

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (ШІ) ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ПРОГНОЗУВАННІ ПОПИТУ В ЛОГІСТИЧНІЙ ТА ОПЕРАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезі розглянуто сучасні підходи до прогнозування попиту в логістичній та операційній діяльності підприємств в умовах цифрової трансформації та нестабільного ринкового середовища. Обґрунтовано обмеженість традиційних статистичних методів прогнозування та доведено доцільність використання інструментів штучного інтелекту і машинного навчання для підвищення точності управлінських рішень. Проаналізовано можливості застосування алгоритмів ARIMA, Prophet, XGBoost, а також моделей глибокого навчання LSTM, GRU та гібридних підходів у процесах операційного планування.

Ключові слова: штучний інтелект, машинне навчання, прогнозування попиту, логістика, ланцюг постачань, гібридні моделі.

Abstract

The thesis examines modern approaches to demand forecasting in the logistics and operational activities of enterprises under conditions of digital transformation and an unstable market environment. The limitations of traditional statistical forecasting methods are substantiated, and the feasibility of using artificial intelligence and machine learning tools to improve the accuracy of managerial decision-making is proven. The study analyzes the application possibilities of ARIMA, Prophet, and XGBoost algorithms, as well as deep learning models such as LSTM, GRU, and hybrid approaches in operational planning processes.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), Demand Forecasting, Operations Management, Logistics, Supply Chain, Hybrid Models.

В умовах цифрової трансформації економіки та зростання нестабільності ринкового середовища підприємства все частіше стикаються з проблемою точного прогнозування попиту, що є ключовим фактором ефективного управління логістичною та операційною діяльністю. Коливання споживчого попиту, порушення ланцюгів постачання, зростання витрат на зберігання та транспортування зумовлюють необхідність використання сучасних інтелектуальних інструментів аналізу даних і прийняття управлінських рішень.

Традиційні методи прогнозування попиту, засновані на статистиці (як-от ARIMA чи методики згладжування за експонентою), нерідко демонструють свою обмежену дієвість, адже вони не спроможні враховувати складні, непрямолінійні закономірності або ж включати до розрахунків різноманітні зовнішні чинники (скажімо, кліматичні умови, транспортний потік чи маркетингові кампанії) [1]. У цьому контексті застосування штучного інтелекту та методів машинного навчання набуває особливої актуальності, оскільки вони дозволяють обробляти великі масиви різноманітної інформації, виявляти приховані закономірності та формувати більш обґрунтовані прогнози попиту.

Перехід до методів машинного та глибокого навчання дозволяє отримувати більш точні прогнози завдяки тому, що такі алгоритми можуть постійно навчатися на великих обсягах даних. Так, у дослідженні Hart & Dalton [2] було доведено, що використання ансамблів моделей, зокрема XGBoost та LightGBM, у періоди високої нестабільності, наприклад під час війни в Україні, зменшує помилку прогнозування в середньому на 31% порівняно з традиційними методами. Це дає можливість логістичним менеджерам не лише реагувати на проблеми після їх виникнення, а й завчасно передбачати ризики та приймати більш обґрунтовані управлінські рішення в операційній діяльності підприємства.

Суттєвим недоліком класичних методів прогнозування є те, що вони часто аналізують дані окремими частинами, не враховуючи загальний зв'язок між подіями в часі. Натомість моделі глибокого навчання, зокрема LSTM, орієнтовані на побудову цілісної картини розвитку подій. Найбільш

