньої події. ([Fault Tree Analysis Guide with Example | SafetyCulture](#))

FTA застосовується в таких галузях:

- Авіація та аерокосмічна промисловість — для аналізу відмов систем управління.
- Ядерна енергетика — для оцінки безпеки реакторів.
- Промислове виробництво — для виявлення причин збоїв у роботі обладнання.
- Портова логістика — для аналізу відмов систем управління потоками вантажів[45].

Іншим ефективним методом є Байєсівські мережі (Bayesian Networks), які дозволяють моделювати ймовірнісні залежності між різними факторами та подіями. Цей підхід особливо корисний в умовах невизначеності та обмеженої інформації, оскільки дозволяє оновлювати оцінки ризиків у міру надходження нових даних. У морській галузі Байєсівські мережі

застосовуються для аналізу ризиків морських транспортних аварій, дозволяючи виявити ключові фактори, що впливають на безпеку судноплавства[46].

Байєсівські мережі — це ймовірнісні графічні моделі, що представляють собою спрямовані ациклічні графи, у яких вузли — це змінні, а ребра — умовні залежності між ними. Вони дозволяють моделювати складні системи в умовах невизначеності, будуючи логічні зв'язки між подіями[47].

Етапи побудови та використання:

1. Визначення змінних та зв'язків: ідентифікація ключових факторів та побудова залежностей.
2. Побудова графа: створення структури мережі без циклів.
3. Призначення ймовірностей: встановлення умовних ймовірностей на основі даних або експертних оцінок.
4. Інференція (вивід): розрахунок ймовірностей нових подій на основі відомих.
5. Оновлення моделі: адаптація структури за наявності нових даних [48].

Байєсівські мережі активно використовуються в таких сферах:

- Медицина — для діагностики захворювань.
- Фінанси — для оцінки ризиків.
- Інформаційні технології — у фільтрації спаму, розпізнаванні мовлення.
- Портова логістика — для прогнозування затримок у постачаннях та управління ризиками.

Таблиця 4.1.

Порівняльна таблиця методів

Критерій	FTA (Аналіз дерева відмов)	Байєсівські мережі
Тип аналізу	Дедуктивний	Індуктивний
Побудова моделі	Від наслідку до причин	Від причин до наслідків
Урахування ймовірностей	Додатково	Основний принцип
Гнучкість при оновленні	Обмежена	Висока
Робота з невизначеністю	Обмежена	Висока ефективність

Джерело: складено автором

В умовах України, де портова інфраструктура зазнала значних пошкоджень внаслідок військових дій, моделювання причинно-наслідкових зв'язків аварійних ситуацій є надзвичайно важливим для відновлення та модернізації логістичних процесів. Застосування методів FTA та Байєсівських мереж дозволяє ефективно ідентифікувати потенційні ризики, пов'язані з відновленням портової інфраструктури, та розробити стратегії для їх мінімізації. Це сприяє підвищенню стійкості та надійності логістичних систем, що є критично важливим для забезпечення безперебійного функціонування портів [49].

Моделювання причинно-наслідкових зв'язків аварійних ситуацій є ключовим інструментом для забезпечення безпеки та ефективності портової логістики, особливо в умовах цифровізації та відновлення інфраструктури. Застосування методів аналізу дерева відмов та Байєсівських мереж дозволяє не лише аналізувати вже відомі інциденти, але й прогнозувати потенційні

загрози, що виникають у складних логістичних системах. Це забезпечує можливість своєчасного виявлення вразливих місць та розробки превентивних заходів для запобігання аваріям. Таким чином, інтеграція цих методів у процеси управління ризиками є необхідною умовою для підвищення стійкості та надійності портової логістики України [50].

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було встановлено, що цифровізація є ключовим чинником підвищення ефективності, безпеки та конкурентоспроможності портової логістики України. Впровадження цифрових технологій дозволяє не лише прискорити вантажопотоки та спростити логістичні операції, а й забезпечити вищий рівень контролю, прозорості та взаємодії між усіма учасниками логістичного процесу.

У першому розділі обґрунтовано, що цифрові рішення – це не лише технічне оновлення, а трансформація бізнес-моделі порту як цілісної логістичної системи. Інструменти на кшталт Big Data, IoT, блокчейн та AI кардинально змінюють принципи роботи сучасного порту.

