

Кічка О.І., Кічкін О.В.

## УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В КОНТЕЙНЕРНОМУ ТЕРМІНАЛІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*У статті наведено аналіз існуючих методів ідентифікації об'єктів та їх застосування в системі управління технологічними процесами в контейнерному терміналі. Досліджено методи штучного інтелекту та їх використання для вирішення задач прогнозування контейнерних потоків, раціонального розміщення контейнерів на майданчику та оптимізації руху транспортних засобів. Визначені задачі, які необхідно вирішити для удосконалення процесу перевантаження контейнерів у порту з використанням методів ідентифікації, штучного інтелекту, імітаційного моделювання та сучасних парадигм баз даних. Запропоновано узагальнену функціональну схему-алгоритм використання методів ідентифікації, штучного інтелекту, імітаційного моделювання та сучасних парадигм баз даних для удосконалення процесу перевантаження контейнерів у порту. Запропоновано систему управління контейнерним терміналом, що базується на поєднанні методів радіочастотної ідентифікації (RFID-технології та її модифікації - UHF міток), імітаційного моделювання (агентно-орієнтоване та дискретно-євентне), методів штучного інтелекту (Reinforcement Learning, RL та Deep Q-Learning, DQL), алгоритмів маршрутизації Дейкстри (Dijkstra) та A-star (A)\* та інформаційних технологій. Визначена основна концепція поєднання цих методів, що полягає в застосуванні імітаційної моделі контейнерного терміналу для моделювання взаємодії видів транспорту в контейнерному терміналі та руху транспортних засобів; алгоритмів пошуку шляхів (Dijkstra та A-star) – для швидкого та оптимального знаходження маршрутів річстакерів, методів штучного інтелекту (RL та DQL) – для прогнозування навантаження, визначення розташування контейнерів на майданчику, адаптації алгоритмів та управління рухом автонавантажувачів у реальному часі. Запропоновано використання реляційної СУБД (SQL бази даних) для накопичення результатів імітаційного моделювання та подальшого “машинного” навчання відповідної моделі штучного інтелекту.*

**Ключові слова:** контейнерний термінал, методи ідентифікації, імітаційне моделювання, методи штучного інтелекту, інформаційні технології, реляційна СУБД.

**Актуальність дослідження.** Конкуренція на світовому ринку морських контейнерних перевезень спонукає до модернізації інфраструктури, технологічних процесів та методів управління процесами у морських портах. На сучасному етапі розвитку технологій необхідно використовувати можливості застосування штучного інтелекту, машинного навчання, методів радіочастотної ідентифікації, імітаційного моделювання, сучасних парадигм баз даних, блокчейн-технологій, хмарних технологій для забезпечення ефективності, продуктивності, безпечності процесів в порту.

**Постановка проблеми.** Однією з задач, що визначені у Оновленій національній транспортній стратегії України до 2030 року є скорочення часу обробки вантажів та здійснення формальностей шляхом запровадження ІТ-сервісів, які забезпечують обмін даними з ІТ-системами ЄС. [1]

Також у цьому документі зазначено, що у країнах — членах ЄС рівень контейнеризації перевезень вантажів становить 35—55 відсотків загального обсягу перевезень, а в той же час в Україні такий обсяг становить менше ніж 4 відсотки. [1] Тому однією з задач, які необхідно виконати є збільшення частки контейнерних перевезень.

Сучасні контейнерні перевезення та технології обробки контейнерів в порту потребують глобальної трансформації. Технології Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI), радіочастотної ідентифікації (RFID), блокчейну останнім часом все більше використовуються для забезпечення контейнерних перевезень, допомагаючи оптимізувати процеси, підвищити безпеку та екологічність, знизити витрати. Українські порти не використовують ІТ-технології на рівні таких портів як, наприклад, Роттердам або Гонконг, але мають значний потенціал для адаптації цих технологій з метою підвищення ефективності процесів вантажопереробки та конкурентоспроможності портів в міжнародній системі морських перевезень.

Використання інформаційних технологій (ІТ) у технологічних процесах морських портів є ключовим фактором для підвищення ефективності, безпеки та конкурентоспроможності портової інфраструктури. Використання радіочастотної ідентифікації, штучного інтелекту (ШІ) та імітаційного моделювання в перевантажувальних процесах контейнерів у портах є важливим напрямом для підвищення ефективності та оптимізації технологічних процесів в порту.

**Теоретичний аналіз дослідження.** Огляд останніх досліджень і публікацій показав, що використання інформаційних технологій (ІТ), засобів радіочастотної ідентифікації, штучного інтелекту (ШІ) та імітаційного моделювання у технологічних процесах морських портів є актуальним завданням для створення нової концепції портів, зокрема смарт-портів.

У статті Мельника О.М. та співавторів аналізується роль впровадження концепції смарт-портів для розвитку портової інфраструктури. Авторами наведена характеристика основних технологій, таких як блокчейн,

Інтернет речей (ІоТ), штучний інтелект (ШІ), автоматизація, досліджено можливості їх використання для підвищення ефективності, безпеки та екологічної стійкості портів. [2]. Наведені приклади використання розглянутих технологій у портах світу та визначені потенційні ризики та стратегії їх мінімізації в процесі інтеграції смарт-технологій в морську інфраструктуру.

