

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-03>

УДК 004.8:656.61

Коростін Олександр Олексійович, магістр, провідний інженер-програміст

<https://orcid.org/0009-0007-7510-6757>

Shipnext BV, м. Антверпен, Бельгія

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ВИКЛИКІВ

Коростін О.О. Оптимізація маршрутів морських перевезень за допомогою штучного інтелекту: аналіз можливостей та викликів. У сучасних умовах глобалізації та щораз вищих обсягів міжнародної торгівлі ефективність морських перевезень набуває надзвичайної важливості для світової економіки. З огляду на складність і багатофакторність процесів у морській логістиці використання новітніх технологій стає невід'ємною частиною розвитку галузі. Однією з таких технологій є штучний інтелект (ШІ), який відкриває нові можливості для оптимізації маршрутів морських перевезень, зменшення витрат та підвищення ефективності. У статті проаналізовано основні принципи ШІ та його роль у сучасних логістичних рішеннях. Розглянуто такі інноваційні рішення, як алгоритми машинного навчання для прогнозування погодних умов, системи управління рухом суден на основі ШІ, цифрові двійники для моделювання та оптимізації маршрутів, а також використання інтернету речей та великих даних для аналізу та управління в реальному часі. Зокрема, проаналізовано випадки застосування ШІ для покращення маршрутів, підвищення безпеки судноплавства та управління ланцюгами постачання. Наголошено, що оптимізація маршрутів морських перевезень за допомогою ШІ є перспективним напрямом, який дозволяє підвищити ефективність, знизити витрати та покращити безпеку в логістичній галузі. Використання сучасних технологій ШІ відкриває нові можливості для компаній, що займаються морськими перевезеннями, та сприяє розвитку інноваційних рішень у галузі.

Ключові слова: логістика морських перевезень, штучний інтелект, оптимальний маршрут, моделі глибокого навчання для прогнозування ризиків, нейронні мережі

Korostin O. Optimization of maritime transportation routes using artificial intelligence: analysis of opportunities and challenges. In today's globalized world and ever-increasing volumes of international trade, the efficiency of maritime transportation is of paramount importance to the global economy. Given the complexity and multifactorial nature of maritime logistics processes, the use of the latest technologies is becoming an integral part of the industry's development. One of these technologies is artificial intelligence (AI), which opens up new opportunities for optimizing maritime transportation routes, reducing costs and increasing efficiency. The article analyzes the basic principles of AI and its role in modern logistics solutions. Innovative solutions such as machine learning algorithms for forecasting weather conditions, AI-based ship traffic management systems, digital twins for modeling and optimizing routes, and the use of the Internet of Things and big data for real-time analysis and management are considered. In particular, the author analyzes cases of AI application for route improvement, enhanced safety of navigation, and supply chain management. It is emphasized that optimization of maritime transportation routes using AI is a promising area that can increase efficiency, reduce costs and improve safety in the logistics industry. The use of modern AI technologies opens up new opportunities for maritime transportation companies and promotes the development of innovative solutions in the industry.

Keywords: maritime transportation logistics, artificial intelligence, optimal route, deep learning models for risk prediction, neural networks

Постановка проблеми. Міжнародні морські перевезення є невід'ємною частиною глобальної торгівлі, забезпечуючи транспортування понад 80% світового вантажу. Зважаючи на складність та динамічність цього процесу, ефективне управління маршрутами морських перевезень стає критично важливим для зменшення витрат, зниження викидів парникових газів та підвищення загальної ефективності логістичних ланцюгів. Традиційні методи планування маршрутів часто не можуть урахувати всі можливі змінні та непередбачувані фактори, що призводить до затримок, неефективного використання ресурсів та збільшення операційних витрат.

Штучний інтелект (далі – ШІ) пропонує нові можливості для оптимізації маршрутів морських перевезень, дозволяючи аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати ризики та приймати обґрунтовані рішення в режимі реального часу. Впровадження ШІ в цей процес може значно покращити точність планування, адаптивність до змінних умов та знизити загальні витрати, а це робить дослідження в цій галузі актуальними та перспективними, відкриваючи нові можливості для подальшого розвитку інноваційних технологій у сфері логістики та транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток штучного інтелекту та його впровадження в логістичні процеси, зокрема у сфері морських перевезень, є предметом активних досліджень. Важливість оптимізації маршрутів за допомогою ШІ зумовлена необхідністю підвищення ефективності, зниження витрат та забезпечення стійкості логістичних ланцюгів.