У другому розділі проаналізовано стан цифрової трансформації українських портів. На прикладі Port Community System в Одесі та DocPort у Чорноморську показано, що перші результати цифровізації вже дають змогу скорочувати час оформлення вантажів до 60%, зменшувати кількість паперових документів і покращувати координацію між державними та приватними учасниками.

У третьому розділі систематизовано основні бар'єри цифрової трансформації в Україні: відсутність нормативної бази, фрагментарність ініціатив, недофінансування, опір змінам серед персоналу. Запропоновано етапи цифровізації портів, а також сформульовано модель «розумного порту», адаптовану до українських реалій, яка включає єдину цифрову платформу, інтегровані TOS, системи прогнозування, автоматизацію управління вантажопотоками.

Особливу увагу в четвертому розділі приділено охороні праці та ризикам у цифровому середовищі. Показано, що автоматизація та цифрова

інтеграція змінюють профіль професійних загроз: збільшується когнітивне навантаження, зростають вимоги до цифрової грамотності, виникають кіберзагрози. Запропоновано інструменти управління ризиками: Fault Tree Analysis (FTA), Байєсівські мережі, біометричний моніторинг стану працівників, кібергігієнічні протоколи. Зроблено висновок про потребу в адаптації систем охорони праці до цифрового середовища та підвищенні цифрової культури персоналу.

Таким чином, цифровізація є не лише технологічним інструментом, а стратегічною умовою сталого розвитку морських портів України. Її успішна реалізація потребує інтегрованого підходу, політичної волі, інституційної підтримки та готовності системно змінювати логіку управління логістичними процесами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Digital Transformation in Port Logistics: Journal of Transport & Logistics
URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/smart-ports> (дата звернення 04.03.2025)
2. Publications - EMSA - European Maritime Safety Agency URL: [Publications - EMSA - European Maritime Safety Agency](#)
3. Kravchenko, O. Blockchain and AI in Shipping Industry. Logistics and Supply Chain Review, 2019. 78-92 p.
4. Yang, T., Zhou, M. Digitalization in Port Logistics: A Global Perspective. Journal of International Trade and Economics, 2021. 14(1). 77-91 p.
5. Ports and Harbors Journal. Smart Port Strategies URL: <https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part3/digital-transformation/>
6. Економіко-правовий розвиток України URL: <https://dspace.onua.edu.ua/server/api/core/bitstreams/bc715676-3db4-4d8c-aa9b-b52f1a3dfa0b/content>
7. Вплив цифрової трансформації на інноваційну активність логістичних підприємств URL: https://www.researchgate.net/publication/386349949_VPLIV_CIFROVOI_TRAN_SFORMACII_NA_INNOVACIJNU_AKTIVNIST_LOGISTICNIH_PIDPRIEMS_TV
8. Логістика в контексті цифрової трансформації URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48279>
9. Что такое Big data URL: [Big data: что это такое и для чего нужно, характеристики и примеры применения больших данных, инструменты и технологии обработки](#)

10. World Bank Group: "Smart Ports and Data Analytics" URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/accelerating-digitalization-across-the-maritime-supply-chain>
11. European Maritime Safety Agency: "IoT and Security in Port Operations" URL: <https://www.emsa.europa.eu/>
12. Що таке блокчейн в логістиці? URL: [Що таке блокчейн в логістиці? Визначення, процес і переваги | Логос Логістика](#)
13. Інноваційні технології в міжнародній логістичній діяльності URL: <https://ins.vntu.edu.ua/index.php/ins/article/view/295>
14. Економічна ефективність екологізації. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4785>
15. Фактори формування витрат логістичних підприємств в Україні. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3687>
16. Екологічна стійкість портової інфраструктури. URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/5_2023/60.pdf
17. Особливості розвитку морських портів. URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2022/6_2022/40.pdf
18. Smart Ports: The Future of Maritime Infrastructure. URL: [Smart Ports: The Future of Maritime Infrastructure](#)
19. Port de Barcelona. URL: <https://www.portdebarcelona.cat/en/communication/agenda/smart-ports>
20. Innovation in Smart Ports. URL: [Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports](#)
21. Thales - Building a future we can all trust. URL: [Thales - Building a future we can all trust](#)
22. PCS in the Ukrainian sea ports. URL: [PCS in the Ukrainian sea ports: the route to the «Single window»](#)