В статті Мурад'яна О.А. та Демидюкова О.В. проаналізовано світові практики запровадження цифрових технологій в морській галузі. Особливу увагу приділено технології блокчейн та її використання в портовій логістиці. [3]

У статті Лаврухіна О.В. та Куліша О.Ю. [4] розглядається впровадження систем радіочастотної ідентифікації (RFID) для оптимізації роботи контейнерних терміналів. Автори відзначають, що використання RFID-технологій дозволяє скоротити час обробки контейнерів, знизити вплив людського фактору та автоматизувати переміщення контейнерів по терміналу. Автори доводять, що використання RFID-технологій сприяє підвищенню загальної ефективності роботи терміналу.

Дослідження Барішнікової В.В. і Сінченко Д.Л. [5] присвячено аналізу сучасних моделей цифрової трансформації у світовій практиці, ідентифікації основних проблем цифровізації портів України.

Дослідження зарубіжних авторів Edvard Tijan, Marija Jovi'c., Sa'ša Aksentijevi, Andreja Pucihar обмежується оглядом публікацій щодо впливу цифрової трансформації в секторі морського транспорту. Це дослідження дозволило виявити що існує не так багато досліджень цифрових трансформацій (Digital transformation DT) у секторі морського транспорту. Автори проаналізували фактори спонукання і перешкоди для цифрової трансформації (DT) у секторі морського транспорту. Головним висновком дослідження є констатація факту що цифрова трансформація в морській галузі є безперечно актуальною, а приклад високо цифрових морських портів (таких як, наприклад, порт Роттердам і Сінгапур) лише підтверджує необхідність впровадження цифрових технологій для підвищення конкурентоздатності портів і унеможливлення випадіння їх з логістичних ланцюжків. [6]

В роботі авторів Кириллової О.В., Кириллової В.Ю., Магомадова О.Р. та Ромаха В.Л. [7] здійснено огляд, аналіз і систематизація інноваційних технологій, що потенційно можуть використовуватися в портовій сфері і сприяють наближенню портів до статусу «Розумний порт» (Smart Port). У роботі наведено аналіз поняття «Розумний порт» (Smart Port); розглянуто приклади використання інноваційних технологій, які використовуються у сучасних портах з статусом (Smart Ports). Основна увага приділяється таким технологіям, як технологія Великих даних (Big Data), Інтернет речей (Internet of Things - ІоТ); штучний інтелект (Artificial Intelligence - AI), технологія «Цифровий двійник» (Digital Twin - DT), блокчейн (Blockchain). [7]. В статті [8] автори Кириллова О.В. і Кириллова В.Ю. досліджують еволюцію концепції “Smart ports” як нового парадигмального вектору цифровізації та етапи автоматизації портової індустрії, аналізують ключові світові кейси успішного впровадження та розкриття сучасних технологічних рішень в діяльності портів.

Питання підвищення ефективності і безпеки вантажних операцій на контейнеровозах при здійсненні мультипортових перевезень шляхом удосконалення автоматизованих систем керування такими операціями вирішується у наукових дослідженнях Федорова А.І. Автор у своєму дослідженні вирішує задачу оптимізації складання вантажних планів контейнеровозів на підставі розробки нових методів побудови оптимального вантажного плану, що базуються на моделях та методах інформаційної підтримки рішень з керування вантажними операціями контейнеровоза. [9]

Застосуванню імітаційного моделювання в перевантажувальних та складських процесах в порту присвячена стаття науковців Павлової Н.Л. та Перепічко М.С. [10]. Автори представили концептуальний підхід до імітаційного моделювання технологічного процесу обробки вантажів в морському порту.

Результати досліджень безпосередньо авторів цієї статті викладені у попередніх публікаціях. Зокрема, питання використання радіочастотної ідентифікації були представлені у роботах [11-12], використання імітаційного моделювання в роботі контейнерного терміналу та у процесах взаємодії видів транспорту у роботах [13-16], використання інформаційних технологій в діяльності транспортних підприємств у роботах [17-18].

Здійснений аналіз наукових розробок і публікацій дає підставу зробити висновок, що дослідження та запровадження інформаційних технологій (ІТ), засобів радіочастотної ідентифікації, штучного інтелекту (ШІ) та імітаційного моделювання у технологічних процесах морських портів є важливим, негайним і невідкладним завданням для створення сучасних портів і удосконалення технологічних процесів.

**Мета статті.** Метою дослідження є аналіз інноваційних технологій таких, як штучний інтелект, машинне навчання, методи радіочастотної ідентифікації, імітаційне моделювання, сучасні парадигми баз даних та розробка методичних рішень щодо застосування їх в технологічних процесах обробки контейнерів в порту.

**Задачі дослідження.** Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні задачі:

- проаналізувати засоби ідентифікації та технологію взаємодії штучного інтелекту (ШІ) з методами імітаційного моделювання та їх використання для удосконалення процесу перевантаження контейнерів у порту;
- визначити задачі, які необхідно вирішити для удосконалення процесу перевантаження контейнерів у порту з використанням методів ідентифікації, штучного інтелекту (ШІ), імітаційного моделювання та сучасних парадигм баз даних;
- запропонувати узагальнену функціональну схему-алгоритм використання методів ідентифікації, штучного інтелекту (ШІ), імітаційного моделювання та сучасних парадигм баз даних для удосконалення процесу перевантаження контейнерів у порту.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Імітаційні моделі обробки контейнерів у портах з використанням штучного інтелекту та інформаційних технологій є важливим інструментом для дослідження взаємодії різних видів транспорту, підвищення ефективності та оптимізації технологічних процесів в порту та логістики контейнерних перевезень. Як показав аналіз публікації з цієї тематики в портовій галузі використовуються різні імітаційні моделі, що дають можливість в реальному часі моделювати різні ситуації, аналізувати результати імітаційних експериментів для прийняття правильних і ефективних управлінських рішень.