Одним з основних напрямів є використання алгоритмів машинного навчання для оптимізації маршрутів морських перевезень. У дослідженні М. Тимотеуш, І. Дурлік та П. Козловської [1]

розглядаються різні алгоритми машинного навчання, як-от генетичні алгоритми, алгоритми мурашиного пошуку та нейронні мережі, для розроблення найбільш оптимальних маршрутів, що дозволяє значно знизити витрати на паливо та скоротити час доставки.

У роботі А. Хог та Х. Андерсен [2] розглянуто вплив впровадження ШІ на управління логістичними ланцюгами. Автори акцентують увагу на використанні ШІ для аналізу великих даних, прогнозування попиту та оптимізації вантажних потоків. Дослідження підтверджує, що впровадження ШІ дозволяє знизити витрати на управління запасами та покращити ефективність логістичних операцій. Проблема прогнозування та управління ризиками в морських перевезеннях досліджується в статті С. Бельгінова, І. Увалієва, С. Рустамова [3]. Науковці використовують моделі глибокого навчання для прогнозування ризиків, пов'язаних із погодними умовами, затримками в портах та іншими непередбачуваними подіями. Дослідження показує, що застосування ШІ для управління ризиками дозволяє значно знизити вплив негативних факторів на логістичні процеси.

У дослідженні В. Чжан, В. Ян та Ю. Ян [4] розглянуто можливості зниження викидів парникових газів шляхом оптимізації маршрутів з використанням ШІ. Автори показують, що впровадження ШІ дозволяє ефективно планувати маршрути, зменшуючи витрати палива та знижуючи викиди CO₂, що підкреслює важливість екологічного аспекту оптимізації маршрутів.

Отже, наукові праці підтверджують актуальність і перспективність використання ШІ для оптимізації маршрутів морських перевезень, надаючи наукове підґрунтя та практичні рекомендації для подальших досліджень і впроваджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячено означену статтю. Незважаючи на значні досягнення у впровадженні штучного інтелекту у сферу морських перевезень, залишаються певні аспекти, які потребують подальшого дослідження. У статті зосереджено увагу на кількох ключових питаннях, що не отримали належного висвітлення в попередніх дослідженнях, але мають важливе значення для оптимізації маршрутів морських перевезень, насамперед це такі питання, як [4–7]:

1. Інтеграція динамічних даних у реальному часі. Попередні дослідження переважно фокусувалися на використанні історичних даних для оптимізації маршрутів морських перевезень. Проте морські перевезення характеризуються високою динамічністю та непередбачуваністю, зокрема через зміну погодних умов, затримки в портах, зміну попиту тощо. Інтеграція динамічних даних у реальному часі залишається викликом, який потребує додаткових досліджень для розроблення адаптивних систем, що зможуть швидко реагувати на зміни.

2. Забезпечення безпеки та конфіденційності даних. Застосування ШІ вимагає оброблення великої кількості даних, включаючи конфіденційну інформацію про вантажі, маршрути, клієнтів та постачальників, а це питання поки що не отримало достатньої уваги в контексті морських перевезень. Розроблення ефективних методів захисту даних та запобігання кібератакам є однією з невирішених проблем.

3. Екологічні аспекти оптимізації маршрутів. Хоча багато досліджень зазначають про потенціал ШІ в зниженні витрат палива та викидів парникових газів, відсутні систематичні підходи до інтеграції екологічних критеріїв в алгоритми оптимізації маршрутів. Необхідно розробити моделі, які би враховували не лише економічні, але й екологічні аспекти, забезпечуючи стійкий розвиток морських перевезень.

4. Взаємодія з іншими видами транспорту. Морські перевезення є частиною глобальних логістичних ланцюгів, які включають різні види транспорту: залізничний, автомобільний, авіаційний. Оптимізація маршрутів морських перевезень повинна враховувати взаємодію з іншими видами транспорту для забезпечення ефективності всього логістичного процесу, що вимагає розроблення комплексних моделей з огляду на мультимодальні перевезення.

