

Швець М.Д.

Національний університет водного господарства та природокористування України

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОПТИМІЗАЦІЮ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ВАНТАЖІВ У ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛАХ

У статті розглянуто впровадження сучасних технологій для оптимізації перевантажувальних процесів у транспортних вузлах. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення ефективної взаємодії різних видів транспорту, зростанням обсягів вантажопотоків і вимогами до підвищення швидкості та надійності логістичних операцій. Установлено, що інтеграція таких технологій, як штучний інтелект, інтернет речей (IoT), робототехніка та автоматизовані системи, значно оптимізує перевантажувальні процеси, забезпечуючи точність, зниження витрат і мінімізацію ризиків, пов'язаних із людським фактором.

Метою дослідження визначено аналіз переваг сучасних технологій, виявлення ключових проблем їх впровадження, а також розроблення рекомендацій щодо їх інтеграції в транспортні вузли для покращення координації між видами транспорту. Методи дослідження включають аналіз літератури для систематизації наукових підходів, порівняльний аналіз для визначення переваг сучасних технологій над традиційними, огляд практичних кейсів успішного впровадження у провідних транспортних вузлах світу та систематизацію даних для визначення основних проблем і обмежень.

У результаті дослідження встановлено, що сучасні технології дозволяють скоротити час оброблення вантажів, оптимізувати взаємодію між морським, залізничним та автомобільним транспортом, а також знизити операційні витрати. Ідентифіковано основні проблеми, серед яких висока вартість технологій, недостатня цифровізація інфраструктури, складність інтеграції сучасних рішень у застарілі системи, дефіцит кваліфікованого персоналу та відсутність нормативно-правового регулювання.

Рекомендовано поетапне впровадження автоматизованих систем управління, використання IoT для моніторингу в реальному часі, робототехнічних рішень для автоматизації фізичних завдань і штучного інтелекту для планування логістичних операцій. Наголошено на необхідності модернізації інфраструктури, навчання персоналу та створення нормативно-правової бази для інтеграції інновацій.

Перспективи подальших досліджень включають аналіз можливостей інтеграції машинного навчання для автоматизації управління перевантажувальними процесами, вивчення економічної ефективності впровадження технологій у різних масштабах транспортної інфраструктури та оцінювання їх впливу на екологічні аспекти логістичної галузі.

Ключові слова: сучасні технології, транспортні вузли, штучний інтелект, інтернет речей, робототехніка, автоматизація, оптимізація логістики.

Постановка проблеми. Оптимізація перевантаження вантажів у транспортних вузлах є важливим завданням у сучасній логістиці, оскільки ці вузли виконують ключову роль у забезпеченні ефективного переміщення товарів між різними видами транспорту та регіонами. Зростання обсягів вантажопереvezень, викликане глобалізацією та розвитком міжнародної торгівлі, створює значний тиск на інфраструктуру транспортних вузлів, що вимагає впровадження інноваційних технологій. Застарілі методи управління перевантаженням вантажів призводять до зниження продуктивності, підвищення витрат, затримок і збільшення ризику помилок.

Наукова значущість цієї проблеми полягає в необхідності розроблення моделей і алго-

ритмів, які дозволяють інтегрувати сучасні технології, як-от штучний інтелект, інтернет речей (IoT), робототехніка та автоматизовані системи, для підвищення ефективності роботи транспортних вузлів. Практичне значення полягає у впровадженні технологій, які дозволяють зменшити час простою, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити стабільність логістичних процесів. Таким чином, дослідження впливу сучасних технологій на процес перевантаження вантажів є актуальним і спрямованим на розв'язання як наукових, так і практичних завдань, які стосуються модернізації логістичної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування сучасних технологій у транспорт-

них вузлах залишається ключовим напрямом наукових досліджень, спрямованих на підвищення ефективності логістичних операцій. Зокрема, в дослідженні О. Коростіна висвітлено впровадження штучного інтелекту для оптимізації морських перевезень, зокрема його здатність прогнозувати завантаження маршрутів та знижувати операційні витрати [1]. Аналіз доводить перспективність застосування штучного інтелекту для підвищення продуктивності перевантажувальних процесів.