Новітні технології такі як технологія Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ) останнім часом активно впроваджуються у сферу контейнерних перевезень. IoT-сенсори, які встановлюються на контейнерах, дозволяють відстежувати місцезнаходження контейнера за допомогою GPS, фіксувати ушкодження та зовнішні впливи на контейнер та можливе пошкодження вантажу, контролювати температуру, вологість та надсилати автоматичні сповіщення у разі відхилень від допустимих норм.

Прикладом використання такої технології є найбільший оператор контейнерних перевезень Maersk, який використовує систему віддаленого управління рефконтейнерами - Remote Container Management (RCM), яка дозволяє в реальному часі здійснювати моніторинг поточного місця розташування рефконтейнерів, температури та вологості всередині контейнера. Крім того, система має статус підключення до електроживлення як на борту судна, так і протягом усього процесу транспортування. Перш за все система віддаленого управління дозволяє контролювати режими перевезення вантажів в рефконтейнерах. Склад такої технологічної системи: модем і сім-карта, що встановлюються на рефконтейнери, GPS, супутникові передавачі на борту контейнеровозів, приймачі в офісі Maersk для обробки даних і контролю спеціалістами підтримки RCM та клієнтами.

Алгоритми штучного інтелекту (ШІ) аналізують зібрані дані для прогнозування попиту, оптимізації маршрутів та виявлення пошкоджень контейнерів, що сприяє зниженню витрат та підвищенню ефективності перевезень.

Основою для отримання інформації про стан об'єктів та їх рух є засоби ідентифікації та моніторингу. В наведеному прикладі (оператор контейнерних перевезень Maersk) використовуються для ідентифікації та глобального моніторингу контейнерів у реальному часі GPS та IoT (Інтернет речей) сенсори. Контейнери оснащуються GPS-модулями, які передають дані про їхнє місцезнаходження через супутники або мобільну мережу. Електронний засіб GPS-трекер застосовує систему глобального позиціонування (GPS) для визначення розташування транспортного засобу (контейнера) в реальному часі. Конструкція трекера складається з передавача і приймача.. GPS-трекер отримує сигнали від супутників, які визначають координати розташування, та передає ці дані на сервер для подальшої обробки.

Як і будь-який метод, цей метод ідентифікації та моніторингу має свої переваги і недоліки. До переваг слід віднести можливість відстеження контейнера та його стану на всьому шляху транспортування і в будь-якій точці світу, контроль не тільки дотримання умов перевезення, а також можливість попередити випадки псування контейнера та крадіжки вантажу. Серед недоліків можна вказати високу вартість устаткування та обслуговування і необхідність у джерелі живлення (літєві батареї або сонячні панелі).

Інша технологія у галузі автоматичної ідентифікації, яка зараз розглядається як унікальний засіб керування даними - радіочастотна ідентифікація (RFID). RFID використовується для вдосконалення технології обробки контейнерів. Встановлення RFID-міток на контейнери дозволяє автоматизувати процеси сортування та обліку, зменшуючи час обробки та мінімізуючи людський фактор. Це сприяє підвищенню точності та швидкості вантажно-розвантажувальних операцій на контейнерних терміналах.

RFID-технологія складається з RFID-міток (пасивних або активних), зчитувальних пристроїв (рідерів) та системи обробки даних. Така система дозволяє автоматично ідентифікувати контейнери за допомогою радіохвиль.

До переваг такої технології ідентифікації можна віднести безконтактність, швидкість і точність зчитування, можливість використання у агресивних середовищах, достатньо великий термін використання, можливість не тільки зчитування, але й запису достатньо великого обсягу інформації. Крім того, RFID-мітки можуть мати інтелектуальні властивості і їх майже неможливо підробити. Тому використання RFID-міток дуже поширене в транспортній галузі і логістиці.

В системах, де встановлено декілька рідерів і використовуються безліч міток (таких як контейнерний термінал) доцільним є використання UHF міток. Цей пристрій є пасивною міткою, адже не має вбудованого джерела живлення, і облаштований RFID мікрочіпом. UHF мітки працюють по бездротовому зв'язку в діапазоні ультрависоких частот і активуються при попаданні в поле дії пристрою зчитування. Завдяки таким властивостям UHF міток, як функція антиколізії, (можливість одночасної роботи декількох міток без спотворення передачі даних), передача даних на велику відстань, висока швидкість зчитування використання їх в технологічних процесах постачання та обробки вантажів, зокрема в контейнерних терміналах, є перспективною технологією ідентифікації.

У портах, терміналах і на митниці для прискорення процесів реєстрації застосовується система оптичного розпізнавання символів (Optical Character Recognition - OCR). Це технологія, яка перетворює зображення тексту (скановані документи, фотографії, надписи) у цифровий текст. В транспортній галузі OCR використовується для пошуку та розпізнавання номерних знаків транспортних засобів або контейнерів.