Перелічені проблеми демонструють складність та багатогранність завдання оптимізації маршрутів морських перевезень за допомогою ШІ. Інтеграція динамічних даних у реальному часі, забезпечення безпеки та конфіденційності даних, урахування екологічних аспектів та взаємодія з іншими видами транспорту – все це є ключовими питаннями, вирішення яких сприятиме створенню більш ефективних, безпечних та стійких систем морських перевезень.

Отже, мета дослідження полягає в обґрунтуванні нових підходів до оптимізації маршрутів міжнародних морських перевезень за допомогою штучного інтелекту.

Дослідження спрямоване на вивчення сучасних методів та алгоритмів ШІ для управління логістичними процесами, розроблення моделей, що враховують економічні та екологічні критерії,

а також на визначення ефективних стратегій інтеграції ІІІ з іншими інформаційними системами для забезпечення комплексного підходу до оптимізації маршрутів морських перевезень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Морські перевезення відіграють ключову роль у світовій торгівлі та економіці. Більше 90% світових вантажів транспортується морем, що робить цей вид транспорту найефективнішим та найекономічнішим способом доставлення товарів на великі відстані. Важливість морських перевезень важко переоцінити, оскільки вони забезпечують безперервність постачання таких ресурсів, як нафта, природний газ, зерно та інші сировинні товари. Без перевезень морем багато країн не змогли би підтримувати свої економічні потреби та забезпечувати населення необхідними продуктами.

Морські перевезення поділяються на кілька основних категорій: контейнерні перевезення, перевезення нафтопродуктів, газу, сухих насипних вантажів (зерно, вугілля, руда) та спеціалізовані перевезення (автомобілі, ліс, живі тварини тощо). Кожен із цих видів перевезень має свої особливості й вимоги, які диктують певні стандарти безпеки, зберігання та транспортування.

Порти та супутні їм індустрії створюють мільйони робочих місць по всьому світу. Крім того, морські перевезення сприяють розвитку суміжних галузей, як-от суднобудування, ремонт суден, логістика, страхування та фінансові послуги. Ефективність морських перевезень безпосередньо впливає на вартість товарів та рівень інфляції в різних країнах.

Інновації у сфері морських перевезень постійно розвиваються, будучи спрямовані на підвищення ефективності, безпеки та екологічності цього виду транспортування. Використання великих даних (Big Data), автоматизації та штучного інтелекту відкриває нові можливості для оптимізації маршрутів, прогнозування погодних умов та управління флотом.

Оптимізація маршрутів морських перевезень є ключовим фактором, що впливає на ефективність та витрати в морській логістиці. В умовах глобалізації та зростання обсягів міжнародної торгівлі важливість ефективного управління маршрутами набуває ще більшого значення. Оптимізація маршрутів дозволяє досягти кількох важливих цілей [2–6]:

– вибір оптимального маршруту дозволяє мінімізувати відстань та час у дорозі, що безпосередньо зменшує витрати на паливо. Наприклад, урахування погодних умов, течій та швидкості вітру може суттєво вплинути на споживання палива та підвищити економічність рейсу;

– оптимізація маршрутів сприяє більш ефективному використанню суден. Планування маршруту з урахуванням завантаження та розвантаження в портах, часу перебування в черзі та інших логістичних факторів дозволяє зменшити простій суден, що не тільки підвищує ефективність роботи флоту, але й дозволяє краще управляти ресурсами та забезпечує більш стабільний графік перевезень;

– оптимально сплановані маршрути дозволяють зменшити час доставлення вантажів, що є критично важливим для багатьох галузей, як-от виробництво, де своєчасне постачання сировини або готової продукції може вплинути на безперервність виробничих процесів. Крім того, зменшення часу в дорозі дозволяє швидше обертати судна, підвищуючи їх продуктивність;

– оптимізація маршрутів сприяє підвищенню безпеки морських перевезень. Урахування погодних умов, зон з підвищеним ризиком (наприклад, районів піратства) та інших факторів допомагає уникнути небезпечних ситуацій, знижує ризики аварій, втрат вантажів та пошкоджень суден, що у свою чергу зменшує страхові витрати та підвищує надійність перевезень;

– оптимізація маршрутів має значний позитивний вплив на навколишнє середовище. Зменшення витрат на паливо призводить до зниження викидів парникових газів та інших шкідливих речовин, що сприяє зменшенню екологічного сліду морських перевезень та допомагає відповідати міжнародним екологічним стандартам;

– сучасні технології, як-от штучний інтелект, великі дані (Big Data) та інтернет речей (IoT), відіграють важливу роль в оптимізації маршрутів. Вони дозволяють аналізувати великі обсяги інформації в реальному часі, прогнозувати погодні умови, оцінювати ефективність різних маршрутів та приймати оптимальні рішення, а це підвищує точність планування та дозволяє більш гнучко реагувати на зміни умов у морі;

– зменшення витрат на паливо, підвищення ефективності флоту та зниження часу доставки ведуть до зменшення загальних витрат на морські перевезення, що дозволяє знизити вартість товарів для кінцевих споживачів і підвищити конкурентоспроможність компаній на міжнародному ринку.

