

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ОБСЯГІВ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ ДО ТОРГІВЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ**

Аспірант Зинов'єв Д.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Сучасні логістичні системи у сфері роздрібної торгівлі характеризуються високою динамікою попиту, складністю товарних асортиментів, багаторівневими каналами постачання та необхідністю оперативного прийняття рішень щодо обсягів доставки [1-3]. У цих умовах точність прогнозування обсягів поставок до торговельних мереж набуває критичного значення для забезпечення безперервності товаропостачання, мінімізації витрат на зберігання та зменшення ризиків дефіциту або надлишку продукції. Традиційні методи прогнозування, засновані на статистичному аналізі часових рядів або експертних оцінках, часто виявляються недостатньо ефективними в умовах високої мінливості споживчого попиту та багатофакторного впливу на логістичні процеси.

У цьому контексті зростає інтерес до використання інструментів штучного інтелекту (ШІ), які забезпечують нові можливості для побудови точних, адаптивних і самонавчальних моделей прогнозування. Застосування методів машинного навчання, нейронних мереж, гібридних алгоритмів, обробки великих даних та прогнозувальної аналітики дозволяє виявляти приховані залежності у даних, враховувати сезонність, промоційні активності, поведінкові патерни споживачів та зміни зовнішнього середовища. ІТ-гіганти й великі ритейлери, зокрема Amazon, Walmart, Alibaba та інші, вже успішно інтегрували системи прогнозування на основі ШІ у свої логістичні платформи, що дало змогу суттєво підвищити точність поповнення запасів і скоротити логістичні витрати.

Водночас в українських торговельних мережах питання прогнозування доставки товарів досі здебільшого вирішується за допомогою класичних підходів, що обмежує їхню адаптивність до коливань ринку. Впровадження технологій штучного інтелекту в національні логістичні системи становить значний потенціал для покращення ефективності управління поставками, особливо в умовах розвитку електронної торгівлі, омніканальних моделей продажу та цифровізації роздрібної торгівлі.

Метою цієї статті є аналіз перспектив використання технологій штучного інтелекту у процесі прогнозування обсягів доставки товарів до торговельних мереж, а також обґрунтування напрямів інтеграції інтелектуальних моделей у логістичні практики підприємств. У межах дослідження розглянуто приклади сучасних AI-інструментів, їхні функціональні можливості, переваги й обмеження, а також визначено передумови та бар'єри до впровадження таких рішень у вітчизняному контексті.

Прогнозування обсягів доставки товарів до торговельної мережі є ключовим елементом управління логістичними процесами, що безпосередньо впливає на ефективність функціонування ланцюга постачання, задоволеність споживачів та рівень витрат. З огляду на динамічні зміни у структурі споживчого попиту, зростання асортиментного навантаження та сезонні коливання продажів, традиційні статистичні методи прогнозування часто не здатні забезпечити належний рівень точності. Це зумовлює необхідність переходу до більш гнучких та адаптивних

інструментів, зокрема до методів, що ґрунтуються на використанні технологій штучного інтелекту.

Штучний інтелект у сфері прогнозування обсягів доставки товарів дозволяє створювати моделі, які навчаються на історичних даних, виявляють складні нелінійні залежності між факторами попиту, враховують вплив промоцій, трендів, погодних умов, соціально-економічних змін та поведінки споживачів. Найбільш поширеними методами штучного інтелекту, які застосовуються в логістиці, є машинне навчання, глибоке навчання (нейронні мережі), дерева рішень, регресійні моделі з регуляризацією, методи ансамблю (наприклад, Random Forest, XGBoost) та рекурентні нейронні мережі, зокрема архітектури типу LSTM, які добре підходять для аналізу часових рядів.

Застосування машинного навчання дозволяє обробляти великі обсяги даних про попередні поставки, продажі, залишки на складах, терміни зберігання, транспортні затримки та інші параметри, що впливають на логістику. Алгоритми автоматично формують прогностичні моделі, які можуть бути оновлені в реальному часі на основі нових даних. Однією з ключових переваг таких моделей є їх здатність адаптуватися до змін у поведінці покупців або зовнішньому середовищі без необхідності ручного втручання або переналаштування формул.

