

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-12>

УДК 330.4

Томашко Андрій Петрович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0007-1214-0683>

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЛОГІСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Томашко А. П. Принципи моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання. У статті розкрито принципи моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання. Наголошено, що за допомогою машинного навчання комп'ютер можна навчити виявляти певні закономірності, зустрічаючись з якими, він виконуватиме певні дії, якими можуть бути: розрахунок найкоротшого маршруту доставки, моментальне обчислення вартості перевезення, оптимізація розкладів, а також оптимізація експлуатації обладнання. Підкреслено, що застосування штучного інтелекту та машинного навчання для управління інвентаризацією та складом дозволяє оптимізувати витрати на зберігання та керування запасами, а також зменшити ймовірність помилок. Використання штучного інтелекту для аналізу даних про замовлення та споживчу поведінку дозволяє поліпшити прогнозування попиту та скоротити витрати на запаси. Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє оптимізувати маршрути доставки та покращити ефективність процесу доставки. Система логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання може автоматизувати рутинні завдання на складах та в центрах обробки замовлень, що дозволить скоротити витрати на персонал та збільшити продуктивність. Використання штучного інтелекту дозволяє створювати програмні системи управління логістикою, які можуть ефективно координувати процеси логістики та доставки. Представлено структуру бізнес-процесу системи управління логістичного комплексу застосування якої дозволяє підвищити ефективність та зменшити час обробки, за рахунок використання таких технологій як: збір даних із датчиків, встановлених на транспортних засобах, складах та інших об'єктах логістичної інфраструктури; використання міток RFID та інших технологій, що дозволяють відстежувати місцезнаходження вантажів та контролювати їх переміщення; використання даних, отриманих від комунікаційних мереж, таких як Інтернет речей (IoT), щоб моніторити обладнання та процеси на відстані; аналіз зовнішньої інформації; використання софту та програм для управління процесами логістики, які інтегрують усі зібрані дані та автоматизують ряд процесів.

Ключові слова: розумна логістика, складування, транспортування, машинне навчання, моделювання.

Tomashko A. Principles of modeling the logistics complex system using machine learning. The article describes the principles of modeling the logistics complex system using machine learning. It is emphasized that with the help of machine learning, a computer can be taught to detect certain patterns, meeting which, it will perform certain actions, which can be: calculation of the shortest delivery route, instant calculation of the cost of transportation, optimization of schedules, as well as optimization of equipment operation. It is emphasized that the application of artificial intelligence and machine learning for inventory and warehouse management allows to optimize the costs of storage and inventory management, as well as to reduce the probability of errors. Using artificial intelligence to analyze data about orders and consumer behavior can improve demand forecasting and reduce inventory costs. The use of artificial intelligence algorithms allows you to optimize delivery routes and improve the efficiency of the delivery process. A logistics complex system using machine learning can automate routine tasks in warehouses and order processing centers, which will reduce personnel costs and increase productivity. The use of artificial intelligence allows you to create logistics management software systems that can effectively coordinate logistics and delivery processes. The structure of the business process of the logistics complex management system is presented, the application of which allows you to increase efficiency and reduce processing time, due to the use of such technologies as: data collection from sensors installed on vehicles, warehouses and other objects of the logistics infrastructure; the use of RFID tags and other technologies that allow tracking the location of goods and controlling their movement; using data obtained from communication networks, such as the Internet of Things (IoT), to monitor equipment and processes remotely; analysis of external information; using software and programs to manage logistics processes that integrate all collected data and automate a number of processes.

Key words: smart logistics, warehousing, transportation, machine learning, modeling.

Вступ та постановка проблеми. Глобалізація сучасних інформаційних процесів та четверта промислова революція (Індустрія 4.0), включають в себе набір концепцій і технологій, які повинні використовуватися для посилення конкурентоспроможності промислових підприємств, посиляючись на концепції взаємозв'язку, цифровізації та автоматизації [1]. У цьому контексті Smart Логістика націлена на успішне впровадження інтелектуальних та економічних ланцюжків поставок, заснованих на гнучких і кооперативних мережах і взаємопов'язаних організаціях.

