

М.А. Алексєєв<sup>1</sup>

М.І. Небава<sup>1</sup>

# ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

Розглянуто сучасні особливості логістичної складової та ключові сучасні тенденції в сфері логістики. Особлива увага приділена аналізу проблем, які успішно вирішуються за допомогою методів машинного навчання, таких як оптимізація логістичних маршрутів, точне прогнозування попиту, ефективне керування складськими запасами, прогнозоване технічне обслуговування, контроль якості продукції, оптимізація доставки «останньої милі», управління ризиками, а також екологічний розвиток компаній. У роботі проаналізовано найбільш поширені та ефективні підходи, що використовуються в машинному навчанні, зокрема штучні нейронні мережі та дерева рішень.

Описано переваги застосування штучних нейронних мереж у прогнозуванні попиту, висвітлено сутність методології дерев рішень, а також наведено переваги їх застосування, зокрема можливість прийняття обґрунтованих управлінських рішень, зменшення ризиків, підтримка стратегічного планування, простота та зрозумілість використання, а також непараметрична природа цього методу, що дозволяє уникати помилок, пов'язаних з неправильними припущеннями щодо розподілу даних.

Окремо проаналізовано практичне застосування штучних нейронних мереж та дерев рішень у бізнесі, що дозволило продемонструвати їх ефективність у вирішенні реальних завдань в умовах сучасної логістичної системи. Описано методологію KKD, яка охоплює різні ключові етапи, такі як збір, очищення та обробка даних, видобування корисної інформації та інтерпретація виявлених закономірностей. Важливу увагу приділено результатам, які демонструють значне покращення в точності прогнозування, а також суттєве зменшення відповідних похибок. Крім того, розглянуто модель регресії на основі дерева рішень, яка, завдяки своїй здатності ефективно працювати з нелінійними даними, дозволяє підвищити загальну продуктивність підприємства, оптимізуючи процеси прийняття рішень та покращуючи ефективність управління ресурсами.

**Ключові слова:** машинне навчання, логістичний процес, прогнозування, штучна нейронна мережа, дерева рішень.

## Вступ

Машинне навчання – це галузь досліджень штучного інтелекту, зосереджена на розробці та вивченні статистичних алгоритмів, здатних навчатися з даних і узагальнюватися на небачені дані, й відтак виконувати завдання без явних інструкцій.

Сьогодення відзначається швидким розвитком цифрових технологій та інструментів, в якому особливе місце посідають штучний інтелект, машинне навчання, нейронні мережі та багато інших цифрових новинок. Нові версії програмного забезпечення та відкриття нових підходів зумовлює потребу сучасного бізнесу бути більш гнучким та застосовувати наявні засоби для збереження конкурентоспроможності в бізнес середовищі.

Логістика не відстає від цього, а виступає передовою сферою для оптимізації та покращення ситуації, що надає багато суміжних переваг. Активна цифровізація відбувається в сфері логістики, починаючи від впровадження електронного документообігу та закінчуючи використанням передових штучних інтелектів для оптимізації логістичного трафіку.

*Метою роботи є* виявлення та аналіз сучасних підходів машинного навчання та визначення переваг подальшого впровадження в логістичні процеси.

## Результат дослідження

Машинне навчання дає можливість створювати алгоритми [1] з подальшим їх розвитком на великих об'ємах даних з можливістю коригування та покращення результатів на основі аналізу та виявлення закономірностей. Наразі машинний інтелект вирішує такі основні проблеми в логістиці:

1. Оптимізація логістичних маршрутів. На основі даних про всіх учасників логістичного маршруту, завантаженої операторів та доріг можуть створювати оптимальні шляхи доставки товарів та сировини.

2. Прогнозування попиту. За рахунок великої кількості даних, математичні моделі можуть більш точно передбачити попит на товари, логістичні чи транспортні послуги, що дозволяє більше ефективно планувати логістику.

3. Керування складськими запасами. Відвантаження товарів, зберігання продукції на складах, прогнозування рівня запасів, оптимізація політики закупівель покращуються за рахунок використання моделі передбачення Time-Delay Restricted Boltzmann Machine [2] (TDRBM).