О. М. Мельник акцентує увагу на технологічних аспектах перевезення негабаритних вантажів, зокрема на значенні автоматизації для підвищення точності та зменшення ризиків [2]. У роботі зазначено необхідність інтеграції інноваційних рішень для розв'язання специфічних логістичних завдань.

Аналіз механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, проведений М. Швецем, демонструє значне скорочення часу операцій завдяки автоматизації [3]. Результати підкреслюють важливість модернізації обладнання для забезпечення швидкості виконання процесів.

У роботі Р. Ісковича-Лотоцького досліджено використання робототехнічних систем у мобільному транспорті. Автор акцентує на їх внеску в підвищення безпеки та зниження фізичного навантаження [4], розкриваючи переваги робототехніки в складних умовах експлуатації.

Питання використання інформаційних технологій і моделювання для синхронізації перевантажувальних операцій у контейнерних терміналах детально розглянуто в дослідженні О. Кічкіної [5]. Застосування таких підходів сприяє забезпеченню точності й узгодженості між транспортними засобами.

Аналіз операційного управління транспортними перевезеннями, виконаний І. Пішеніним, розкриває питання координації між видами транспорту для підвищення ефективності агропромислових перевезень [6].

Алгоритми для автоматизації вантажних станцій, розроблені Г. Вангом, дозволяють суттєво скоротити витрати та час на виконання операцій. Це рішення сприяє стабільності логістичних процесів [7].

Цифровізація портової логістики, як підкреслює М. Хейккіля, значно зменшує час перевантаження та оптимізує процеси завдяки інноваціям, впровадженим у «розумних портах» [8].

На мультимодальних перевезеннях акцентує увагу І. Дерпіч, пропонуючи стратегії зниження

витрат і викидів CO₂ через удосконалення логістичних маршрутів [9].

Дослідження, проведене Дж. Моніосом, демонструє перспективність автоматизації контейнерних терміналів, що сприяє підвищенню ефективності перевантажувальних операцій [10].

Аналіз автономних систем управління, здійснений К. Далмейєром, показує їхню здатність забезпечувати високу адаптивність транспортних хабів до змінних умов, що підтверджує доцільність автоматизації для динамічних середовищ [11].

Сучасні підходи до управління міськими вантажними перевезеннями розглянуто Р. Ельбертом, К. Фрідріхом, П. Обермаєром і К. Руландом, які наголошують на важливості інтеграції цифрових технологій у міські логістичні системи [12].

Стратегії адаптації до збоїв у мультимодальних мережах запропоновані М. Ахмаді. Ці підходи спрямовані на стабілізацію логістичних процесів і забезпечення їх стійкості [13].

Рекомендації щодо оптимізації перевантажувальних процесів, розроблені Р. Г. Королем, стосуються вдосконалення взаємодії різних видів транспорту в транспортних вузлах, що сприяє підвищенню ефективності логістичних операцій [14].

Концептуальні моделі для оптимізації перевезень пропонує Т. Бектас (T. Bektas), наголошуючи на важливості інтеграції сучасних технологій для забезпечення точності та швидкості логістичних операцій [15].

Дослідження демонструють значний вплив сучасних технологій на оптимізацію перевантажувальних операцій у транспортних вузлах. Інтеграція штучного інтелекту, IoT, робототехніки та автоматизованих систем сприяє підвищенню ефективності, стабільності й точності логістичних процесів. Водночас акцент зроблено на необхідності адаптації цих рішень до локальних умов для максимального результату.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значний прогрес у впровадженні сучасних технологій у транспортних вузлах, залишаються нерозв'язаними питання щодо інтеграції інновацій у процеси перевантаження вантажів. Зокрема, бракує комплексного порівняння традиційних і сучасних підходів, що враховує специфіку роботи різних видів транспорту (залізничного, морського, автомобільного). Відсутність узагальнених методик оцінювання ефективності ускладнює визначення

оптимальних умов для застосування інноваційних рішень.

Іншою невирішеною частиною є недостатня увага до практичної взаємодії таких технологій, як штучний інтелект, IoT та робототехніка, в межах транспортних вузлів. Не досліджено, як ці технології можуть бути інтегровані в застарілі системи управління для забезпечення плавного переходу до автоматизованих процесів.