Крім того, обмін інформацією здійснюється за допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), мереж даних, акторів і датчиків, а також технологій автоматичної ідентифікації та відстеження матеріалів. Також, автоматизовані транспортні та складські системи, підтримувані автономними транспортними засобами, повинні забезпечувати частковий та/або повний самоконтроль систем. Крім того, розумна логістика може бути реалізована за допомогою технологічних концепцій кіберфізичних систем, Інтернету речей (IoT), відповідно як промислового Інтернету речей (IIoT) так і фізичного Інтернету (PI). Крім впровадження технологічних концепцій,

застосування концепції штучного інтелекту, машинного та глибокого навчання можна вважати одним із найважливіших факторів успіху в процесі цифрової трансформації у логістичній сфері.

У цьому контексті штучний інтелект (ШІ) можна визначити як науку та розробку інтелектуальних машин з особливим акцентом на інтелектуальних комп'ютерних програмах. Машинне навчання (МН) вважається невід'ємною частиною штучного інтелекту, що стосується автоматизованого виявлення значущих шаблонів у наборах даних. Інструменти МН спрямовані на підвищення ефективності алгоритмів шляхом забезпечення здатності до навчання та адаптації на основі аналізу великих даних. Крім того, глибоке навчання (ГН) визначається як підклас МН у технологіях штучного інтелекту, який досліджує багато рівнів нелінійної обробки інформації для контрольованого та/або неконтрольованого вилучення та перетворення функцій, а також для аналізу шаблонів і класифікації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формулювання наукової думки у сфері машинного навчання є різноманітним та масштабним. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені механізмам та принципам застосування штучного інтелекту у сфері логістики.

Вітчизняні українські вчені та закордонні колеги завжди зосереджувалися на дослідженні статичного логістичного та динамічного планування (також відомого як інтелектуальне планування системи зберігання). Дослідницькі сценарії включають автоматизовані термінали, виробничі цехи, автоматизовані склади, логістичні центри розподілу тощо [2, 3].

Статичний метод планування потребує попереднього отримання пакету інформації про завдання та статус системи та не змінить стратегію планування, доки завдання не буде виконано. Поява динамічного планування інтелектуальної логістики може компенсувати недоліки, пов'язані зі статичним плануванням, але метод динамічного планування, згаданий у дослідженні методу динамічного планування, насправді є методом перепланування, який переналаштує стратегію планування відповідно до стану системи [4]. Однак у складних середовищах розрахунків і оцінка інтелектуальних алгоритмів, таких як генетичний алгоритм і оптимізація роїв частинок, займають багато часу і часто не можуть відповідати вимогам системи в реальному часі. Дослідження науковців щодо динамічного планування інтелектуальної складської логістики в основному включають дві категорії. Один полягає в тому, щоб використовувати систему бази знань для попереднього запису оптимальних стратегій планування в різних станах в базу знань і вибору відповідних стратегій планування в базі знань відповідно до стану в процесі роботи [5, 6]. Однак цей метод залежить від масштабу бази знань. Якщо базі знань важко охопити всі можливі стани системи, це серйозно вплине на ефективність прийняття рішень щодо планування. По-друге, використовувати метод машинного навчання для вивчення стратегій планування в різних станах системи в автономному режимі [7, 8].

Так із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Feng Min, Yang Shuaihu, Yang Lei. [9], Di Capua Michele, Ciaramella Angelo, Prisco A. [10], Oguntola Ibrahim, Ülkü M. Ali, Saif Ahmed, Engau Alexander [11], Singh Amita, Wiktorsson Magnus, Hauge Jannicke [12], Aquino Bruno, Baquijano Ángel, Ovalle Christian [13], Kim Cho-Myong, Park Sang-Chan [14] та інші.

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень за окресленою тематикою, питання розкриття принципів моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Технології машинного навчання (МН) і штучного інтелекту (ШІ) все частіше використовуються у виробничих системах. Сфера логістики та управління ланцюгами поставок динамічно розвивається та модернізується в умовах впровадження штучного інтелекту.

Система логістичного комплексу являє собою складну транспортно-складську систему, роботу якої направлено на завантаження, сортування, пошук, складування, перевезення та зберігання продукції та товарів. Функціональна структура логістичного комплексу наведена на рисунку 1.

