

Ю. Я. Лещенко¹
І. І. Мороз¹
М. С. Юхимчук¹
В. О. Лесько¹

ОПТИМІЗАЦІЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ДОСТАВКИ ОСТАННЬОЇ МИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

¹Вінницький національний технічний університет

В сучасних умовах розвитку електронної комерції та постійного зростання попиту на швидкі та ефективні послуги доставки, оптимізація останньої милі стає критично важливою для підвищення конкурентоспроможності логістичних компаній. Одним із ефективних рішень є впровадження децентралізованої моделі доставки, яка використовує локальні центри або мікрохаби для оптимізації маршрутів. Це рішення дає змогу скоротити час доставки до кінцевого споживача, знижуючи навантаження на центральні склади, а також підвищує гнучкість і надійність логістичної системи. Штучний інтелект (ШІ) відіграє ключову роль у підвищенні ефективності децентралізованої доставки. Завдяки аналізу великих обсягів даних в реальному часі, ШІ допомагає оптимізувати маршрути доставки, знижуючи витрати на паливо та скорочуючи кількість транспорту, що одночасно позитивно впливає на навколишнє середовище. Алгоритми машинного навчання дозволяють автоматично адаптувати маршрути відповідно до змін дорожньої ситуації, погодних умов і рівня трафіку, що особливо важливо у великих містах із насиченим рухом. Крім того, ШІ забезпечує ефективне управління запасами в локальних центрах, що дозволяє краще планувати поповнення товарів і зменшувати витрати, пов'язані зі зберіганням. Управління останньою милею за допомогою ШІ також сприяє підвищенню якості обслуговування клієнтів. Система може враховувати індивідуальні переваги споживачів, наприклад, визначати оптимальний час доставки для зручності клієнта, а також надавати точну інформацію про час прибуття кур'єра. Це не тільки підвищує рівень задоволеності клієнтів, а й зменшує ймовірність повторних доставок у разі відсутності отримувача на місці. Таким чином, децентралізована модель доставки, оптимізована за допомогою ШІ, не тільки знижує операційні витрати та покращує ефективність логістичних процесів, але й сприяє більш екологічно чистому та орієнтованому на клієнта обслуговуванню.

Ключові слова: остання миля, штучний інтелект, генетичні алгоритми, управління запасами, машинне навчання.

Вступ

У сучасних умовах стрімкого розвитку електронної комерції та зростаючих очікувань споживачів, остання миля доставки стає вирішальним етапом логістичного процесу. Вона суттєво впливає на загальні витрати та рівень задоволеності клієнтів, оскільки забезпечує доставку товарів безпосередньо до кінцевого споживача. Одним із перспективних підходів є децентралізована модель, яка використовує мережу локальних вузлів для скорочення відстаней доставки та підвищення адаптивності до змін попиту. Водночас, для успішної реалізації такого підходу необхідне впровадження сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), який здатен автоматизувати процеси управління та оптимізації.

Метою роботи є дослідження можливостей оптимізації процесу децентралізованої доставки останньої милі за допомогою штучного інтелекту (ШІ). Це передбачає розробку та впровадження інноваційних методів управління логістичними операціями, зокрема, використання ШІ для планування маршрутів, управління запасами та адаптації до змінних умов в реальному часі.

Результати дослідження

Одне з основних застосувань ШІ в логістиці - це предиктивна аналітика. Алгоритми ШІ можуть аналізувати історичні дані та виявляти закономірності або тенденції, які людина може не помітити. Це можна використовувати для прогнозування попиту, часу доставки, оптимізації маршрутів і навіть передбачення потенційних збоїв у ланцюжку поставок. Завдяки точним прогнозам компанії можуть приймати обґрунтовані рішення, ефективно розподіляти ресурси та підвищувати загальну операційну ефективність.

У сфері транспорту та доставки ШІ може оптимізувати маршрути, враховуючи різні фактори, такі як умови дорожнього руху, дорожні роботи та погода. Це не тільки скорочує час доставки, але й економить паливо, тим самим зменшуючи витрати і вплив на навколишнє середовище. Крім того, штучний інтелект може відстежувати вантажі в режимі реального часу, надаючи клієнтам точну і своєчасну інформацію про їх доставку.

Ви можете зібрати дані про місця доставки, відстані та час у дорозі між ними. Ці дані можна отримати з різних джерел, таких як GPS-пристрої, картографічні API та записи компанії. Крім того, дані про погоду та дорожні умови в реальному часі можна отримати з погодних API та інформаційних систем керування дорожнім рухом.

Місця доставки включатимуть точні географічні координати (широта і довгота) кожного місця доставки:

- 1 Location 1: 40.712776, -74.005974 (New York)
- 2 Location 2: 34.052235, -118.243683 (Los Angeles)
- 3 Location 3: 41.878113, -87.629799 (Chicago)

Відстані та час у дорозі можна представити у вигляді матриці, де кожна клітинка представляє відстань або час у дорозі між двома пунктами:

	New York	Los Angeles	Chicago
New York	0	2789 miles	790 miles
Los Angeles	2789 miles	0	2015 miles
Chicago	790 miles	2015 miles	0
...