Крім того, проблеми нормативно-правового регулювання залишаються відкритими. Зокрема, стандартизація процедур і вимоги до інтеграції технологій залишаються недостатньо розробленими, що створює ризики затримки цифрової трансформації.

Запропоноване дослідження спрямоване на заповнення цих прогалин через систематичний аналіз порівняльних характеристик традиційних і сучасних підходів, вивчення технічної та операційної сумісності інноваційних рішень, а також розроблення рекомендацій для забезпечення ефективної інтеграції технологій. Результати допоможуть створити більш адаптивні та ефективні транспортні вузли, здатні відповідати сучасним викликам логістики.

Постановка завдання. Мета статті полягає в дослідженні впливу сучасних технологій на оптимізацію процесів перевантаження вантажів у транспортних вузлах, зокрема аналізі їх ефективності, впровадження та перспектив подальшого розвитку.

Завдання статті:

1) провести аналіз традиційних та сучасних підходів до перевантаження вантажів із метою визначення переваг інноваційних технологій, включаючи штучний інтелект, автоматизовані системи, робототехніку та IoT, у контексті їх впливу на ефективність логістичних операцій;

2) дослідити ключові проблеми та обмеження впровадження сучасних технологій у транспортних вузлах, приділяючи особливу увагу їх взаємодії з різними видами транспорту під час організації перевантажувальних операцій;

3) розробити рекомендації щодо інтеграції інноваційних рішень для оптимізації роботи транспортних вузлів з урахуванням особливостей інфраструктури, технічних і нормативно-правових аспектів.

Виклад основного матеріалу. Процеси перевантаження вантажів у транспортних вузлах є одними з найважливіших складників сучасної логістичної інфраструктури, оскільки вони безпосередньо впливають на швидкість і ефективність

переміщення товарів у глобальних ланцюгах поставок. Зростання обсягів міжнародної торгівлі та підвищення вимог до точності й оперативності доставлення сприяють необхідності вдосконалення традиційних методів оброблення вантажів. Сучасні технології, як-от робототехніка, автоматизація, інтернет речей (IoT) і штучний інтелект, пропонують нові підходи, які значно змінюють способи організації перевантаження, забезпечуючи високий рівень продуктивності та зниження витрат.

Традиційні підходи до перевантаження вантажів, що базуються на механічних процесах і значній залежності від ручної праці, нині вже не можуть повною мірою відповідати сучасним викликам. Їх використання супроводжується високою ймовірністю людських помилок, затримками та великими витратами на персонал. Водночас інноваційні технології дозволяють інтегрувати автоматизовані системи, що мінімізують ці недоліки. Впровадження автоматизації та цифрових рішень відкриває можливості для точнішого прогнозування, оптимізації ресурсів і підвищення безпеки перевантажувальних процесів. Порівняння характеристик традиційних і сучасних підходів наведено в таблиці 1.

Натепер упровадження сучасних підходів до перевантаження вантажів значно змінило логістичний ландшафт. Наприклад, у портах Роттердама та Сінгапура роботи-крани та сенсорні системи автоматично розпізнають тип контейнерів, оптимально розподіляючи їх для подальшого транспортування [12, с. 189]. В Україні деякі логістичні центри почали використовувати системи на базі IoT для моніторингу вантажопотоків у реальному часі, що дозволяє зменшити витрати та уникнути затримок [16].

Сучасні технології також відкрили нові можливості для аналітики. Наприклад, у великих логістичних вузлах використовуються цифрові двійники, які дозволяють моделювати сценарії роботи вузла, виявляти слабкі місця та вдосконалювати процеси. У порівнянні з традиційними методами це дає змогу знизити ризик людських помилок, мінімізувати втрати та підвищити конкурентоспроможність логістичних підприємств. Таким чином, інтеграція інноваційних технологій є ключовим фактором розвитку транспортної інфраструктури в сучасних умовах.