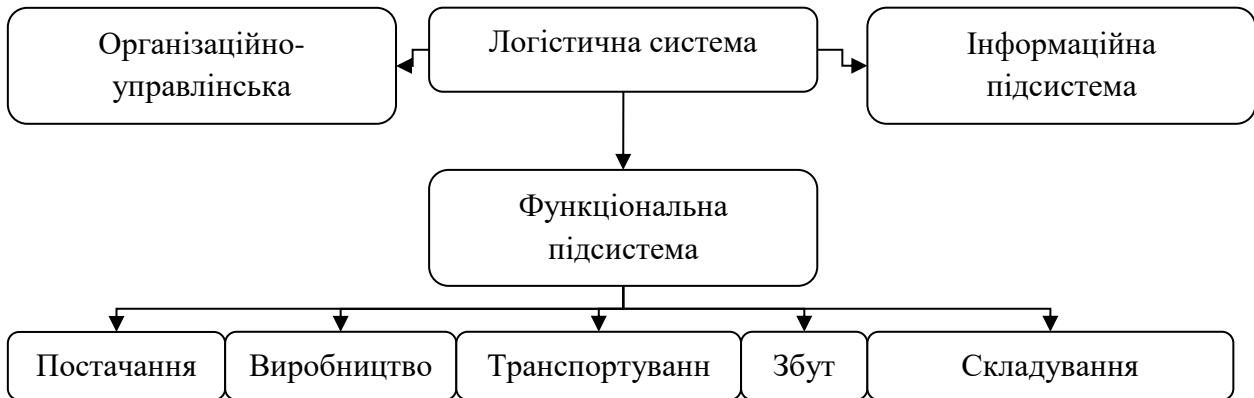


Рис. 1 – Функціональна структура логістичного комплексу

Система логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання об'єднує управління та контроль якості ланцюга поставок для формування повних та впорядкованих інформаційних даних. Ефективні заходи управління та контролю здійснюються своєчасно, щоб якісне обслуговування та швидкість реагування відповідали персоналізованим потребам клієнтів, а також оптимізували всю систему.

У фактичній складській діяльності дві функції зберігання та розподілу тісно пов'язані та навіть об'єднані у єдине ціле. Що стосується функції зберігання, її часовий проміжок залежить від інвентаризації товарів. Чим довший цикл інвентаризації товарів, тим довша функція зберігання. Зберігання нульового запасу в основному базується на функції розподілу. Сезонні запаси та резервні запаси зазвичай відповідають складському зберіганню, тоді як запаси проміжного перетворення зазвичай відповідають складському зберіганню.

Завдяки моніторингу розташування складу в режимі реального часу покращується загальний рівень використання вантажу та швидкість обороту вантажу, а також забезпечується оперативне керування вантажем. Додатково максимізується якість інтелектуального управління складом. Контейнери та вантажні приміщення можуть мати відповідні інтелектуальні та фізичні властивості, сприяючи уніфікованому управлінню даними.

У процесі моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання першим кроком є проектування та розробка аналізу попиту відповідно до потреб користувача. Аналіз попиту – це процес уточнення та розуміння. Ідея, яка використовується в управлінні складською логістикою, полягає в управлінні клієнтами, складами та транспортуванням. Принцип роботи бібліотеки логістичного комплексу полягає у наступному: адміністратор складу підтверджує відповідність товарів на складі. Якщо вони пройшли перевірку якості, їх помістять на склад; інакше вони повернуться до постачальника або спишуться та утилізуються. Вихідне управління схоже на вхідне: після того, як користувач видає вихідне замовлення, правильність позиції перевіряється на основі основних даних матеріалу.

Інтелектуальна система управління логістичним комплексом у підсистемі складування, заснована на технології RFID Інтернету речей, яка в основному включає п'ять модулів:

- базове управління,
- управління вантажним простором,
- управління вантажем,
- управління складом,
- управління сповіщеннями.

Кожен модуль також містить декілька підфункцій.

Базове керування включає:

- керування користувачами,
- налаштування складу,
- налаштування системи,
- налаштування ініціалізації.

Керування розташуванням включає:

- керування полицею,
- керування місцеположенням,

- відповідність апаратного забезпечення розташування,
- керування кодом.

Управління вантажем включає:

- введення вантажу,
- модифікацію запиту вантажу,
- управління специфікацією вантажу,
- керування постачальником вантажу.

Управління складом включає:

- керування вхідними потоками,
- керування вихідними даними,
- управління запасами,
- статистичні запити.

Управління сповіщеннями включає:

- контейнерний шлюз,
- детектор розташування,
- інформація про попередження,
- інформація про виявлення поломок та ремонт.