4. Прогнозоване обслуговування. Відстеження обладнання [3] та транспортних засобів при цьому прогнозуючи потреби в технічному обслуговуванні на основі моделей використання, скорочують час простою та витрати на обслуговування.

5. Контроль якості. Алгоритми машинного навчання виявляють дефекти та аномалії в режимі реального часу під час виробництва та доставки, забезпечуючи якість продукції.

6. Доставку останньої милі. Підвищує рівень задоволеності клієнтів за рахунок оптимізації «останньої милі» враховуючи безліч факторів, такі як вікна доставки, трафік і розмір пакунків.

7. Управління ризиками. Алгоритми та моделі оцінюють ризики ланцюга поставок, проаналізувавши дані про інциденти з різних джерел, що дозволяє проактивно зменшувати ризики.

8. Екологічний розвиток. У ланцюзі поставок зменшують викиди вуглекислого газу шляхом оптимізації маршрутів і логістичних процесів, що призводить до більш екологічно чистих операцій.

Більшість вищевказаних проблем вирішуються застосуванням штучних нейронних мереж з відповідними алгоритмами та деревами рішень, що є найбільш популярними підходами в машинному навчанні.

Штучна нейронна мережа (ШНМ) - це мережа елементів(штучних нейронів) [4], пов'язаних між собою синаптичними зв'язками. У разі використання штучних нейронних мереж в даних випадках надають ряд переваг.

Розглянемо для прикладу переваги використання ШНМ в прогнозуванні попиту. Переваги [5] використання штучних нейронних мереж такі:

- Нелінійність: нелінійні зв'язки між попитом та іншими різними факторами, серед яких історичні дані про продажі, маркетингові заходи, сезонність, можуть бути фіксовані за допомогою ШНМ.

- Сегментація попиту: розроблення індивідуальних моделей прогнозування для різних клієнтів чи продуктів, що об'єднані в сегменти на основі їхніх моделей попиту.

- Адаптивність: при появі нових даних, мережу можна перенавчити, що дає змогу враховувати найновішу інформацію, роблячи прогнози більш актуальними та надійними.

- Розпізнавання шаблонів: визначення прихованих тенденцій та залежностей, які важко розпізнати за допомогою традиційних методів прогнозування. В результаті, ШНМ можуть виявити тонкі моделі попиту та підвищити точність прогнозування в процесі ланцюжка поставок і заодно розширити можливості розпізнавання складних шаблонів у різних даних.

- Робота з великими наборами даних: різноманіття та великий об'єм даних може бути зосереджений в ланцюгах поставок з величезною кількістю змінних. ШНМ ефективно обробляють великі набори даних, як структуровані, так і неструктуровані, для виявлення значущої інформації та створення точних прогнозів.

Дерева рішень – це графічне зображення послідовності рішень і станів середовища з вказівкою відповідних ймовірностей та вигащів для будь-яких комбінацій альтернатив і станів середовища.

Дерева рішень можуть визначити найбільш значущі чинники витрат та неефективності для ланцюга поставок. Це дає змогу визначити пріоритетності ініціатив, що спрямовані на підвищення ефективності ланцюга поставок та відкинути менш значущі.

До переваг застосування дерев рішень варто віднести такі:

1. Прийняття обґрунтованих рішень: аналіз дерева рішень надає організаціям структурований підхід до оцінки ризиків, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень на основі всебічної оцінки потенційних результатів.

2. Зменшення ризиків: візуалізуючи різні шляхи прийняття рішень та пов'язані з ними ймовірності, ці типи аналізу дозволяють компаніям [6] виявляти зони підвищеного ризику в логістичному ланцюзі та розробляти цілеспрямовані стратегії зменшення цих ризиків.

3. Стратегічне планування: аналіз дерева рішень допомагає в довгостроковому стратегічному плануванні, розглядаючи різні сценарії, оптимізуючи розподіл ресурсів та узгоджуючи бізнес-цілі зі стратегіями управління ризиками в логістичному ланцюзі.