Отже, в сучасних умовах глобалізації та швидкого розвитку технологій оптимізація маршрутів морських перевезень стає критично важливою для забезпечення ефективності логістичних процесів. Це складне завдання, що вимагає врахування великої кількості змінних факторів та обмежень, як-от погодні умови, завантаженість портів, економічні показники тощо. Штучний інтелект надає нові можливості для вдосконалення планування маршрутів, підвищення безпеки та зниження витрат.

У загальному розумінні штучний інтелект – це галузь комп'ютерних наук, яка займається розробленням алгоритмів та систем, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту. До таких завдань належать розпізнавання мови, візуальне сприйняття, прийняття рішень, вирішення проблем та навчання на основі досвіду. ШІ включає різні підходи, як-от машинне навчання, нейронні мережі, оброблення природної мови та робототехніка.

Розглянемо основні підходи до використання ШІ для оптимізації маршрутів морських перевезень більш детально, зокрема алгоритми машинного навчання, моделі глибокого навчання та гібридні моделі (табл. 1).

Таблиця 1. Основні підходи до використання ШІ для оптимізації маршрутів морських перевезень

Характеристика	Напрями використання
<i>Алгоритми машинного навчання</i>	
<i>Генетичні алгоритми</i> , засновані на принципах природного відбору та генетичних операцій, можуть використовуватися для оптимізації складних логістичних задач	Ефективно справляються із задачами оптимізації, що включають велику кількість можливих рішень, як-от маршрути з багатьма портами заходу
<i>Алгоритми мурашиного пошуку</i> імітують поведінку мурах, що знаходять найкоротші шляхи до джерела їжі, вони ефективні для задач оптимізації маршрутів	Можуть використовуватися для динамічної оптимізації маршрутів, ураховуючи зміни в завантаженості портів та погодних умовах
<i>Алгоритми рою частинок</i> базуються на моделюванні поведінки рою комах або птахів, які координують свої дії для досягнення спільної мети. Вони використовуються для знаходження оптимальних рішень у задачах із багатьма змінними	Здатні швидко адаптуватися до змін та знаходити ефективні рішення з огляду на різні фактори, що впливають на маршрут
<i>Моделі глибокого навчання</i>	
<i>Нейронні мережі</i> можуть використовуватися для прогнозування попиту на вантажні перевезення та оптимізації маршрутів. Вони здатні обробляти великі обсяги даних та виявляти складні залежності між різними параметрами	Можуть навчатися на історичних даних, що дозволяє їм точно прогнозувати попит та оптимізувати маршрути з урахуванням зміни умов
<i>Рекурентні нейронні мережі</i> ефективні для оброблення часових рядів даних, таких як зміни погодних умов або завантаженість портів. Вони можуть використовуватися для прогнозування майбутніх змін та адаптації маршрутів у реальному часі	Здатні враховувати залежності між минулими та майбутніми станами системи, що робить їх корисними для динамічної оптимізації маршрутів
<i>Конволюційні нейронні мережі</i> , що використовуються переважно для оброблення зображень, можуть застосовуватися для аналізу супутникових знімків та карт морських шляхів	Дозволяють виявляти об'єкти та структури, що можуть впливати на безпеку та ефективність маршрутів. Використання CNN дозволяє покращити точність прогнозів та планування маршрутів
<i>Гібридні моделі</i>	

Гібридні моделі комбінують різні підходи та алгоритми для досягнення найкращих результатів в оптимізації маршрутів морських перевезень	Наприклад, можна використовувати генетичні алгоритми для початкової оптимізації, а потім застосовувати нейронні мережі для подальшого покращення маршрутів на основі реальних даних. Такий підхід дозволяє ефективно аналізувати різні фактори та адаптуватися до змінних умов.
--	---

Оптимізація маршрутів морських перевезень вимагає оперативного аналізу безлічі таких змінних, як погодні умови, трафік у портах, навігаційні обмеження та економічні показники. Інтеграція динамічних даних у реальному часі завдяки можливостям штучного інтелекту та алгоритмам машинного навчання забезпечує більш точне та адаптивне управління перевезеннями. На рисунку 1 наведено основні джерела динамічних даних та їх характеристика.