Технологія RFID подібна до традиційної служби ПК на основі браузера, але представляє нові функції в поточній інтелектуальній системі управління складською логістикою. Система повністю враховує ці характеристики в аналізі бізнес-процесів, роблячи дизайн бізнес-процесів більш придатним для бізнес-обробки в новому середовищі.

Інтелектуальне управління логістичним комплексом із застосуванням машинного навчання вимагає участі багатьох секторів, зокрема відділу закупівель, постачальників, приймального складу, фінансового відділу, підрахунку запасів та іншої багатосторонньої участі, а також бізнес-процесу зв'язку з кількома процесами.

Загальний бізнес-процес складської та логістичної системи показаний на рисунку 2.

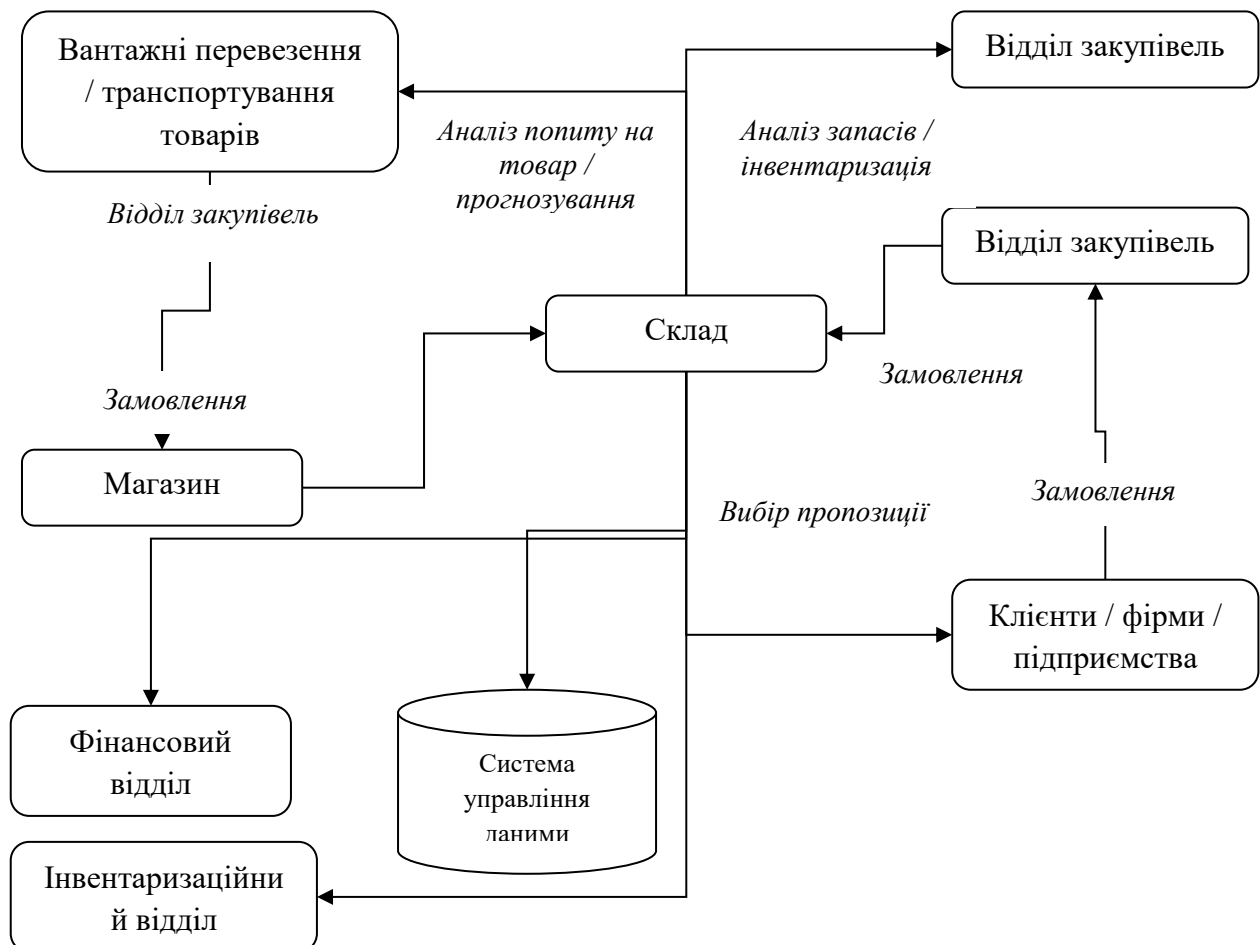


Рис. 2 – Структура бізнес-процесу системи управління логістичного комплексу

Згідно з певними правилами, підсистема управління розташуванням товарів розподіляє різні контейнерні позиції на складі на товари різних категорій і різних специфікацій. Управління вантажним простором зазвичай розрізняється різними кодами. Необхідно максимально повно використовувати існуючий вантажний простір, підвищити ефективність роботи вантажного простору, сформувавши ефективний і впорядкований режим роботи сховища зі складськими та супровідними одиницями.

Комп'ютер на місці видає команду бібліотечної інформації мобільній дисковій бібліотеці на портативний пристрій зчитування RFID відповідно до плану бібліотеки. Власник бібліотеки читає мітку розташування та код мітки елемента. Якщо виявлено, що вони не збігаються, користувач отримує сповіщення на комп'ютер. Після того, як власник бібліотеки пройде один раз за вказаним маршрутом, статистична інформація бібліотеки надсилається на локальний комп'ютер. Тут повною мірою використовуються характеристики інвентаризації (повторне інтелектуальне інформаційне нагадування, періодичне нагадування різних ділянок, інтелектуальне нагадування всієї інвентаризації складу тощо). При необґрунтованій необхідності інвентаризації товарів на складі визначається кількість товарів у книзі та передається персоналу інвентаризації складу згідно з планом інвентаризації, а потім товари, що відповідають різниці, відповідно до системи зворотного зв'язку вносяться до бази товарів та інвентаризація вважається скоригованою та підтверженою.

Конкретний процес складування продукції у рамках системи логістичного комплексу виглядає наступним чином:

- електронний процес складування товарів розпочинається зі збору основної інформації про складське зберігання, такої як інформація про складське замовлення та деталі складського зберігання товарів, а також передача складського замовлення до системи транспортування і генерація повідомлення про складське зберігання, яке отримує оператор;

