

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет «Житомирська політехніка»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЯНОВСЬКИЙ ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ**

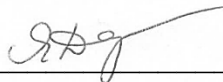
УДК 004.021:519.8:658.7

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ НА ОСНОВІ**  
**БАГАТОФАКТОРНОЇ ОЦІНКИ ВІДХИЛЕНЬ**  
**ВІД ЦІЛЬОВОГО СТАНУ**

121 Інженерія програмного забезпечення  
12 Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 / Яновський Д.В.

Науковий керівник: Пількевич Ігор Анатолійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка»

Житомир – 2026

## АНОТАЦІЯ

*Яновський Д.В.* Методи та алгоритми управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. – Державний університет «Житомирська політехніка». – Житомир, 2026.

### **Зміст анотації.**

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності управління товарними запасами в роздрібних і дистрибуційних компаніях, оскільки недостатній рівень запасів призводить до втрачених продажів, а надлишковий – до заморожування оборотного капіталу та зростання витрат на зберігання. Значні обсяги операційних даних про продажі, постачання, переміщення та поповнення створюють передумови для автоматизації управлінських рішень.

Сучасні корпоративні інформаційні системи автоматизують облік запасів, прогнозування попиту та планування поповнення, проте переважно орієнтовані на фіксацію поточного стану і стандартні операційні процедури. Водночас автоматизоване встановлення причин конкретних відхилень фактичного стану запасу від цільового та кількісне визначення впливу окремих операційних подій залишаються недостатньо формалізованими.

За великої кількості товарів, місць зберігання та операційних подій експертний аналіз потребує значних часових ресурсів і має обмежені можливості масштабування. Тому актуальною є розробка моделей, методів, алгоритмів для розробки спеціалізованих програмних засобів багатофакторної оцінки, що забезпечують автоматизований аналіз відхилень, визначення впливу причинно-допустимих подій та формування аналітичної інформації для підтримки управлінських рішень.

**Метою** дослідження є розробка методів та алгоритмів управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень їх фактичного стану від цільового для розробки прикладного програмного забезпечення підтримки управлінських рішень.

Зміст дисертаційного дослідження викладено у трьох розділах, у яких представлено та обґрунтовано основні результати проведеного дослідження.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, об'єкт та предмет дослідження, визначені основні завдання дослідження, окреслено використані методи, подано відомості про наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено дані щодо їх апробації та публікацій.

У **першому розділі** проведено аналіз моделей, методів, технологій та програмних засобів управління товарними запасами, зокрема AIDC, RFID, IoT, ERP-, WMS- і BI-систем в опрацюванні операційних даних. Встановлено, що сучасні інформаційні системи автоматизують облік, прогнозування попиту, поповнення та контроль запасів, проте не забезпечують кількісної оцінки впливу окремих операційних подій на втрачені продажі й надлишкові запаси. Аналіз підходів до прогнозування, причинного аналізу та атрибуції факторів показав необхідність урахування не лише попиту, а й поставок, коригування замовлень, логістичних обмежень і якості даних, що обґрунтовує застосування автоматизованої багатофакторної оцінки причинно-допустимих подій та їх впливу на стан запасів.

У **другому розділі** розроблено модель, методи та алгоритми багатофакторної оцінки втрачених продажів і надлишкових товарних запасів. В основу моделі покладено цільовий стан як базову траєкторію запасу за відсутності досліджуваних операційних відхилень. Фактори формалізовано як конкретні операційні події з визначеними причиною, часовою позицією, потенційним кількісним впливом і правилами причинної допустимості. Методи передбачають формування множини причинно-допустимих подій та кількісну атрибуцію їх впливу. Для втрачених продажів і надлишкових запасів

запропоновано алгоритми з жадібним розподілом за часовим пріоритетом і пропорційним розподілом між подіями з однаковим пріоритетом. Результатом є визначення впливу подій на відхилення на рівні «товар – місце зберігання – дата».

У **третьому розділі** розроблено програмне забезпечення для реалізації запропонованих методів і алгоритмів, проведено його верифікацію, експериментальну перевірку та практичну апробацію. Воно реалізоване як модульний аналітичний шар над корпоративними інформаційними системами з використанням Microsoft SQL Server, T-SQL і QlikView. Програмна реалізація запропонованих методів відтворила референтний розподіл у всіх 20 000 контрольованих випадках, що підтверджує її відповідність формалізованих причинно-часовій логіці методів. Аналіз масштабованості показав близьке до лінійного зростання часу обробки, а робастності – найбільшу чутливість до неточності часових міток. Експерименти з різним рівнем агрегації підтвердили зростання розбіжностей у разі втрати зв'язку між конкретними подіями та відхиленнями.

Імітаційне моделювання на даних 10 товарних позицій у 100 магазинах ТОВ «ОМЕГА» за 52 тижні показало зменшення втрачених продажів і надлишкових запасів за адресного використання результатів багатофакторної оцінки. Перехід від місячного до щотижневого застосування методів додатково зменшив їх частку на 0,899 і 3,064 в.п. відповідно. Практична апробація в ТОВ «РУШ» і ТОВ «ОМЕГА» засвідчила скорочення часу підготовки аналітичної інформації на 86,3% і 87,5%. Після впровадження спостерігалось зниження втрачених продажів на 1,13-1,6 в.п. та надлишкових запасів на 6,6-7,9 в.п. порівняно з попереднім роком.

Проведені дослідження в межах дисертаційної роботи дозволили отримати наступні **наукові результати**, зокрема:

*вперше* розроблено: модель управління товарними запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану, у якій, на відміну від наявних, відхилення фактичного товарного запасу від цільового пов'язується

з конкретними причинно-допустимими операційними подіями через їх кількісний вплив і часову позицію, а результати оцінки використовуються як інформаційна основа для вибору коригувальних управлінських дій; методи багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, а також алгоритми кількісної атрибуції для окремої комбінації «товар – місце зберігання – дата», які, на відміну від наявних, забезпечують кількісне визначення впливу кожної причинно-допустимої операційної події на формування відповідного відхилення з урахуванням її часового пріоритету та кількісного впливу;

*удосконалено* формалізацію операційних факторів, що впливають на стан товарних запасів, шляхом представлення фактора як конкретної операційної події, яка характеризується причиною виникнення, часовою позицією, потенційним кількісним впливом на товарний запас і правилами причинної допустимості щодо конкретного відхилення, що забезпечує застосування спільного механізму кількісної атрибуції до різних за природою факторів та можливість розширення їх переліку за умови визначення відповідних правил предметної області;

*набув подальшого розвитку* підхід до визначення причинно-допустимих операційних подій шляхом одночасного врахування їх часової позиції відносно досліджуваного відхилення та напряму потенційного впливу, що дає змогу формувати множину таких подій для окремих випадків втрачених продажів і надлишкових товарних запасів на рівні «товар – місце зберігання – дата».

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

– реалізовано програмне забезпечення для автоматизованого визначення впливу причинно-допустимих операційних подій на формування втрачених продажів і надлишкових товарних запасів та підготовки аналітичної інформації для підтримки управлінських рішень, що складається з модулів збору та нормалізації даних, багатофакторної оцінки та аналітичної візуалізації та функціонує як окремий аналітичний шар над корпоративними

інформаційними системами. Така архітектура дає змогу використовувати дані ERP-, WMS- та POS-систем для автоматизованого формування результатів багатофакторної оцінки. Практична апробація програмного забезпечення в ТОВ «РУШ» і ТОВ «ОМЕГА» показала скорочення часу на підготовку аналітичної інформації з 120 до 16,4 год на місяць для ТОВ «РУШ» та з 96 до 12 год на місяць для ТОВ «ОМЕГА», що відповідає скороченню на 86,3% та 87,5% відповідно.

– проведено серію експериментів з порівняння алгоритмічних та експертних оцінок, що дало змогу кількісно визначити розбіжності між двома способами оцінки факторів, де середня абсолютна розбіжність становила 12,05 в.п. для факторів втрачених продажів та 13,425 в.п. для факторів надлишкових товарних запасів; встановлено, що отримані результати можуть використовуватися для виявлення факторів із найбільшими розбіжностями оцінок та додаткової перевірки результатів аналізу; підтверджено, що після впровадження програмного забезпечення зафіксовано зниження рівня втрачених продажів на 1,13-1,6 в.п. та надлишкових товарних запасів на 6,6-7,9 в.п. порівняно з відповідними періодами попереднього року.

Матеріали дослідження можуть бути використані підприємствами роздрібної торгівлі та дистрибуції для автоматизованого виявлення причин виникнення втрачених продажів і надлишкових товарних запасів, а також в освітньому процесі.

**Основні результати дисертаційної роботи опубліковано** у 9 наукових працях, зокрема у 3 статтях у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 1 статті у науковому фаховому виданні України категорії «А», та 5 у матеріалах міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій.

**Ключові слова:** модель, метод, алгоритм, математичне моделювання, управління запасами, багатофакторна оцінка, інформаційно-вимірювальна система, інформаційна технологія, програмне забезпечення, система, відстеження подій, прийняття рішень, програмний продукт, прогнозування, втрачені продажі і надлишки.

## ABSTRACT

*Yanovsky D.V.* Methods and Algorithms for Inventory Management Based on Multifactor Assessment of Deviations from the Target State. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 12 Information Technologies, specialty 121 Software Engineering. – Zhytomyr Polytechnic State University. – Zhytomyr, 2026.

### **Abstract content.**

The relevance of the research topic is determined by the need to improve the efficiency of inventory management in retail and distribution companies, since insufficient inventory levels lead to lost sales, whereas excessive levels result in tied-up working capital and increased storage costs. Large volumes of operational data on sales, supplies, transfers, and replenishment create prerequisites for automating managerial decision-making.

Modern corporate information systems automate inventory accounting, demand forecasting, and replenishment planning; however, they are mainly focused on recording the current state and supporting standard operational procedures. At the same time, automated identification of the causes of specific deviations of the actual inventory state from the target state and quantitative determination of the impact of individual operational events remain insufficiently formalized.

With a large number of items, storage locations, and operational events, expert analysis requires substantial time resources and has limited scalability. Therefore, the development of models, methods, and algorithms for specialized multifactor assessment software is relevant, as such tools can provide automated analysis of deviations, determine the impact of causally admissible events, and generate analytical information to support managerial decision-making.

**The aim** of the research is to develop methods and algorithms for inventory management based on multifactor assessment of deviations of the actual inventory state from the target state for the development of application software supporting managerial decision-making.

The dissertation research is presented in three chapters, which describe and substantiate the main results of the study.

The **Introduction** substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the aim, object, and subject of the research, defines the main research objectives, outlines the methods used, presents information on the scientific novelty and practical significance of the results obtained, and provides data on their validation and publication.

**Chapter 1** analyzes models, methods, technologies, and software tools for inventory management, including AIDC, RFID, IoT, ERP, WMS, and BI systems for processing operational data. It is established that modern information systems automate accounting, demand forecasting, replenishment, and inventory control, but do not provide a quantitative assessment of the impact of individual operational events on lost sales and excess inventory. The analysis of approaches to forecasting, causal analysis, and factor attribution demonstrated the need to account not only for demand but also for supplies, order adjustments, logistical constraints, and data quality, which substantiates the use of automated multifactor assessment of causally admissible events and their impact on inventory status.

**Chapter 2** develops a model, methods, and algorithms for multifactor assessment of lost sales and excess inventory. The model is based on the target state as the baseline inventory trajectory in the absence of the operational deviations under investigation. Factors are formalized as specific operational events characterized by a defined cause, temporal position, potential quantitative impact, and causal admissibility rules. The methods provide for forming a set of causally admissible events and quantitatively attributing their impact. For lost sales and excess inventory, algorithms with greedy allocation by temporal priority and proportional allocation among events with equal priority are proposed. The result is the determination of the impact of events on deviations at the “item – storage location – date” level.

**Chapter 3** develops software for implementing the proposed methods and algorithms and presents its verification, experimental validation, and practical

implementation. It is implemented as a modular analytical layer on top of corporate information systems using Microsoft SQL Server, T-SQL, and QlikView. The software implementation of the proposed methods reproduced the reference allocation in all 20,000 controlled cases, confirming its compliance with the formalized causal-temporal logic of the methods. Scalability analysis showed near-linear growth in processing time, while robustness analysis revealed the greatest sensitivity to inaccuracies in timestamps. Experiments with different aggregation levels confirmed increasing discrepancies when the links between specific events and deviations were lost.

Simulation modeling using data for 10 inventory items in 100 stores of OMEGA LLC over 52 weeks demonstrated a reduction in lost sales and excess inventory when the results of multifactor assessment were used for targeted corrective actions. Transitioning from monthly to weekly application of the methods additionally reduced their shares by 0.899 and 3.064 percentage points, respectively. Practical implementation at RUSH LLC and OMEGA LLC demonstrated reductions in the time required to prepare analytical information by 86.3% and 87.5%, respectively. After implementation, lost sales decreased by 1.13–1.6 percentage points and excess inventory by 6.6–7.9 percentage points compared with the previous year.

The research conducted within the dissertation yielded the following new **scientific results**, in particular:

*for the first time:* a model of inventory management based on multifactor assessment of deviations from the target state has been developed. Unlike existing models, it links deviations of actual inventory from the target state to specific causally admissible operational events through their quantitative impact and temporal position, while the assessment results are used as an information basis for selecting corrective managerial actions; methods for multifactor assessment of lost sales and excess inventory, as well as quantitative attribution algorithms for an individual “item – storage location – date” combination, have been developed. Unlike existing approaches, they provide quantitative determination of the impact

of each causally admissible operational event on the formation of the corresponding deviation, taking into account its temporal priority and quantitative impact;

*improved:* the formalization of operational factors affecting inventory status by representing a factor as a specific operational event characterized by its cause, temporal position, potential quantitative impact on inventory, and causal admissibility rules for a specific deviation. This enables a common quantitative attribution mechanism to be applied to factors of different nature and allows the factor set to be extended provided that the relevant domain rules are defined;

*further developed:* the approach to identifying causally admissible operational events by simultaneously considering their temporal position relative to the deviation under investigation and the direction of their potential impact, which makes it possible to form a set of such events for individual cases of lost sales and excess inventory at the “item – storage location – date” level.

**The practical significance of the results obtained** is as follows:

- software has been implemented for automated determination of the impact of causally admissible operational events on the formation of lost sales and excess inventory and for preparing analytical information to support managerial decision-making. It consists of data collection and normalization, multifactor assessment, and analytical visualization modules and operates as a separate analytical layer on top of corporate information systems. This architecture makes it possible to use data from ERP, WMS, and POS systems to automatically generate multifactor assessment results. Practical implementation of the software at RUSH LLC and OMEGA LLC reduced the time required to prepare analytical information from 120 to 16.4 hours per month for RUSH LLC and from 96 to 12 hours per month for OMEGA LLC, corresponding to reductions of 86.3% and 87.5%, respectively.

- a series of experiments comparing algorithmic and expert assessments was conducted, making it possible to quantitatively determine the discrepancies between the two approaches to factor assessment. The mean absolute discrepancy was 12.05 percentage points for lost-sales factors and 13.425 percentage points for excess-inventory factors. It was established that the obtained results can be used to identify

factors with the largest assessment discrepancies and to perform additional verification of the analysis results. It was confirmed that, after software implementation, lost sales decreased by 1.13–1.6 percentage points and excess inventory by 6.6–7.9 percentage points compared with the corresponding periods of the previous year.

The research materials can be used by retail and distribution companies for automated identification of the causes of lost sales and excess inventory, as well as in the educational process.

**The main results of the dissertation research have been published** in 9 scientific works, including 3 articles in Ukrainian professional scientific journals of Category B, 1 article in a Ukrainian professional scientific journal of Category A, and 5 papers in the proceedings of international and all-Ukrainian scientific and practical conferences.

**Keywords:** model, method, algorithm, mathematical modeling, inventory management, multifactor assessment, information and measurement system, information technology, software, system, event tracking, decision-making, software product, forecasting, lost sales and excess inventory.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

### Статті у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії «А»

1. Yanovsky D.V., Graf M.S. Methods for analyzing the effectiveness of information systems for inventory management. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2024. No. 3. PP. 224-232. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-19>.

### Статті у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії «Б»

2. Яновський Д.В., Граф М.С. Аналіз існуючих методів прогнозування попиту та способів оцінки їх якості. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2023. № 3. С. 70-77. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-3-9>.
3. Яновський Д.В. Оптимізація ланцюгів поставок: вирішення «ефекту батога» для замовлень постачальників. *Технічна інженерія*, 2023. №2(92). С. 146-151. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-146-151](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-146-151).
4. Яновський Д.В. Архітектура програмного забезпечення для аналізу ефективності систем управління запасами. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 2026. Том 37 (76) № 1 2026. С. 472-480. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.2/59>.