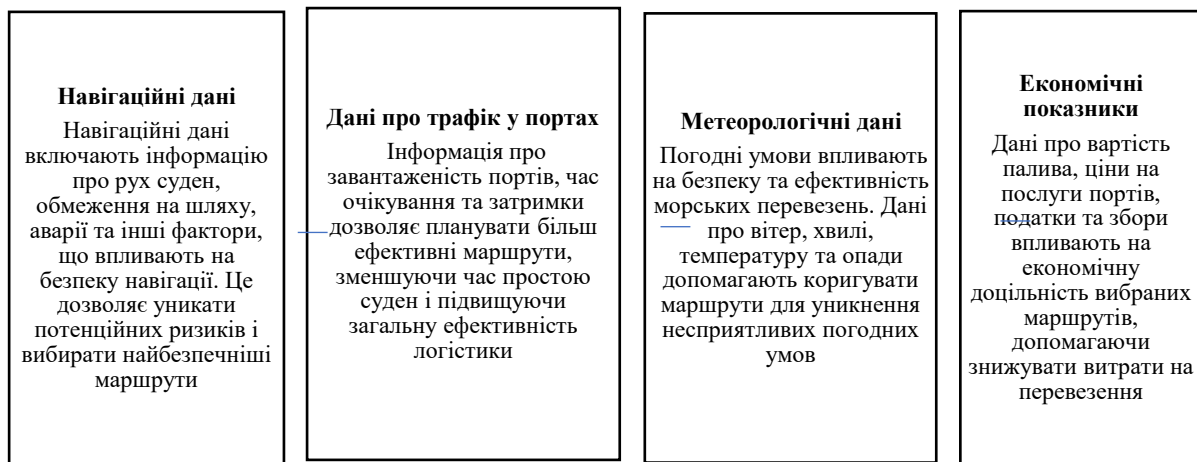


Рис. 1. Основні джерела динамічних даних

Необхідність інтеграції динамічних даних у реальному часі для оптимізації маршрутів морських перевезень зумовлена певною сукупністю факторів.

По-перше, ці дані дозволяють оперативно приймати рішення на основі актуальної інформації, що особливо важливо в умовах морських перевезень, де ситуація може змінюватися швидко та непередбачувано. Інформація про погодні умови, стан моря, завантаженість портів та інші фактори може змінюватися щогодини, і здатність реагувати на ці зміни в реальному часі може значно підвищити ефективність та безпеку перевезень.

По-друге, ШІ може використовувати динамічні дані для прогнозування та попередження можливих загроз. Наприклад, аналізуючи дані про погодні умови та стан моря, система може попередити про наближення шторму або інших небезпечних явищ, що дозволить капітану судна вчасно змінити маршрут або вжити необхідних заходів для забезпечення безпеки екіпажу та вантажу.

По-третє, оптимізація маршрутів морських перевезень з використанням динамічних даних у реальному часі може сприяти зменшенню викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що важливо в умовах щораз більших вимог до екологічної відповідальності бізнесу. ШІ може визначити найбільш економічні маршрути, що дозволить зменшити споживання палива та, відповідно, знизити негативний вплив на довкілля.

Отже, інтеграція динамічних даних у реальному часі для оптимізації маршрутів морських перевезень за допомогою ШІ є важливим кроком у підвищенні ефективності та безпеки цього процесу, проте він супроводжується й низкою викликів, які потрібно враховувати для досягнення оптимальних результатів. Основні з них наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Можливості та виклики впровадження технологій ШІ для оптимізації маршрутів морських перевезень