Інновації радикально змінюють підхід до перевантаження вантажів у транспортних вузлах, роблячи ці процеси більш ефективними, безпечними та економічно вигідними. Інтегра-

Порівняння традиційних та сучасних підходів до перевантаження вантажів у транспортних вузлах

Критерій	Традиційний підхід	Сучасний підхід
Обладнання	Механічні крани, вилкові навантажувачі, ручні механізми	Роботизовані крани, автоматизовані транспортні системи, роботизовані конвеєри, дрони для інспекції
Технологічні рішення	Відсутність автоматизації, мінімальне використання цифрових систем	Використання штучного інтелекту, інтернету речей (IoT), цифрових двійників, систем прогнозування навантаження
Вплив людського фактора	Залежність від фізичної праці, висока ймовірність помилок через втому або недостатню кваліфікацію	Мінімізація впливу людського фактора, автоматизація рутинних завдань, підвищення точності завдяки алгоритмам штучного інтелекту
Ефективність оброблення	Низька, процеси повільні, значний час простою техніки та персоналу	Висока, оброблення вантажів відбувається швидше, зменшення часу простою, зростання пропускної здатності вузлів
Економічні аспекти	Високі витрати на оплату праці, обмежена можливість зменшення витрат	Зменшення операційних витрат через автоматизацію, можливість прогнозування та оптимізації витрат у реальному часі
Екологічний складник	Використання застарілих машин із високим рівнем викидів CO ₂ , мало екологічних ініціатив	Енергоефективні технології, електрифіковані пристрої, зменшення екологічного впливу
Моніторинг процесів	Візуальний контроль операторів, ризик пропуску критичних помилок	Інтеграція IoT для відстеження вантажів у реальному часі, аналітика великих даних для виявлення проблем на ранніх етапах
Безпека	Часті нещасні випадки через ручну роботу та недостатній контроль техніки	Підвищена безпека завдяки автоматизованим системам, що знижують ризик для персоналу
Гнучкість	Низька гнучкість у разі збільшення обсягів вантажів або зміни умов роботи	Висока гнучкість, адаптація до зростання обсягів вантажопотоків завдяки програмованим алгоритмам і масштабованим системам

Джерело: сформовано автором на підставі [1; 3; 5; 8; 9; 13; 15]

ція штучного інтелекту, автоматизованих систем, робототехніки та інтернету речей (IoT) дозволяє розв'язувати складні логістичні завдання з мінімальним втручанням людини. Штучний інтелект оптимізує розподіл ресурсів та аналізує великі обсяги даних у реальному часі, забезпечуючи точність прогнозування навантаження. Автоматизовані системи пришвидшують оброблення вантажів, мінімізуючи вплив людського фактора. Робототехніка використовується для виконання рутинних та фізично важких операцій, як-от завантаження і розвантаження контейнерів. Технології IoT забезпечують безперервний моніторинг і обмін даними між різними компонентами транспортних систем, що підвищує прозорість та координацію (табл. 2).

Сучасні технології значно змінюють процеси перевантаження вантажів, забезпечуючи автоматизацію та підвищення ефективності на кожному етапі. Наприклад, використання штучного інтелекту дозволяє прогнозувати обсяги вантажопотоків, аналізуючи історичні дані та поточні умови. Це дозволяє заздалегідь підготувати відповідне обладнання та персонал, уникнувши переванта-

ження або простоїв. Під час перевантаження автоматизовані системи зчитують дані з RFID-тегів чи QR-кодів на контейнерах, ідентифікуючи їх вміст і місце призначення [8]. Це забезпечує швидке сортування вантажів і їх розподіл на відповідні транспортні засоби або склади.

Робототехніка активно застосовується у фізичних процесах перевантаження. Роботизовані крани та навантажувачі оснащені датчиками IoT, що дозволяє їм виконувати завдання з високою точністю без участі людини. Наприклад, у портових терміналах роботи автоматично розпізнають розміри та вагу контейнерів, вибираючи оптимальний спосіб їх переміщення.

Інтернет речей забезпечує зв'язок між усіма компонентами системи. Уявімо, що вантаж прибуває до терміналу: сенсори IoT автоматично повідомляють систему про його прибуття, відстежують переміщення та контролюють температурні режими чи інші умови зберігання. У разі виникнення проблем (наприклад, пошкодження контейнера) система одразу повідомляє оператора або автоматично вживає заходів, наприклад, перенаправляє вантаж у зону огляду.