### Публікації у матеріалах наукових конференцій:

5. Граф М. С., Яновський Д. В. Особливості обчислення похибки прогнозу споживання товарів в роздрібній торгівлі. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2023): Шістнадцята Міжнародна науково-практична конференція (23-24 травня 2023 р., м. Київ, Україна.)*. К.: НАУ, 2023. С. 256-258. URL: <https://drive.google.com/file/d/1BLRLBRK-16IREQOSW6FPNWUx06zuapWu/view>.

6. Яновський Д. В., Граф М. С. Особливості застосування задачі розподілу в мережах магазинів. *Тези XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2023» (м. Житомир, 30-31 березня 2023 року)*. Житомир: «Житомирська політехніка», 2023. С. 18-19. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/povnyy-tekst.pdf>.
7. Яновський Д. В., Граф М. С. Фактори, що впливають на надлишкові товарні запаси в інформаційних системах управління запасами. *Тези сімнадцятої міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси" (ІПТК-2024) (м. Київ, 21-22 травня 2024 року)*. Київ: «Національний авіаційний університет». 2024. С. 440. URL: [https://drive.google.com/file/d/1P1FuD\\_Q\\_kuugNbdQu\\_1-EO9OmmZ3eDmq/view](https://drive.google.com/file/d/1P1FuD_Q_kuugNbdQu_1-EO9OmmZ3eDmq/view).
8. Яновський Д.В. Оцінка факторів, що впливають на втрачені продажі в інформаційних системах управління запасами. *Тези чотирнадцятої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених "Сучасні інформаційні технології 2024", (16-17 травня 2024 року, м. Одеса.) присвяченої 60-річчю Інституту комп'ютерних систем/ МОН України; Національний університет «Одеська політехніка»; Ін-т комп'ют. систем. Одеса: Наука і техніка, 2024. С. 140-142. URL: [https://drive.google.com/file/d/1\\_rENZ6jNkZQAZ2jiE2SVUU2vRrhuC8sR/view](https://drive.google.com/file/d/1_rENZ6jNkZQAZ2jiE2SVUU2vRrhuC8sR/view).*
9. Yanovsky D., Graf M., Kvasnikov V. Comparison of expert and algorithmic analysis of efficiency evaluation of inventory management systems. *Proceedings of the Workshops at the Fourth International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2025) (20-22 June, 2025, Kyiv, Ukraine)*. Kyiv, Ukraine, June 20 - 22, 2025. Pp. 388-397. - URL: <https://ceur-ws.org/Vol-4024/>.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                   |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Перелік прийнятих умовних скорочень .....</b>                                                                                                  | <b>16</b>  |
| <b>Вступ .....</b>                                                                                                                                | <b>17</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. Аналіз моделей, методів та програмних засобів управління<br/>запасами на основі оцінки їх стану .....</b>                            | <b>26</b>  |
| 1.1. Огляд підходів, методів та засобів управління запасами .....                                                                                 | 26         |
| 1.2. Аналіз методів прогнозування попиту, причинного аналізу та кількісної<br>атрибуції впливу факторів.....                                      | 40         |
| 1.3. Аналіз методів оцінювання стану запасів та його відхилень від<br>цільового стану .....                                                       | 53         |
| Висновки до першого розділу.....                                                                                                                  | 67         |
| <b>РОЗДІЛ 2. Розробка моделі, методів та алгоритмів багатофакторної<br/>оцінки відхилень від цільового стану в системах управління запасами .</b> | <b>69</b>  |
| 2.1. Модель управління запасами на основі багатофакторної оцінки<br>відхилень від цільового стану.....                                            | 69         |
| 2.2. Формалізація факторів, що впливають на відхилення фактичного стану<br>системи від цільового.....                                             | 80         |
| 2.3. Методи та алгоритми багатофакторної оцінки втрачених продажів та<br>надлишкових товарних запасів.....                                        | 91         |
| Висновки до другого розділу .....                                                                                                                 | 105        |
| <b>РОЗДІЛ 3. Програмна реалізація і експериментальна перевірка методів<br/>та алгоритмів багатофакторної оцінки .....</b>                         | <b>108</b> |
| 3.1. Архітектура і програмна реалізація методів та алгоритмів<br>багатофакторної оцінки .....                                                     | 108        |
| 3.2. Імітаційне моделювання та експериментальна перевірка методів<br>багатофакторної оцінки .....                                                 | 131        |
| 3.3. Оцінювання результативності застосування програмного забезпечення                                                                            | 150        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
|                                   | 15         |
| Висновки до третього розділу..... | 165        |
| <b>Висновки .....</b>             | <b>169</b> |
| <b>Література.....</b>            | <b>172</b> |
| <b>Додатки.....</b>               | <b>188</b> |

### Перелік прийнятих умовних скорочень

| Скорочення,<br>термін,<br>позначення | Пояснення                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AIDC                                 | Технології автоматичної ідентифікації та збору даних (англ. <i>Automatic Identification and Data Capture</i> )                                                                    |
| APS                                  | Спеціальне програмне забезпечення для вдосконаленого оперативного планування та оптимізації виробничих графіків у реальному часі (англ. <i>Advanced Planning and Scheduling</i> ) |
| MFE                                  | Методи багатофакторної оцінки                                                                                                                                                     |
| LS                                   | Втрачені продажі                                                                                                                                                                  |
| LT                                   | Час виконання замовлення постачальником (англ. <i>Lead Time</i> )                                                                                                                 |
| OS                                   | Надлишкові товарні запаси                                                                                                                                                         |
| PROP                                 | Пропорційний метод атрибуції                                                                                                                                                      |
| QVD                                  | Спеціалізований формат стиснутих даних QlikView (англ. <i>QlikView Data</i> )                                                                                                     |

## Вступ

**Актуальність теми.** Ефективне управління товарними запасами є однією з ключових умов стабільної роботи роздрібних і дистрибуційних підприємств. Недостатній рівень запасів призводить до втрачених продажів, зниження рівня обслуговування та ризику втрати споживача, тоді як надлишкові запаси спричиняють заморожування оборотного капіталу, зростання витрат на зберігання та ризик знецінення товарів. За умов великої кількості товарних позицій, місць зберігання, постачальників і щоденних операцій ручний контроль таких процесів стає недостатнім. Тому управління запасами дедалі більше спирається на корпоративні інформаційні системи, що забезпечують збір, накопичення та обробку даних про продажі, залишки, замовлення, поставки, переміщення і параметри поповнення.

Проблематика управління запасами широко представлена в сучасних дослідженнях. Дж. Б. Муняка (J. B. Munyaka) та В. С. С. Ядаваллі (V.S. S. Yadavalli) систематизували основні концепції й підходи до управління запасами та особливості їх практичної реалізації [75], Р. Р. Паніграхі (R. R. Panigrahi), А. К. Шривастава (A. K. Shrivastava) та П. К. Капур (P. K. Kapur) досліджували вплив практик управління запасами на операційну діяльність підприємств [79], а М. Ці (M. Qi) та співавтори розглядали практичну наскрізну модель управління запасами із застосуванням глибокого навчання [84]. Ці роботи підтверджують, що підвищення ефективності управління запасами потребує поєднання економічних моделей, алгоритмів обробки даних і програмних засобів підтримки прийняття рішень.

Важливою складовою інформаційних систем управління запасами є прогнозування попиту. Ф. Петропулос (F. Petropoulos) та співавтори узагальнили сучасні теоретичні й практичні підходи до прогнозування [82]. М. Нассері (M. Nasser), Т. Фалатурі (T. Falatouri), П. Брандтнер (P. Brandtner) та Ф. Дарбаніан (F. Darbanian) порівнювали ансамблеві методи машинного навчання та моделі довгої короткочасної пам'яті для прогнозування попиту

[76], а Л. Кумар (L. Kumar), С. Кхедлекар (S. Khedlekar) та У. К. Кхедлекар (U. K. Khedlekar) досліджували використання методів Холта-Вінтерса та ARIMA для оптимізації запасів у ланцюгах постачання [61]. Разом із тим, навіть підвищення точності прогнозування не усуває відхилення фактичного стану запасів від цільового, оскільки на нього впливають виконання замовлень постачальниками, ручні коригування, логістичні обмеження, мінімальні партії, зміни параметрів поповнення, помилки даних та інші операційні події. Отже, прогнозування є необхідною, але не достатньою складовою пояснення причин втрачених продажів і надлишкових запасів.

Сучасні ERP-, WMS- і BI-системи у поєднанні з технологіями AIDC, RFID та IoT забезпечують автоматизоване вимірювання та реєстрацію параметрів руху і стану товарних запасів, відстеження операційних подій, а також накопичення та інтеграцію відповідних даних. Наявність деталізованих журналів подій дає змогу не лише фіксувати поточний стан запасу, а й встановлювати послідовність змін, що передували виникненню окремого відхилення. Особливого значення при цьому набуває збереження зв'язку між подією, товаром, місцем зберігання та часом її виникнення. Агрегування даних за товарними групами, періодами або підприємством у цілому спрощує аналітичне представлення, однак частково втрачає інформацію про те, яка конкретна подія була пов'язана з конкретним випадком відхилення.

Саме необхідність збереження такого зв'язку зумовлює увагу до методів аналізу операційних процесів, які дають змогу досліджувати послідовність подій та причини виникнення відхилень. Д. Кречманн (D. Kretzschmann), Г. Парк (G. Park), А. Берті (A. Berti) та В. М. П. ван дер Аалст (W. M. P. van der Aalst) застосували об'єктно-центричний аналіз процесів до проблеми надлишкових запасів у процесі від виникнення потреби в товарі до оплати постачальнику та показали доцільність дослідження послідовності подій, пов'язаних із замовленням і постачанням [57]. У подальшій роботі авторами було запропоновано підхід до оптимізації роздрібних запасів, який поєднує об'єктно-центричний аналіз процесів і математичні моделі [56]. Г. Парк та

В. М. П. ван дер Аалст досліджували перехід від результатів процесного аналізу до формування дій [81]. Отримані результати підтверджують доцільність подієвого представлення досліджуваних процесів та врахування фактичної послідовності операцій. Водночас для пояснення сформованих відхилень недостатньо лише відтворити послідовність подій – необхідно також встановити причинний зв'язок між ними та результатом і кількісно визначити їх вплив.

Для вирішення таких задач застосовуються методи причинного аналізу, контрфактичного моделювання та кількісної атрибуції. М. Лі (M. Li) та співавтори досліджували визначення першопричин із використанням методів встановлення причинно-наслідкових зв'язків [63]. З. Дашт Бозоргі (Z. Dasht Bozorgi), І. Тейнемаа (I. Teinema), М. Дюма (M. Dumas), М. Ла Роза (M. La Rosa) та А. Полів'яний (A. Polyvyanyy) досліджували методи моніторингу бізнес-процесів, у яких оцінка причинного ефекту використовується для визначення доцільності коригувальних дій [28]. Для кількісного визначення впливу окремих факторів на спільний результат застосовуються значення Шеплі. Особливості цього підходу розглянуто у роботі М. Лі (M. Li), Х. Сунь (H. Sun), Ю. Хуан (Y. Huang) та Х. Чена (H. Chen) [64]. Водночас ці методи мають різне призначення: одні встановлюють причинно-наслідкові зв'язки, інші дають змогу оцінити можливий результат за змінених умов, а значення Шеплі використовуються для кількісного розподілу результату між факторами.

Для автоматизованого визначення причин відхилень стану запасів важливо встановити не лише фактор, що вплинув на результат, а й конкретну подію, місце та час її виникнення, а також величину сформованого нею відхилення. Наявні підходи переважно зосереджуються на аналізі окремих факторів, їх типів, бізнес-процесів або агрегованих результатів. При цьому відбір причинно-допустимих подій, урахування їх часової послідовності та кількісна оцінка впливу зазвичай розглядаються як окремі складові аналізу. За великої кількості товарів, магазинів і операційних подій виконання такого

аналізу експертами потребує значних часових ресурсів, залежить від повноти доступної інформації та має обмежені можливості масштабування.

Таким чином, актуальною є розробка моделі та методів управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану, які дають змогу інтегрувати дані про фактичний стан запасів, цільові параметри та часову послідовність операційних подій у єдиний процес багатофакторного аналізу. Такий підхід передбачає не лише визначення факту відхилення, а й автоматизоване оцінювання внеску окремих факторів у його формування.

Використання програмних моделей і алгоритмів багатофакторної оцінки відхилень створює можливості для підвищення масштабованості та відтворюваності аналітичних процедур, зменшення залежності від експертних оцінок і забезпечення інтеграції результатів аналізу в інформаційні системи управління запасами. Це, в свою чергу, дає змогу перейти від пасивної фіксації проблемних станів до автоматизованого формування аналітичної основи для прийняття управлінських рішень щодо поповнення та регулювання запасів.

Отже, актуальність дослідження визначається необхідністю розробки програмної моделі, алгоритмів і методів обробки операційних даних, що забезпечують автоматизовану багатофакторну оцінку відхилень фактичного стану товарних запасів від цільового, визначення кількісного внеску операційних подій у формування таких відхилень та формування відповідної аналітичної інформації для підтримки управлінських рішень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації затверджена Вченою радою Державного університету «Житомирська політехніка» (протокол № 19 від 28.08.2026 р.)

Дисертаційне дослідження виконувалось відповідно до НДР «Аналіз і моделювання процесу розробки програмних рішень в галузі електронної комерції» (12.01НДР-34-2023) та НДР «Методи та алгоритми прогнозування даних для прикладних задач» (12.01-НДР 15-2025) кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка» (2023-2025 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка методів та алгоритмів управління запасами на основі багатфакторної оцінки відхилень їх фактичного стану від цільового для розробки прикладного програмного забезпечення підтримки управлінських рішень.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- 1.Провести аналіз наявних моделей, методів та програмних засобів управління запасами на основі оцінки їх стану.
- 2.Розробити модель управління товарними запасами на основі багатфакторної оцінки відхилень фактичного стану запасів від цільового.
3. Формалізувати фактори як операційні події з визначеними причиною, часовою позицією, потенційним кількісним впливом і правилами причинної допустимості.
4. Розробити методи багатфакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, а також алгоритми кількісної атрибуції внеску причинно-допустимих операційних подій з урахуванням їх часового пріоритету та залишкового кількісного впливу.
5. Розробити програмне забезпечення для реалізації запропонованої моделі, методів та алгоритмів багатфакторної оцінки, провести верифікацію та експериментальну перевірку запропонованих рішень.

**Об'єктом дослідження** є процеси управління запасами підприємств за умов виникнення відхилень фактичного стану запасів від цільового.

**Предметом дослідження** є моделі, методи та алгоритми управління запасами на основі багатфакторної оцінки відхилень фактичного стану запасів від цільового.

**Методи дослідження.** Системний підхід використано для аналізу систем управління запасами, моделей прогнозування попиту, методів оцінювання та програмних засобів; математичне моделювання застосовано для визначення цільового стану запасу, формалізації факторів і правил причинної допустимості; методи алгоритмізації та програмної інженерії використано для розроблення алгоритмів кількісної атрибуції, проектування

модульної архітектури й реалізації модулів збору та нормалізації даних, багатофакторної оцінки та аналітичної візуалізації; реляційний аналіз даних і технології SQL застосовано для побудови структури даних та процедур реалізації методів у Microsoft SQL Server; імітаційне моделювання використано для контрольованої перевірки алгоритмів, аналізу робастності та дослідження сценаріїв використання результатів багатофакторної оцінки; статистичний аналіз – для порівняння експертних та алгоритмічних оцінок і практичних показників.

**Використання технологій штучного інтелекту.** У процесі виконання дисертаційного дослідження технології штучного інтелекту використовувались як допоміжний інструмент візуалізації для кращого представлення окремих розроблених схем за власним описом.

Формування наукових положень, постановка мети і завдань дослідження, проведення експериментів, обробка результатів та формулювання висновків виконані автором самостійно. Технології штучного інтелекту не використовувались для генерування тексту дисертації чи формулювання наукових результатів.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному:

*вперше* розроблено: модель управління товарними запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану, у якій, на відміну від наявних, відхилення фактичного товарного запасу від цільового пов'язується з конкретними причинно-допустимими операційними подіями через їх кількісний вплив і часову позицію, а результати оцінки використовуються як інформаційна основа для вибору коригувальних управлінських дій; методи багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, а також алгоритми кількісної атрибуції для окремої комбінації «товар – місце зберігання – дата», які, на відміну від наявних, забезпечують кількісне визначення впливу кожної причинно-допустимої операційної події на формування відповідного відхилення з урахуванням її часового пріоритету та кількісного впливу;

*удосконалено* формалізацію операційних факторів, що впливають на стан товарних запасів, шляхом представлення фактора як конкретної операційної події, яка характеризується причиною виникнення, часовою позицією, потенційним кількісним впливом на товарний запас і правилами причинної допустимості щодо конкретного відхилення, що забезпечує застосування спільного механізму кількісної атрибуції до різних за природою факторів та можливість розширення їх переліку за умови визначення відповідних правил предметної області;

*набув подальшого розвитку* підхід до визначення причинно-допустимих операційних подій шляхом одночасного врахування їх часової позиції відносно досліджуваного відхилення та напряму потенційного впливу, що дає змогу формувати множину таких подій для окремих випадків втрачених продажів і надлишкових товарних запасів на рівні «товар – місце зберігання – дата».

**Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:**

– реалізовано програмне забезпечення для автоматизованого визначення впливу причинно-допустимих операційних подій на формування втрачених продажів і надлишкових товарних запасів та підготовки аналітичної інформації для підтримки управлінських рішень, що складається з модулів збору та нормалізації даних, багатофакторної оцінки та аналітичної візуалізації та функціонує як окремий аналітичний шар над корпоративними інформаційними системами. Така архітектура дає змогу використовувати дані ERP-, WMS- та POS-систем для автоматизованого формування результатів багатофакторної оцінки. Практична апробація програмного забезпечення в ТОВ «РУШ» і ТОВ «ОМЕГА» показала скорочення часу на підготовку аналітичної інформації з 120 до 16,4 год на місяць для ТОВ «РУШ» та з 96 до 12 год на місяць для ТОВ «ОМЕГА», що відповідає скороченню на 86,3% та 87,5% відповідно.

– проведено серію експериментів з порівняння алгоритмічних та експертних оцінок, що дало змогу кількісно визначити розбіжності між двома

способами оцінки факторів, де середня абсолютна розбіжність становила 12,05 в.п. для факторів втрачених продажів та 13,425 в.п. для факторів надлишкових товарних запасів; встановлено, що отримані результати можуть використовуватися для виявлення факторів із найбільшими розбіжностями оцінок та додаткової перевірки результатів аналізу; підтверджено, що після впровадження програмного забезпечення зафіксовано зниження рівня втрачених продажів на 1,13-1,6 в.п. та надлишкових товарних запасів на 6,6-7,9 в.п. порівняно з відповідними періодами попереднього року.

**Впровадження результатів дослідження в практику** підтверджується відповідними довідками про впровадження, що додаються, зокрема в ТОВ «ОМЕГА» (мережа супермаркетів VARUS) та ТОВ «РУШ» (мережа магазинів краси та здоров'я «EVA»), та в освітньому процесі Державного університету «Житомирська політехніка» (довідка № 44-01.00/1676 від 28.08.2026 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати дисертаційного дослідження, що виносяться на захист, отримані автором особисто. В наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в описаному нижче.

У статтях, опублікованих у фахових виданнях України категорії «Б», здобувачем: проведено аналіз найбільш вживаних методів прогнозування попиту та методів оцінки їх якості [1]; описано моделі формування замовлень від другої ланки ланцюга поставок, що мінімізує вплив «ефекту батога», враховує застосування мінімального товарного залишку магазину та ненадійність у виконанні замовлень постачальником [2]; розроблено архітектуру програмного забезпечення для аналізу ефективності систем управління запасами на основі кількісної оцінки впливу факторів, що зумовлюють появу втрачених продажів і надлишкових товарних запасів [3].

У статті [4], опублікованій у фахових виданнях України категорії «А», здобувачем розроблено метод оцінки ефективності інформаційних систем, що дозволяє встановити зв'язок між показниками ефективності та факторами, що вплинули на ці показники: запропоновано набір показників, що

характеризують ефективну роботу інформаційних систем управління запасами; запропоновано правила кількісної оцінки факторів, що впливають на показники ефективності.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень неодноразово доповідалися та обговорювалися на ряді міжнародних науково-практичних конференцій, зокрема: XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (м. Київ, Україна, 23-24 травня 2023 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології» (м. Житомир, Україна, 30-31 березня 2023 р.), XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (м. Київ, Україна, 21-22 травня 2024 р.), XIV Міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології 2024» (м. Одеса, Україна, 16-17 травня 2024 р.), IV Міжнародній конференції «Workshops at the Fourth International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks» (м. Київ, Україна, 20-22 червня 2025 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 9 наукових працях, зокрема 3 статті у наукових фахових виданнях України, включених до переліку видань категорії «Б», 1 стаття – у науковому фаховому виданні України, включеному до переліку видань категорії «А» та проіндексована в міжнародній базі Web of Science та 5 публікацій – у матеріалах міжнародних конференцій.

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел (121 найменування, з них 113 іноземною мовою), 8 додатків. Загальний обсяг дисертації – 234 сторінки, з них 155 сторінок основного тексту, у якому міститься 28 таблиць та 45 рисунків.

## **РОЗДІЛ 1. Аналіз моделей, методів та програмних засобів управління запасами на основі оцінки їх стану**

### **1.1. Огляд підходів, методів та засобів управління запасами**

Управління запасами визначається як процес контролю, планування і керування обсягами товарів, які зберігаються на складах, щоб забезпечити безперервність виробничих і торговельних процесів [46; 75]. Основною метою управління запасами є зниження витрат на зберігання і підтримку високого рівня обслуговування клієнтів [11].

Технології управління запасами включають різноманітні програмні продукти, інструменти, системи та методики для планування, контролю та оптимізації рівня запасів. Вони забезпечують можливість зменшення витрат, підвищення ефективності операцій і покращення якості обслуговування клієнтів [24; 79]. Попри значну різноманітність рішень, їх функціональне призначення можна згрупувати за трьома основними напрямками, зокрема облік [102], прогнозування попиту [10; 51] та аналіз [112].

Облік охоплює технології, що забезпечують отримання достовірної інформації про рух товарів. До цієї групи належать засоби автоматичної ідентифікації та збору даних (AIDC), зокрема штрих-кодові системи, QR-коди та RFID-мітки. Останніми роками дедалі більшого поширення набувають рішення, що побудовані з використанням концепції Інтернету речей (IoT) та дозволяють автоматично збирати інформацію з фізичних об'єктів за допомогою мережі датчиків і передавати її в режимі реального часу до інформаційної системи. Це підвищує точність обліку, скорочує кількість ручних операцій та створює основу для оперативного аналізу стану запасів. У контексті управління запасами інформаційно-вимірювальна система може розглядатись як складова інформаційної інфраструктури, що забезпечує автоматизоване отримання, реєстрацію та передавання даних про фактичний стан і рух товарів. Інформаційна технологія відстеження подій доповнює цей

процес часовою фіксацією змін, що створює інформаційну основу для прийняття рішень.

У [68] проаналізовано, як системи автоматичного збору даних (AIDC) впливають на управління запасами у виробничих і дистрибуційних компаніях. Описано шляхи поліпшення показників продажів, зниження витрат та оптимізацію рівня запасів завдяки впровадженню AIDC. Робота [102] досліджує, як інтеграція RFID технологій, що є частиною AIDC, покращує управління запасами та ланцюгами постачання та призводить до зменшення витрат запасів, підвищення точності обліку та швидкості обробки даних.

У [68] розглядається вплив технологій IoT на управління запасами у ланцюгах постачання. Вивчаються можливості застосування IoT для оптимізації процесів управління запасами, зокрема моніторингу та відстеження товарів у режимі реального часу. Робота [26] досліджує вплив IoT на управління складами, визначено переваги та виклики впровадження IoT для підвищення точності інвентаризації, зменшення часу обробки замовлень та покращення задоволеності клієнтів. У [54] проводиться аналіз використання IoT для оптимізації стійких ланцюгів постачання. Розглядаються можливості IoT для покращення управління запасами, зниження витрат та підвищення ефективності процесів. Проведені дослідження [54] показали, що впровадження RFID дозволяє досягти 99% точності інвентаризації в роздрібній торгівлі, застосування сканерів штрих-кодів в операціях на складах знижує час обробки замовлень на 25-30%, впровадження RFID в логістичні системи дозволило скоротити втрати товарів на 20-30%. Наведено, що впровадження IoT датчиків в системи управління складами дозволило зменшити недостачу товарів на 40%, використання IoT для оптимізації маршрутів доставки дозволило скоротити витрати на транспортування на 15%, застосування IoT для прогнозування попиту дозволило знизити витрати на зберігання товарів на 20%.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що інтеграція технологій AIDC та IoT в системи управління товарними запасами забезпечує

значні переваги, такі як підвищення точності даних, прискорення операцій, покращення відстеження товарів, моніторинг запасів в реальному часі, оптимізація транспортування та інтелектуальне управління запасами. Ці технології сприяють зниженню витрат та підвищенню ефективності, що в свою чергу впливає на якість управління запасами [45].

Технології прогнозування попиту є складовою інформаційної підтримки управління запасами та використовуються для оцінювання майбутньої потреби в товарах [16; 41]. Вибір методу прогнозування залежить, зокрема, від повноти доступних історичних даних та стабільності середовища. За недостатнього обсягу даних або значних змін умов можуть застосовуватися евристичні методи, тоді як за наявності достатнього обсягу структурованих даних доцільним є використання математичних і статистичних моделей. Узагальнену залежність застосування таких методів від повноти даних та стабільності середовища наведено на рис. 1.1.



*Рис. 1.1. Застосування евристичних і математичних методів прогнозування залежно від повноти даних та стабільності середовища*

У сучасних системах управління запасами для прогнозування використовуються статистичні моделі, методи машинного навчання та

гібридні підходи [58]. Проте прогнозування формує лише оцінку майбутнього попиту і не охоплює всі операційні події, що змінюють фактичну траєкторію запасу. Інформаційна технологія управління запасами повинна поєднувати засоби прогнозування з отриманням і обробкою операційних даних про фактичний перебіг процесів поповнення, постачання та реалізації товарів.

Важливою передумовою аналітичного оцінювання є наявність достовірних операційних даних. Технології AIDC, RFID та IoT підвищують оперативність реєстрації руху товарів і дають змогу отримувати інформацію про фактичний стан запасів із меншою часткою ручних операцій [106]. У корпоративних системах ці дані доповнюються інформацією про замовлення, поставки, продажі, коригування та інші операційні дії, що створює інформаційну основу для подальшого аналізу причин відхилень [32]. У такій інформаційно-вимірювальній системі інформаційна технологія, що забезпечує відстеження подій, дає змогу пов'язувати операційні записи з конкретним товаром, місцем зберігання та моментом часу. Це підвищує придатність даних для адресного аналізу відхилень і прийняття рішень.

Для аналізу факторів суттєвим є не лише значення агрегованого показника, а й рівень деталізації первинних даних. Якщо інформація зберігається лише у вигляді підсумків за товарною групою або періодом, втрачається можливість встановити зв'язок між конкретним відхиленням і конкретною операційною подією. Натомість журнали подій із прив'язкою до об'єктів і часу дозволяють відновлювати фактичну послідовність процесу та аналізувати взаємодію кількох типів об'єктів [109]. Для інформаційно-вимірювальної системи важливим є збереження не лише поточних значень показників, а й історії їх змін. Інформаційна технологія, що реалізує відстеження подій, забезпечує відтворюваність вихідних даних і дає змогу перевіряти, які операційні записи були враховані під час формування результатів аналізу.

Таким чином, технологічна інфраструктура системи управління запасами має виконувати дві взаємопов'язані функції, а саме, забезпечувати

достовірне відображення стану товарного запасу та зберігати операційний контекст, у якому цей стан сформувався. Перша функція потрібна для коректного розрахунку показників ефективності, друга – для переходу від констатації відхилення до аналізу його причин.

Аналітичні можливості корпоративних інформаційних систем доцільно розглядати за рівнями деталізації результату. На першому рівні система фіксує фактичний стан і розраховує показники, на другому вона виявляє відхилення від нормативного або цільового значення. Третій рівень має пояснювати, які операційні події сформували конкретне відхилення та яким є їх кількісний внесок. Саме третій рівень є найбільш складним, оскільки потребує поєднання даних про стан запасу, події, їх часову послідовність і кількісний вплив.

Сучасні ERP, WMS і BI-рішення забезпечують інтеграцію даних, контроль запасів, планування, формування звітності [112] та підтримку управлінських рішень [14]. Однак наявність розвиненої функціональності не означає автоматичної наявності подієвої причинної атрибуції. Виявлення дефіциту, перевищення нормативного запасу або відхилення прогнозу характеризує результат, але не визначає кількісний внесок кожної операційної події в його формування. Для великих роздрібних мереж ця проблема посилюється масштабом даних. Кількість комбінацій «товар – місце зберігання – дата» та пов'язаних із ними операційних подій робить суцільний ручний аналіз практично неможливим. Порівняння експертного та алгоритмічного оцінювання в системах управління запасами також показує доцільність автоматизації аналізу значних масивів операційної інформації [117]. Отримана аналітична інформація створює основу для прийняття рішень щодо коригування параметрів поповнення та усунення виявлених причин відхилень.

Отже, технології обліку, прогнозування та бізнес-аналітики створюють необхідну інформаційну основу для оцінювання ефективності управління запасами, але не замінюють спеціалізований факторний аналіз. Для переходу від показника відхилення до обґрунтованого пояснення його причин необхідні

методи, що поєднують визначення причинно допустимих факторів із кількісною атрибуцією їх внеску. Для автоматизованого факторного аналізу до інформаційної бази висувуються більш жорсткі вимоги, ніж для формування агрегованої звітності. Недостатньо зберігати лише підсумковий залишок або сумарний обсяг продажів за період: необхідно мати можливість простежити, які операції змінювали стан запасу та в якій послідовності вони відбувалися. У системах управління запасами такими даними є початкові параметри замовлення, подальші коригування, планові та фактичні строки поставки, обсяги приймання, продажі, зміни облікового залишку та інші події, що впливають на матеріальний або інформаційний потік. Необхідність збереження подібної інформації безпосередньо впливає із задачі встановлення зв'язку між показниками ефективності та факторами, які їх сформували [3].

Суттєвим параметром якості аналітичних даних є їх часова узгодженість. Якщо події замовлення, поставки, продажу та коригування фіксуються з різною деталізацією часу або із затримкою, порядок їх фактичного виникнення може бути відтворений неправильно. Для звичайної підсумкової звітності така похибка не завжди критична, однак для подієвого факторного аналізу вона може змінити множину подій, які розглядаються як потенційно пов'язані з конкретним відхиленням. Тому доцільним є збереження часових міток подій, періоду їх дії та ідентифікаторів об'єктів, яких вони стосуються. Подібна логіка використання журналів подій характерна для аналізу послідовності операційних подій («process mining») та аналіз взаємопов'язаних подій бізнес-процесу («object-centric process mining»), де фактичний перебіг процесу відновлюється за зареєстрованими подіями та їх зв'язками з об'єктами [57; 109]. Тому інформаційно-вимірювальна система повинна забезпечувати реєстрацію часових міток операційних подій. Інформаційна технологія відстеження подій на основі цих даних дає змогу однозначно відновлювати послідовність операцій, необхідну для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Окремою вимогою є збереження зв'язків між операційними сутностями. Для аналізу запасів недостатньо знати, що в певний день було сформовано замовлення і окремо зареєстровано поставку. Необхідно визначити, яка саме поставка відповідає конкретному замовленню, які коригування були застосовані до нього, до якого товару та місця зберігання належать відповідні записи. Об'єктно-центричний підхід є релевантним саме тому, що дозволяє працювати з процесами, в яких одна подія може бути пов'язана з кількома типами об'єктів, а один об'єкт із послідовністю різнорідних подій. Дослідження процесу від заявки на закупівлю до розрахунку з постачальником («purchase-to-pay») показує можливість використання такого подієвого представлення для аналізу надлишкових запасів [57]. Відстеження подій у такому представленні має зберігати не лише їх часовий порядок, а й зв'язки з відповідними товарами, замовленнями, постачаннями та місцями зберігання.

Технології IoT, RFID та автоматизованого збору даних підвищують придатність інформації для такого аналізу, оскільки зменшують залежність від ручної реєстрації та підвищують оперативність отримання даних про фізичний рух товарів. У дослідженнях IoT для складського управління окремо розглядаються його вплив на точність обліку, швидкість операцій і можливості автоматизації [106]. Для факторного аналізу це має додаткове значення, зокрема чим точніше інформаційна система відображає фактичний стан і момент зміни запасу, тим меншим є ризик помилково інтерпретувати облікове відхилення як результат прогнозування, постачання або управлінського рішення. Для інформаційно-вимірювальної системи використання RFID та IoT зменшує залежність від ручної реєстрації операцій. Інформаційна технологія, що підтримує відстеження подій, використовує отримані дані для підвищення достовірності історії руху товарів і подальшого аналізу причин відхилень.

Водночас автоматизований збір даних сам по собі не забезпечує причинного пояснення. Великий масив детальних подій потребує правил відбору інформації, релевантної конкретному відхиленню. Наприклад, для

випадку втраченого продажу не кожна подія, що відбулася раніше за датою, може розглядатися як його причина, зокрема вона має стосуватися відповідного товару та місця зберігання, змінювати доступний запас у напрямі, сумісному з дефіцитом, і мати кількісно обмежений вплив. Аналогічно для надлишкового запасу необхідно відбирати події, здатні збільшувати фактичний запас або зменшувати обґрунтований цільовий рівень. Отже, інформаційна технологія забезпечує спостережуваність процесу, а причинна допустимість визначається вже на рівні аналітичної моделі.

