

Інтегроване виробниче планування на основі предиктивної та прескриптивної аналітики

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено інтегрований підхід до підтримки прийняття рішень у задачах виробничого планування, що поєднує методи предиктивної аналітики (для прогнозування попиту) та прескриптивної аналітики (для оптимізації ресурсів). Реалізовано гібридну модель прогнозування на основі алгоритмів SARIMA та Random Forest з автоматичним вибором найефективнішого з них. Для оптимізації виробничого плану розроблено математичну модель лінійного програмування, спрямовану на мінімізацію сукупних витрат підприємства. Створено вебзастосунок, тестування якого на реальних даних підтвердило зниження загальних витрат на 14,5 % та забезпечило точність прогнозування з похибкою менше 9 %.

Ключові слова: прогнозування попиту, машинне навчання, лінійне програмування, предиктивна аналітика, прескриптивна аналітика.

Abstracts.

The paper investigates an integrated approach to decision support in production planning that combines predictive analytics (for demand forecasting) and prescriptive analytics (for resource optimization). A hybrid forecasting model based on SARIMA and Random Forest algorithms with automatic selection of the most effective one has been implemented. To optimize the production plan, a linear programming model aimed at minimizing the total costs of the enterprise has been developed. A web application has been created, and its testing on real data confirmed a 14.5% reduction in total costs and achieved forecasting accuracy with an error of less than 9%.

Keywords: demand forecasting, machine learning, linear programming, predictive analytics, prescriptive analytics.

Вступ

Оптимізація виробничого планування та управління запасами є складовою задачею прийняття рішень у системах управління ланцюгами постачання. У сучасних умовах ринковий попит характеризується високим рівнем волатильності та залежністю від екзогенних факторів (маркетингові акції, сезонність). Традиційні підходи до планування, що базуються на табличних процесорах або класичних статистичних моделях, часто не забезпечують достатнього рівня точності, що призводить до неефективних управлінських рішень [1, 2]. Особливою проблемою є розрив між етапами прогнозування та оптимізації: існуючі ML-бібліотеки генерують оцінку майбутнього попиту, але не перетворюють її на готовий виробничий план [3, 4]. Таким чином, **метою роботи** є розширення функціональних можливостей програмного модуля виробничого планування шляхом інтеграції методів предиктивної та прескриптивної аналітики.

Результати дослідження

Для розв'язання поставленої задачі було спроектовано багаторівневу модульну архітектуру вебзастосунку [5], що забезпечує автоматизований перехід від обробки історичних даних до формування оптимального плану виробництва (рис. 1).

Алгоритмічне ядро системи включає три основні етапи:

1. Попередня обробка та формування ознак (Feature Engineering). Здійснюється генерація лагових змінних, календарних індикаторів та бінарних ознак екзогенних подій (акції, свята), що дозволяє моделям враховувати нерегулярні коливання попиту.

2. Гібридне прогнозування. Реалізовано паралельне навчання статистичної моделі ARIMA та ансамблевого алгоритму Random Forest. Система автоматично обирає найкращу модель на основі

мінімізації середньої абсолютної відсоткової похибки (MAPE) на валідаційній вибірці.

3. Оптимізація виробничого плану. Прогноз попиту передається до модуля оптимізації (на базі бібліотеки PuLP), який формує задачу лінійного програмування. Цільова функція спрямована на мінімізацію сумарних витрат підприємства (витрати на виробництво, зберігання залишків та штрафи за дефіцит) з урахуванням обмежень на максимальну виробничу потужність [5].