Сучасні транспортні вузли виконують важливу функцію узгодження роботи різних видів транспорту, як-от морський, залізничний, автомобільний і авіаційний, для забезпечення безперебійного перевезення вантажів. Використання штучного інтелекту, інтернету речей (IoT), автоматизованих систем і робототехніки дозволяє значно підвищити ефективність та узгодженість логістичних операцій. Завдяки інтеграції цих технологій можливо оптимізувати перевантажувальні процеси, скоротити час передачі вантажів між видами транспорту, знизити операційні витрати та мінімізувати ризики помилок, спричинених людським фактором (табл. 3).

У порту Роттердама застосування штучного інтелекту дозволяє автоматично узгоджувати графіки прибуття суден і відправлення вантажів залізничним і автомобільним транспортом. Це забезпечує зниження затримок під час передачі контейнерів і рівномірне завантаження інфраструктури порту.

Сенсори IoT, установлені на контейнерах у порту Сінгапура, дозволяють у реальному часі відстежувати їх переміщення між морськими, залізничними і автомобільними зонами [17]. Ця система забезпечує синхронізацію між видами транспорту, зменшуючи час пошуку та передачі вантажів.

Автоматизовані системи управління, впроваджені у вузлах стикування в Гамбурзі, дозволяють оперативно перенаправляти вантажі між залізничними платформами і автомобільними транспортними засобами залежно від обсягу роботи. Це скорочує простой і підвищує продуктивність вузлів.

Робототехніка активно використовується в логістичних центрах Amazon [18, с. 104–105], де роботи виконують перевантаження контейнерів між автомобільними платформами і залізничними вагонами. Це мінімізує втручання людини і забезпечує стабільну роботу систем навіть під час пікових навантажень.

Сучасні транспортні вузли зіштовхуються з численними проблемами та обмеженнями під час впровадження інноваційних технологій, спрямованих на оптимізацію перевантажувальних процесів. Однією з основних проблем є висока вартість обладнання та програмного забезпечення, що обмежує доступ до них для малих і середніх вузлів, особливо в країнах із низьким рівнем економічного розвитку. Значні капіталовкладення також потрібні для модернізації інфраструктури, адже більшість вузлів функціонує на базі застарілих технологій, несумісних із сучасними рішеннями [12].

Недостатній рівень цифровізації транспортних вузлів ускладнює інтеграцію таких технологій, як сенсори інтернету речей або системи штучного інтелекту, що призводить до додаткових витрат на адаптацію інфраструктури.

Кадровий дефіцит є ще одним вагомим обмеженням. Нестача спеціалістів із досвідом роботи з автоматизованими системами і штучним інтелектом підвищує тривалість і витрати на навчання персоналу, що теж гальмує впровадження інновацій.

Юридичні обмеження, зокрема відсутність чіткої нормативно-правової бази, створюють правову невизначеність для підприємств. Це зменшує

Таблиця 2

Застосування сучасних технологій у перевантаженні вантажів у транспортних вузлах

Технологія	Основні функції	Переваги в застосуванні
Штучний інтелект	Аналіз даних у реальному часі, прогнозування навантаження, оптимізація маршрутів, виявлення помилок у логістичних процесах	Зниження часу оброблення даних, підвищення точності операцій, можливість адаптації до змін у режимі реального часу
Автоматизовані системи	Управління роботизованими кранами, автоматичне сортування вантажів, інтеграція з іншими цифровими системами	Прискорення перевантажувальних операцій, зменшення витрат на робочу силу, підвищення продуктивності транспортних вузлів
Робототехніка	Виконання завантажувально-розвантажувальних робіт, транспортування контейнерів, інспекція складських приміщень	Мінімізація фізичного навантаження на працівників, зменшення аварійних ситуацій, стабільність роботи в складних умовах
Інтернет речей (IoT)	Моніторинг вантажів у реальному часі, забезпечення зв'язку між транспортними засобами, автоматичне виявлення пошкоджень або відхилень у системі	Підвищення точності та швидкості оброблення даних, зниження ризиків утрат, можливість інтеграції із системами штучного інтелекту для аналізу