Можливості	Виклики
<i>Підвищення точності прогнозів</i> – використання актуальних даних дозволяє робити більш точні прогнози щодо погодних умов, затримок у портах та інших факторів, що впливають на маршрути, що сприяє більш ефективному плануванню	<i>Захист інформації</i> – збирання й оброблення великих обсягів даних у реальному часі потребують забезпечення високого рівня безпеки та конфіденційності, що включає використання передових методів захисту даних, як-от шифрування, аутентифікація та контроль доступу
<i>Гнучкість та адаптивність</i> – можливість швидко реагувати на зміни умов та адаптувати маршрути в реальному часі підвищує ефективність перевезень, знижує час простою та забезпечує безпеку	<i>Складність оброблення великих обсягів даних</i> у реальному часі вимагає значних обчислювальних ресурсів. Організації повинні інвестувати в потужні сервери, хмарні платформи та інші технології для забезпечення швидкого та ефективного оброблення інформації
<i>Зниження витрат</i> – оптимізація маршрутів з урахуванням динамічних даних дозволяє знижувати витрати на паливо, час очікування в портах та інші операційні витрати, що сприяє економічній ефективності морських перевезень	<i>Відповідність регуляторним вимогам</i> , що вимагає розроблення політики та процедур для управління даними, а також навчання персоналу з питань безпеки та конфіденційності
<i>Підвищення безпеки</i> – моніторинг навігаційних умов та вчасне виявлення потенційних ризиків сприяє підвищенню безпеки морських перевезень, зменшуючи ризик аварій та інших інцидентів	<i>Супротив з боку персоналу</i> – впровадження технологій ШІ вимагає значних інвестицій, що може бути складним для невеликих компаній. Високі витрати на розроблення, впровадження та підтримку систем ШІ можуть стримувати їх поширення

Використання штучного інтелекту (ШІ) у морській логістиці вже приносить значні результати, покращуючи ефективність, знижуючи витрати та підвищуючи безпеку. Нижче наведено кілька реальних прикладів, які ілюструють, як ШІ змінює зміст морських перевезень.

Одна з найбільших судноплавних компаній світу, Maersk, активно використовує ШІ для оптимізації своїх маршрутів. Використовуючи алгоритми машинного навчання, Maersk аналізує дані про погоду, течії, вітри та інші морські умови для визначення найбільш економічно вигідних маршрутів. Це дозволяє зменшити споживання палива та знизити викиди CO₂. За допомогою ШІ компанія також може прогнозувати можливі затримки та уникати зон підвищеного ризику [2].

Порт Роттердам, один із найбільших портів Європи, впровадив систему прогнозування, яка базується на штучному інтелекті. Ця система використовує великі дані та алгоритми ШІ для прогнозування завантаженості порту, часу очікування суден та інших ключових показників. Завдяки цьому порт може краще планувати свою роботу, зменшувати затримки та підвищувати ефективність оброблення вантажів. Такий підхід також допомагає зменшити витрати на логістику та покращити обслуговування клієнтів [5]. Mediterranean Shipping Company (MSC) використовує штучний інтелект для автоматизації процесів управління контейнерними перевезеннями. За допомогою алгоритмів ШІ компанія аналізує дані про завантаження та розвантаження контейнерів, що дозволяє оптимізувати використання контейнерних суден та зменшити час простоїв. Крім того, ШІ допомагає MSC прогнозувати попит на контейнерні перевезення, що дозволяє краще планувати свої ресурси та підвищувати ефективність роботи [7].

Rolls-Royce спільно з іншими компаніями розробляє автономні судна, які використовують штучний інтелект для навігації та управління. Такі судна обладнано численними сенсорами та системами ШІ, які аналізують навколишнє середовище, прогнозують погодні умови та вибирають оптимальні маршрути. Автономні судна можуть значно знизити витрати на екіпаж, підвищити безпеку та зменшити ризики людського фактору [9].

Французька судноплавна компанія CMA CGM використовує штучний інтелект для моніторингу та прогнозування стану контейнерів. Система ШІ аналізує дані із сенсорів,

установлених на контейнерах, та прогнозує можливі проблеми, як-от пошкодження або перевищення температурних режимів. Це дозволяє компанії своєчасно реагувати на проблеми, забезпечуючи збереження вантажу та підвищуючи якість обслуговування клієнтів.

IBM Watson Supply Chain – це платформа, яка використовує штучний інтелект для оптимізації логістичних процесів, зокрема морських перевезень. Watson аналізує великі обсяги даних, включаючи інформацію про погоду, стан портів, транспортні коридори та інші фактори, що впливають на морські перевезення. Це дозволяє компаніям прогнозувати затримки, оптимізувати маршрути та приймати більш обґрунтовані рішення щодо управління логістикою [3].