Особливої уваги заслуговує використання глибоких нейронних мереж, які мають здатність розпізнавати складні патерни попиту, що не виявляються за допомогою класичних статистичних методів. Архітектури на базі LSTM або GRU дозволяють враховувати не лише поточні значення, а й контекст попередніх періодів, що є особливо корисним для прогнозування товарів із вираженою сезонністю. У поєднанні з методами кластерного аналізу можливо також сегментувати товари або торгові точки за схожістю попиту, що дає змогу будувати окремі спеціалізовані моделі для кожного кластеру.

Впровадження систем прогнозування на основі ШІ потребує відповідної інфраструктури - наявності якісних історичних даних, обчислювальних ресурсів, інтерфейсів інтеграції з ERP та WMS-системами, а також кваліфікованого персоналу для побудови й супроводу моделей. Разом із тим, більшість сучасних платформ бізнес-аналітики вже містять модулі машинного навчання, що спрощує впровадження технологій штучного інтелекту навіть у середніх і малих торговельних мережах.

Таким чином, методи прогнозування обсягів доставки товарів на основі штучного інтелекту відкривають широкі можливості для покращення управління товаропотоками. Вони дозволяють підвищити точність прогнозів, зменшити обсяг надлишкових запасів, уникнути дефіцитів, скоротити витрати на логістику та сформувати більш гнучку і конкурентоспроможну систему постачання. Подальший розвиток таких рішень у поєднанні з автоматизацією та цифровізацією логістичних процесів має всі передумови для широкого впровадження у торговельні мережі України в найближчій перспективі.

Зростання складності логістичних операцій у торговельних мережах, особливо в умовах нестабільного попиту, високої конкуренції та географічної розгалуженості роздрібно-інфраструктури, зумовлює потребу у впровадженні інтелектуальних технологій прогнозування. Поєднання методів машинного навчання з геоінформаційними технологіями дозволяє не лише підвищити точність оцінки обсягів доставки, але й просторово адаптувати логістичні стратегії до конкретних особливостей регіонів, зон обслуговування та транспортної інфраструктури.

Методи машинного навчання (ML) дають змогу моделювати складні залежності між широким спектром факторів, що впливають на попит і поставки: історичні обсяги продажів, сезонність, акційні кампанії, соціально-економічні показники, погодно-кліматичні умови, поведінкові патерни споживачів. Алгоритми, що найчастіше застосовуються у прогнозуванні в логістиці, включають регресійні моделі, дерева рішень, методи ансамблю (Random Forest, Gradient Boosting), нейронні мережі та глибоке навчання. Ці моделі можуть адаптуватися до нових даних і забезпечують автоматичне уточнення прогнозу в разі появи нової інформації.

Особливу ефективність демонструє інтеграція ML-моделей з геоінформаційними системами, що дає змогу враховувати просторові аспекти логістичних процесів. GIS-технології дозволяють ідентифікувати зони з підвищеним або зниженим попитом, враховувати щільність забудови, транспортну доступність, наявність складів, поштоматів чи центрів дистрибуції, а також моделювати маршрути постачання з урахуванням реальної дорожньої ситуації. На основі просторової аналітики можливо сегментувати торговельну мережу на зони з різними характеристиками попиту, що дозволяє побудувати локальні ML-моделі для кожної з них.

Інтегровані рішення, які поєднують прогнозні можливості машинного навчання із просторовим аналізом GIS, забезпечують мультифакторну оцінку потреб у доставці. Наприклад, система може враховувати не лише очікуваний обсяг попиту в магазині, а й рівень трафіку на маршрутах доставки, можливі обмеження руху, погодні умови та щільність замовлень у суміжних районах. Це дозволяє будувати більш точні, адаптивні та логістично раціональні плани доставки.