- вхідний товар кодується за допомогою вибраної схеми кодування товару, закодована інформація записується в електронну етикетку, паперова етикетка друкується, а потім паперова та електронна етикетка склеюються разом, і інтегруються на упаковку товару;

- місце розташування товару, його кількість та умови зберігання, які вказані на етикетці передаються у фоновому режимі на комп'ютер. Комп'ютер автоматично визначає розташування та поступово завантажує номер розташування та відповідний номер елемента кожної операції на бездротовий термінал даних. Якщо дані не збігаються, операція надходження товарів або відмінність даних зворотного зв'язку завершується; тобто бізнес-одержувач припиняє роботу достроково.

- товари транспортуються персоналом складу до відповідного вантажного приміщення. Після того, як перевірена інформація підтверджена, товар поміщається у вантажне відділення (за необхідності номер вантажу та дані ярлика про місцезнаходження можуть бути змінені); дані в реальному часі збираються через мобільний термінал. Інформація передається в систему для забезпечення оновлення даних у реальному часі.

Конкретний процес доставки продукту у рамках системи логістичного комплексу виглядає наступним чином:

- системний центр видає інструкцію з планування вихідного потоку;

- вихідна система генерує вихідне бізнес-замовлення та передає його на мобільний термінал;

- персонал знаходить відповідне місце на основі месенджера мобільного терміналу;

- відповідні товари беруться з позиції вантажу, і система автоматично оновлюється або знаходиться в стані очікування;

- товари транспортуються до виходу, а інформація про вихідну операцію надсилається назад на комп'ютер на місці через фіксовану систему пристроїв читання та запису;

- етикетка пломби зчитується за допомогою портативного пристрою та перевіряється;

- інформація центральної бази даних оновлюється, щоб завершити вихідний бізнес-процес.

Основною функцією управління постачальником є перегляд, додавання, зміна, видалення, дезактивація тощо. Детальний процес виглядає так:

- після запуску служби система автоматично перевіряє інформацію для входу. Якщо перевірка не вдається, персонал пропонує користувачеві повторно ввести інформацію, а потім перевірити ще раз, і доки перевірка не пройде успішно, завантажується основна інформація постачальника;

– вводиться інформація про постачальника, наприклад назва компанії, номер і контакт. Зіставляючи загальну інформацію постачальника, судять про те, чи існує інформація про даного постачальника, і якщо її немає, виконується відповідна обробка; у випадку, коли інформація існує, переглядається інформація про постачальника та пов'язуються відповідні товари;

– персонал і постачальник домовляються один з одним або додають, змінюють або видаляють інформацію про взаємодію з вантажем. В особливих випадках співпраця з постачальником може бути деактивована.