ефективними архітектурами в прогнозуванні попиту в логістичній і операційній діяльності підприємства є нейронні мережі, зокрема рекурентні (RNN) та їх покращені версії Long Short-Term Memory (LSTM) і Gated Recurrent Unit (GRU), а також 1D-CNN. LSTM особливо корисні в логістиці при операційному плануванні, оскільки добре працюють із послідовними даними, зберігають довгострокову інформацію та моделюють складні нелінійні тренди і часові залежності, характерні для реального попиту. Моделі на кшталт ARIMAX у поєднанні з нейронними мережами дозволяють враховувати як часові ряди, так і зовнішні фактори, що підвищує ефективність ланцюгів постачання [3]. Ці моделі є важливим інструментом сучасного операційного планування. Вони застосовуються для динамічного розподілу ресурсів, оскільки LSTM дозволяє прогнозувати навантаження на розподільчі центри та оптимізувати графіки роботи персоналу й техніки. Моделі Prophet використовуються для управління страховими запасами, надаючи інтервали невизначеності, що дає змогу автоматично коригувати їх рівень у реальному часі. Крім того, поєднання прогнозів попиту з даними про дорожній трафік допомагає оптимізувати маршрути доставки та зменшувати витрати на логістичні операції.

Важливим аспектом є попередня обробка даних. А саме внутрішні дані (історичні продажі, залишки, Lead Times) та зовнішні (трафік, погода, IoT-дані з сенсорів). Ці дані обробляються на етапі підготовки перед навчанням нейронних мереж. Нейронні мережі не здатні ефективно вловлювати сезонні або трендові коливання з необроблених даних, тому pre-processing є критично важливим. Методи, такі як детрендування, десезонування та трансформація Бокса-Кокса (Box-Cox), значно знижують помилки прогнозування та підвищують надійність результатів. У логістиці ці методи використовуються для згладжування коливань попиту та приведення даних до більш стабільного вигляду перед їх подачею в LSTM-моделі, що суттєво підвищує точність і надійність прогнозів [4].

Щоб отримати найточніші прогнози, сучасні дослідження радять використовувати гібридні моделі, які поєднують сильні сторони різних підходів. Наприклад, комбінація Prophet та LSTM дозволяє Prophet враховувати сезонність, свята та давати зрозумілі інтервали прогнозів, а LSTM допомагає моделювати складні нелінійні залежності у даних. Хоч така гібридна модель потребує більше обчислювальних ресурсів, вона дає найвищу точність, що особливо важливо для великих логістичних мереж [5]. Порівняння методів прогнозування попиту в логістичній та операційній діяльності підприємства наведено в таблиці 1.

Розроблено на основі літератури, що порівнює основні алгоритми прогнозування часових рядів та методи моделювання попиту, з урахуванням їхніх переваг, обмежень і сфер застосування: аналіз ARIMA, Prophet, LSTM-мереж [6], XGBoost та гібридних підходів [7]. Інформація узагальнена відповідно до сучасних досліджень і описів алгоритмів у відкритих джерелах.

Український бізнес активно інтегрує ШІ в логістику та рітейл, що підтверджує локальну зрілість ринку. Це стосується не лише автоматизації внутрішніх процесів, таких як аналіз контрактів або рекрутинг, але й складних функцій управління ланцюгами постачання. На ринку існують вітчизняні інтелектуальні системи, наприклад, SMART Demand Forecast, які використовують ефективні ML та AI алгоритми для врахування всіх факторів, що впливають на точність прогнозу. Ці системи адаптовані до потреб місцевого ринку та дозволяють працювати з аналогами при запуску нових товарів або магазинів, що суттєво знижує ризики. Українські наукові дослідження також пропонують методи кількісної оцінки фінансового ефекту від впровадження ШІ у логістичних компаніях, використовуючи дані про робочі години та дні в конкретних регіонах і підтверджують, що ШІ підвищує пропускну спроможність та ефективність.

Fozzy Group, велика українська торгово-промислова група, яка включає в себе численні бізнеси: популярні мережі супермаркетів «Сільпо», «Фора», «Le Silpo», є одним із найяскравіших прикладів стратегічного впровадження ШІ в українському рітейлі та логістичній та операційній діяльності підприємства. Компанія застосовує ШІ вже майже чотири роки та підкреслює свою прихильність інноваціям, розвиваючи технології з 1997 року.