Таким чином, розвиток технологій обліку й інтеграції даних змінює саму можливість оцінювання ефективності систем управління запасами. За наявності лише агрегованих показників аналіз неминуче залишається на рівні загальних висновків про товарну групу, період або тип фактора. За наявності подієвих журналів із часовими мітками та зв'язками між об'єктами стає можливим перехід до адресного аналізу конкретної комбінації «товар – місце зберігання – дата». Проте для реалізації такого переходу потрібен окремий метод кількісної атрибуції, оскільки ні технологія збору даних, ні аналіз послідовності операцій подій самі по собі не визначають, яку частину величини конкретного відхилення слід віднести до кожної причинно допустимої події [98].

Технології аналізу ефективності систем управління запасами базуються на застосуванні кількісних і якісних методів оцінювання, які дозволяють визначати результативність процесів управління, виявляти проблемні ділянки та оцінювати вплив різних факторів на ключові показники діяльності підприємства [9; 40]. Кількісні методи орієнтовані на вимірювання результативності функціонування системи за допомогою числових показників і дозволяють об'єктивно оцінити стан запасів та ефективність процесів управління ними. Достовірність таких показників безпосередньо залежить від якості первинних даних, які інформаційно-вимірювальна система формує на основі фактичних операцій з товарними запасами.

До найважливіших показників належать рівень запасів [9], який характеризує відповідність обсягу запасів потребам підприємства, оборотність запасів, а також витрати на зберігання, які включають витрати на складські приміщення, страхування, комунальні послуги та інші експлуатаційні витрати [11].

Важливими критеріями оцінювання є також рівень втрачених продажів [29], що характеризує наслідки дефіциту товарів, величина надлишкових запасів, які створюють додаткові витрати на зберігання, та точність прогнозування попиту, яка оцінюється за допомогою статистичних показників, зокрема MAPE, MAE, ME, MSE, RMSE та інших [40].

Якісні методи оцінювання використовуються для аналізу характеристик, які складно безпосередньо виміряти числовими показниками, але які істотно впливають на ефективність системи управління запасами. До таких характеристик належать рівень обслуговування клієнтів, ефективність складської логістики, а також якість даних, що використовуються інформаційною системою для прийняття управлінських рішень. Не менш важливою є оцінка зручності використання програмного продукту, оскільки складність взаємодії користувача із системою безпосередньо впливає на швидкість виконання операцій, імовірність помилок та загальну продуктивність роботи персоналу [74].

На практиці кількісні та якісні методи найчастіше застосовуються комплексно. Одним із найпоширеніших інструментів є ABC–XYZ-аналіз, який дозволяє класифікувати товари за економічною важливістю та стабільністю попиту, концентруючи увагу на найбільш значущих товарних позиціях [59].

Для оцінювання ефективності системи управління запасами використовується бенчмаркінг та аудит, що передбачає порівняння показників підприємства з найкращими галузевими практиками [87], та дає змогу виявити організаційні недоліки, а також аналіз відгуків клієнтів, що дозволяє оцінити якість обслуговування та відповідність роботи системи очікуванням споживачів.

Вплив методів управління ефективністю на рівень запасів досліджується в [79]. Зокрема в [46] досліджено вплив методу ABC аналізу, рівня запасів, що контролюється постачальником і підходу періодичного перегляду на рівень запасів. В [59] досліджено спосіб зниження рівня запасів через застосування ABC-XYZ аналізу, проаналізовано процес планування асортименту, замовлення та управління запасами. Представлено важливість моніторингу руху запасів для досягнення оптимального обсягу запасів, а також отриманих результатів і рекомендацій для майбутніх операцій.

По суті застосування ABC та XYZ методів – це поділ товарів на групи на основі важливості для бізнесу (для класифікації ABC) та на основі типу попиту (для класифікації XYZ) [80; 103]. В роздрібній торгівлі класифікацію ABC зазвичай виконують наступними ключовими факторами: прибуток, продажі, вартість запасів, витрати на замовлення.

В класифікації XYZ товари ділять на товари з високою передбачуваністю попиту, попит на ці товари є стабільним та легко прогнозується, середньою передбачуваністю попиту, це товари з сезонним або циклічним попитом, та низькою передбачуваністю попиту, це товари з нерегулярним та важкопрогнозованим попитом. Поділ на групи дозволяє оптимізувати управління запасами, забезпечуючи фокусування на найважливіших групах товарів, відповідно до їхньої важливості та передбачуваності попиту.

Проте методи ABC та ABC-XYZ ґрунтуються лише на декількох ключових факторах не враховуючи вплив інших важливих зовнішніх та внутрішніх факторів, таких як термін придатності, надійність постачальників, складність управління, стратегічне значення, зміна асортименту, тощо. Методи ABC та ABC-XYZ не дають відповіді на запитання, які фактори і в якій пропорції вплинули на ефективність роботи системи. Зважаючи на ці недоліки, методи ABC та ABC-XYZ можуть бути корисними інструментами для управління запасами, якщо їх використовувати в стабільних умовах ведення бізнесу, де вплив інших факторів є незначним.

Всі сучасні технології мають високий рівень автоматизації, але можливість автоматичного визначення факторів, що впливають на показники ефективності значно обмежена. В таблиці 1.1 наведено порівняння можливостей сучасних технологій щодо оцінювання ефективності систем управління запасами.

Таблиця 1.1

**Порівняння можливостей сучасних технологій щодо оцінювання  
ефективності систем управління запасами**

| Технологія   | Основне призначення               | Показники ефективності | Визначення причин відхилень | Кількісна оцінка впливу факторів |
|--------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| AIDC         | Автоматичний збір даних           | Частково               | Ні                          | Ні                               |
| RFID         | Контроль руху товарів             | Частково               | Ні                          | Ні                               |
| IoT          | Моніторинг у реальному часі       | Частково               | Ні                          | Ні                               |
| ERP          | Планування та управління запасами | Так                    | Частково                    | Ні                               |
| APS          | Прогнозування попиту              | Так                    | Частково                    | Ні                               |
| BI           | Візуалізація KPI                  | Так                    | Частково                    | Ні                               |
| ABC–XYZ      | Класифікація товарів              | Так                    | Частково                    | Ні                               |
| Benchmarking | Порівняння з еталоном             | Так                    | Ні                          | Ні                               |
| Audit        | Оцінка процесів                   | Так                    | Частково                    | Ні                               |

Для реалізації технологій оцінки ефективності управління запасами використовуються спеціалізовані інформаційні системи. Провідні системи управління запасами в світі за версією statistica.com – це SAP, що має частку ринку 19%, Oracle з 11% та Microsoft Dynamics 365 з 6% [38] (рис. 1.2). Незважаючи на відмінності в архітектурі та функціональних можливостях окремих програмних продуктів, більшість сучасних систем управління запасами реалізує однаковий набір базових функцій. Системи управління запасами SAP [90], Oracle [48] та Microsoft Dynamics 365 [71] мають широкий спектр функцій управління запасами, включаючи прогнозування попиту, управління запасами на основі ABC, планування закупівель, оптимізацію запасів, управління складами, контроль партій, аналітику запасів, моніторинг ланцюга постачання та багато іншого [33; 91]. Сучасні системи дедалі частіше

реалізують цю функцію із застосуванням технологій автоматичної ідентифікації, мобільних пристроїв, RFID та Інтернету речей, що значно підвищує достовірність і оперативність отримання даних [68; 102].

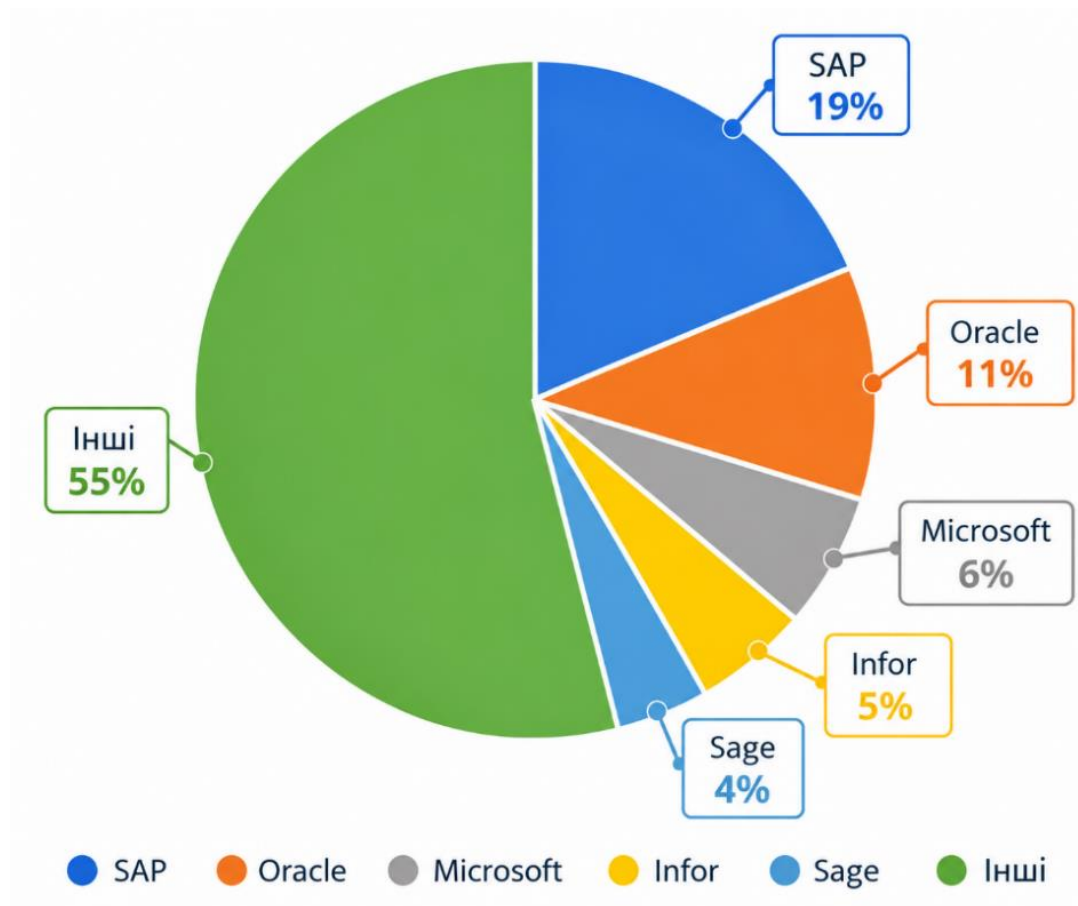


Рис. 1.2. Поділ ринку ERP систем [38]

У корпоративному середовищі інформаційно-вимірювальна система може бути інтегрована з ERP- та WMS-системами як джерело первинних даних. Інформаційна технологія, що забезпечує відстеження подій, дає змогу узгоджувати ці дані із записами відповідних бізнес-операцій та використовувати їх для прийняття рішень.

З точки зору масштабованості, всі системи підходять для підприємств будь-якого розміру, від малого до великого. Кожна з систем легко інтегрується з іншими системами того самого виробника, тобто SAP легко інтегрується з іншими системами SAP, такими як ERP та CRM, Oracle – з іншими системами Oracle, Microsoft Dynamics 365 – з іншими системами Microsoft. Є також можливості інтеграції з системами сторонніх розробників [71; 90].

Попри широкий набір функціональних можливостей, сучасні корпоративні системи переважно орієнтовані на прогнозування, планування, контроль запасів та візуалізацію показників. У разі відхилення фактичного стану від цільового користувач отримує інформацію про наявність проблеми, однак встановлення причин конкретного випадку зазвичай потребує окремої аналітичної процедури. Тому для задач факторного аналізу важливо розділяти функції виявлення відхилення та функції кількісного пояснення його формування. Окремим напрямом розвитку таких систем є застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування попиту й підтримки рішень щодо запасів [20; 96]. Перспективним підходом до адаптивного керування запасами є глибоке навчання з підкріпленням [19].

Дослідження, що поєднують моделі управління запасами з аналізом операційних процесів, демонструють перспективність використання подієвих даних для дослідження причин небажаних станів запасу. Зокрема, аналіз взаємопов'язаних подій бізнес-процесу застосовується для аналізу процесів закупівлі та випадків надлишкових запасів, а також інтегрується з математичними моделями оптимізації запасів [81]. Проведений аналіз показав відсутність методу, який визначає кількісний внесок конкретних причинно-допустимих подій у конкретне відхилення.

Таким чином, наявні технології управління запасами забезпечують автоматизацію основних інформаційних процесів, пов'язаних зі збором і накопиченням даних, контролем поточного стану запасів, прогнозуванням попиту, розрахунком показників забезпеченості та виявленням проблемних станів. Їх застосування дає змогу своєчасно ідентифікувати факти виникнення дефіциту, надлишку запасів, відхилень фактичних показників від розрахункових або нормативних значень та сформувати інформаційну основу для подальшого аналізу.

Водночас виявлення самого факту відхилення характеризує переважно результат зміни стану запасів, але не дає повного уявлення про причини його формування. Один і той самий проблемний стан може бути наслідком різних

операційних подій, пов'язаних із прогнозуванням попиту, формуванням і виконанням замовлень, зміною параметрів постачання, рухом товарних залишків, якістю вихідних даних та іншими процесами, що впливають на стан запасів [23]. Крім того, декілька таких подій можуть діяти одночасно або послідовно, формуючи сукупний вплив на величину відхилення.

Тому для адресного факторного аналізу недостатньо лише класифікувати стан запасів як дефіцитний або надлишковий. Необхідним є встановлення множини операційних подій, які є причинно допустимими для конкретного випадку відхилення, визначення їх часової відповідності стану дослідження та оцінювання потенційного впливу кожної події. Наступним завданням є кількісний розподіл величини встановленого відхилення між виявленими факторами з урахуванням їх причинної допустимості, часової послідовності та можливого внеску.

Такий підхід дає змогу перейти від констатації проблемного стану до формалізованого пояснення причин його виникнення. При цьому результатом аналізу має бути не лише перелік потенційних причин, а структурована кількісна оцінка, яка характеризує внесок окремих факторів у формування конкретного випадку дефіциту або надлишку запасів. Це створює передумови для автоматизації факторного аналізу та використання його результатів як інформаційної основи для прийняття рішень щодо управління запасами.

Отже, подальше дослідження потребує аналізу не лише технологій автоматизації обліку та контролю запасів, а й методів, здатних забезпечити прогнозування їх стану, встановлення причин виникнення відхилень та кількісне визначення внеску окремих факторів. Це зумовлює перехід від технологічного огляду засобів управління запасами до аналізу методів прогнозування, причинного аналізу та кількісної атрибуції факторів, що формують теоретико-методичну основу для розроблення запропонованої моделі та методів.

## 1.2. Аналіз методів прогнозування попиту, причинного аналізу та кількісної атрибуції впливу факторів

Для забезпечення відповідності рівня запасів попиту в системах управління запасами застосовуються методи прогнозування, точність яких впливає на оборотність запасів, витрати ланцюга постачання та рівень задоволеності клієнтів [105]. Вибір методу визначається властивостями часового ряду, доступністю даних і вимогами до точності прогнозу [42].

До базових статистичних методів належить ковзне середнє, яке згладжує випадкові коливання часового ряду та формує прогноз на основі попередніх значень [99]. Просте ковзне середнє визначається за формулою:

$$F_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} D_{t-i}, \quad (1.1)$$

де  $F_t$  – прогнозований попит у момент часу  $t$ ,  $D_{t-i}$  – попередні значення попиту,  $n$  – період усереднення.

Перевагами методу є простота реалізації та невисокі вимоги до даних і обчислювальних ресурсів [99]. Недоліками є запізнення реакції на зміну тренду та зниження точності за сезонності або значних коливань. Крім того, результат суттєво залежить від вибору періоду усереднення  $n$  [6]. Експоненційне згладжування надає більшу вагу останнім спостереженням [107]. Для рядів без вираженого тренду та сезонності застосовується просте експоненційне згладжування:

$$F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_{t-1}, \quad (1.2)$$

де  $F_t$  – прогноз у момент часу  $t$ ,  $D_t$  – фактичний попит,  $F_{t-1}$  – попереднє згладжене значення,  $\alpha$  – параметр згладжування ( $0 < \alpha < 1$ ).

Більше значення  $\alpha$  забезпечує швидшу реакцію на нові дані. За наявності тренду застосовується метод Холта:

$$F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(F_{t-1} + b_{t-1}); \quad (1.3)$$

$$b_t = \beta(D_t - D_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}, \quad (1.4)$$

де  $b_t$  – оцінка тренду,  $\beta$  – коефіцієнт тренду.