Отже, наведений аналіз засобів ідентифікації дає підставу зробити висновок, що використання RFID, GPS-трекінгу, IoT-сенсорів та OCR окремо чи в поєднанні дозволяє значно покращити процеси обробки контейнерів,

підвищити безпеку та ефективність логістики. Рішення щодо використання того чи іншого засобу ідентифікації залежить від бюджету, типу вантажів та логістичних потреб компанії.

Перевантаження контейнерів у портах є критично важливим процесом у глобальній логістиці. Використання штучного інтелекту (ШІ) та імітаційного моделювання дозволяє значно підвищити ефективність перевантаження, скоротити простой суден і покращити управління контейнерами.

Імітаційне моделювання дозволяє тестувати різні сценарії управління контейнерними терміналами, виявити вузькі місця та оптимізувати процеси обробки контейнерів без ризику реальних втрат.

Розробка імітаційної моделі роботи контейнерного терміналу з використанням штучного інтелекту (ШІ) та інформаційних технологій дозволяє вирішити такі задачі: задачу взаємодії різних видів транспорту в контейнерному терміналі, задачу оптимального розміщення контейнерів на майданчику і задачу оптимального переміщення контейнерів, тобто оптимізації руху контейнерних навантажувачів (річстакерів).

Загальна функціональна схема цифрової трансформації контейнерного терміналу представлена на рисунку 1.

Структурна схема забезпечення рішення поставлених задач з визначенням методів їх вирішення – на рисунку 2.



Рисунок 1 - Загальна функціональна схема цифрової трансформації контейнерного терміналу

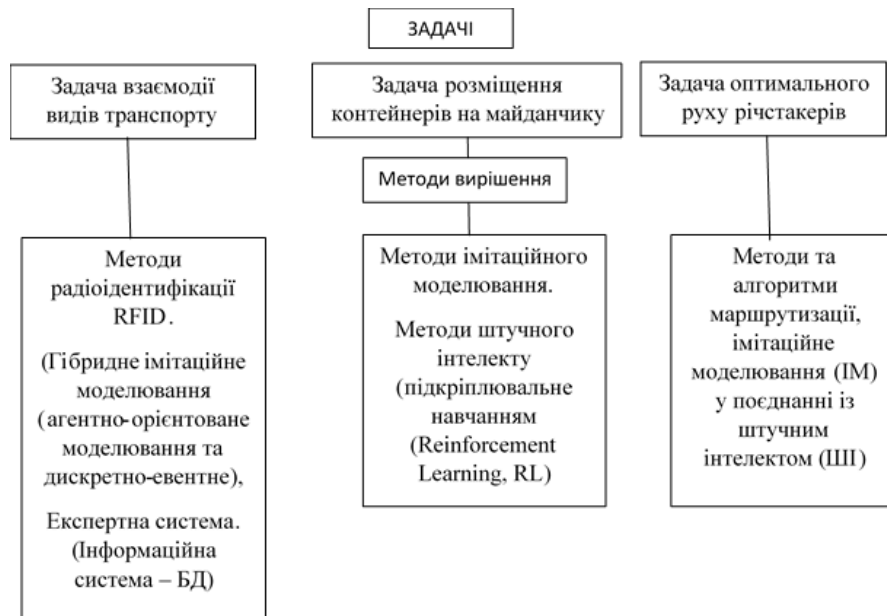


Рисунок 2 - Структурна схема забезпечення рішення поставлених задач з визначенням методів їх вирішення

Отже, розглянемо методи вирішення поставлених задач.

Вирішення задачі організації взаємодії видів транспорту в контейнерному терміналі, із взаємодією морського, автомобільного й залізничного транспорту досліджена авторами статті і представлено в попередніх публікаціях [14-16]. Також було запропоновано модифікацію інформаційної системи контейнерного терміналу за рахунок впровадження блоку формування технологічних карт обробки вантажів (контейнерів). [16] В цьому ж дослідженні розглядався зв'язок імітаційної моделі з базою даних, з можливістю акумулювання результатів імітаційних експериментів і економіко-технологічних показників та подальшим машинним навчанням моделі штучного інтелекту за допомогою цієї інформації.

Для розробки імітаційної моделі застосовувалась парадигма гібридного імітаційного моделювання, яка поєднує кілька парадигм, в нашому випадку - агентно-орієнтоване моделювання та дискретно-ементне. Агентна парадигма імітаційного моделювання використовувалася для реалізації загальної логіки моделі. Для цього кожний агент моделі розглядався як система масового обслуговування, тобто для моделювання роботи агента

застосовувалося дискретно-евернтне моделювання. В якості інструмента моделювання використовувався інструмент комп'ютерного моделювання Anylogic.

Для вирішення задачі раціонального розміщення контейнерів на майданчику використовуються різні алгоритми штучного інтелекту, а саме алгоритми евристичного пошуку (Heuristic Search Algorithms), алгоритми генетичного пошуку (GA), метод імітації відпалу (SA), жадібні алгоритми та алгоритми пакування (Greedy Algorithms & Packing Algorithms), методи машинного навчання (Machine Learning) та глибокого навчання (Deep Learning), оптимізаційні алгоритми (Optimization Algorithms), алгоритми маршрутизації та імітаційне моделювання.

Наприклад, в порту Роттердама (Нідерланди) використовуються евристичні алгоритми для оптимізації місць зберігання контейнерів, застосування цього методу зменшує час пошуку контейнерів на 30%.

Такі великі оператори як Maersk та MSC використовують жадібні алгоритми та алгоритми пакування в автоматизованих портах. Використання цих алгоритмів дозволяє ефективно розміщувати контейнери з урахуванням їхнього пункту призначення.