Джерело: сформовано автором на підставі [1; 4; 5; 7; 8; 12; 13]

Інтеграція сучасних технологій у взаємодію різних видів транспорту в транспортних вузлах

Технологія	Функції у взаємодії видів транспорту	Очікувані результати від застосування
Штучний інтелект	Координація графіків прибуття і відправлення вантажів між морським, залізничним та автомобільним транспортом	Скорочення часу передачі вантажів, уникнення затримок через нерівномірність завантаження, підвищення ефективності роботи вузлів
Інтернет речей (IoT)	Синхронізація місцезнаходження вантажів у реальному часі для швидкої передачі між видами транспорту	Підвищення прозорості процесів, мінімізація втрат вантажів, прискорення оброблення інформації про вантажопотоки
Автоматизовані системи	Управління потоками вантажів у вузлах стикування, забезпечення пріоритетності передачі між видами транспорту	Зниження операційних витрат, забезпечення безперебійності процесів, прискорення оброблення вантажів
Робототехніка	Виконання фізичних перевантажувальних операцій з високою точністю та мінімізацією людської праці	Підвищення точності та швидкості завантаження, зменшення ризику пошкодження вантажів, забезпечення стабільної продуктивності

Джерело: сформовано автором на підставі [5; 8; 9; 10; 11; 12; 14]

зацікавленість інвесторів і ускладнює стандартизацію використання сучасних технологій.

Технічна складність інтеграції нових рішень у застарілі системи часто вимагає повної реконструкції інфраструктури. Це значно збільшує витрати та може спричиняти зупинку діяльності транспортного вузла під час модернізації.

Отже, оптимізація роботи транспортних вузлів за допомогою інноваційних технологій вимагає комплексного підходу, який охоплює технічні, організаційні та управлінські аспекти. Серед ключових напрямів виокремлено впровадження автоматизованих систем управління перевантажувальними процесами. Інтеграція штучного інтелекту дозволяє аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати завантаження вузлів і розподіляти ресурси, що сприяє скороченню часу простоїв обладнання та підвищенню ефективності операцій.

Для забезпечення прозорості логістичних процесів важливо впроваджувати інтернет речей (IoT), який забезпечує моніторинг стану вантажів і обладнання в реальному часі. Сенсори IoT дозволяють оперативно відстежувати переміщення контейнерів, ідентифікувати пошкодження або технічні збої та швидко реагувати на проблеми.

Робототехніка стає важливим складником оптимізації перевантажувальних операцій. Використання роботів для виконання рутинних завдань знижує потребу у фізичній праці, забезпечуючи стабільність і високу точність виконання операцій, особливо у вузлах із високою інтенсивністю роботи.

Модернізація інфраструктури транспортних вузлів є необхідною умовою для інтеграції сучасних технологій. Цифрові платформи для центра-

лізованого управління операціями об'єднують усі компоненти логістичної системи в єдину екосистему. Наприклад, інтеграція систем управління складом (WMS) з автоматизованими кранами мінімізує час переміщення вантажів і запобігає затримкам.

Для успішного впровадження інновацій необхідно проводити навчання персоналу. Це включає тренінги та симуляційні модулі, які адаптують працівників до роботи в умовах використання нових технологій. Інвестиції в розвиток кваліфікації персоналу є критично важливими для розкриття потенціалу автоматизованих систем.

Додатковим елементом інтеграції є розроблення нормативно-правової бази, яка включає стандартизацію технологічних процесів, регулювання використання автоматизованих систем і визначення відповідальності між людиною та технологіями.

Комплексний підхід до інтеграції інновацій, що включає автоматизацію, модернізацію інфраструктури, навчання персоналу та нормативне регулювання, дозволяє досягти стабільності, гнучкості та ефективності роботи транспортних вузлів, відповідаючи динамічним викликам сучасної логістики.