Ключовою особливістю Fozzy group є наявність власного R&D-центру. Цей центр створює індивідуальні рішення не лише для торговельних мереж, але й для логістики, прогнозування попиту, операційного планування та ресторанного бізнесу. Внутрішня розробка технологій дозволяє фахівцям компанії експериментувати зі штучним інтелектом та нейронними мережами, машинним навчанням та алгоритмами Data Science, а також із застосуванням Інтернету речей (IoT) та імерсивними технологіями. Ці розробки забезпечують прямий контроль та оптимізацію процесів у магазинах. Наприклад, для мережі "Сільпо" створено системи аналізу відгуків у соціальних мережах та екосистеми для розпізнавання продуктів у ресторанах [8].

Таблиця 1. Методи прогнозування попиту для операційного планування

Метод прогнозування	Переваги	Недоліки та обмеження	Сфера застосування
ARIMA	Висока точність для стаціонарних даних; інтерпретованість параметрів	Припускає лінійність; погано працює з нелінійними ринковими шоками	Стабільні ринки, базове планування залишків
Prophet	Автоматична декомпозиція сезонності та свят; стійкість до викидів; надання інтервалів невизначеності	Менш ефективний для захоплення висококомплексних нелінійних взаємозв'язків	Планування акцій, управління страховим запасом
LSTM	Захоплює складні довгострокові нелінійні залежності; обробка багатовимірних послідовностей	Потребує великих обсягів даних; висока обчислювальна складність; ризик перенавчання	Волатильні ринки, авіафрахт, предиктивне обслуговування
XGBoost	Висока точність на неоднорідних даних; стійкість до аномалій; інтерпретованість ознак	Немає вбудованої часової структури (потребує створення лагових змінних)	Прогнозування обсягів замовлень, сегментація клієнтів
Гібридні моделі	Синергія точності та адаптивності; облік сезонності та нелінійності одночасно	Найвища складність реалізації та вимоги до IT-інфраструктури	Глобальні логістичні мережі, критичне планування запасів

Що стосується логістики, Fozzy Group самостійно управляє ланцюгами постачання своїх мереж через власні розподільчі центри. Впровадження ШІ, розробленого внутрішнім R&D-центром, дозволяє ефективно контролювати та оптимізувати логістичні операції, забезпечуючи своєчасну доставку продовольства до магазинів по всій Україні та високий рівень контролю якості відповідно до міжнародних та місцевих стандартів зберігання, транспортування та продажу товарів. Таким чином, внутрішнє впровадження ШІ дає Fozzy Group структурну конкурентну перевагу, трансформуючи операційну ефективність і підвищуючи якість обслуговування [9].

Впровадження ШІ для прогнозування попиту в Україні стало надзвичайно важливим через зовнішні шоки. Повномасштабне вторгнення значно підвищило нестабільність ринку, порушило ланцюги постачання та призвело до дефіциту кадрів у логістиці та відповідно проблем управління операційною діяльністю підприємства.

В таких умовах автоматизація та точне планування через ШІ стали не просто перевагою, а необхідністю для стабільної роботи операційної діяльності підприємства. ШІ-прогнозування допомагає мінімізувати ризики та компенсувати обмежені ресурси. По-перше, воно допомагає компенсувати нестачу персоналу: компанії використовують ШІ для автоматизації рутинних HR-процесів, аналізу розмов рекрутерів, відбору досвідчених працівників через чат-боти та перевірки контрактів, що економить час офісного персоналу. По-друге, точне прогнозування дозволяє ефективно використовувати наявні ресурси — персонал, транспорт і склади, зменшуючи помилки планування на 30–50% і забезпечуючи стабільність ланцюгів постачання під час криз. По-третє, ШІ прискорює прийняття рішень і дозволяє компаніям швидко адаптуватися до змін ринку, обробляти аномалії та створювати сценарії розвитку попиту [10].

Висновки

Дослідження показує, що використання штучного інтелекту та машинного навчання кардинально змінює прогнозування попиту в логістиці та операційному менеджменті, роблячи його важливим джерелом конкурентної переваги.