В запропонованій нами системі управління контейнерним терміналом для реалізації задачі раціонального розміщення контейнерів на майданчику враховується адреса призначення, тип контейнеру та прогнозований час підходу відповідного судна. Для вирішення задачі можливо застосувати підхід із підкріплювальним навчанням (Reinforcement Learning, RL). Цей підхід дає можливість послідовного ухвалення рішень, як, зокрема, динамічне розміщення контейнерів у реальному часі.

При застосуванні методу RL майданчик контейнерного терміналу представляється у вигляді сітки. Кожен контейнер має характеристики (розмір, вага, пріоритет та інш.). В системі визначаються агенти та дії - можливі місця для розміщення нового контейнера. Для навчання використовується функція винагороди (Reward Function), яка може бути або позитивною (оптимальне розміщення контейнерів з мінімізацією зайнятого простору, мінімум пробігу річстакерів, мінімум часу пошуку необхідного контейнера), або негативною (погіршення доступу до необхідного контейнера, неефективне розміщення в ярусі за терміном зберігання і т. інш.).

Для вирішення задачі раціонального розміщення контейнерів на майданчику обрано Deep Q-Learning (DQL) алгоритм - коли середовище дискретне (контейнерний майданчик поділено на комірки).

Навчання моделі здійснюється методом тренування агента на імітаційній моделі, використовуючи дані попередніх імітаційних експериментів та реальні сценарії. В результаті такого навчання агент адаптується до нестандартних ситуацій тим краще, чим більше було навчальних ситуацій. Навчений агент вже може оптимізувати розміщення контейнерів в режимі реального часу.

Поєднання цих методів штучного інтелекту дає можливість прогнозування контейнерних потоків, необхідного простору для розташування та здійснювати динамічне розташування контейнерів в реальному часі. Отже, комбінація RL та DQL дозволяє досягти вищої ефективності та швидкої адаптації до змін у процесах розміщення контейнерів на майданчику.

Для вирішення задачі оптимального руху річстакерів пропонується використовувати методи та алгоритми маршрутизації, імітаційне моделювання (ІМ) у поєднанні із штучним інтелектом (ШІ). Такий підхід дозволяє тестувати різні сценарії без ризику реальних втрат (функція ІМ) та автоматично аналізувати результати імітаційних експериментів та покращувати моделі (функція ШІ).

Для оптимізації руху контейнерних автотранспортувачів (річстакерів) у контейнерному терміналі доцільно використовувати поєднання алгоритмів маршрутизації Дейкстри (Dijkstra) та A-star (A)\*. Це дозволяє знайти найкоротший шлях у реальному часі, враховуючи динамічні перешкоди, пріоритети контейнерів та оперативні зміни. Метод Дейкстри доцільно використовувати тому, що розмірність графа, який відображає шляхи контейнерного майданчика невелика і замість рівномірного дослідження всіх можливих шляхів цей метод віддає перевагу шляхам з низькою вартістю. В якості вартості може бути обрана витрата пального, час пересування, відстань. Отже контейнерний майданчик моделюється у вигляді графа, в якому вузли – координати доступних позицій контейнерів та проїздів, ребра – можливі переміщення річстакера між вузлами, вартість ребер – час, витрати палива на переміщення або відстань. Метод Dijkstra застосовується для попереднього аналізу: на базовому графі усіх можливих шляхів на контейнерному майданчику визначаються еталонні найкоротші шляхи між усіма важливими точками. А вже алгоритм \* (A-star) використовує евристичну функцію для прискорення пошуку найкращого маршруту до заданої певної точки, що зменшує кількість перевірених вузлів. При цьому метод A-star враховує не тільки найкоротший шлях, але й додаткові фактори, такі як блокування проїзду, пошкодження, зустрічний рух і т. інш.

Програмна реалізація поєднання методу Dijkstra і A-star дозволяє отримувати результат в реальному часі, оновлюючи карту та перераховуючи маршрути за потреби.

Поєднання алгоритмів пошуку найкоротших шляхів (Dijkstra та A-star), імітаційного моделювання контейнерного терміналу та штучного інтелекту (ШІ) дозволяє створити інтелектуальну систему управління контейнерними автотранспортувачами (річстакерами). Така система може працювати в режимі реального часу для оптимізації маршрутів, мінімізації затримок та зменшення витрат на переміщення контейнерів. При цьому основна концепція поєднання цих методів полягає в наступному: імітаційна модель контейнерного терміналу – моделює рух контейнерів, автотранспортувачів (річстакерів), кранів, суден та вантажівок, алгоритми пошуку шляхів (Dijkstra та A-star) – використовуються для швидкого та оптимального знаходження маршрутів для річстакерів, методи штучного інтелекту (RL та DQL) – прогнозують майбутні навантаження, визначають

розташування контейнерів на майданчику, адаптують алгоритми та коригують поведінку автотранспортувачів у реальному часі.

#### **Висновки.**

Таким чином, для удосконалення технологічних процесів в контейнерному терміналі доцільним є використання RFID-технології та її модифікації UHF міток для ідентифікації транспортних засобів та контейнерів і передачі даних до інформаційної системи терміналу. Застосування гібридної імітаційної моделі контейнерного терміналу із збереженням результатів імітаційних експериментів в базі даних та інтегрованим в інформаційну систему блоком формування технологічних карт дозволяє вирішити задачі взаємодії видів транспорту в контейнерному терміналі.