Висновки. У роботі розкрито принципи моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання. У контексті Розумної логістики застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання все ще знаходиться на ранній стадії розробки. Більшість ідентифікованих досліджень є концепціями, лабораторними експериментами або знаходяться на дуже ранній стадії тестування. Зрілі промислові застосування все ще відсутні. Однак моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання дозволить здійснити вдосконалення операційних логістичних процесів, наприклад, підходи до ідентифікації та відстеження, які можна розглядати як перспективні сфери в рамках Розумної логістики.

Результати цього дослідження слід використовувати як відправну точку для майбутніх досліджень щодо застосування технологій машинного навчання у сфері інтелектуальної логістики на промислових підприємствах, а також для практиків промислових компаній для успішного впровадження найсучасніших технологій. Тому, важливо інтегрувати різні галузі досліджень, наприклад, інформаційні технології, логістику, машинобудування, промислове будівництво, математику та статистику, у майбутні дослідницькі проекти.

Список бібліографічного опису

1. Коляденко С. Використання ланцюгів постачання в умовах діджиталізації економіки [Електронний ресурс] / Світлана Коляденко // Соціально-економічні проблеми і держава. 2021. Вип. 2 (25). С. 41-52. Режим доступу: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2021/21ksvude.pdf>
2. Приходько А. Ю., Шуліка О. О. Застосування принципів «smart-логістики» при організації доставки вантажів. Збірник матеріалів 82-ї Міжнародної наукової конференції студентів: секція транспортних технологій. 2020. Харків : ХНАДУ. С.25–26.
3. Похильченко О. А. Тренди логістики та Supply chain management в проєкції трансформаційних змін Industry 4.0. Інтелект XXI. 2019. № 3. С.149-154. URL : http://www.intellect21.nuft.org.ua/journal/2019/2019_3/26.pdf
4. Гармаш С. В. Інтеграція логістичних функцій в рамках логістичного менеджменту у системі управління сучасним промисловим підприємством / С. В. Гармаш // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (економічні науки) : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. № 19 (1295). С. 104-107.
5. Dembińska, I., Frankowska, M., Malinowska, M., Tundys, B. (2018). Smart Logistics. Kraków-Legionowo: Wydawnictwo edu-Libri. Digital in 2017: Global Overview (2018). Retrieved from: <https://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2017-global-overview>.
6. Liao, Leo & Li, Ang. (2022). An Intelligent System to Automate the Inquiry in Logistics Industry using AI and Machine Learning. P. 105-113. DOI: 10.5121/csit.2022.120109.
7. Wang, Yuqin. (2022). Logistics Finance Collaborative Development Model Based on Machine Learning. Computational Intelligence and Neuroscience. 2022. P. 1-8. DOI:10.1155/2022/1591371.
8. Jomthanachai, Suriyan & Wong, Wai & Khaw, Kw. (2023). An Application of Machine Learning to Logistics Performance Prediction: An Economics Attribute-Based of Collective Instance. Computational Economics. P. 1-52. DOI: 10.1007/s10614-023-10358-7.
9. Feng, Min & Yang, Shuaihu & Yang, Lei. (2023). Intelligent Logistics Scheduling Model Based on Q-Learning. DOI: 10.1007/978-981-99-0416-7_56.
10. Di Capua, Michele & Caramella, Angelo & Prisco, A.. (2023). Machine Learning and Computer Vision for the automation of processes in advanced logistics: the Integrated Logistic Platform (ILP) 4.0. Procedia Computer Science. № 217. P. 326-338. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.228.
11. Oguntola, Ibrahim & Ülkü, M. Ali & Saif, Ahmed & Engau, Alexander. (2023). On the Value of Shipment Consolidation and Machine Learning Techniques for the Optimal Design of a Multimodal Logistics Network. INFOR Information Systems and Operational Research. DOI: 10.1080/03155986.2023.2202079.
12. Singh, Amita & Wiktorsson, Magnus & Hauge, Jannicke. (2021). Trends In Machine Learning To Solve Problems In Logistics. Procedia CIRP. № 103. P. 67-72. DOI: 10.1016/j.procir.2021.10.010.
13. Aquino, Bruno & Baquijano, Ángel & Ovalle, Christian. (2022). Algorithm Based on Deep Learning to Improve the Logistics Management of a Company That Distributes Reading Material. DOI: 10.3233/FAIA220544.
14. Kim, Cho-Myong & Park, Sang-Chan. (2022). Recognition of Logistics Safety Labels Using Convolutional Neural Network and Machine Learning. Korean Logistics Research Association. № 32. P. 67-76. DOI: 10.17825/klr.2022.32.3.67.