Застосування таких технологій уже довело свою ефективність у провідних міжнародних торговельних мережах, де за допомогою ML-алгоритмів та просторових моделей досягається зниження надлишкових запасів, скорочення транспортних витрат, підвищення точності прогнозів та оперативності реагування на зміну попиту. У практиці українського ритейлу подібні рішення можуть бути адаптовані з урахуванням національних умов: фрагментарності інфраструктури, регіональних відмінностей у купівельній поведінці, обмеженості цифрових даних та потреби у доступних IT-рішеннях.

Таким чином, використання методів машинного навчання у поєднанні з геоінформаційними технологіями створює потужну основу для побудови систем прогнозування обсягів доставки, орієнтованих на просторову оптимізацію логістичних потоків. Це дозволяє досягти підвищення точності, гнучкості та ефективності постачання у торговельних мережах в умовах постійних змін середовища та зростаючих вимог споживачів.

Сучасні умови функціонування логістичних систем у містах України характеризуються високою волатильністю попиту, нерівномірним розвитком інфраструктури, зростаючою роллю електронної комерції та потребою в точному й своєчасному постачанні товарів. У таких умовах класичні методи прогнозування, що ґрунтуються на екстраполяції історичних даних чи лінійних моделях, виявляються недостатньо ефективними для прийняття рішень щодо обсягів доставки. Це створює необхідність упровадження сучасних технологій прогнозування, зокрема засобів штучного інтелекту, які здатні забезпечити адаптивність, точність і масштабованість прогнозних моделей у складному міському середовищі.

Штучний інтелект відкриває нові можливості для прогнозування обсягів доставки товарів, дозволяючи аналізувати великі обсяги даних, враховувати різноспрямовані фактори впливу (сезонність, маркетингові кампанії, соціальні події, погодні умови, поведінкові шаблони споживачів) і виявляти нелінійні закономірності у динаміці попиту. У містах України, де роздрібна торгівля розвивається як у форматі фізичних торгових точок, так і в онлайн-сегменті, використання моделей на основі машинного навчання (нейронні мережі, градієнтний бустинг, ансамблеві моделі) дозволяє забезпечити індивідуалізований підхід до прогнозування потреб кожного магазину чи складу.

Значний потенціал для українських міст становить використання рекурентних нейронних мереж (RNN, LSTM), які ефективно працюють з часовими рядами та дозволяють враховувати часову структуру попиту. Такі моделі можуть бути інтегровані з геоінформаційними платформами, що дозволяє поєднати просторові дані (розташування магазинів, транспортна доступність, щільність населення, рівень урбанізації) із часовими характеристиками динаміки попиту. У поєднанні з даними про логістичні витрати, залишки на складах, частоту поставок та обмеження потужностей транспортної мережі III-системи можуть формувати не лише прогнозні обсяги, але й рекомендації щодо частоти, обсягів і маршрутів постачання.

Застосування таких інструментів особливо актуальне для великих і середніх міст України, де попит є динамічним, а рівень цифровізації логістичних систем зростає. Для прикладу, у таких містах, як Київ, Львів, Харків, Одеса та Дніпро, торговельні мережі стикаються з проблемою синхронізації попиту з можливостями транспортної інфраструктури. III-моделі дають змогу не лише реагувати на зміну споживчої активності, а й прогнозувати її з урахуванням подій, святкових періодів, погодних змін або змін у маркетинговій політиці.

Водночас важливою передумовою ефективного впровадження штучного інтелекту в логістику українських міст є доступ до якісних і достатньо структурованих даних. На практиці це потребує інтеграції облікових систем торговельних мереж (ERP, WMS), цифрових платформ замовлень, інструментів збору даних із магазинів і логістичних центрів, а також використання хмарних рішень для зберігання та обробки інформації. Крім того, успішне впровадження III-рішень вимагає наявності фахівців у сфері data science, розробки алгоритмів, а також підтримки з боку менеджменту торговельних підприємств.