Висновки. Проведений аналіз дозволив установити, що сучасні технології суттєво змінюють підходи до організації взаємодії різних видів транспорту в транспортних вузлах, сприяючи підвищенню ефективності, швидкості та надійності логістичних процесів. Інтеграція штучного інтелекту, інтернету речей (IoT), робототехніки та автоматизованих систем дозволяє оптимізувати використання ресурсів, забезпечувати узгодженість між транспортними

системами, знижувати витрати та мінімізувати людський фактор. Особливу увагу приділено координації графіків роботи між морським, залізничним та автомобільним транспортом, що забезпечує рівномірне завантаження вузлів і зменшення часу простоїв.

Водночас запровадження цих технологій супроводжується низкою проблем і обмежень. Серед основних бар'єрів виділено високу вартість обладнання, недостатній рівень цифровізації інфраструктури, технічні труднощі інтеграції нових рішень у застарілі системи, дефіцит кваліфікованого персоналу та відсутність нормативно-правового регулювання. Ці фактори обмежують можливості широкомасштабної інтеграції інноваційних технологій та уповільнюють процес цифрової трансформації.

Рекомендовано поетапне впровадження автоматизованих систем управління, використання IoT для моніторингу в реальному часі, робототех-

нічних рішень для автоматизації фізичних операцій, а також систем штучного інтелекту для прогнозування та планування вантажопотоків. Для підвищення ефективності взаємодії між видами транспорту необхідно модернізувати інфраструктуру, створити цифрові платформи для інтеграції даних і забезпечити навчання персоналу. Важливим є також розроблення нормативно-правової бази для стандартизації використання сучасних технологій у транспортних вузлах.

Перспективи подальших досліджень зосереджені на вивченні можливостей інтеграції машинного навчання для автоматизації управління взаємодією різних видів транспорту, аналізі економічної ефективності впровадження інноваційних рішень у вузлах різного масштабу, а також оцінюванні їх впливу на екологічну складову частину транспортної логістики. Це сприятиме створенню адаптивних і стійких логістичних систем у динамічних умовах сучасного ринку.

Список літератури:

1. Коростін О.О. Оптимізація маршрутів морських перевезень за допомогою штучного інтелекту: аналіз можливостей та викликів. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Луцьк, 2024. Вип. 56. С. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-03>
2. Мельник О.М. Технологічні аспекти перевезення негабаритних вантажів. Транспортно-технологічне забезпечення процесів доставки та обробки негабаритних вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. Т. 2, № 2. С. 168–174. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/29> (дата звернення: 26.12.2024).
3. Швець М. Д., Кірічок О. Г., Познаховський В. А. Механізація та організація виробничого процесу при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 62. С. 226–229.
4. Сучасні технології у вантажно-розвантажувальних роботах на мобільному автомобільному транспорті / Р. Д. Іскович-Лотоцький та ін. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 4 (99). С. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2020-4-7>
5. Кічка О. І., Кічкін О. В. Управління процесами взаємодії видів транспорту у контейнерному терміналі на підставі імітаційного моделювання та інформаційних технологій. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2022. № 23. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23-3>
6. Пішенін І. К. Операційне управління транспортними перевезеннями в АПК. *Економіка та суспільство*. 2018. С. 208–212. URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/Ekonomika-i-suspilstvo-14-2018.pdf#page=208> (дата звернення: 16.12.2024).
7. Improved multi-dimensional bee colony algorithm for airport freight station scheduling / H. Wang et al. *arXiv preprint*. arXiv:2207.11651. 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2207.11651> (date of access: 16.12.2024).
8. Heikkilä M., Saarni J., Saurama A. Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 10, no. 12. P. 1925. URL: <https://doi.org/10.3390/jmse10121925> (date of access: 25.12.2024).
9. Pursuing Optimization Using Multimodal Transportation System: A Strategic Approach to Minimizing Costs and CO2 Emissions / I. Derpich et al. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024. Vol. 12, no. 6. P. 976. URL: <https://doi.org/10.3390/jmse12060976> (date of access: 25.12.2024).
10. Electric vehicle routing problem with single or multiple recharges / T. Erdelić et al. *Transportation Research Procedia*. 2019. Vol. 40. P. 217–224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.033> (date of access: 25.12.2024).
11. Dalmeijer K., Van Hentenryck P. Optimizing Freight Operations for Autonomous Transfer Hub Networks. *arXiv preprint*. arXiv:2110.12327. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2110.12327> (date of access: 16.12.2024).
12. Elbert R., Friedrich C., Obermaier P., and Ruhland K. (eds). *Urban Freight Transportation Systems*. Elsevier, 2019. URL: <https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=M5myDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=+MODERN+TECHNOLOGIES+CARGO+HANDLING+IN+TRANSPORT+HUBS+book&ots=fszCsF77Y9&>