Napag-Lloyd, одна з провідних судноплавних компаній світу, впровадила систему ШІ для прогнозування затримок у морських перевезеннях. Система аналізує дані про фактори, що можуть вплинути на доставку вантажів. Завдяки цьому компанія може реагувати на потенційні проблеми та інформувати клієнтів про можливі затримки, що підвищує рівень обслуговування [10].

Ці приклади демонструють, як штучний інтелект може радикально змінити морську логістику, зробивши її більш ефективною, економічною та безпечною. Впровадження ШІ в морські перевезення відкриває нові можливості для оптимізації процесів, зниження витрат та підвищення якості обслуговування клієнтів, що є ключовим фактором для конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Технології штучного інтелекту розвиваються стрімкими темпами, відкриваючи нові можливості для різних галузей, включаючи морські перевезення. Цифрові двійники (digital twins) – це віртуальні моделі фізичних об'єктів, які дозволяють моделювати їх поведінку в реальному часі. Використання цифрових двійників суден та маршрутів дозволяє проводити симуляції та оптимізувати маршрути, враховуючи різні сценарії, що допомагає зменшити ризики та підвищити ефективність морських перевезень. Розроблення автономних суден та їх інтеграція в глобальну логістичну систему є важливим напрямом досліджень. Це включає не тільки технічні аспекти автономії, але й створення нових стандартів, нормативних актів та методів управління. Інтеграція автономних суден може значно знизити витрати на екіпаж, підвищити безпеку і поліпшити морські перевезення. Колаборативні мережі та розподілені системи на основі ШІ дозволяють суднам обмінюватися інформацією та координувати свої дії для оптимізації маршрутів та уникнення конфліктних ситуацій. Це може включати використання блокчейн-технологій для забезпечення безпеки та прозорості даних.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Оптимізація маршрутів морських перевезень за допомогою штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові горизонти для підвищення ефективності та зниження витрат у логістичній галузі. Використання інноваційних технологій ШІ, як-от машинне навчання, нейронні мережі, оброблення природної мови та комп'ютерний зір, дозволяє вирішувати складні завдання управління маршрутами, прогнозування попиту та забезпечення безпеки.

Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних дозволяє вибирати найкращі маршрути з урахуванням погодних умов, морських течій та трафіку суден, що дозволяє зменшити час у дорозі, знизити витрати на паливо і підвищити ефективність перевезень.

Розвиток технологій автономних суден обіцяє революцію в морській логістиці, адже такі судна можуть самостійно навігувати, уникати перешкод та вибирати оптимальні маршрути, що значно знижує витрати на екіпаж та підвищує безпеку.

Алгоритми ШІ можуть аналізувати історичні дані та поточні тенденції для точного прогнозування попиту на морські перевезення. Це дозволяє компаніям краще планувати свої ресурси, уникати перевантажень та забезпечувати своєчасну доставку вантажів.

Також системи ШІ можуть виявляти потенційні загрози та попереджати аварії, аналізуючи дані із сенсорів та інших джерел, що підвищує безпеку морських перевезень та зменшує ризики.

Попри значні можливості, впровадження ШІ в морські перевезення стикається з низкою викликів. Передусім це складність інтеграції нових технологій у наявну інфраструктуру та необхідність значних інвестицій. Крім того, виникають питання безпеки даних та захисту від кіберзагроз. Регуляторні бар'єри та стандартизація також є важливими аспектами, які потребують вирішення для успішного впровадження автономних суден та інших інноваційних рішень.

З розвитком технологій ШІ та їх вдосконаленням очікується подальше зростання їх ролі в морській логістиці. Такі інноваційні рішення, як цифрові двійники, інтернет речей (IoT) та адаптивні системи управління, можуть суттєво покращити ефективність та безпеку морських

перевезень. Перспективні дослідження в галузі глибокого навчання, автономних суден та колаборативних мереж відкривають нові можливості для оптимізації логістичних процесів та підвищення конкурентоспроможності транспортних компаній.

Отже, оптимізація маршрутів морських перевезень за допомогою ШІ є перспективним напрямом, який дозволяє підвищити ефективність, знизити витрати та покращити безпеку в логістичній галузі. Використання сучасних технологій ШІ відкриває нові можливості для компаній, що займаються морськими перевезеннями, та сприяє розвитку інноваційних рішень у галузі. Попри виклики та ризики, перспективи розвитку технологій ШІ в морській логістиці виглядають надзвичайно обнадійливими, що створює підґрунтя для подальших досліджень та впровадження інновацій.

