

Ю. Я. Лещенко<sup>1</sup>  
І. І. Мороз<sup>1</sup>  
М. С. Юхимчук<sup>1</sup>  
В. М. Дубовой<sup>1</sup>

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ДОСТАВКИ ОСТАННЬОЇ МИЛІ

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

Децентралізована доставка "остання миля" є сучасним підходом у сфері логістики, що оптимізує процес доставки за допомогою локальних хабів, або мікрохабів, розташованих неподалік кінцевих отримувачів. Це дозволяє скоротити відстань між хабами та місцем доставки, завдяки чому знижується час транспортування й операційні витрати. Водночас клієнти отримують свої замовлення швидше, що підвищує їхню задоволеність сервісом. Такий підхід є надзвичайно актуальним на тлі зростання популярності електронної комерції, де швидкість і точність доставки мають вирішальне значення для збереження лояльності споживачів. Однак успішне функціонування децентралізованої моделі доставки вимагає складної системи управління логістикою. На допомогу приходять технології штучного інтелекту, які дозволяють вирішувати низку завдань, таких як оптимізація маршрутів, управління запасами та прогнозування попиту. Наприклад, алгоритми машинного навчання здатні в реальному часі адаптувати маршрути кур'єрів відповідно до змін у трафіку, погодних умов і дорожньої обстановки, що зменшує витрати на паливо та скорочує кількість транспортних засобів у дорозі. Це особливо важливо для великих міських районів з інтенсивним рухом, де навіть невеликі затримки можуть значно вплинути на загальний час доставки. ШІ також грає важливу роль в управлінні запасами, дозволяючи більш точно планувати поповнення товарів в окремих локальних хабах, уникати надмірного накопичення продукції або її нестачі. Завдяки аналізу історичних даних про продажі та поведінкових моделей споживачів, системи ШІ можуть прогнозувати попит на різні категорії товарів в окремих районах. Це допомагає мінімізувати витрати на зберігання товарів і забезпечувати наявність продукції у потрібному місці та в потрібний час, що, у свою чергу, підвищує ефективність доставки. Таким чином, децентралізована модель доставки "остання миля" із залученням штучного інтелекту дозволяє логістичним компаніям значно покращити якість обслуговування, підвищити ефективність усіх логістичних процесів і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** остання миля, штучний інтелект, логістика, оптимізація маршрутів, децентралізована доставка.

### Вступ

У сучасному світі електронної комерції ефективна організація доставки "остання миля" стає вирішальним фактором у досягненні успіху компаній. Децентралізована доставка "остання миля" є інноваційним підходом, який дозволяє оптимізувати останній етап логістичного процесу, переміщуючи товари з транспортних вузлів безпосередньо до кінцевих споживачів через мережу місцевих хабів[1]. На відміну від традиційних централізованих моделей, які покладаються на єдині великі склади, децентралізовані системи використовують численні мікро-склади або локальні хаби, що розташовані ближче до споживачів. Це не лише скорочує відстань доставки, але й підвищує швидкість виконання замовлень, знижує витрати на транспортування та покращує рівень обслуговування клієнтів.

### Результати

У децентралізованій системі доставки «остання миля» товари не доставляються з центрального складу. Замість цього вони зберігаються на декількох мікроскладах або локальних хабах, розташованих близько до клієнтської бази. Це можуть бути невеликі складські приміщення, роздрібні магазини або навіть шафи. Коли робиться замовлення, товар відправляється з найближчого до клієнта хаба, що значно скорочує відстань і час доставки.

Ця модель дозволяє створити більш гнучку та оперативну систему, яка може швидко адаптуватися до змін у структурі попиту. Вона особливо ефективна в містах, де висока щільність населення може

підтримувати кілька локальних хабів, а затори на дорогах можуть значно сповільнити доставку з центрального хаба.

Децентралізована доставка «останньої милі» має кілька ключових переваг над традиційними моделями. По-перше, скорочуючи відстань доставки, вона може значно скоротити час доставки, що є критично важливим фактором у сучасному швидкоплинному середовищі електронної комерції, де клієнти все частіше очікують доставки в той самий день або навіть в ту саму годину.

По-друге, це може призвести до економії коштів. Хоча утримання кількох локальних хабів може мати вищі початкові витрати, ніж управління одним центральним складом, вони можуть бути компенсовані нижчими транспортними витратами внаслідок скорочення відстані доставки. Крім того, скорочення часу доставки може призвести до підвищення рівня задоволеності клієнтів і повторних замовлень, що ще більше підвищує прибутковість.

По-третє, децентралізована система є більш масштабованою. Легше додавати або видаляти локальні хаби на основі моделей попиту, ніж розширювати або скорочувати центральний склад. Це робить систему легко адаптованою до змін попиту, чи то через сезонні коливання, чи то через зростання ринку, чи то через інші фактори.

Впровадження децентралізованої системи доставки «останньої милі», однак, не позбавлене певних труднощів. Вона вимагає складного логістичного управління, щоб координувати роботу кількох локальних хабів, забезпечувати ефективний розподіл запасів і планувати оптимальні маршрути доставки. Саме тут технологія штучного інтелекту може відігравати ключову роль, пропонуючи рішення для управління складними децентралізованими операціями і сприяючи подальшому підвищенню ефективності та економії витрат.

