

УДК 005.311:004.6]:658.7

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ В УПРАВЛІННІ СКЛАДСЬКИМИ ПРОЦЕСАМИ

Черниш Д.С.

e-mail: danylo.chernysh@nure.ua

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Козиренко С.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра прикладної математики
м. Харків, Україна

Modern warehouse complexes are complex logistics systems that include many interconnected processes such as receiving goods, storage allocation, order picking, packaging, transportation, and shipping. The paper reviews methods of intelligent data analysis used in logistics systems and develops a mathematical model for managing warehouse processes. The quality of the proposed mathematical model was confirmed by calculations using test data.

Сучасні складські комплекси є складними логістичними системами, що включають велику кількість взаємопов'язаних процесів: приймання товарів, розміщення на зберігання, комплектацію замовлень, пакування, транспортування та відвантаження. Зростання обсягів електронної комерції, глобалізація логістичних ланцюгів та збільшення асортименту продукції призводять до різкого підвищення навантаження на складські системи. Традиційні методи управління складом часто ґрунтуються на статичних правилах або експертних оцінках. Проте такі підходи недостатньо ефективні в умовах великих обсягів даних, високої варіативності попиту та необхідності оперативного прийняття рішень. Саме тому дедалі більшого значення набувають методи інтелектуального аналізу даних (Data Mining, Machine Learning), які дозволяють аналізувати великі масиви складських даних, прогнозувати попит на товари, оптимізувати розміщення товарів на складі, підвищувати ефективність комплектації замовлень, автоматизувати управлінські рішення. Використання таких методів дозволяє зменшити витрати на логістику, скоротити час обробки замовлень та підвищити продуктивність складських операцій.

Методи інтелектуального аналізу даних у складській логістиці можна умовно поділити на декілька основних груп.

Методи класифікації застосовуються для розподілу товарів за категоріями, прогнозування типу попиту або визначення пріоритетів обробки замовлень. Найбільш поширеними є дерева рішень, метод k найближчих сусідів, наївний байєсівський класифікатор, нейронні мережі. Наприклад, класифікація товарів за АВС-аналізом дозволяє виділити товари з високим попитом (А), середнім попитом (В), низьким попитом (С), що дозволить оптимізувати їх розміщення на складі.

Кластеризація дозволяє групувати товари або замовлення за подібними характеристиками. Найчастіше використовуються алгоритм k-means, ієрархічна кластеризація, DBSCAN. Ці методи застосовуються для групування товарів, які часто замовляються разом, оптимізації маршруту комплектувальників, зонування складу тощо.

Для прогнозування попиту та навантаження на склад застосовуються регресійні моделі, часові ряди, рекурентні нейронні мережі, градієнтний бустинг, що дозволяє передбачати майбутні обсяги замовлень, потребу в запасах, пікові навантаження складу.

Алгоритми пошуку асоціативних правил (Apriori, FP-Growth) дозволяють виявляти закономірності типу «якщо купують товар А, то часто купують товар В». Це використовується для оптимізації розташування товарів, підвищення швидкості комплектації, покращення управління запасами.

Подальший розвиток інтелектуального аналізу даних у складській логістиці пов'язаний з інтеграцією кількох сучасних технологій. Так, наприклад, при інтеграції з Internet of Things (IoT) сенсори, RFID-мітки та автоматизовані системи дозволяють отримувати дані в реальному часі про місцезнаходження товарів, завантаженість складу, рух транспортних засобів, що створює великі потоки даних для подальшого аналізу. Використання глибокого навчання (Deep Learning) дозволяє прогнозувати складні патерни попиту, оптимізувати логістичні маршрути, аналізувати відеодані зі складу. Цифрові двійники складів (Digital Twin) – цифрова модель складу, яка відтворює всі логістичні процеси – дозволяють тестувати управлінські рішення, моделювати різні сценарії роботи складу, прогнозувати ефективність оптимізації. Перспективним напрямом є самонавчальні логістичні системи (Reinforcement Learning), де система самостійно навчається оптимізувати маршрути роботів, розміщення товарів, управління чергами замовлень.

Однією з базових задач управління складом є оптимізація розміщення товарів. Нехай є n товарів та m комірок складу. Введемо змінні

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо товар } i \text{ розміщено у комірці } j, \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases}$$

де $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$.

Ми маємо на меті мінімізувати сумарний час доступу до товарів

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_j f_i x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де d_j – відстань від j -ї комірки до зони відвантаження, f_i – частота попиту на i -й товар.

Таким чином, популярні товари будуть розміщуватися ближче до зони комплектації.

Множина, за якою знаходиться мінімум цільової функції у (1), визначається наступними обмеженнями:

– кожен товар має бути розміщений:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

– обмеження на місткість комірок:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq C_j, j = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

де v_i – обсяг i -го товару, $i = 1, 2, \dots, n$, C_j – місткість j -ї комірки, $j = 1, 2, \dots, m$;

– обмеження на бінарність змінних:

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Побудована модель (1) – (4) дозволяє оптимально розподілити товари на складі, скоротити час комплектації замовлень, зменшити логістичні витрати. Для розв’язання задач такого класу застосовуються цілочисельне програмування, генетичні алгоритми та алгоритми машинного навчання, а методи Data Mining та Machine Learning застосовуються для отримання тих величин, які входять у цільову функцію та обмеження. Так, наприклад, методи кластеризації використовуються для визначення товарів, які часто купуються разом, та груп товарів з подібною динамікою попиту.

Якість запропонованої математичної моделі було підтверджено розрахунками для тестових даних.

Отже, методи інтелектуального аналізу даних відіграють ключову роль у підвищенні ефективності складських систем. Їх застосування дозволяє автоматизувати управління складськими процесами, оптимізувати розміщення товарів, прогнозувати попит та мінімізувати витрати логістики. Подальший розвиток цієї області пов’язаний із використанням штучного інтелекту, цифрових двійників та самонавчальних систем управління.

Список використаних джерел:

1. Khmara M. P. The impact of artificial intelligence application on the optimization of logistics and warehouse management. *Journal of Strategic Economic Research*. 2025. № 3. С. 97–109. DOI: 10.30857/2786-5398.2025.3.8.
2. Журба А. О., Модзалевський Є. О. Огляд існуючих технологій складського обліку з використанням штучного інтелекту. *Системні технології*. 2025. № 3 (158). С. 149-156. DOI: 10.34185/1562-9945-3-158-2025-15.
3. Francuz Á., Bányai T. Intelligent control approaches for warehouse performance optimisation in Industry 4.0 using machine learning. *Future Internet*. 2025. Vol. 17, No. 10. Article 468. DOI: 10.3390/fi17100468.