References

1. Kolyadenko S. Use of supply chains in the context of digitalization of the economy [Electronic resource] / Svitlana Kolyadenko // Socio-economic problems and the state. 2021. Issue 2 (25). С. 41-52. Access mode: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2021/21ksvude.pdf>.
2. Application of the principles of "smart logistics" in the organization of cargo delivery. Collection of materials of the 82nd International Scientific Conference of Students: Section of Transport Technologies. 2020. Kharkiv: KHNADU. С.25-26.
3. Trends in logistics and supply chain management in the projection of transformational changes in Industry 4.0. Intellect XXI. 2019. № 3. С.149-154. URL : http://www.intellect21.nuft.org.ua/journal/2019/2019_3/26.pdf.
4. Garmash S. V. Integration of logistics functions within the framework of logistics management in the management system of a modern industrial enterprise / S. V. Garmash // Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (economic sciences): a collection of scientific papers - Kharkiv: NTU "KHPI", 2018. № 19 (1295). С. 104-107.
5. Dembińska, I., Frankowska, M., Malinowska, M., Tundys, B. (2018). Smart Logistics. Kraków-Legionowo: Wydawnictwo edu-Libri. Digital in 2017: Global Overview (2018). Retrieved from: <https://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2017-global-overview>.
6. Liao, Leo & Li, Ang. (2022). An Intelligent System to Automate the Inquiry in Logistics Industry using AI and Machine Learning. P. 105-113. DOI: 10.5121/csit.2022.120109.
7. Wang, Yuqin. (2022). Logistics Finance Collaborative Development Model Based on Machine Learning. Computational Intelligence and Neuroscience. 2022. P. 1-8. DOI:10.1155/2022/1591371.
8. Jomthanachai, Suriyan & Wong, Wai & Khaw, Kw. (2023). An Application of Machine Learning to Logistics Performance Prediction: An Economics Attribute-Based of Collective Instance. Computational Economics. P. 1-52. DOI: 10.1007/s10614-023-10358-7.
9. Feng, Min & Yang, Shuaihu & Yang, Lei. (2023). Intelligent Logistics Scheduling Model Based on Q-Learning. DOI: 10.1007/978-981-99-0416-7_56.
10. Di Capua, Michele & Ciaramella, Angelo & Prisco, A.. (2023). Machine Learning and Computer Vision for the automation of processes in advanced logistics: the Integrated Logistic Platform (ILP) 4.0. Procedia Computer Science. № 217. P. 326-338. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.228.
11. Oguntola, Ibrahim & Ülkü, M. Ali & Saif, Ahmed & Engau, Alexander. (2023). On the Value of Shipment Consolidation and Machine Learning Techniques for the Optimal Design of a Multimodal Logistics Network. INFOR Information Systems and Operational Research. DOI: 10.1080/03155986.2023.2202079.
12. Singh, Amita & Wiktorsson, Magnus & Hauge, Jannicke. (2021). Trends In Machine Learning To Solve Problems In Logistics. Procedia CIRP. № 103. P. 67-72. DOI: 10.1016/j.procir.2021.10.010.
13. Aquino, Bruno & Baquijano, Ángel & Ovalle, Christian. (2022). Algorithm Based on Deep Learning to Improve the Logistics Management of a Company That Distributes Reading Material. DOI: 10.3233/FAIA220544.
14. Kim, Cho-Myong & Park, Sang-Chan. (2022). Recognition of Logistics Safety Labels Using Convolutional Neural Network and Machine Learning. Korean Logistics Research Association. № 32. P. 67-76. DOI: 10.17825/klr.2022.32.3.67.