23. UNECE trade facilitation success story for Odessa ports. URL: [UNECE trade facilitation success story for Odessa ports inspires broader use of international standards in Ukraine | eTrade for all](#)
24. Центр транспортних стратегій. URL: [В травні в Одеському порту планують запустити в тестовому режимі портову систему DocPort — Центр транспортних стратегій](#)
25. Перегляд Моделі цифрової трансформації портової діяльності у світовій практиці та адаптація до умов України. URL: [Перегляд Моделі цифрової трансформації портової діяльності у світовій практиці та адаптація до умов України](#)
26. Обчислювальна техніка та автоматизація. URL: [https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/5_2024/part_2/16.pdf](#)
27. Здобутки економіки: перспективи та інновації. URL: [https://econp.com.ua/index.php/journal](#)
28. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. URL: [https://daemmt.odesa.ua/index.php/daemmt](#)
29. Перевізники отримали нову платформу електронних послуг URL: [https://mtu.gov.ua/news/32954.html](#)
30. В порту Одесса запущена цифровая платформа DocPort URL: [https://www.apk-inform.com/ru/news/1548340](#)
31. Rail Insider URL: [railinsider.com.ua](#)
32. Introduction to IMO URL: [Introduction to IMO](#)
33. Міжнародна морська організація — Вікіпедія URL: [Міжнародна морська організація — Вікіпедія](#)
34. Maritime Safety URL: [Maritime Safety](#)
35. Technical Cooperation URL: [Technical Cooperation](#)
36. Important IMO Conventions URL: [Important IMO Conventions](#)

37. International Maritime Organization – Wikipedia URK: [International Maritime Organization - Wikipedia](#)

38. Frontiers | Machine learning-based cognitive load prediction model for AR-HUD to improve OSH of professional drivers URK: [Frontiers | Machine learning-based cognitive load prediction model for AR-HUD to improve OSH of professional drivers](#)

39. Fatigue as a key human factor in complex sociotechnical systems: Vessel Traffic Services – PMC URL: [Fatigue as a key human factor in complex sociotechnical systems: Vessel Traffic Services - PMC](#)

40. “Emotional Exhaustion and Perceived Corporate Social Responsibility: A Case Study of a Port Logistics Organization” | Request PDF URL: [“Emotional Exhaustion and Perceived Corporate Social Responsibility: A Case Study of a Port Logistics Organization” | Request PDF](#)

41. (PDF) Cognitive Strategic Model applied to a Port System URL: [\(PDF\) Cognitive Strategic Model applied to a Port System](#)

42. Mental health and psychological wellbeing of maritime personnel: a systematic review – PMC URL: [Mental health and psychological wellbeing of maritime personnel: a systematic review - PMC](#)

43. Causal Model and Cluster Analysis of Marine Incidents: Risk Factors and Preventive Strategies by Oleksiy Melnyk, Igor Petrov, Tatyana Melenchuk, Artur Zaporozhets, Svitlana Bugaeva, Olena Rossomakha :: SSRN URL: [Causal Model and Cluster Analysis of Marine Incidents: Risk Factors and Preventive Strategies by Oleksiy Melnyk, Igor Petrov, Tatyana Melenchuk, Artur Zaporozhets, Svitlana Bugaeva, Olena Rossomakha :: SSRN](#)

44. Leverage Bayesian Network and Fault Tree Method on Risk Assessment of LNG Maritime Transport Shipping Routes: Application to the China–Australia Route URL: [Leverage Bayesian Network and Fault Tree Method](#)

on Risk Assessment of LNG Maritime Transport Shipping Routes: Application to the China–Australia Route