Для часових рядів із сезонними коливаннями використовується метод Холта–Вінтерса:

$$F_t = \alpha \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(F_{t-1} + b_{t-1}); \quad (1.5)$$

$$I_t = \gamma \frac{D_t}{F_t} + (1 - \gamma)I_{t-L}, \quad (1.6)$$

де  $I_t$  – сезонний коефіцієнт,  $L$  – довжина сезонного циклу.

Методи експоненційного згладжування є відносно простими, а моделі Холта та Холта–Вінтерса враховують тренд і сезонність [34; 62]. Їх обмеженнями є залежність від параметрів згладжування, зниження точності за різких змін попиту та відсутність безпосереднього врахування зовнішніх факторів [6].

ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) поєднує авторегресію, диференціювання для забезпечення стаціонарності та ковзне середнє. Загальна модель ARIMA(p, d, q) має вигляд:

$$F_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t, \quad (1.7)$$

де  $p$  – порядок авторегресії,  $d$  – порядок диференціювання,  $q$  – порядок ковзного середнього;  $c$ ,  $\varphi_i$ ,  $\theta_j$  – параметри моделі,  $Y_{t-i}$  – значення досліджуваного показника  $i$  періодів тому,  $\varepsilon_t$  – випадковий шум.

ARIMA враховує тренди та часові залежності [89], але орієнтована переважно на лінійні закономірності й історичні значення. Для сезонних рядів використовується SARIMA з додатковими сезонними параметрами [36; 37] [39; 55].

Регресійні моделі встановлюють залежність прогнозованої величини від набору факторів. Базовим варіантом є лінійна регресія:

$$F = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon, \quad (1.8)$$

де  $F$  – залежна змінна,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – фактори,  $\beta_0$  – вільний член,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – коефіцієнти регресії,  $\varepsilon$  – випадкова похибка.

Лінійна регресія є простою в обчисленнях та інтерпретованою, однак припущення про лінійність і чутливість до аномальних значень обмежують її застосування для складних нелінійних процесів. Для моделювання нелінійних залежностей застосовуються методи машинного навчання [97], зокрема нейронні мережі, випадковий ліс та градієнтний бустінг [50; 53]. Штучні нейронні мережі здатні виявляти складні закономірності у великих масивах даних [72]. Рівняння окремого нейрона має вигляд:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right), \quad (1.9)$$

де  $w_i$  – ваги,  $x_i$  – вхідні дані,  $b$  – зміщення,  $f(x)$  – функція активації.

Нейронні мережі адаптуються шляхом навчання вагових коефіцієнтів [72], але потребують достатнього обсягу даних і обчислювальних ресурсів [35]. Їх результат складніше інтерпретувати, а модель потребує налаштування та контролю перенавчання [17].

Випадковий ліс формує ансамбль дерев рішень на випадкових підмножинах даних та ознак; у задачах регресії прогноз визначається усередненням результатів дерев [76]:

$$y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i(x), \quad (1.10)$$

де  $y$  – кінцевий прогноз,  $N$  – кількість дерев,  $T_i(x)$  – прогноз  $i$ -го дерева.

Ансамбль дерев зменшує ризик перенавчання та придатний для багатовимірних даних [76], але потребує більших обчислювальних ресурсів і

є менш інтерпретованим порівняно з лінійними моделями. Градієнтний бустінг будує дерева послідовно, причому кожна наступна модель зменшує помилку попередньої. Загальний принцип описується рівнянням:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + \gamma h_m(x), \quad (1.11)$$

де  $F_m(x)$  – прогноз на кроці  $m$ ,  $F_{m-1}(x)$  – попередній прогноз,  $h_m(x)$  – нове дерево,  $\gamma$  – коефіцієнт навчання.

До поширених реалізацій належать екстремальний, полегшений та категоріальний бустинг. Градієнтний бустинг забезпечує високу точність для складних нелінійних залежностей [76], але потребує налаштування параметрів і може бути ресурсомістким [100]. Гібридні моделі поєднують статистичні та машинні методи: перші ефективно описують часові залежності, другі – складні нелінійні закономірності [70; 83]. Наприклад, ARIMA може визначати базову тенденцію, а екстремальний градієнтний бустинг або мережі довгої короткочасної пам'яті – моделювати залишкову компоненту [15; 73]. Результуючий прогноз може формуватися як зважена комбінація прогнозів:

$$y = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) + \dots + w_n f_n(x), \quad (1.12)$$

де  $w_i$  – вагові коефіцієнти,  $f_i(x)$  – прогноз окремої моделі.

Гібридні підходи підвищують гнучкість прогнозування [108], але ускладнюють налаштування та інтерпретацію результатів [15; 73]. У табл. 1.2 узагальнено основні переваги та недоліки розглянутих груп методів прогнозування.

*Таблиця 1.2*

**Переваги та недоліки методів екстраполяції, регресії та машинного навчання**

| Метод         | Переваги                                                  | Недоліки                                                                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Екстраполяція | Простота, швидкість, невисокі вимоги до даних і ресурсів. | Чутливість до коливань; припущення про збереження минулих тенденцій; обмежене врахування зовнішніх факторів. |

| Метод                 | Переваги                                                                                                             | Недоліки                                                                                                  |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Регресія              | Інтерпретованість, невисока обчислювальна складність, можливість урахування декількох факторів.                      | Залежність від якості даних; обмеження за складних нелінійних залежностей і високої варіативності попиту. |
| Машинне навчання (ML) | Моделювання складних нелінійних закономірностей, автоматизація та адаптивність при роботі з великими масивами даних. | Високі вимоги до даних, налаштування й обчислювальних ресурсів; складніша інтерпретація результатів.      |

Між прогнозуванням і фактичним продажем відбувається послідовність операцій, кожна з яких може змінити рівень запасу, зокрема замовлення коригується, поставка виконується частково або із затримкою, залишок змінюється через облікові події, а фактичний попит відрізняється від прогнозу. Тому однакова похибка прогнозу може приводити до різних кінцевих відхилень, а прогнозування слід розглядати як одну зі складових формування запасу [101]. Це зумовлює необхідність розмежування етапу прогнозування майбутньої потреби та подальшого аналізу причин фактично сформованих відхилень запасу. Місце прогнозування попиту та багатофакторної оцінки в процесі управління запасами наведено на рис. 1.3. Прогнозування використовується до формування фактичного результату і визначає очікувану потребу в товарі, тоді як багатофакторна оцінка виконується після фіксації відхилення та спрямована на встановлення причинно-допустимих операційних подій і кількісне оцінювання їх внеску [109].

Отже, оцінювання точності прогнозу не дозволяє повністю визначити причини конкретного відхилення запасу. Для цього необхідно встановити множину подій, які причинно допустимі щодо спостережуваного результату, та визначити їх кількісний внесок. Такі задачі частково розглядаються в межах аналізу першопричин, методів встановлення причинно-наслідкових зв'язків та причинних графових моделей [98; 119]. У сучасних дослідженнях для пошуку першопричин застосовуються причинний висновок, причинні графи, карти причинних знань і методи причинного ранжування [63; 114].

При цьому слід розмежовувати встановлення причинної допустимості та кількісну атрибуцію. Причинний аналіз визначає, чи може фактор бути пов'язаний із формуванням результату за прийнятими правилами та моделлю процесу.

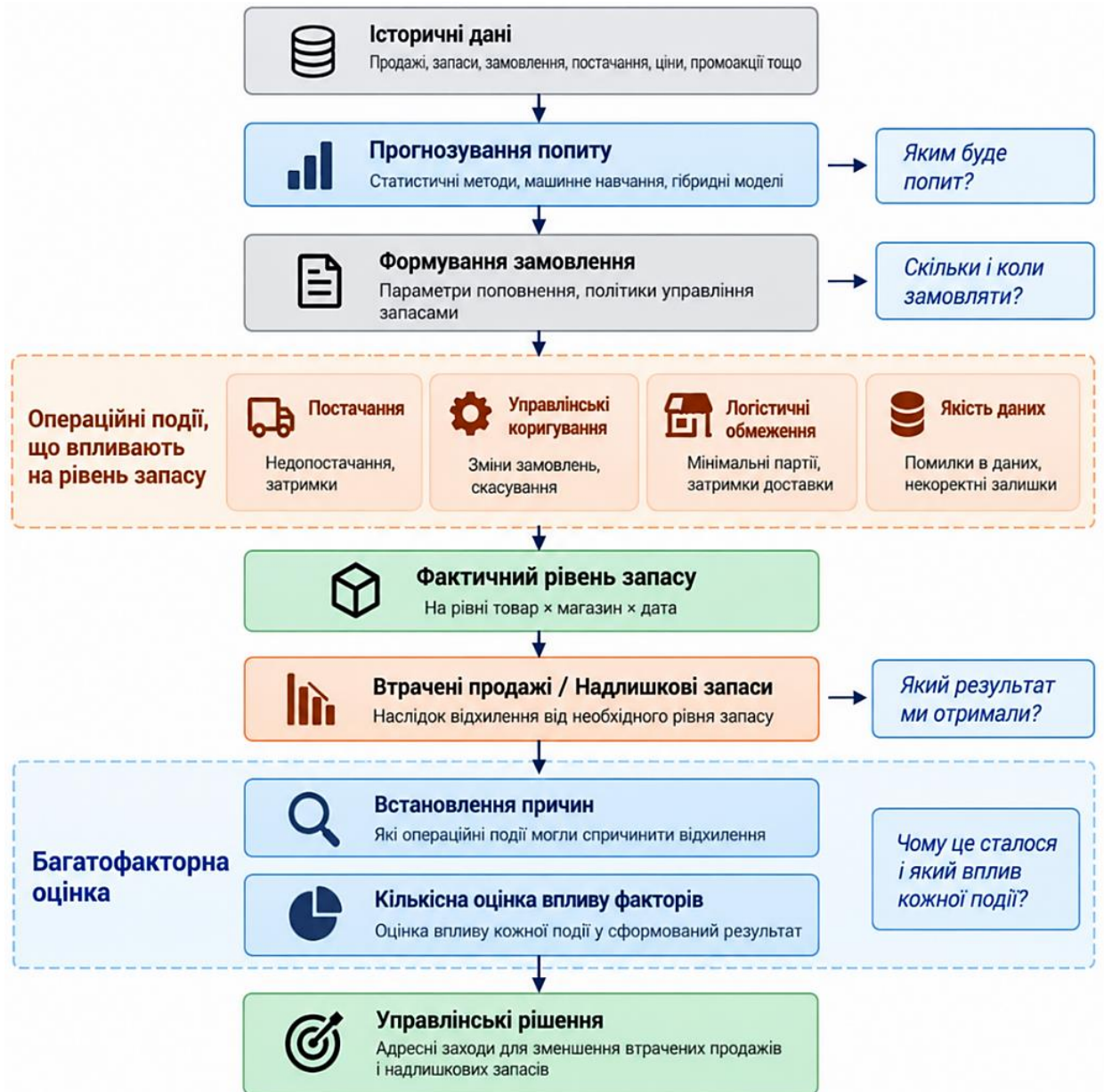


Рис. 1.3. Місце прогнозування попиту та багатофакторної оцінки в процесі управління запасами [109]

Кількісна атрибуція відповідає на інше питання, а саме, яку частину вже встановленого відхилення віднести до кожного з причинно допустимих факторів. Тому сам розподіл величини відхилення між факторами не є доказом причинного зв'язку. Одним із базових правил розподілу є пропорційна

атрибуція, за якої внесок визначається пропорційно оціненому потенційному впливу факторів:

$$c_i = D \frac{r_i}{\sum_{j=1}^k r_j} \quad (1.13)$$

де  $c_i$  – внесок фактора  $i$  у результуюче відхилення;  $D$  – величина відхилення, що підлягає розподілу;  $r_i$  – кількісний потенційний вплив фактора  $i$ ;  $k$  – кількість факторів, між якими здійснюється розподіл.

Наведена формула є формалізацією принципу пропорційного розподілу для досліджуваної задачі. Її перевагами є простота програмної реалізації, невисока обчислювальна складність та незалежність отриманого результату від порядку розгляду факторів. Водночас використання такого правила передбачає припущення, що фактичний внесок кожного фактора є пропорційним кількісній величині його потенційного впливу. Крім того, пропорційний розподіл не враховує фактичну часову послідовність виникнення операційних подій. Тому його доцільно розглядати як правило кількісного розподілу вже встановленого відхилення між причинно допустимими факторами, а не як самостійний метод встановлення причинного зв'язку.

Іншим способом розподілу є жадібний підхід. Загальний принцип жадібних алгоритмів полягає у послідовному виборі локально пріоритетного варіанта на кожному кроці [113]. Для задачі атрибуції перевагою такого підходу є можливість явно задати порядок розгляду факторів і обмежити внесок кожного з них доступним потенційним впливом. Водночас результат залежить від правила пріоритету, тому воно має бути обґрунтоване особливостями досліджуваного процесу.

Для задачі атрибуції цей принцип може бути використаний для послідовного розподілу відхилення між попередньо визначеними причинно допустимими факторами. На кожному кроці внесок фактора обмежується

величиною його потенційного впливу та нерозподіленою частиною відхилення та може бути формалізований у вигляді:

$$c_i = \min(r_i; D_{res}), \quad (1.14)$$

де  $c_i$  – внесок фактора  $i$  у результуюче відхилення;  $r_i$  – оцінений потенційний вплив фактора  $i$ ;  $D_{res}$  – частина результуючого відхилення, яка залишається нерозподіленою. Після врахування фактора нерозподілена частина відхилення зменшується:

$$D_{res}^{new} = D_{res}^{prev} - c_i \quad (1.15)$$

де  $D_{res}^{new}$  – нерозподілена частина відхилення після врахування фактора  $i$ ,  $D_{res}^{prev}$  – нерозподілена частина відхилення до врахування фактора  $i$ ,  $c_i$  – визначений внесок фактора  $i$ . Для процесів управління запасами порядок розгляду факторів може визначатися часом виникнення операційних подій. При цьому часовий пріоритет визначає порядок їх урахування, але сам по собі не є доказом причинного зв'язку.

Більш формалізованим підходом до кількісної атрибуції є метод значень Шеплі, який походить із теорії кооперативних ігор і використовується для розподілу спільного результату між учасниками або ознаками. У сучасних роботах значення Шеплі широко застосовуються для пояснення результатів моделей машинного навчання та оцінювання внеску окремих ознак [25]. Для фактора  $i$  значення Шеплі визначається за формулою:

$$\phi_i = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|! (|N| - |S| - 1)!}{|N|!} [v(S \cup \{i\}) - v(S)] \quad (1.16)$$

де  $\phi_i$  – значення Шеплі, що характеризує внесок фактора  $i$ ;  $N$  – множина всіх факторів;  $S$  – підмножина факторів, яка не містить фактора  $i$ ;  $|S|$  – кількість факторів у підмножині  $S$ ;  $|N|$  – загальна кількість факторів;  $v(S)$  – значення результату для множини факторів  $S$ ;  $v(S \cup \{i\})$  – значення результату після

включення фактора  $i$  до множини  $S$ ;  $v(S \cup \{i\}) - v(S)$  – граничний внесок фактора  $i$  для відповідної множини  $S$ .

Для класичного значення Шеплі характерні властивості ефективності, симетричності, нульового внеску та адитивності [64]. Перевагою підходу є формалізований розподіл результату з урахуванням граничного внеску фактора в різних коаліціях. Водночас така логіка відрізняється від задачі відтворення фактичної операційної послідовності: метод аналізує комбінації факторів, а не тільки реально спостережуваний порядок подій. Зі зростанням кількості факторів також збільшується обчислювальна складність, що зумовлює використання наближених алгоритмів оцінювання [25; 78].

Окремим напрямом є контрфактичний аналіз, концептуальною основою якого є порівняння спостережуваного результату з результатом за альтернативного стану досліджуваного фактора [22]. Для управління запасами це означає необхідність побудувати альтернативну траєкторію процесу після вилучення або зміни конкретної події. Наприклад, для оцінювання впливу ручного зменшення замовлення потрібно визначити, яким було б замовлення без коригування, якою була б поставка, як змінився б подальший залишок і чи виникли б втрачені продажі. Частина необхідних значень при цьому безпосередньо не спостерігається і має бути отримана з додаткової моделі.

Для представлення складних причинних залежностей застосовуються графові та мережеві моделі, в яких змінні або події подаються вузлами, а причинні зв'язки – ребрами. Такі підходи дають змогу аналізувати прямі й опосередковані залежності, формувати причинні графи та локалізувати першопричини [63; 114]. Їх застосування потребує побудови або виявлення причинної структури, яка може бути складною для великої кількості товарів, місць зберігання та операційних подій. У часових процесах суттєвою ознакою є порядок виникнення подій. Методи причинної діагностики використовують часову інформацію для встановлення напрямів залежностей і пошуку першопричин [111; 120]. Водночас часова близькість сама по собі не підтверджує причинного зв'язку. Для задачі управління запасами спочатку має

бути визначена причинна допустимість події щодо конкретного відхилення, після чого її час може використовуватися як правило пріоритету під час кількісної атрибуції.