sig=jLh9hVhtRaZm-mjjOJW7Gpf97X0&redir_esc=y#v=onepage&q=MODERN%20TECHNOLOGIES%20CARGO%20HANDLING%20IN%20TRANSPORT%20HUBS%20book&f=false (date of access: 16.12.2024).

13. Ahmady M., Eftekhari Yeghaneh Y. Optimizing the Cargo Flows in Multi-modal Freight Transportation Network Under Disruptions. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2022. Vol. 46. No. 1. P. 453–472. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00631-w> (date of access: 16.12.2024).

14. Korol R. H. Perfection of the Process of Interaction of Various Types of Transport in the Far Eastern Transport Hubs. In: Solovev D. B., Savaley V. V., Bekker A. T., Petukhov V. I. (eds.) *Proceeding of the International Science and Technology Conference «FarEastCon 2021». Smart Innovation, Systems and Technologies*. Springer, Singapore. 2022. Vol. 275. P. 154–164. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_12

15. Bektaş T. Freight logistics, distribution and transport Concepts. *Freight Transport and Distribution*. 2017. P. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315173962-1> (date of access: 26.12.2024).

16. Інновації в галузі логістики. Міністерство з питань стратегічних галузей промисловості України. Державна інноваційна фінансово-кредитна установа, 2024. URL: <https://sfii.gov.ua/innovacii-v-galuzi-logistiki/> (дата звернення: 16.12.2024).

17. Cil A. Y., Abdurahman D., Cil I. Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade*. 2022. Vol. 7, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z> (date of access: 26.12.2024).

18. Wen J., He L., Zhu F. Swarm robotics control and communications: Imminent challenges for next generation smart logistics. *IEEE Communications Magazine*. 2018. Vol. 56. No. 7. P. 102–107.

Shvets M.D. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MODERN TECHNOLOGIES ON THE OPTIMISATION OF CARGO TRANSSHIPMENT IN TRANSPORT HUBS

The article considers the introduction of modern technologies to optimise transshipment processes at transport hubs. The relevance of the study is driven by the need to ensure effective interaction between different modes of transport, the growth of cargo flows and the requirements to increase the speed and reliability of logistics operations. It has been established that the integration of technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), robotics and automated systems significantly optimises transshipment processes, ensuring accuracy, reducing costs and minimising risks associated with the human factor.

The purpose of the study is to analyse the benefits of modern technologies, identify key problems in their implementation, and develop recommendations for their integration into transport hubs to improve coordination between modes of transport. The research methods include literature analysis to systematise scientific approaches, comparative analysis to determine the advantages of modern technologies over traditional ones, a review of practical cases of successful implementation in the world's leading transport hubs, and data systematisation to identify key problems and limitations.

The study found that modern technologies can reduce cargo handling time, optimise the interaction between sea, rail and road transport, and reduce operating costs. The author identifies the main problems, including the high cost of technology, insufficient digitalisation of infrastructure, difficulty in integrating modern solutions into outdated systems, shortage of qualified personnel and lack of regulatory framework.

The author recommends the gradual introduction of automated control systems, the use of IoT for real-time monitoring, robotic solutions for automating physical tasks, and artificial intelligence for planning logistics operations. The need to modernise infrastructure, train staff and create a regulatory framework for the integration of innovations is emphasised.

Prospects for further research include analysing the possibilities of integrating machine learning to automate the management of transshipment processes, studying the cost-effectiveness of technology implementation at different scales of transport infrastructure, and assessing their impact on the environmental aspects of the logistics industry.

Key words: modern technologies, transport hubs, artificial intelligence, Internet of Things, robotics, automation, logistics optimisation.