Табл. 1. Відстань та час у дорозі

Погодні дані включають дані про температуру, опади, швидкість вітру та інші погодні умови, які можуть вплинути на доставку:

- 1 New York: 75°F, 10% chance of rain, 5 mph winds
- 2 Los Angeles: 85°F, 0% chance of rain, 7 mph winds
- 3 Chicago: 70°F, 20% chance of rain, 10 mph winds

Дорожні умови включають дані про затори, перекриття доріг, будівництво та інші фактори, які можуть вплинути на час у дорозі:

- 1 New York: Moderate traffic, road construction on I-95
- 2 Los Angeles: Heavy traffic on I-405, accident on US-101
- 3 Chicago: Light traffic, road closure on I-90

Ці дані потрібно збирати в режимі реального або близького до реального часу, щоб алгоритм оптимізації маршруту мав найточнішу та найактуальнішу інформацію

Висновки

ШІ відіграватиме трансформаційну роль у логістиці, пропонуючи рішення для деяких з найбільш нагальних проблем галузі. Однак для успішного впровадження штучного інтелекту в логістиці потрібне чітке розуміння його потенційного застосування, а також проблем і міркувань, пов'язаних з його впровадженням. Цей практичний приклад відкриває світ можливостей для використання ШІ для покращення послуг доставки. Він дає змогу зазирнути в майбутнє, де маршрути доставки динамічно оптимізуються в режимі реального часу, враховуючи широкий спектр факторів для забезпечення ефективності та безпеки.

З розвитком технологій це рішення може бути вдосконалене і розширене. З ростом доступності даних у режимі реального часу та постійним розвитком технологій штучного інтелекту і машинного навчання з'являються численні можливості для інновацій. Ми можемо побачити інтеграцію більш складних моделей ШІ, здатних враховувати ще більше змінних, або використання нових технологій, таких як автономні транспортні засоби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] H. Chu et al., "Data-Driven Optimization for Last-Mile Delivery," *Complex & Intelligent Systems*, 2021. doi: 10.1007/s40747-021-00293-1.

[2] V. Engesser et al., “Autonomous Delivery Solutions for Last-Mile Logistics Operations: A Literature Review and Research Agenda,” Sustainability, vol. 15, no. 3, p. 2774, 2023. doi: 10.3390/su15032774.

[3] L. Alfandari, I. Ljubić, and M. d. M. da Silva, “A Tailored Benders Decomposition Approach for Last-Mile Delivery with Autonomous Robots,” European Journal of Operational Research, 2021. doi: 10.1016/j.ejor.2021.06.048.

Лещенко Юлія Ярославівна – аспірантка та асистентка кафедри комп’ютерних систем управління, e-mail: leshchenko@vntu.edu.ua

Мороз Ігор Ігорович – аспірант та асистент кафедри комп’ютерних систем управління, e-mail: Igor3003moroz@gmail.com

Юхимчук Марія Сергіївна – д. т. н., професор кафедри комп’ютерних систем управління, e-mail: umc1987@vntu.edu.ua

Лесько Владислав Олександрович – к. т. н., доцент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: lesko.v.o@vntu.edu.ua

Y. Y. Leshchenko¹
I. I. Moroz¹
M. S. Yukhymchuk¹
V. O. Lesko¹

OPTIMIZATION OF DECENTRALIZED LAST-MILE DELIVERY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

¹Vinnitsia National Technical University

In today's e-commerce environment and the ever-growing demand for fast and efficient delivery services, optimizing the last mile is becoming critical to improving the competitiveness of logistics companies. One of the most effective solutions is to implement a decentralized delivery model that uses local centers or micro hubs to optimize routes. This solution reduces the time of delivery to the end consumer, reducing the load on central warehouses, and increases the flexibility and reliability of the logistics system. Artificial intelligence (AI) plays a key role in improving the efficiency of decentralized delivery. By analyzing large amounts of data in real time, AI helps to optimize delivery routes, reducing fuel costs and reducing the number of vehicles, which at the same time has a positive impact on the environment. Machine learning algorithms allow routes to be automatically adapted to changes in traffic, weather conditions, and traffic levels, which is especially important in large cities with heavy traffic. In addition, AI ensures efficient inventory management in local centers, which allows for better planning of replenishment of goods and reduces storage costs. Last-mile management with AI also contributes to the improvement of customer service. The system can take into account individual consumer preferences, for example, determine the optimal delivery time for customer convenience, and provide accurate information about the time of arrival of the courier. This not only increases customer satisfaction, but also reduces the likelihood of repeated deliveries in case the recipient is not at the location. Thus, the decentralized delivery model optimized by AI not only reduces operational costs and improves the efficiency of logistics processes, but also contributes to a more environmentally friendly and customer-oriented service.

Keywords: last mile, artificial intelligence, genetic algorithms, inventory management, machine learning.

Leshchenko Yulia Yaroslavivna - PhD student and assistant of the Department of Computer Control Systems, e-mail: leshchenko@vntu.edu.ua

Moroz Ihor Ihorovich - PhD student and assistant of the Department of Computer Control Systems, e-mail: Igor3003moroz@gmail.com

Yukhymchuk Maria Serhiyivna - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Control Systems, e-mail: umc1987@vntu.edu.ua

Lesko Vladyslav Oleksandrovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Plants and Systems, e-mail: lesko.v.o@vntu.edu.ua