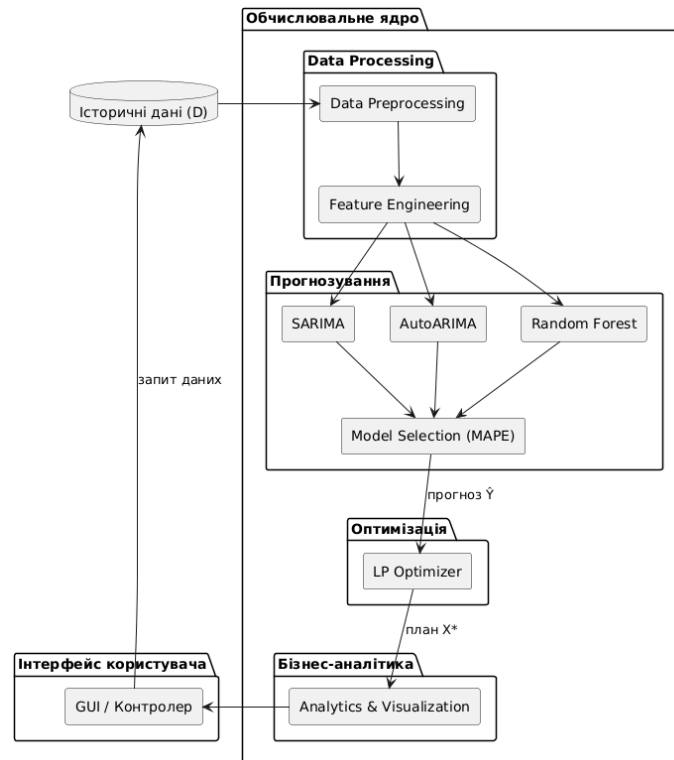


Рис. 1 – Архітектура системи предиктивної та прескриптивної аналітики для виробничого планування

Програмну реалізацію виконано мовою Python у вигляді інтерактивного десктопного застосунку. Експериментальна верифікація на реальних даних роздрібної торговельної мережі показала, що ансамблевий алгоритм Random Forest досягає значення MAPE на рівні 8,4 %, ефективно реагуючи на нелінійні стрибки попиту. Інтеграція цього прогнозу в оптимізаційну модель дозволила згенерувати нерівномірний, економічно обґрунтований графік випуску продукції (рис. 2).



Рис. 2 – Автоматично згенерований оптимальний план виробництва в інтерфейсі модуля

Аналіз фінансових показників згенерованого плану показав, що завдяки більш точному узгодженню обсягів виробництва з попитом та превентивному накопиченню запасів перед піковими навантаженнями, сукупні витрати підприємства знижуються на 14,5 % порівняно з традиційною стратегією рівномірного виробництва.

Висновок

У роботі запропоновано та програмно реалізовано інтегрований підхід до виробничого планування, що поєднує методи машинного навчання та лінійної оптимізації. Розроблений програмний модуль доводить свою ефективність як інструмент прескриптивної аналітики. Використання ансамблевих методів прогнозування забезпечує достатньо високу точність (MAPE < 9 %), а автоматична трансформація прогнозу у виробничий план дозволяє суттєво скоротити операційні витрати підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко В. Застосування інструментів штучного інтелекту для підвищення точності прогнозування продажів у сфері цифрового підприємництва. *Економіка та суспільство*, 2024. Вип. 68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-140>
2. Saira Malik, Muhibullah Khan, Muhammad Kamran Abid, & Naeem Aslam. (2024). Sales Forecasting Using Machine Learning Algorithm in the Retail Sector. *Journal of Computing & Biomedical Informatics*, 6(02), 282–294. Retrieved from <https://www.jcbi.org/index.php/Main/article/view/370>
3. Li, X., Ji, X. & Zeng, X. (2024). Optimizing supply chain networks using mixed integer linear programming (MILP). *Theoretical and Natural Science*, 41, 139-144. DOI: <https://doi.org/10.54254/2753-8818/41/20240642>
4. Dimitris Bertsimas, Nathan Kallus. (2019) From Predictive to Prescriptive Analytics. *Management Science*, 66(3):1025-1044. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3253>
5. Шевчук О. Ф., Козловський А. В., Паночин Ю. М., Сімончук С. В., Бондар М.Я. Інформаційна технологія предиктивної та прескриптивної аналітики для оптимізації виробничого планування. *Наука і техніка сьогодні*. 2026. № 3 (57). С. 3056-3069. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3\(57\)-3056-3069](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3(57)-3056-3069)

Шевчук Олександр Федорович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shevchuk@vntu.edu.ua

Бондар Микола Ярославович – студент факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koliabondar2008@gmail.com

Shevchuk Oleksandr F. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shevchuk@vntu.edu.ua

Bondar Mykola I. – student, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: koliabondar2008@gmail.com