В запропонованій системі управління контейнерним терміналом для реалізації задачі раціонального розміщення контейнерів на майданчику доцільно застосування комбінації методів штучного інтелекту RL та DQL, що дає можливість прогнозування контейнерних потоків, необхідного простору для розташування та здійснювати динамічне розташування контейнерів в реальному часі.

Для оптимізації руху контейнерних автотранспортувачів (річстакерів) у контейнерному терміналі доцільно використовувати поєднання алгоритмів маршрутизації Дейкстри (Dijkstra) та A-star (A)\*. Основна концепція поєднання цих методів полягає в застосуванні імітаційної моделі контейнерного терміналу для моделювання руху транспортних засобів; алгоритмів пошуку шляхів (Dijkstra та A-star) – для швидкого та оптимального знаходження маршрутів річстакерів, методи штучного інтелекту (RL та DQL) – для прогнозування навантаження, визначення розташування контейнерів на майданчику, адаптації алгоритмів та управління рухом автотранспортувачів у реальному часі.

#### **Література**

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
2. Мельник О.М, Пастернак О.Я., Кучеренко В.Ю., Котенко О.В., Щенявський Г.С., Заяц С.В., Чеча О.П., Варлан, Т.Є., Волошин Д.А. Смарт-порти як сучасні технологічні інновації в морській інфраструктурі. International scientific journal «Grail of Science» № 43 (September, 2024). С.59-68 URL: <https://archives.journal-grail.science/index.php/2710-3056/article/view/250>
3. Мурад'ян А.О., Демидюков О.В. Особливості розвитку морських портів в умовах цифрових трансформацій: закордонний досвід. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 6 2022 с. 247-252
4. ЛАВРУХІН, О. В., КУЛІШ, О. Ю. (2022). Удосконалення технології переробки контейнерів за допомогою систем RFID. Транспортні системи та технології перевезень, (23), 25. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261647>
5. Баришникова В.В., Сінченко Д.Л. Моделі цифрової трансформації портової діяльності у світовій практиці та адаптація до умов України. Здобутки економіки: перспективи та інновації, (13). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14258728>
6. E. Tijan, M. Jović, S. Aksentijević, A. Pucihar Digital transformation in the maritime transport sector / E. Tijan et al. Technological Forecasting and Social Change. 2021. Vol. 170. P. 120879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120879>
7. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю, Магомадов О.Р. та Ромаха В.Л. SMART PORT: новітні технології і міжнародний досвід їх упровадження. Розвиток транспорту № 2(21), 2024. с.62-74 URL:[https://www.researchgate.net/profile/Valeriia-Kyryllova/publication/383542885\\_SMART\\_PORT\\_NOVITNI\\_TEHNOLOGII\\_I\\_MIZNARODNIJ\\_DOSVID\\_IH\\_UPROVADZENNA/links/66fd440d9e6e82486ffe6514/SMART-PORT-NOVITNI-TEHNOLOGII-I-MIZNARODNIJ-DOSVID-IH-UPROVADZENNA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Valeriia-Kyryllova/publication/383542885_SMART_PORT_NOVITNI_TEHNOLOGII_I_MIZNARODNIJ_DOSVID_IH_UPROVADZENNA/links/66fd440d9e6e82486ffe6514/SMART-PORT-NOVITNI-TEHNOLOGII-I-MIZNARODNIJ-DOSVID-IH-UPROVADZENNA.pdf)
8. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. “SMART PORTS” як інноваційний вектор технологічної трансформації та цифровізації портів: від ідеї до концепції та практичної реалізації. Розвиток транспорту № 4(23), 2024. с.77-95. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/390/514>
9. Федоров А.І. Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки процесів керування вантажними операціями контейнеровозів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Херсонська державна морська академія, Херсонський національний технічний університет, Херсон, 2021. URL: <file:///C:/Users/alex/Downloads/autoreferat-%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82.pdf.pdf>
10. Павлова Н.Л., Перепічко М.Є. Концептуальний підхід до імітаційного моделювання технологічного процесу обробки вантажів в морському порту. Наука і техніка сьогодні. №4(32). 2024. с.1182-1191. URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/10942/11001>
11. Кічкін О.В., Кічкіна О.І. Інтелектуальна автоматизована система контролю температурних станів вантажу Збірник наукових праць за матеріалами II-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт: наука та практика», Київ - Одеса, 25-26 травня 2023 р: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки, електрон. Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – Київ, СНУ ім. В.Даля, 2023. - с.71-74 URL: <http://sazt-snu.in.ua/data/Zbirnik2023.pdf>