Окремим сучасним напрямом аналізу операційних процесів є аналіз послідовності операцій подій та аналіз взаємопов'язаних подій бізнес-процесу, які використовують журнали подій для відновлення фактичного перебігу процесів і аналізу взаємодії декількох типів об'єктів [109]. В управлінні запасами аналіз взаємопов'язаних подій бізнес-процесу вже використовувався для виявлення причин надлишкових запасів у процесі закупівлі - від формування потреби до оплати, а також у підходах, що поєднують аналіз процесів із математичними моделями оптимізації запасів [28]. Ці роботи підтверджують доцільність подієвого представлення процесу, але не вирішують у загальному вигляді задачу розподілу величини кожного окремого відхилення між конкретними операційними подіями. На практиці поширеним способом визначення впливу факторів залишається експертне оцінювання. Фахівці на основі знання бізнес-процесів та доступної аналітичної інформації визначають ймовірні причини втрачених продажів або надлишкових запасів і оцінюють їх значущість. Порівняння експертного та алгоритмічного аналізу для систем управління запасами показує, що ці підходи можуть давати відмінні оцінки структури впливу факторів [117].

Через значний обсяг операційних даних експертний аналіз зазвичай виконується на агрегованому рівні – за періодом, товарною групою, постачальником або іншою аналітичною ознакою. Такий підхід дає змогу оцінити загальну роль факторів, але не забезпечує систематичного перегляду всіх операційних подій для кожної комбінації «товар – місце зберігання – дата». Унаслідок цього агрегована оцінка типу фактора не тотожна подієвій атрибуції конкретного відхилення. Результат експертного оцінювання також залежить від повноти інформації, доступної аналітику. Частина подій може не потрапляти до агрегованих звітів або бути представлена лише у первинних операційних записах. Перевагою експертного підходу є можливість

врахування професійного досвіду та слабо формалізованих факторів, а основними обмеженнями – суб’єктивність, трудомісткість, залежність від доступності даних і складність масштабування на великі масиви подій [117]. У табл. 1.3 узагальнено властивості розглянутих методів причинного аналізу та кількісної атрибуції.

Таблиця 1.3

### Порівняння методів причинного аналізу та кількісної атрибуції факторів

| Метод                      | Основний принцип                                                                              | Урахування часової послідовності | Переваги                                                       | Основні обмеження                                                                                    |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пропорційний розподіл      | Розподіл відхилення пропорційно впливу факторів                                               | Ні                               | Простота; незалежність від порядку факторів                    | Припущення про пропорційність внесків                                                                |
| Жадібний розподіл          | Послідовний розподіл за встановленим пріоритетом                                              | Так, якщо час визначає пріоритет | Простота; можливість урахування фактичної послідовності подій  | Результат залежить від правила пріоритету                                                            |
| Значення Шеплі             | Визначення середнього граничного внеску фактора                                               | Ні, у класичній постановці       | Формалізований розподіл спільного результату                   | Зростання обчислювальної складності; не відтворює одну фактичну послідовність                        |
| Контр-фактичний підхід     | Порівняння фактичного та альтернативного результатів                                          | Може враховувати                 | Причинна інтерпретація                                         | Необхідність моделювання неспостережуваного стану                                                    |
| Графові та мережеві методи | Представлення причинно-наслідкових зв’язків у вигляді мережі                                  | Може враховувати                 | Аналіз прямих та опосередкованих зв’язків                      | Необхідність побудови причинної структури                                                            |
| Методи часової причинності | Аналіз причинних залежностей у часовій послідовності                                          | Так                              | Урахування динаміки процесу                                    | Часова послідовність сама по собі не доводить причинність                                            |
| Експертне оцінювання       | Визначення причин та їх внеску на основі професійного досвіду й агрегованих аналітичних даних | Частково                         | Можливість врахування досвіду та слабо формалізованих факторів | Суб’єктивність; трудомісткість; залежність від доступних даних; переважно агрегований рівень аналізу |

Вони вирішують різні складові задачі, зокрема причинні графові методи спрямовані на встановлення структури залежностей; контрфактичний аналіз оцінює результат за альтернативного стану; значення Шеплі розподіляють спільний результат між факторами; пропорційний і жадібний розподіл виконують атрибуцію за наперед заданим правилом; експертне оцінювання використовує знання предметної області. Жоден із цих підходів автоматично не поєднує причинний відбір конкретних операційних подій, їх фактичний часовий порядок і обмеження внеску доступним кількісним впливом.

Розглянуті підходи переважно працюють на рівні змінних, типів факторів, моделей або агрегованих результатів. Для адресного аналізу управління запасами необхідний інший рівень деталізації: конкретна операційна подія має бути пов'язана з конкретним випадком відхилення. Один і той самий тип фактора може бути причиною лише частини випадків втрачених продажів або надлишкових запасів, тоді як інші випадки формуються іншими подіями.

Різницю між агрегованим і подієвим рівнями атрибуції наведено на рис. 1.4. Агрегована оцінка характеризує роль певного типу фактора для сукупності спостережень, тоді як подієва атрибуція визначає внесок конкретної операційної події у формування конкретного відхилення. Подієвий рівень є сумісним із процесним представленням даних, у якому зберігаються об'єкти, події та їх часові зв'язки [109].



Рис. 1.4. Рівні деталізації атрибуції [98]

Перехід від агрегованої оцінки факторів до аналізу конкретних випадків є важливим не лише для точнішого визначення причин відхилень, а й для формування коригувальних дій. У сучасних підходах орієнтованого на дії аналізу процесів результати аналізу розглядаються як основа для визначення конкретних управлінських дій щодо виявлених проблем [81]. У рекомендаційному моніторингу процесів передбачається відбір і ранжування окремих випадків, для яких втручання має найбільший очікуваний ефект [95], а також прийняття рішення про втручання на рівні конкретного випадку з урахуванням очікуваної результативності [28].

Доцільність адресного підходу додатково обґрунтовується неоднорідністю ефекту управлінських дій: адресні втручання можуть забезпечувати кращий результат, ніж рішення, засновані на середньому ефекті для всієї сукупності об'єктів [27]. Для управління запасами цей принцип узгоджується з підходами, у яких рішення формуються безпосередньо на рівні «місце зберігання – товар» [66]. Агрегована оцінка показує загальну роль фактора, але не визначає, для яких саме товарів і магазинів необхідне втручання. Отже, доцільним є виконання адресної коригувальної дії на основі визначення факторів, що призвели до конкретного відхилення.

Корпоративні інформаційні системи накопичують дані про замовлення, поставки, продажі, залишки, коригування та інші операційні дії. За наявності ідентифікаторів об'єктів і часових міток ці дані дають змогу визначати множину подій, що передували конкретному відхиленню. Проте для факторного аналізу необхідно додатково встановити, які з цих подій є причинно допустимими, та обмежити їх внесок величиною фактичного або розрахункового потенційного впливу.

Для великих торговельних мереж задача ускладнюється значною кількістю товарів, місць зберігання, дат і операційних подій. Суцільний експертний аналіз такого обсягу потребує агрегування, а універсальні причинні або контрфактичні моделі для кожного окремого випадку можуть вимагати складної побудови альтернативних сценаріїв. Тому до

спеціалізованого методу висувається вимога алгоритмічної реалізованості та масштабованості.

Недостатньо формалізованою для задач управління запасами залишається адресна атрибуція: визначення множини конкретних операційних подій, причинно допустимих щодо окремого випадку втрачених продажів або надлишкового запасу, та кількісного внеску кожної події на рівні «товар – місце зберігання – дата» з урахуванням її часового пріоритету й обмеженого потенційного впливу. Необхідність формалізації саме цієї задачі визначає зміст моделей, методу та алгоритмів, що розробляються у другому розділі.

### **1.3. Аналіз методів оцінювання стану запасів та його відхилень від цільового стану**

Методи оцінювання ефективності управління запасами охоплюють моделі визначення раціонального рівня запасу, методи класифікації товарів, показники оборотності й витрат, а також алгоритми розрахунку дефіциту та надлишку [104]. Для цілей дисертаційного дослідження важливо розмежувати дві задачі: визначення величини результуючого відхилення та встановлення причин його формування. Наявні методи першої групи формують числову оцінку стану запасу, яка надалі може використовуватися як вхід для факторного аналізу [11].

Метод економічного обсягу замовлення (Economic Order Quantity, EOQ) визначає розмір замовлення, що мінімізує суму витрат на оформлення замовлень і зберігання запасу за прийнятих припущень щодо попиту та витрат [12; 77]. У контексті оцінювання ефективності цей метод задає нормативний орієнтир для політики поповнення, але не встановлює причини конкретного фактичного відхилення запасу.

Формула економічного обсягу замовлення:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}, \quad (1.17)$$

де  $EOQ$  – економічний обсяг замовлення,  $D$  – річний попит на товар (шт.),  $S$  – вартість розміщення одного замовлення (грн./замовлення),  $H$  – вартість зберігання одиниці товару на рік (грн./шт.).

Класична модель  $EOQ$  передбачає відносно стабільні параметри попиту, часу постачання та витрат. За сезонності, нестабільного часу виконання замовлення, часткових поставок або зміни вартості зберігання фактична траєкторія запасу може істотно відхилитися від модельної. Тому  $EOQ$  є корисним для визначення політики поповнення, але його результат не слід ототожнювати з поясненням фактичних втрачених продажів або надлишкових запасів [12; 77].

$ABC$ – $XYZ$ -аналіз використовується для класифікації товарів за економічною значущістю та характером попиту.  $ABC$ -складова групує позиції за внеском у вибраний економічний показник, а  $XYZ$ -складова – за стабільністю або варіативністю попиту. Поєднання двох класифікацій дозволяє диференціювати правила планування, прогнозування та поповнення для різних груп товарів [59]. При цьому межі класів визначаються прийнятою методикою і не є універсальними для всіх підприємств.

Таблиця 1.4

Матриця  $ABC$ - $XYZ$  [59]

| Фінансова значущість     | X (стабільний попит)  | Y (помірні коливання) | Z (нестабільний попит)        |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| A (найцінніші товари)    | Пріоритетний контроль | Стандартний контроль  | Оцінка доцільності зберігання |
| B (середньої значущості) | Регулярна перевірка   | Динамічний контроль   | Мінімальний запас             |
| C (найменш значущі)      | Мінімізація запасів   | Замовлення під попит  | Уникнення надмірних запасів   |

$ABC$ – $XYZ$ -аналіз дає змогу пріоритизувати управлінські ресурси та застосовувати різні політики поповнення залежно від значущості товару і

передбачуваності попиту [59]. Водночас результатом методу є клас товару, а не кількісне пояснення конкретного дефіциту або надлишку. Тому він може використовуватися як контекст для управлінських рішень, але не замінює факторний аналіз операційних подій.

До обмежень ABC–XYZ-аналізу належить залежність від обраних критеріїв класифікації та історичних даних, а також відсутність прямого урахування всіх операційних подій, які змінюють фактичний запас. Зокрема, однакова комбінація класів не визначає, чи було конкретне відхилення спричинене похибкою прогнозу, зміною замовлення, частковою поставкою, логістичним обмеженням або іншою подією. Це обмежує використання методу для адресної причинної атрибуції.

Метод аналізу рівня запасів використовується для оцінки загального обсягу товарів на складі та відповідності прогнозованому попиту. Формула:

$$S_t = S_{t-1} + I_t - U_t, \quad (1.18)$$

де  $S_t$  – рівень запасів в періоді  $t$ ,  $S_{t-1}$  – рівень запасів в попередньому періоді,  $I_t$  – надходження в періоді  $t$ ,  $U_t$  – витрати в періоді  $t$ .

Метод дозволяє оцінити запаси в реальному часі та запобігає дефіциту або надлишковим запасам. Проте метод не враховує сезонні коливання попиту. Метод аналізу оборотності запасів визначає, скільки разів компанія оновлює свої запаси протягом певного періоду:

$$OT = \frac{C}{S_{avg}}, \quad (1.19)$$

де  $OT$  – оборотність запасів,  $C$  – собівартість реалізованої продукції,  $S_{avg}$  – середній рівень запасів.

Висока оборотність свідчить про ефективне управління запасами. Метод допомагає уникнути втрат через знецінення товарів, але не враховує сезонні коливання попиту. Метод аналіз витрат на зберігання розраховує витрати, пов'язані зі зберіганням товарів на складі:

$$SC = V \cdot S_{avg}, \quad (1.20)$$

де  $SC$  – загальні витрати на зберігання,  $V$  - вартість зберігання одиниці товару на рік,  $S_{avg}$  – середній рівень запасів.

Даний метод допомагає визначити економічно доцільний рівень запасів та сприяє зниженню фінансових витрат на зберігання товарів на складі. Проте витрати можуть змінюватися залежно від ринкових умов, таких як коливання вартості оренди складів, зміна цін на електроенергію, охорону та страхування, сезонні зміни попиту, що впливають на площу зберігання, тощо. Це впливає на точність прогнозів щодо витрат та збільшує ризик прийняття неправильних управлінських рішень через недооцінку або переоцінку реальних витрат.

Метод аналізу втрачених продажів визначає втрати через відсутність товару у потрібний момент

$$LS_t = D_t - L_t, \quad (1.21)$$

де  $LS_t$  – втрачений продаж в періоді  $t$ ,  $D_t$  – загальний попит на товар в періоді  $t$ ,  $L_t$  – фактичні продажі (реалізований попит) в періоді  $t$ .

Аналіз втрачених продажів дозволяє виявити дефіцитні товари, які часто відсутні на складі, і скоригувати стратегію закупівель, оптимізувати маркетингові стратегії та збільшити прибутковість. Неточні або неповні дані можуть призвести до помилкових висновків щодо рівня втрачених продажів [74].

Метод аналізу рівня надлишкових запасів визначає товари, що зберігаються на складі понад цільовий рівень:

$$OS_t = S_t - T_t, \quad (1.22)$$

де  $OS_t$  – надлишкові запаси в періоді  $t$ ,  $S_t$  – фактичний рівень запасів в періоді  $t$ ,  $T_t$  – верхня межа цільового рівня запасів в періоді  $t$ .

Метод запобігає втратам капіталу через надлишкові інвестиції в запаси та допомагає уникати додаткових витрат на зберігання. Для коректної роботи методу необхідний точний прогноз попиту.

Метод аналізу точності прогнозування попиту оцінює, наскільки точними були попередні прогнози попиту [2]. Будь-яка методика прогнозування містить похибку, яка може суттєво впливати на ефективність ланцюга постачання [101]. Якщо прогнозований попит нижчий за реальний, компанія не встигає поповнити запаси вчасно. Це призводить до втрачених продажів та зниження виручки, погіршення рівня обслуговування клієнтів та підвищення термінових витрат на постачання. Якщо прогнозований попит перевищує реальний, компанія замовляє більше товарів, ніж потрібно. Наслідками цього є зростання витрат на зберігання, ризик псування або морального старіння продукції та зниження ліквідності через заморожені фінансові ресурси. Якщо похибка прогнозу коливається в широких межах, управління запасами стає складнішим, оскільки компанія не може передбачити необхідні обсяги замовлень, що викликає нестабільність у виробничому та логістичному плануванні, часті коригування замовлень та підвищений ризик помилкових рішень у закупівлях [105; 121].

Ключові метрики оцінки похибки прогнозу – це середня абсолютна похибка MAE (Mean Absolute Error), середня абсолютна відносна похибка MAPE (Mean Absolute Percentage Error), середньоквадратична похибка RMSE (Root Mean Squared Error) [2; 88]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_i - \hat{D}_i| ; \quad (1.23)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{D_i - \hat{D}_i}{D_i} \right| ; \quad (1.24)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \hat{D}_i)^2}, \quad (1.25)$$

де  $D_i$  – фактичний попит у момент часу  $i$ ,  $\hat{D}_i$  – прогнозований попит у момент часу  $i$ ,  $n$  – кількість періодів.

Зменшення похибки прогнозування безпосередньо впливає на ефективність управління запасами, оскільки дозволяє скоротити витрати на зберігання, знизити ризик виникнення дефіциту та надлишкових запасів, а також підвищити рівень обслуговування клієнтів. Для підвищення точності прогнозів застосовують декілька основних підходів. Насамперед це вибір математичної моделі, яка найбільше відповідає особливостям попиту конкретної товарної групи. Додаткового ефекту можна досягти завдяки використанню концепції Just-in-Time (JIT), що передбачає синхронізацію поставок із фактичною потребою та мінімізує обсяг запасів [11]. Важливим напрямом є також інтеграція процесів прогнозування з ланцюгом поставок, коли виробники, постачальники та роздрібні мережі обмінюються інформацією про попит і координують процеси планування, що сприяє підвищенню точності прогнозування та ефективності управління запасами [115].