45. Fault Tree Analysis URL: [Fault Tree Analysis](#)
46. Application of bayesian network in the maritime industry: Comprehensive literature review – ScienceDirect URL: [Application of bayesian network in the maritime industry: Comprehensive literature review - ScienceDirect](#)
47. Bayesian network – Wikipedia URL: [Bayesian network - Wikipedia](#)
48. Introduction to Bayesian networks | Bayes Server URL: [Introduction to Bayesian networks | Bayes Server](#)
49. (PDF) Logistics of Smart Port in Ukraine: Problems and Prospects in the Conditions of Sustainable Development URL: [\(PDF\) Logistics of Smart Port in Ukraine: Problems and Prospects in the Conditions of Sustainable Development](#)
50. Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: Benefits and challenges – ScienceDirect URL: [Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: Benefits and challenges - ScienceDirect](#)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему «Цифровізація портової логістики в Україні» на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження теоретичних засад цифровізації логістичних процесів у морських портах, аналіз стану цифрової трансформації портової галузі України, а також розробка рекомендацій щодо впровадження цифрових технологій та концепції «розумного порту».

У першому розділі розглянуто сутність цифрової логістики, визначено ключові цифрові технології (Big Data, IoT, блокчейн, штучний інтелект), проаналізовано їхнє значення для портового господарства та логістичних систем у світовому контексті.

У другому розділі проведено оцінку рівня цифровізації українських портів, розглянуто приклади впровадження систем Port Community System в Одеському порту та DocPort у порту Чорноморськ, визначено відмінності у цифровому розвитку вітчизняних і провідних світових портів.

У третьому розділі досліджено проблеми та бар'єри впровадження цифрових рішень в Україні, обґрунтовано концепцію «розумного порту» в національних реаліях, запропоновано поетапну модель його реалізації з урахуванням технічних, організаційних та нормативних чинників.

У четвертому розділі проаналізовано вплив цифровізації на умови праці в портах, розглянуто ризики, що виникають у зв'язку з автоматизацією, досліджено фактори психофізіологічної безпеки працівників, охарактеризовано моделі оцінки ризиків Fault Tree Analysis і Bayesian Networks.

Результати даної кваліфікаційної роботи полягають у тому, що на основі аналізу цифрових інструментів, міжнародного досвіду та особливостей української портової системи сформовано практичні рекомендації щодо подальшої цифровізації портів України та забезпечення безпеки праці в умовах цифрової трансформації.

Ключові слова: Цифровізація, портова логістика, розумний порт, Port Community System, DocPort, Big Data, IoT, штучний інтелект, блокчейн, автоматизація, кібербезпека, логістичні технології, цифрова трансформація, охорона праці, ІМО, ризик-менеджмент.

ANNOTATION

The qualification thesis entitled “Digitalization of Port Logistics in Ukraine” is submitted for the attainment of the Bachelor’s degree.

The purpose of this qualification thesis is to explore the theoretical foundations of digitalization in port logistics, analyze the current state of digital transformation in the Ukrainian port industry, and develop practical recommendations for the implementation of digital technologies and the concept of a “smart port.”

The first chapter examines the essence of digital logistics, identifies key digital technologies (Big Data, IoT, blockchain, artificial intelligence), and analyzes their significance for port infrastructure and logistics systems in the global context.

The second chapter evaluates the level of digitalization of Ukrainian ports, considers the implementation of the Port Community System in the Port of Odesa and DocPort in the Port of Chornomorsk, and highlights the differences between domestic and leading international ports in terms of digital development.

The third chapter analyzes the problems and barriers to the implementation of digital solutions in Ukraine, substantiates the concept of a “smart port” in national conditions, and proposes a phased model of its implementation, taking into account technical, organizational, and regulatory factors.

The fourth chapter analyzes the impact of digitalization on working conditions in ports, explores the risks associated with automation, examines the factors of psychophysiological safety of personnel, and characterizes risk assessment models such as Fault Tree Analysis and Bayesian Networks.

The results of this qualification thesis consist in the development of practical recommendations for the further digitalization of Ukrainian ports and for ensuring occupational safety in the context of digital transformation, based on the analysis of digital tools, international experience, and the specifics of the national port system.

Keywords: Digitalization, port logistics, smart port, Port Community System, DocPort, Big Data, Internet of Things, artificial intelligence, blockchain, automation, cyber security, digital transformation, occupational safety, risk management, Bayesian networks, Fault Tree Analysis.