Список бібліографічного опису:

1. Tymoteusz M., Durluk I., Kozlovska P., Krzemińska A., Jawor M., Cembrowska-Lech D., Kisiel A., Mosiundz S., Kołodziejczak M. Optimizing ship logistics through advanced AI algorithms: revolutionizing the future of maritime research. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, March 24, 2023; Zagreb, Croatia. P. 126–131. URL: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/826>. (date of access: 16.07.2024).
2. Hogh A., Andersen H. B. Seafarer fatigue: A review of risk factors, consequences for seafarers' health and safety, and options for mitigation. *International Maritime Health*. 2018. Vol. 69, No. 2. P. 104–114.
3. Belginova S., Uvaliyeva I., Rustamov S. The application of data mining methods for the process of diagnosing diseases. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2019. Vol. 97, No. 7. P. 1980–1998.
4. Zhang W., Yan W., Yang Y. A review of the recent research on the maritime integrated transportation system. *Transport Reviews*. 2020. Vol. 40, No. 4. P. 524–548.
5. Rahikainen M., Luoma E. Cybersecurity in the maritime industry: A systematic literature review and future research agenda. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020. Vol. 8, No. 7. P. 511.
6. Nguyen H. P., Nguyen C. Th. U., Tran Th. M., Dang Q. H., Pham N. D. Artificial Intelligence and Machine Learning for Green Shipping: Navigating towards Sustainable Maritime Practices. *International Journal on Informatics Visualization*. 2024. Vol. 8, No. 1. P. 1–17.
7. Imran M., Ayob A., Jamaludin S. Applications of artificial intelligence in ship berthing: A review. *Indian Journal Geo Mar. Sci.* 2021. Vol. 50. P. 855–863.
8. Bendul J. C., Kreutzfeldt J., Michalski F. Digital transformation in maritime logistics: The case of smart container terminals. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 139. P. 105–117.
9. Ellegaard O., Wallin J.A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*. 2015. Vol. 105. P. 1809–1831.
10. Kilibarda M., Andrejić M., Popović V. Research in logistics service quality: A systematic literature review. *Transport*. 2020. Vol. 35. P. 224–235.

References:

1. Tymoteusz, M., Durluk, I., Kozlovska, P., Krzemińska, A., Jawor, M., Cembrowska-Lech, D., Kisiel, A., Mosiundz, S., & Kołodziejczak, M. (2023). Optimizing ship logistics through advanced AI algorithms: Revolutionizing the future of maritime research. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, 126–131. <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/826>
2. Hogh, A., & Andersen, H. B. (2018). Seafarer fatigue: A review of risk factors, consequences for seafarers' health and safety, and options for mitigation. *International Maritime Health*, 69(2), 104–114.
3. Belginova, S., Uvaliyeva, I., & Rustamov, S. (2019). The application of data mining methods for the process of diagnosing diseases. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 97(7), 1980–1998.
4. Zhang, W., Yan, W., & Yang, Y. (2020). A review of the recent research on the maritime integrated transportation system. *Transport Reviews*, 40(4), 524–548.
5. Rahikainen, M., & Luoma, E. (2020). Cybersecurity in the maritime industry: A systematic literature review and future research agenda. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 511.
6. Nguyen, H. P., Nguyen, C. Th. U., Tran, Th. M., Dang, Q. H., & Pham, N. D. (2024). Artificial Intelligence and Machine Learning for Green Shipping: Navigating towards Sustainable Maritime Practices. *International Journal on Informatics Visualization*, 8(1), 1–17.
7. Imran, M., Ayob, A., & Jamaludin, S. (2021). Applications of artificial intelligence in ship berthing: A review. *Indian Journal Geo Mar. Sci.*, 50, 855–863.
8. Bendul, J. C., Kreutzfeldt, J., & Michalski, F. (2020). Digital transformation in maritime logistics: The case of smart container terminals. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105–117.
9. Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105, 1809–1831.
10. Kilibarda, M., Andrejić, M., & Popović, V. (2020). Research in logistics service quality: A systematic literature review. *Transport*, 35, 224–235.