Децентралізована доставка «останньої милі» має кілька відмінних рис [2], які відрізняють її від традиційних моделей доставки:

1. Кілька локальних хабів: На відміну від централізованих систем, які працюють з одного великого складу, децентралізовані системи використовують кілька локальних хабів або мікроскладів, розташованих у безпосередній близькості до клієнтів. У цих хабах зберігаються товари, які готові до негайної доставки після розміщення замовлення.
2. Коротші маршрути доставки: Оскільки товари зберігаються ближче до клієнтів, маршрути доставки значно коротші, що призводить до скорочення часу доставки.
3. Масштабованість: Децентралізована модель дозволяє легко масштабуватися. Додаткові локальні хаби можуть бути додані, щоб задовольнити зростаючий попит або розширену клієнтську базу.
4. Гнучкість: Децентралізовані системи можуть швидко адаптуватися до змін у структурі попиту, пропонуючи більшу гнучкість у реагуванні на динаміку ринку.

Децентралізована доставка «останньої милі» має кілька переваг над традиційними методами доставки:

1. Скорочення часу доставки: Завдяки локальним хабам, розташованим поблизу клієнтів, відстані доставки скорочуються, що призводить до скорочення часу доставки. Це значна перевага в сучасному швидкоплинному середовищі електронної комерції, де клієнти очікують швидкої доставки.
2. Нижчі транспортні витрати: Коротші маршрути доставки означають меншу витрату палива та менший знос транспортних засобів, що призводить до зниження транспортних витрат.
3. Підвищення рівня задоволеності клієнтів: Швидша доставка та можливість пропонувати такі послуги, як доставка в той самий день, можуть значно підвищити рівень задоволеності клієнтів, що призведе до повторних замовлень та покращить утримання клієнтів.
4. Більша відмовостійкість: Наявність декількох локальних хабів робить систему більш відмовостійкою. Якщо один хаб стикається з перебоями, інші можуть продовжувати працювати, мінімізуючи вплив на загальний рівень обслуговування.

Feature / Method	Decentralized Last-Mile Delivery	Traditional Delivery Methods
Delivery Hubs	Multiple local hubs	Single central warehouse
Delivery Routes	Shorter, more direct routes	Longer routes from central hub to customer
Delivery Times	Faster due to proximity to customers	Slower due to longer delivery distances
Scalability	High scalability with easy addition of more hubs	Limited scalability due to constraints on expanding central warehouse
Adaptability	High flexibility to adapt to demand changes	Lower flexibility due to centralized operations

Cost Efficiency	Lower transportation costs, potential for high upfront costs	Higher transportation costs, lower upfront costs
Resilience	High resilience due to multiple hubs	Lower resilience due to dependence on single hub

Табл. 1. Порівняльна характеристика

## Висновки

Отже, хоча децентралізована модель доставки «останньої милі» пов'язана з певними проблемами, її ключові особливості та переваги роблять її перспективним рішенням для задоволення зростаючих потреб логістичного сектору. За допомогою таких технологій, як штучний інтелект, потенціал децентралізованої доставки «останньої милі» може бути повністю реалізований, пропонуючи більш ефективний, рентабельний і клієнтоорієнтований підхід до управління логістикою.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Дубовой В. М., Юхимчук М. С. “Децентралізоване координаційне керування розподіленими кібер-фізичними системами з неперервними об'єктами”: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2022. 230 с. (10 а.а., В. Дубовой — 2 а.а., М. Юхимчук — 8 а.а.).
- [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.

**Лещенко Юлія Ярославівна** – аспірантка та асистентка кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: [leshchenko@vntu.edu.ua](mailto:leshchenko@vntu.edu.ua)

**Мороз Ігор Ігорович** – аспірант та асистент кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: [Igor3003moroz@gmail.com](mailto:Igor3003moroz@gmail.com)

**Юхимчук Марія Сергіївна** – д. т. н., професор кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: [umc1987@vntu.edu.ua](mailto:umc1987@vntu.edu.ua)

**Дубовой Володимир Михайлович** – д. т. н., професор кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: [v.m.dubovoy@vntu.edu.ua](mailto:v.m.dubovoy@vntu.edu.ua)

**Y. Y. Leshchenko<sup>1</sup>**  
**I. I. Moroz<sup>1</sup>**  
**M. S. Yukhymchuk<sup>1</sup>**  
**V. M. Dubovoi<sup>1</sup>**

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DECENTRALIZED LAST MILE DELIVERY SYSTEMS

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*Decentralized last-mile delivery is a modern logistics approach that optimizes the delivery process by using local hubs or microhubs located near the final recipients. This reduces the distance between the hubs and the delivery location, which reduces transportation time and operating costs. At the same time, customers receive their orders faster, which increases their satisfaction with the service. This approach is extremely relevant amid the growing popularity of e-commerce, where speed and accuracy of delivery are crucial to maintaining customer loyalty. However, the successful operation of a decentralized delivery model requires a sophisticated logistics management system. Artificial intelligence technologies come to the rescue to solve a number of tasks, such as route optimization, inventory management, and demand forecasting. For example, machine learning algorithms are able to adapt courier routes in real time to changes in traffic, weather conditions, and road conditions, which reduces fuel costs and reduces the number of vehicles on the road. This is especially important in large urban areas with heavy traffic, where even small delays can significantly affect the overall delivery time. AI also plays an important role in inventory management, allowing for more accurate planning of replenishment of goods in individual local hubs, avoiding excessive accumulation of products or their shortage. By analyzing historical sales data and consumer behavioral patterns, AI systems can predict the demand for different categories of goods in certain areas. This helps minimize storage costs and ensure that products are available in the right place and at the right time, which in turn increases delivery efficiency. Thus, a decentralized last-mile delivery model involving artificial intelligence allows logistics companies to significantly improve the quality of service, increase the efficiency of all logistics processes, and reduce the negative impact on the environment.*

**Keywords:** last mile, artificial intelligence, logistics, route optimization, decentralized delivery.

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

**Moroz Ihor Ihorovych** - 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

**Dubovoi Volodymyr Mykhailovych** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Control Systems, e-mail: v.m.dubovoy@vntu.edu.ua