4. Зрозумілість: дерева рішень відносно прості для розуміння та інтерпретації, що робить їх бажаними для спільного прийняття рішень та пояснення результатів зацікавленим сторонам, які не є технічно орієнтованими.

5. Непараметрична природа: це непараметричний метод, тобто не робиться жодних припущень щодо розподілу простору та структури класифікатора, що робить модель простою і менш схильною до значних помилок.

Теоретичні аспекти завжди відрізняються від практичних великою кількістю невизначених факторів та непередбачених ситуацій, машинне навчання дозволяє на це реагувати та здійснювати коригування відповідно до внесених даних.

Використання методології КKD [7], що включає в себе такі основні етапи як вивчення об'єкта дослідження, збір даних, очищення та обробку даних, добування та використання знань, інтерпретацію патернів. Даний алгоритм базується на багатосаровій перцептронній моделі з високою точністю прогнозування, що показав значне зменшення середньоквадратичного відхилення (MSE) до 0,05, середнього абсолютного відхилення (MAD) до 0,17 та середньої абсолютної похибки (MAE) до 0,35. Це призвело до покращення прогнозування попиту на 85%, а в управлінні поверненням матеріалів на 80%.

Використання моделі регресії на основі дерева рішень для оптимізації бізнес-процесів у ланцюгу постачання показала покращення в загальній продуктивності підприємства за рахунок зменшення часу, необхідного для прийняття рішень [8] та усунення непотрібних та дубльованих процесів в ланцюгу постачання.

## **Висновки**

Практичне застосування штучних нейронних мереж та дерев рішень, відображає реальну можливість сучасних підприємств знаходження місць для покращення та оптимізації логістичного процесу. Кожна із розглянутих технологій надає ряд переваг, наразі не враховуючи недоліки, що дає керівництву підприємства вибір відповідно до своїх потреб та

можливостей, що призведе до отримання бажаного результату та збереження конкурентоспроможності в бізнес середовищі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Машинне навчання: що це, його методи, типи, які завдання вирішує та приклади застосування ML на практиці | De Novo. *Провайдер хмарних сервісів та технологій IaaS, PaaS, ЦОД в Києві та Україні* | De Novo. URL: <https://denovo.ua/resources/what-is-machine-learning> (дата звернення: 23.07.2024).
- [2] Grygor, Oleg, Eugene Fedorov, Olga Nechyporenko, and Mykola Grygorian. "Neural Network Forecasting Method for Inventory Management in the Supply Chain." *Proceedings of CMIS-2022: The Fifth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, CEUR Workshop Proceedings, 2022*.
- [3] Machine Learning in Logistics & Supply Chain [6 Use Cases]. *Bespoke Software Development Company – Acropolium*. URL: <https://acropolium.com/blog/adopting-machine-learning-in-supply-chain-and-logistics-for-successful-automation/> (date of access: 07.08.2024).
- [4] Терейковський, І.А., Д.А. Бушуєв, та Л.О. Терейковська. *Штучні нейронні мережі: базові положення*. Навчальний посібник. Електронне мережне навчальне видання, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
- [5] Soori, Mohsen, Behrooz Arezoo, and Roza Dastres. "Artificial neural networks in supply chain management, a review." *Journal of Economy and Technology\**, vol. 1, 2023, pp. 179-196. DOI: 10.1016/j.ject.2023.11.002.
- [6] Decision Tree Analysis in Risk Management | Miro. <https://miro.com/>. URL: <https://miro.com/diagramming/decision-tree-analysis-in-risk-management/> (date of access: 12.08.2024).
- [7] Aquino, Bruno Kevin-Flores, Ángel Eduardo-Córdova Baquijano, and Christian Ovalle. "Algorithm based on deep learning to improve the logistics management of a company that distributes reading material." *Proceedings of CECNet 2022*, edited by A. J. Tallón-Ballesteros, IOS Press, 2022, pp. 281-286. DOI: 10.3233/FAIA220544.
- [8] Kasturi, K., and J. Jebathangam. "Supply Chain Management for Business Process Optimization using Decision Tree Regression Model." *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*, vol. 3, no. 5, June 2023, pp. 548-554. DOI: 10.48175/IJARSCT-11683.