Розглянуті методи характеризують різні аспекти результативності управління запасами, зокрема нормативний обсяг замовлення, класи товарів, фактичний рівень запасу, оборотність, витрати, дефіцит, надлишок і похибку прогнозування. Вони дають змогу виявити небажаний стан або оцінити його величину, однак переважно не визначають кількісний внесок конкретних операційних подій у формування цього стану. Саме тому в межах дисертації показники результату відокремлюються від подальшої задачі факторної атрибуції [98].

Інформаційна система управління запасами формує замовлення на основі прогнозу, поточного стану запасів і прийнятих правил поповнення. Після цього фактичний рівень запасу змінюється під впливом виконання замовлення, продажів, коригувань та інших операційних подій. Ефективний стан відповідає ситуації, коли запас достатній для задоволення попиту і водночас не перевищує обґрунтований цільовий рівень. Порухення цього

балансу проявляється у двох протилежних результатах – втрачених продажах і надлишкових товарних запасах [18].

У межах дослідження втрачені продажі та надлишкові товарні запаси обрано як результуючі показники, що характеризують протилежні напрями відхилення фактичного рівня запасу від необхідного. Недостатній запас за наявності попиту створює ризик незадоволеного попиту та втрачених продажів, тоді як перевищення цільового рівня формує надлишковий запас. На відміну від показників точності прогнозу або оборотності, ці показники безпосередньо характеризують наслідок порушення балансу між потребою і фактичною наявністю товару [46].

Зв'язок між напрямом відхилення рівня запасу та досліджуваними показниками наведено на рис. 1.5. Зниження запасу нижче рівня, достатнього для задоволення попиту, може формувати втрачені продажі, тоді як перевищення обґрунтованого цільового рівня призводить до надлишкових запасів. Така постановка дозволяє використовувати обидва показники як кількісну величину відхилення, що надалі підлягає факторній атрибуції.

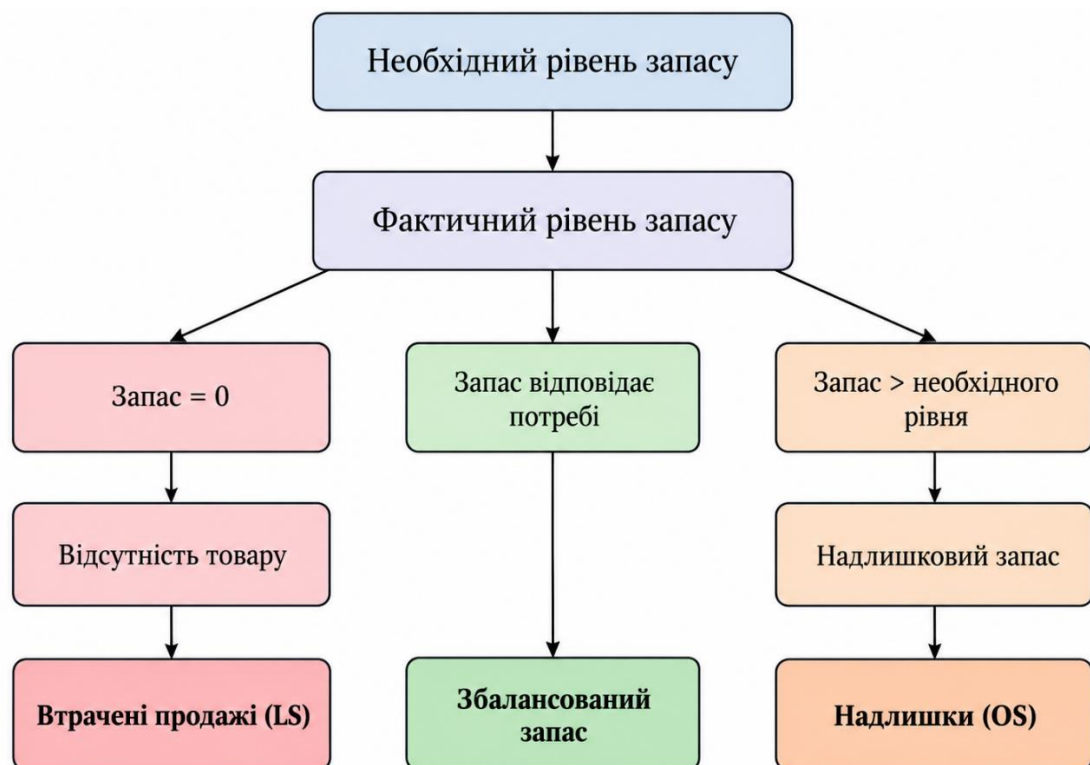


*Рис. 1.5. Зв'язок між напрямом відхилення рівня запасу та досліджуваними показниками*

Втрачені продажі характеризують незадоволений попит у ситуації, коли необхідний товар відсутній у доступному для продажу запасі. У моделях, де запасів недостатньо через невиконання замовлень незадоволений попит не переноситься автоматично на наступний період, що відрізняє такі системи від моделей із відкладеним попитом [18; 29]. Для роздрібно́ї торгівлі показник втрачених продажів є важливим індикатором наслідків дефіциту товару [48].

Базова формула розрахунку втрачених продажів наведена в (1.26). Кількість фактичних продажів  $L_t$  залежить від залишку товару, який є придатним до продажу  $S_t$ . Тобто, неможливо продати товар у більшій кількості, ніж є в наявності. Тому формула розрахунку втрачених продажів може бути представлена у вигляді:

$$LS_t = (D_t - S_t)^+, \quad (1.26)$$

де  $D_t$  – загальний попит на товар в періоді  $t$ ,  $S_t$  – кількість товару, що доступна до продажу в періоді  $t$ ,  $x^+ = \max(0; x)$ .

Точне значення загального попиту в період дефіциту не завжди спостерігається безпосередньо, оскільки фактичний продаж обмежений доступним запасом. Тому методи оцінювання втрачених продажів можна умовно поділити на прямі, що використовують додаткові спостереження незадоволеного попиту, та непрямі, що відновлюють очікуваний попит за історичними або модельними даними. У будь-якому випадку отримане значення є оцінкою величини результуючого відхилення, а не його причин.

Метод реєстрації запитів клієнтів фіксує випадки, коли клієнти запитували товар, але його не було в наявності. Реєстрація може відбуватися через касові системи, CRM, онлайн-форми або опитування персоналу. Даний метод потребує точного ведення обліку, та не враховує клієнтів, які просто йдуть, не залишаючи запити [65].

Метод аналізу чеків із незавершеними покупками виконує аналіз касових даних для виявлення клієнтів, які відмовилися від покупки через відсутність товару. Проте важко відрізнити реальні втрати продажів від

випадків, коли клієнт просто передумав. Даний метод може поєднуватись із реєстрацією запитів клієнтів [65].

Моніторинг поведінки клієнтів у точках продажу використовує відеоаналітику або сенсорні технології для спостереження за поведінкою клієнтів у магазинах. Моніторинг дозволяє спостерігати за поведінкою клієнтів у момент прийняття рішення про покупку. AI-аналіз відео ідентифікує зупинки клієнтів перед порожньою полицею, намагання знайти товар через запит персоналу та випадки, коли клієнт залишає магазин без покупки [94]. До недоліку методу слід віднести високі витрати на впровадження, проблеми з конфіденційністю та етичні питання. В непрямих (статистичних) методах розрахунку загальний попит на товар  $D_t$  визначають за допомогою математичних методів та алгоритмів прогнозування попиту, що були розглянуті в пункті 1.2 даного розділу. Також до непрямих методів розрахунку втрачених продажів відносять метод порівняння схожих періодів та метод Кростона.

В методі порівняння схожих періодів для оцінки втрачених продажів виконується аналіз продажів товарів-аналогів або періодів без дефіциту товару. Цей метод не потребує складних моделей, проте він не враховує зміну попиту через зовнішні фактори (криза, інфляція) та його неможливо застосувати для нових для ринку товарів. Формула:

$$LS_t = (L_{t-1} - L_t) \quad , \quad (1.27)$$

де  $L_{t-1}$  – продажі у попередньому аналогічному періоді,  $L_t$  – продажі у поточному періоді.

Метод Кростона застосовується для товарів із нерегулярним попитом (наприклад, запасні частини). Метод є простим у реалізації, проте не враховує сезонність та дає нестабільні результати при малих вибірках даних [52]. Формула:

$$D = \frac{\hat{D}}{P}, \quad (1.28)$$

де  $D$  – прогнозований попит,  $\hat{D}$  – середнє значення попиту у попередні періоди,  $P$  – середня довжина інтервалу між продажами.

Надлишковий товарний запас (overstock) виникає, коли фактичний запас перевищує рівень, обґрунтований очікуваним попитом, правилами поповнення та прийнятими нормативами. Надлишок пов'язаний із додатковими витратами на зберігання, заморожуванням оборотного капіталу та ризиком знецінення товару. Процесне дослідження надлишкового товарного запасу показує, що його формування може бути пов'язане з конкретними подіями, що виникли від формування замовлення до постачання, що підтверджує необхідність аналізу не лише величини надлишку, а й операційної послідовності, яка до нього привела [57].

Коефіцієнт оборотності запасів показує інтенсивність оновлення запасу протягом періоду. Його зниження може бути індикатором накопичення повільно реалізованих товарів, але саме по собі не визначає величину надлишку відносно цільового рівня та не встановлює причину його появи [13]. Тому показник оборотності доцільно використовувати як агрегований індикатор ефективності, а не як метод подієвої причинної атрибуції.

Для безпосереднього кількісного визначення надлишку більш придатним є порівняння фактичного і цільового рівнів запасу. У такій постановці надлишковий запас визначається як додатна різниця між фактичним запасом та цільовим значенням. Коректність результату залежить від способу визначення цільового рівня, який має враховувати прогнозований попит, параметри постачання та правила поповнення.

Метод середнього рівня запасів – визначає надлишкові запаси як різницю між середнім рівнем запасів та цільовим рівнем запасу. Метод враховує коливання запасів та підходить для аналізу довгострокових тенденцій, проте не бере до уваги швидкість обороту товарів:

$$OS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i - T, \quad (1.29)$$

де  $OS$  – надлишковий товарний запас,  $n$  – кількість днів в періоді,  $S_i$  – значення залишку в день  $i$ ,  $T$  – верхня межа цільового рівня товарного запасу.

Цільовий рівень запасів залежить від попиту на товар, умови постачання та правил компанії [7]:

$$T = \min(D; p) + q, \quad (1.30)$$

де  $T$  – цільовий рівень запасів,  $D$  – прогнозований попит на товар,  $q$  – мінімальна кількість для візуальної представленості товару,  $p$  – кратність замовлення. Попит  $D$  визначають за допомогою методів та алгоритмів прогнозування, що були розглянуті в пункті 1.2 даного розділу.

Узагальнену класифікацію методів визначення втрачених продажів і надлишкових товарних запасів наведено на рис. 1.6. Для втрачених продажів можуть використовуватися прямі спостереження незадоволеного попиту або непряме відновлення очікуваного попиту, тоді як оцінка надлишків ґрунтується на показниках оборотності та порівнянні фактичного або середнього запасу з цільовим рівнем [13].



Рис. 1.6. Класифікація методів розрахунку втрачених продажів та надлишків

Порівняння методів оцінювання втрачених продажів показує, що їх точність істотно залежить від доступності інформації про незадоволений

попит. У системах управління запасами фактичні продажі під час дефіциту не відображають повний попит, тому відновлення втраченої частини потребує додаткових спостережень або моделі попиту [18; 29]. Для роздрібної торгівлі це означає, що однакова відсутність товару може мати різні наслідки залежно від інтенсивності попиту, наявності товарів-замінників та поведінки споживачів. Отже, на етапі факторного аналізу важливо розглядати оцінене значення втрачених продажів як результуючу величину, а невизначеність способу її розрахунку – як окреме обмеження інтерпретації [65].

Для надлишкових запасів аналогічним джерелом невизначеності є розрахунок цільового рівня запасу. Цільовий запас може залежати від прогнозованого попиту, часу виконання замовлень, страхового запасу, мінімальної партії, вимог до представленості та інших правил поповнення. Методи оптимізації запасів і вибору моделей прогнозування дозволяють обґрунтовувати параметри такої політики [30; 121], однак помилка в самому цільовому рівні змінює оцінену величину надлишку. Тому під час факторної атрибуції необхідно чітко розрізняти події, які змінили фактичний запас, і зміни параметрів, що визначають цільовий стан.

Результати факторного аналізу можуть використовуватися не лише для пояснення причин уже сформованого відхилення, а й як інформаційна основа для подальшого коригування параметрів політики управління запасами. Якщо аналіз значної кількості випадків виявляє стійке повторення певних причин відхилень, це може свідчити про необхідність перегляду прогнозних, логістичних або управлінських параметрів, що використовуються під час формування цільового рівня запасу. Методи оптимізації моделей прогнозування та поєднання моделей запасів з аналізом операційних процесів підтверджують доцільність використання результатів аналізу фактичних відхилень для вдосконалення параметрів подальшого планування та поповнення запасів [121].

Таким чином, факторний аналіз формує зворотний інформаційний зв'язок у процесі управління запасами, зокрема цільовий стан

використовується для виявлення відхилення, встановлені причини та їх кількісний внесок використовуються для вибору коригувальних дій, а результати аналізу сукупності відхилень можуть бути підставою для перегляду параметрів, за якими формується цільовий стан у наступних періодах. При цьому факторний аналіз безпосередньо не визначає нового цільового стану, а надає інформацію для прийняття відповідного управлінського рішення. Цільовий стан для вже досліджуваного випадку має залишатися незмінним, оскільки його ретроспективне коригування одночасно змінило б і величину відхилення, що підлягає факторній атрибуції.

Важливою особливістю обох показників є їх динамічний характер. Дефіцит або надлишок у конкретну дату формується не лише поточним значенням продажу чи поставки, а й накопиченим результатом попередніх операцій. Подія, що відбулася раніше, може впливати на запас протягом декількох наступних періодів. Дослідження надлишкових запасів із використанням об'єктно-орієнтованого аналізу процесів демонструє доцільність аналізу послідовностей операцій та зв'язків між об'єктами процесу закупівлі - від формування потреби до оплати [57]. Для задачі дисертації це обґрунтовує необхідність зберігати залишковий кількісний вплив події після часткового віднесення її внеску до попереднього відхилення.

Отже, методи розрахунку втрачених продажів та надлишків мають забезпечити числове визначення результуючого відхилення, але не повинні підміняти процедуру встановлення його причин. Для подальшого аналізу потрібна окрема множина операційних подій із параметрами часу, напряму та потенційної величини впливу. Така постановка узгоджується з підходом до оцінювання ефективності інформаційних систем управління запасами, в якому показники результату пов'язуються з факторами, що на них вплинули [5; 8].

Таким чином, аналіз наявних методів дозволяє сформулювати вимоги до вхідних даних наступного етапу дослідження. Для кожної комбінації «товар – місце зберігання – дата» необхідно мати оцінену величину втрачених продажів або надлишкового запасу, цільовий чи референтний рівень для відповідного

показника, а також набір операційних подій, здатних змінювати фактичний або цільовий стан. Подальша задача полягає не в повторному розрахунку показника, а в кількісному розподілі його величини між причинно допустимими подіями за формалізованими правилами.

Показники втрачених продажів і надлишкових товарних запасів можуть бути подані в натуральних одиницях, грошовому вираженні та у відносній формі. Натуральна величина використовується для кількісної атрибуції на рівні конкретного товару, грошове представлення – для оцінювання економічної значущості, а відносні показники – для порівняння різних товарів, місць зберігання та періодів. Формула розрахунку втраченого доходу:

$$ALS_t = LS_t \cdot PS; \quad (1.31)$$

$$AOS_t = OS_t \cdot PP; \quad (1.32)$$

$$LS\%_t = \frac{LS_t}{D_t}; \quad (1.33)$$

$$OS\%_t = \frac{OS_t}{S_t}, \quad (1.34)$$

де  $ALS_t$  – втрачений дохід товару в періоді  $t$ ,  $LS_t$  – втрачений продаж одиниці товару в періоді  $t$ ,  $PS$  – ціна продажу товару,  $AOS_t$  – надлишок товару в періоді  $t$  в грошовому вигляді,  $OS_t$  – надлишок товару в періоді  $t$ ,  $PP$  – ціна закупки товару,  $LS\%_t$  – процент втрачених продажів в періоді  $t$ ,  $D_t$  – попит на товар в періоді  $t$ ,  $OS\%_t$  – процент надлишку товару в періоді  $t$ ,  $S_t$  – залишок товару в періоді  $t$ .

Таким чином, наявні методи дозволяють розрахувати або оцінити величину втрачених продажів і надлишкових товарних запасів, але розрахунок результуючого показника не відповідає на питання про його причини. Для подальшого факторного аналізу необхідно перейти від величини відхилення до множини конкретних операційних подій, визначити їх причинну допустимість щодо відповідного випадку та кількісно розподілити між ними результуюче відхилення з урахуванням часового порядку й обмеженого потенційного впливу.