Результати дослідження підтверджують, що використання сучасних технологій глибокого навчання (LSTM та Prophet) та їх поєднання у гібридні архітектури дозволяє враховувати складні нелінійні залежності та зовнішні фактори в таких критичних сферах операційної діяльності, як динамічне управління страховими запасами (safety stock), оптимізація графіків роботи персоналу в розподільчих центрах, планування транспортних потужностей та предиктивне обслуговування логістичного обладнання.

В українських умовах застосування ІІІ особливо важливе. Компанії, як-от Fozzy Group, активно використовують вітчизняні системи, щоб автоматизувати рутинні процеси, компенсувати дефіцит кадрів і забезпечити стабільну роботу логістичних ланцюгів навіть у складних економічних та військових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Seasonal Demand Forecasting: Machine Learning and Artificial Intelligence solutions for driving efficiency in Road Freight. *OnTRUCK - веб-сайт*. URL: <https://www.ontruck.com/en/blog/seasonal-demand-forecasting-road-freight-transport> (дата звернення: 09.12.2025).

2. Hart J., Dalton M. Quantitative Assessment of Supply Chain Vulnerability During the Russia–Ukraine Conflict Using Machine Learning Demand Forecasts and Financial Market Risk Signals. Obafemi Awolowo University. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/398577873_Quantitative_Assessment_of_Supply_Chain_Vulnerability_During_the_Russia-Ukraine_Conflict_Using_Machine_Learning_Demand_Forecasts_and_Financial_Market_Risk_Signals (дата звернення: 23.12.2025)..

3. OpenAI та етичні аспекти штучного інтелекту : виклики та відповідальності в сучасному світі. *Mediacom – веб-сайт*. URL: <https://mediacom.com.ua/openai> (дата звернення: 09.12.2025).

4. Пелешак І., Футрик Ю. ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОМЕРЕЖІ З ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИМИ LSTM БЛОКАМИ. Вісник Хмельницького національного університету.. 2025. Т. 347. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-59>.

5. Про що розповідає сюжет Бокса-Кокса?. Omar.liberty. URL: <https://omar.liberty.cx.ua/ukraincyam/pro-shho-rozrovidaie-syuzhet-boksa-koksa.html> (дата звернення: 23.12.2025).

6. Yadav S. A Comparative Study of ARIMA, Prophet and LSTM for Time Series Prediction. *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science*. URL: <https://doi.org/10.51219/JAIMLD/sandeep-yadav/402>.

7. Wang, B., & Zain, A. B. M. (2025). A Hybrid XGBoost-LSTM Framework for Supply Chain Demand Forecasting: Empirical Evidence from Retail Multi-Store Data . *Journal of Cultural Analysis and Social Change*, 10(4), 4056–4073. <https://doi.org/10.64753/jcasc.v10i4.3736>

8. LSTM vs. Prophet: Achieving Superior Accuracy in Dynamic Electricity Demand Forecasting. *MDPI - веб-сайт*. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/2/278> (дата звернення: 09.12.2025).

9. Покращенні бізнес процесів. *BestPractisesEducation - веб-сайт*. URL: <https://www.bestpracticesedu.com/bog-news/yak-ukrayinski-riteyleri-vikoristovuyut-shi-v-pokrashchenni-biznes-procesiv> (дата звернення: 09.12.2025).

10. Як використовують ІІІ українські логістичні компанії. *HASKI - веб-сайт*. URL: <https://haski.ua/blog/yak-vikorystovuyut-shi-ukrayinski-logistychni-kompaniyi> (дата звернення: 09.12.2025).

Гайдай Анастасія Сергіївна – студентка групи ІЛ-226, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail : segeygayday@gmail.com

Науковий керівник: **Ратушняк Ольга Георгіївна** - кандидат технічних наук, доцент кафедри економіки підприємства та виробничого менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ratushniak@vntu.edu.ua

Haiday Anastasiia S. – Department of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: segeygayday@gmail.com

Supervisor: **Olga Georgievna Ratushnyak** - Ph.D., Associate Professor of the Department of Enterprise Economics and Production Management of the Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ratushniak@vntu.edu.ua