12. O. Kichkin, O. Kichkina Methods of improving the information logistics of a trucking company on the example of the US refrigerated cargo market. TRANSPORT MEANS 2022 Sustainability: Research and Solutions Proceedings of the 26 th international scientific conference part II. Kaunas, Technologija. 2022. p. 798-802  
URL:[https://www.dropbox.com/scl/fo/dddgub7ij4b1v01blmmwf/h?dl=0&rlkey=xpu2rbupn7gh12nltm7s2jqti&fbclid=IwAR2xh8U8VnPtNYPxkAlciIJf7LQ\\_VNhBVznT79besB7Klfd4aqX6xLYsr8](https://www.dropbox.com/scl/fo/dddgub7ij4b1v01blmmwf/h?dl=0&rlkey=xpu2rbupn7gh12nltm7s2jqti&fbclid=IwAR2xh8U8VnPtNYPxkAlciIJf7LQ_VNhBVznT79besB7Klfd4aqX6xLYsr8)
13. Кічкіна О.І. Імітаційна модель виробничої та транспортно-складської логістики. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 2 (243) Северодонецьк, 2018 с. 118-121- Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VVSUNU\\_2018\\_2\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VVSUNU_2018_2_22)
14. Дашковський К.О., Кічкіна О.І. (н.к.) Дослідження стану контейнерних перевезень та удосконалення організації роботи контейнерного терміналу /Майбутній науковець – 2018: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. 14 груд. 2018 р., м. Северодонецьк: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2018. – с.203-205
15. Кічкіна О.І. Інформаційна модель роботи контейнерного терміналу / 72 професорсько-викладацька науково-технічна конференція ОНМУ 28-30 травня 2019р., тези доповідей, Одеса ОНМУ, - 2019, с. 68-70
16. Кічкіна О.І., Кічкін О.В. Управління процесами взаємодії видів транспорту у контейнерному терміналі на підставі імітаційного моделювання та інформаційних технологій. Наукові вісті Давілівського університету DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23> №23 2022 рік DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23-3>
17. Кічкіна О.І. Аналіз та застосування смарт-технологій при взаємодії автомобільного та морського транспорту у зернових терміналах портів. Транспортні системи і технології: проблеми функціонування та розвитку портів: монографія. Том 6. Вид-во: КУПІРІЄНКО СВ. м. Одеса. 2021. с:60-78.
18. O. Kichkin, O. Kichkina Methods of improving the information logistics of a trucking company on the example of the US refrigerated cargo market. TRANSPORT MEANS 2022 Sustainability: Research and Solutions PROCEEDINGS OF THE 26 th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE PART II. KAUNAS, TECHNOLOGIJA. 2022. p. 798-802

#### References

1. Natsionalna transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
2. Melnyk O.M, Pasternak O.Ia., Kucherenko V.Iu., Kotenko O.V., Shcheniavskyi H.S., Zaiats S.V., Checha O.P., Varlan , T.Ie., Voloshyn D.A. Smart-porty yak suchasni tekhnolohichni innovatsii v morskii infrastrukturi. International scientific journal «Grail of Science» № 43 (September, 2024). S.59-68 URL: <https://archives.journal-grail.science/index.php/2710-3056/article/view/250>
3. Muradian A.O., Demydiukov O.V. Osoblyvosti rozvytku morskyykh portiv v umovakh tsyfrovyykh transformatsii: zakordonnny dosvid. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. Tom 33 (72) № 6 2022 s. 247-252
4. LAVRUKhIN, O. V., KULISH, O. Yu. (2022). Udoshkonalennia tekhnolohii pererobky konteineriv za dopomohoiu system RFID. Transportni systemy ta tekhnolohii perevezen, (23), 25. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261647>
5. Baryshnykova V.V., Sinchenko D.L. Modeli tsyfrovoy transformatsii portovoi diialnosti u svitovii praktytsi ta adaptatsiia do umov Ukrainy. Zdobutky ekonomiky: perspektyvy ta innovatsii, (13). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14258728>
6. E. Tijan, M. Jovi'c., S. Aksentijevi, A. Pucihar Digital transformation in the maritime transport sector / E. Tijan et al. Technological Forecasting and Social Change. 2021. Vol. 170. P. 120879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120879>
7. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Iu, Mahomadov O.R. ta Romakh V.L. SMART PORT: novitni tekhnolohii i mizhnarodnyi dosvid yikh uprovadzhennia. Rozvytok transportu № 2(21), 2024. s.62-74 URL:[https://www.researchgate.net/profile/Valeriia-Kyryllova/publication/383542885\\_SMART\\_PORT\\_NOVITNI\\_TEHNOLOGII\\_I\\_MIZNARODNIJ\\_DOSVID\\_IH\\_UPROVADZENNA/links/66fd440d9e6e82486ffe6514/SMART-PORT-NOVITNI-TEHNOLOGII-I-MIZNARODNIJ-DOSVID-IH-UPROVADZENNA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Valeriia-Kyryllova/publication/383542885_SMART_PORT_NOVITNI_TEHNOLOGII_I_MIZNARODNIJ_DOSVID_IH_UPROVADZENNA/links/66fd440d9e6e82486ffe6514/SMART-PORT-NOVITNI-TEHNOLOGII-I-MIZNARODNIJ-DOSVID-IH-UPROVADZENNA.pdf)
8. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Iu. “SMART PORTS” yak innovatsiinyi vektor tekhnolohichnoi transformatsii ta tsyfrovizatsii portiv: vid idei do kontseptsii ta praktychnoi realizatsii. Rozvytok transportu № 4(23), 2024. s.77-95. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/390/514>
9. Fedorov A.I. Modeli, metody ta informatsiina tekhnolohiia pidtrymky protsesiv keruvannia vantazhnymy operatsiiamy konteinerovoziv. – Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.13.06 – informatsiini tekhnolohii. – Khersonska derzhavna morska akademiia, Khersonskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet, Kherson, 2021. URL: file:///C:/Users/alex/Downloads/autoreferat-%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82.pdf.pdf
10. Pavlova N.L., perepichko M.Ie. Kontseptualnyi pidkhid do imitatsiinoho modeliuvannia tekhnolohichnoho protsesu obrobky vantazhiv v morskomu portu. Nauka i tekhnika sohodni. №4(32). 2024. s.1182-1191. URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/10942/11001>
11. Kichkin O.V., Kichkina O.I. Intelktualna avtomatyzovana systema kontroliu temperaturnykh staniv vantazhu Zbirnyk naukovykh prats za materialamy II-yi Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii «Transport: nauka ta

praktyka», Kyiv - Odesa, 25-26 travnia 2023 r: zbirnyk naukovykh prats / Ministerstvo osvity i nauky, elekton. Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia – Kyiv, SNU im. V.Dalia, 2023. - s.71-74  
URL: <http://sazt-snu.in.ua/data/Zbirnik2023.pdf>