Таким чином, застосування методів штучного інтелекту для прогнозування обсягів доставки товарів у містах України має значний потенціал для підвищення точності, ефективності та адаптивності логістичних процесів. У найближчій перспективі розвиток таких рішень дозволить створити інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, які сприятимуть раціональному використанню ресурсів, зниженню витрат, покращенню рівня обслуговування та забезпеченню сталого розвитку міської логістики в умовах цифрової трансформації економіки.

Проведений аналіз засвідчив, що впровадження технологій штучного інтелекту у процес прогнозування обсягів доставки товарів до торговельної мережі є одним із найбільш перспективних напрямів цифрової трансформації логістики. Застосування моделей машинного навчання, нейронних мереж, алгоритмів глибокого навчання та прогнозової аналітики дозволяє значно підвищити точність прогнозів, оперативно реагувати на зміни попиту, зменшувати витрати на логістику та мінімізувати ризики надлишкових або дефіцитних запасів.

Штучний інтелект забезпечує можливість врахування широкого спектру факторів впливу, включаючи сезонність, поведінкові характеристики споживачів, зовнішньоекономічні чинники та просторові особливості торговельної мережі. У поєднанні з геоінформаційними технологіями створюється потужна аналітична основа для прийняття ефективних управлінських рішень у сфері планування постачання.

Для торговельних мереж України перспективи застосування ШІ є особливо актуальними в умовах урбанізації, зростання онлайн-торгівлі та потреби в адаптивних логістичних моделях. Водночас для успішного впровадження таких технологій необхідні інвестиції в цифрову інфраструктуру, наявність якісних даних, розвиток компетенцій персоналу та інтеграція з існуючими системами управління постачанням.

У подальших дослідженнях доцільно зосередити увагу на адаптації конкретних ШІ-моделей до особливостей українських логістичних систем, оцінці ефективності їх впровадження на практиці, а також на розробці рекомендацій щодо впровадження таких рішень у торговельних компаніях різного масштабу.

### Література

1. Adapa, S. R. (2024). Optimizing supply chain efficiency through AI-driven demand forecasting: An empirical analysis of retail industries. *Library Progress International*, 44(3), 207–231. <https://doi.org/10.33404/lpi.2024.44.3.207>
2. Liu, C., Cao, J., & Zhang, Y. (2022). Leveraging AI for demand forecasting in supply chain management: A review. *Computers & Industrial Engineering*, 166, 107986. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107986>
3. Srinivasa Rao Adapa. (2024). *Optimizing Supply Chain Efficiency Through Ai-Driven Demand Forecasting: An Empirical Analysis of Retail Industries*. *Library Progress International*, 44(3), 207–231. <https://doi.org/10.33404/lpi.2024.44.3.207>

УДК 656.1

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ РОЗВІЗНИХ МАРШРУТІВ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОННОЇ ТОРГІВЛІ

Аспірант Кузьмін А.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Стрімке зростання обсягів електронної торгівлі в усьому світі кардинально змінює логістичні підходи до організації доставки товарів кінцевим споживачам [1-2]. Міські логістичні системи стикаються з новими викликами, пов'язаними з необхідністю оперативної, надійної та економічно ефективної доставки великої кількості малих замовлень у стислий проміжок часу. Це зумовлює потребу у впровадженні сучасних методів планування розвізних маршрутів, які дозволяють адаптувати логістичну мережу до динаміки попиту, варіативності транспортної ситуації та високих очікувань клієнтів.

В умовах інтенсивного розвитку e-commerce класичні моделі маршрутного планування, засновані на статичних підходах, поступово поступаються місцем більш гнучким, адаптивним та інтелектуальним методам. До таких належать моделі динамічного розвезення (Dynamic Vehicle Routing Problem - DVRP), алгоритми оптимізації з часовими вікнами (VRPTW), а також підходи на основі машинного навчання, евристичних та метаевристичних алгоритмів (генетичні, мурашині,