12. O. Kichkin, O. Kichkina Methods of improving the information logistics of a trucking company on the example of the US refrigerated cargo market. TRANSPORT MEANS 2022 Sustainability: Research and Solutions proceedings of the 26 th international scientific conference part II. Kaunas, Technologija. 2022. r. 798-802

URL:[https://www.dropbox.com/scl/fo/dddgub7ij4b1v01blmmwf/h?dl=0&rlkey=xpu2rbupn7gh12nlm7s2jqti&fbclid=IwAR2xh8U8VnPttNYPxkAlcIIJf7LQ\\_VNhBVznT79bcsB7Klfd4aqX6xLYsr8](https://www.dropbox.com/scl/fo/dddgub7ij4b1v01blmmwf/h?dl=0&rlkey=xpu2rbupn7gh12nlm7s2jqti&fbclid=IwAR2xh8U8VnPttNYPxkAlcIIJf7LQ_VNhBVznT79bcsB7Klfd4aqX6xLYsr8)

13. Kichkina O.I. Imitatsiina model vyrobnychoi ta transportno-skladskoi lohistyky. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia № 2 (243) Sievierodonetsk, 2018 s. 118-121- Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSunu\\_2018\\_2\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSunu_2018_2_22)

14. Dashkovskiy K.O., Kichkina O.I. (n.k.) Doslidzhennia stanu konteinernykh perevezhen ta udoskonalennia orhanizatsii roboty konteinerneho terminalu /Maibutnii naukovets – 2018: materialy vseukr. nauk.-prakt. konf. 14 hrud. 2018 r., m. Sievierodonetsk: Skhidnoukr. nats. un-t im. V. Dalia, 2018. – s.203-205

15. Kichkina O.I. Informatsiina model roboty konteinerneho terminalu / 72 profesorsko-vykladatska naukovotekhnichna konferentsiia ONMU 28-30 travnia 2019r., tezy dopovidei, Odesa ONMU, - 2019, s. 68-70

16. Kichkina O.I., Kichkin O.V. Upravlinnia protsesamy vzaiemodii vydiv transportu u konteinerному terminali na pidstavi imitatsiinoho modeliuvannia ta informatsiinykh tekhnolohii. Naukovi visti Dalivskoho universytetu DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23> №23 2022 rik DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23-3>

17. Kichkina O.I. Analiz ta zastosuvannia smart-tekhnolohii pry vzaiemodii avtomobilnoho ta morskoho transportu u zernovykh terminalakh portiv. Transportni systemy i tekhnolohii: problemy funktsionuvannia ta rozvytku portiv: monohrafiia. Tom 6. Vyd-vo: KUPRIENKO SV. m. Odesa. 2021. s:60-78.

18. O. Kichkin, O. Kichkina Methods of improving the information logistics of a trucking company on the example of the US refrigerated cargo market. TRANSPORT MEANS 2022 Sustainability: Research and Solutions proceedings of the 26 th international scientific conference part II. Kaunas, Technologija. 2022. r. 798-802

*The article analyzes existing methods of object identification and their application in process control systems at container terminals. Artificial intelligence (AI) methods and their use for solving such tasks as predicting container flows, optimizing container placement, and increasing the efficiency of vehicle traffic are studied. Key tasks necessary to improve container handling processes in ports are identified using identification methods, AI, simulation modeling, and modern database paradigms. A generalized functional algorithm-scheme is proposed for integrating identification methods, artificial intelligence, simulation modeling, and modern database paradigms to improve container handling operations. In addition, a container terminal management system is presented that combines radio frequency identification (RFID) techniques (including modifications of UHF tags), simulation modeling (agent-based and discrete event approaches), AI methods (Reinforcement Learning, RL and Deep Q-Learning, DQL), routing algorithms (Dijkstra and A\*) and information technology. The main concept of this integration is to use a container terminal simulation model to analyze the interaction of transport and vehicle movement within the terminal. Path determination algorithms (Dijkstra and A\*) contribute to efficient and optimized route planning for reachstackers, while AI methods (RL and DQL) allow for load forecasting, container placement optimization, algorithm adaptation and forklift movement control in real time. In addition, a relational database management system (SQL-based DBMS) is proposed to store the simulation modeling results and provide further machine learning to train AI models.*

**Keywords:** container terminal, identification methods, simulation modeling, artificial intelligence, information technology, relational DBMS.

**Кічка О.І.** - професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету, к.т.н., доцент, [ki4kinaoi@ukr.net](mailto:ki4kinaoi@ukr.net)

**Кічкін О.В.** - старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, [kichkin@ukr.net](mailto:kichkin@ukr.net)