## Висновки до першого розділу

У першому розділі «Аналіз моделей, методів та програмних засобів управління запасами на основі оцінки їх стану» було проведено огляд підходів, методів та засобів управління, аналіз методів прогнозування попиту, причинного аналізу та кількісної атрибуції впливу факторів, аналіз методів оцінювання стану запасів та його відхилень від цільового стану.

За результатами проведеного аналізу моделей, методів та програмних засобів управління запасами встановлено, що сучасні AIDC, RFID, IoT, ERP, WMS і BI-рішення забезпечують автоматизований збір, накопичення та інтеграцію операційних даних, прогнозування попиту, контроль стану запасів і виявлення відхилень від цільового стану. Водночас ці технології переважно фіксують стан системи та його зміни, але не забезпечують автоматизованого визначення кількісного впливу конкретних операційних подій на формування окремих випадків втрачених продажів і надлишкових товарних запасів. У цьому контексті інформаційна технологія має забезпечувати не лише накопичення операційних даних, а й їх підготовку до подальшого аналізу причин відхилень.

Аналіз методів прогнозування попиту показав, що статистичні методи, методи машинного навчання, нейронні мережі та гібридні моделі дають змогу підвищувати точність прогнозу. Проте прогноз є лише одним із параметрів процесу управління запасами. Фактичний стан запасів додатково залежить від виконання поставок, коригування замовлень, логістичних обмежень, зміни параметрів поповнення, якості даних та інших операційних подій. Тому підвищення точності прогнозування не усуває необхідності визначення причин фактичних відхилень запасу.

Дослідження методів причинного та процесного аналізу, контрфактичних підходів і методів кількісної атрибуції показало, що вони вирішують окремі складові задачі визначення причинних, часових і процесних залежностей або розподілу результуючого ефекту між факторами. Для задач управління запасами доцільно розмежовувати визначення множини причинно

допустимих операційних подій та подальшу кількісну оцінку їх впливу. Статистичний зв'язок, часова близькість або належність подій до одного процесу самі по собі не є достатніми підставами для віднесення їх впливу до конкретного відхилення.

Аналіз методів оцінки втрачених продажів і надлишкових товарних запасів показав, що вони дають змогу визначити величину відхилення, однак не встановлюють операційні причини його виникнення. Для втрачених продажів додатковою задачею є визначення незадоволеного попиту в періоди дефіциту, а для надлишкових запасів – визначення цільового рівня запасу. Тому розрахунок величини відхилення та визначення факторів, які його сформували, доцільно розглядати як окремі послідовні етапи аналізу.

Встановлено, що для адресної багатофакторної оцінки аналіз необхідно виконувати на рівні комбінації «товар – місце зберігання – дата». Для кожної операційної події мають бути визначені причина, час виникнення, напрям і потенційна величина впливу. При кількісній оцінці необхідно враховувати фактичну часову послідовність подій та обмеженість їх впливу, що дає змогу уникнути повторного віднесення вже врахованої частини впливу однієї події до наступних відхилень і забезпечити простежуваність результатів.

Таким чином, наявні підходи не забезпечують комплексного автоматизованого визначення кількісного впливу конкретних причинно допустимих операційних подій на формування окремих випадків втрачених продажів і надлишкових товарних запасів з одночасним урахуванням їх часової послідовності та обмеженого кількісного впливу. Це обґрунтовує необхідність розробки моделі та методів управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану, у яких конкретне відхилення пов'язується з операційними подіями, а результати оцінки використовуються як інформаційна основа для формування коригувальних управлінських рішень.

Основні результати досліджень відображено у працях здобувача [2; 4; 5; 6; 7; 8; 116; 117].

## **РОЗДІЛ 2. Розробка моделі, методів та алгоритмів багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану в системах управління запасами**

### **2.1. Модель управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану**

Управління запасами є процесом планування, контролю та регулювання кількості товарів, що перебувають у системі зберігання та реалізації. Основним завданням управління запасами є забезпечення необхідного рівня наявності товару для задоволення попиту за одночасного обмеження обсягів надлишкових товарних запасів. Функціонування інформаційної системи управління запасами охоплює взаємопов'язані процеси прогнозування попиту, розрахунку та формування замовлень, виконання поставок, обліку продажів і залишків, а також контролю операційних подій, що впливають на стан товарного запасу. Порушення або відхилення під час виконання зазначених процесів можуть призводити до зміни фактичного стану запасу та формування небажаних результатів у вигляді втрачених продажів або надлишкових товарних запасів.

Для кількісного оцінювання таких відхилень необхідно визначити стан, який характеризує очікувану поведінку запасу за заданих параметрів управління та за умов відсутності досліджуваних операційних відхилень. У цій роботі такий стан визначено як цільовий стан системи управління запасами. Під цільовим станом системи управління запасами будемо розуміти розрахунковий стан товарного запасу, сформований відповідно до заданих параметрів управління запасами за умов відсутності досліджуваних операційних відхилень. Цільовий стан задає розрахункову траєкторію товарного запасу, відносно якої визначаються відхилення фактичного стану та здійснюється подальше кількісне оцінювання впливу операційних факторів. Математичне моделювання цільового стану дає змогу формалізувати очікувану зміну товарного запасу в часі та використовувати отриману

траєкторію як базу для визначення фактичних відхилень. При цьому цільовий стан не ототожнюється з глобально-оптимальним станом системи. Його призначення полягає у формуванні розрахункової бази, яка забезпечує порівняння фактичного стану з очікуваним станом за заданих умов функціонування системи. Для математичного моделювання взаємозв'язку між цільовим і фактичним станами запасу використано таке формалізоване представлення Логіку розробленої моделі можна представити у наступному вигляді (2.1):

$$S_t^{tar}, S_t^{fact} \rightarrow \{LS_t, OS_t\} \rightarrow R_t \rightarrow CR_t, \quad (2.1)$$

де  $S_t^{fact}$  – фактичний залишок товару в момент часу  $t$ ,  $S_t^{tar}$  – залишок товару в цільовому стані системи в момент часу  $t$ ,  $LS_t$  – величина втрачених продажів;  $OS_t$  – величина надлишкового товарного запасу,  $R_t$  – множина операційних факторів,  $CR_t$  – результат кількісної атрибуції внеску причинно допустимих факторів у сформоване відхилення.

Запропонована модель передбачає послідовне виконання наступних етапів: визначення цільового та фактичного стану запасів, виявлення відхилень, багатофакторне оцінювання причинно-допустимих операційних подій, підготовку аналітичної інформації для підтримки управлінського рішення, реалізацію коригувальної дії та повторне оцінювання стану запасів.

На початковому етапі цільовий  $S_t^{tar}$  та фактичний  $S_t^{fact}$  рівні запасів визначаються відповідно до даних та параметрів процесу поповнення запасу з ERP-, WMS- та POS-систем. До даних та параметрів належать відомості про графіки замовлення, кількість для візуальної представленості, залишки товарів, попит, замовлення, постачання та інші операції, що характеризують перебіг процесу управління запасами. У запропонованій моделі інформаційно-вимірювальна система є джерелом фактичних даних про стан і рух товарних запасів. Інформаційна технологія відстеження подій забезпечує зв'язок цих даних з операційним контекстом, що необхідно для подальшого аналізу та прийняття рішень. На основі цих даних розраховуються показники відхилень

фактичного стану системи від цільового: втрачені продажі  $LS_t$  і надлишкові товарні запаси  $OS_t$ . Якщо втрачені продажі або надлишки відсутні, здійснюється перехід до наступного циклу оцінювання, в іншому випадку - виконується багатофакторна оцінка відповідного показника.

На першому етапі багатофакторної оцінки формується множина причинно-допустимих операційних подій, які могли бути пов'язані з виникненням досліджуваного відхилення. При цьому додатково використовуються дані про зареєстровані операційні події, час їх виникнення та кількісні параметри, необхідні для визначення їх потенційного впливу на товарний запас.

Для відібраних подій формується набір  $R_t[id, n, r]$ , що містить інформацію про тип події, її часову позицію та потенційний кількісний вплив на товарний запас. Повнота набору  $R_t$  безпосередньо залежить від того, наскільки інформаційно-вимірювальна система забезпечує реєстрацію фактичних параметрів операційних подій. Інформаційна технологія відстеження подій доповнює ці дані відомостями про тип і час події, що надалі використовуються під час аналізу та прийняття рішень. На наступному етапі виконується кількісне оцінювання впливу відібраних операційних подій у формуванні конкретного випадку втрачених продажів або надлишкового товарного запасу, результат якого формується у вигляді  $CR_t[id, cr]$ . Таким чином, результат багатофакторної оцінки містить деталізовану інформацію про товар, місце зберігання та період в який було виявлено відхилення, та кількісний вплив пов'язаних з цим причинно-допустимих операційних подій.

Сформований результат  $CR_t$  використовується як аналітична інформація для підтримки адресного управлінського рішення. Прийняття рішень у межах запропонованої моделі ґрунтується на поєднанні величини виявленого відхилення з інформацією про фактори, що його сформували. На їх основі спеціаліст з управління запасами здійснює вибір або уточнення коригувальної дії щодо конкретного виявленого відхилення. При цьому запропонована

модель не передбачає автоматичного вибору управлінського рішення та не замінює спеціаліста, який його приймає.

Після реалізації коригувальної дії змінюється перебіг відповідних операційних процесів, що відображається в оновлених даних корпоративних інформаційних систем. На їх основі визначається новий фактичний стан запасу  $S_{t+1}^{fact}$ , який використовується у наступному циклі оцінювання. Оцінка стану запасів і оновлення аналітичної інформації здійснюються з періодичністю  $AP$ , яка визначає частоту виконання багатофакторної оцінки.

Проведемо деталізацію окремих складових запропонованої моделі. Насамперед необхідно визначити умови та параметри процесу поповнення запасів, на основі яких формується цільовий стан системи, а також встановлюється часова структура операційних подій, що використовується під час їх подальшого багатофакторного оцінювання.



Рис. 2.1. Етапи процесу управління запасами

Першим етапом процесу поповнення запасів (рис. 2.1.) є виявлення потреби у формуванні замовлення. Строки та періодичність замовлень

визначаються графіком, який узгоджує роботу магазинів, складів і постачальників. Кількість товару система розраховує окремо відповідно до поточного стану запасів і прогнозованої потреби.

Інформаційна система автоматично контролює залишки товару в магазинах і на складах. За виконання заданих умов вона розраховує потребу в поповненні та формує пропозицію щодо замовлення з урахуванням історії продажів, сезонності, прогнозу попиту, строку та періодичності постачання, кратності замовлення й економічно доцільного розміру партії. За потреби пропозицію перевіряє менеджер, після чого замовлення надсилається постачальнику через систему електронного обміну даними EDI або інші канали зв'язку. Потреба в поповненні може бути визначена в будь-який момент, однак замовлення формується лише у строки, передбачені графіком. Графік установлює періоди приймання замовлень постачальником і строки їх виконання, забезпечуючи узгоджену взаємодію учасників логістичного ланцюга.

Після отримання замовлення постачальник комплектує партію та готує її до транспортування. Перебіг виконання замовлення може відстежуватися за допомогою інтегрованих інформаційних систем. Сформована партія доставляється на склад роздрібної мережі або безпосередньо до магазину. Під час приймання перевіряють якість і кількість товару, а також його відповідність супровідним документам. Результати перевірки реєструють в інформаційній системі, після чого товар передають на зберігання або розміщують у торговому залі відповідно до правил компанії. Оновлені відомості про запаси використовуються для прогнозування попиту та формування наступних замовлень. Під час виконання та приймання замовлення інформаційно-вимірювальна система забезпечує реєстрацію кількісних параметрів постачання. Інформаційна технологія відстеження подій забезпечує фіксацію часу відповідних змін, що створює основу для їх подальшого аналізу та прийняття рішень. Основні параметри графіку замовлень це [116]:

1. Частота замовлень. Це проміжок часу між двома послідовними замовленнями. Може бути фіксованим (наприклад, раз на тиждень) або змінним (залежно від попиту). Позначимо цей параметр як  $F$ .

2. Час виконання замовлення. Період між розміщенням замовлення і фактичним отриманням товару. Чим довший час виконання замовлення, тим раніше потрібно ініціювати замовлення, аби уникнути дефіциту. Позначимо цей параметр як  $LT$ .

3. Кількість для візуальної представленості товару. Це мінімальна кількість для візуальної представленості товару на полиці. Позначимо цей параметр як  $q$ .

4. Розмір замовлення. Це кількість товару, яку замовляють в одному циклі. Позначимо цей параметр як  $O$ .

5. Транзит. Це замовлення, яке вже розміщене, але ще не надійшло. У графіку замовлень воно відображається як заплановане збільшення запасу в майбутньому. Позначимо цей параметр як  $T$ .

6. Дата замовлення, дата постачання, дата наступного замовлення, дата наступного постачання – календарні дати, що визначаються через частоту замовлень та час виконання замовлень.

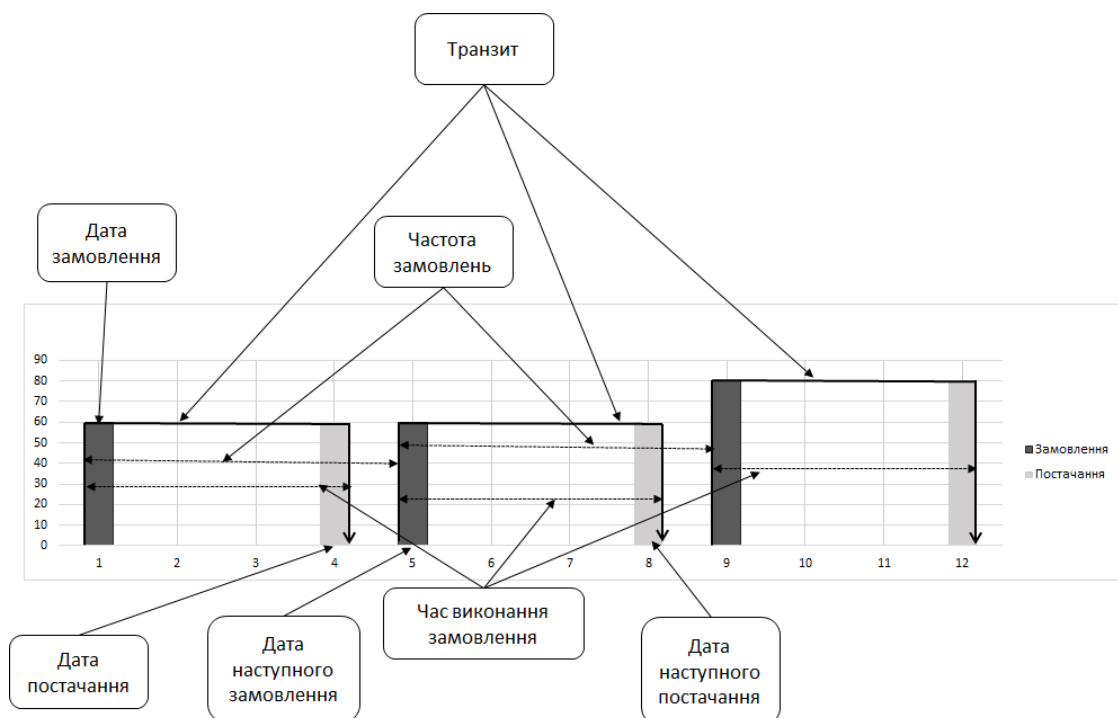


Рис. 2.2. Параметри графіка замовлень

Взаємозв'язок та часова послідовність зазначених параметрів (1-6) графічно зображена на рис. 2.2. Графік встановлює базову часову шкалу для дискретизації подій та подальшого застосування методів багатофакторної оцінки відхилень.

Період від дати постачання до дати наступного постачання є основним операційним циклом споживання. Цей період включає в себе час на виконання замовлень та частоту виконання замовлень, тобто дорівнює  $LT+F$ . Протягом цього періоду товар поступово продається або споживається, і нове поповнення має прийти до повного вичерпання запасу, щоб уникнути дефіциту або втрати продажів. Тому при формуванні замовлення необхідно забезпечити наявність товару від дати постачання до дати наступного постачання. Кількість замовлення на дату  $t$  може бути обчислена за формулою [116]:

$$O_t = \left( \sum_{i=t+LT}^{t+F} f_i + q - S_{t+LT} \right)^+, \quad (2.2)$$

де  $t$  – дата замовлення,  $LT$  – час на виконання замовлення,  $F$  – частота замовлень,  $f_i$  – прогноз продажів в періоді  $i$ ,  $q$  – кількість для візуальної представленості товару,  $x^+ = \max(0; x)$ ,  $S_{t+LT}$  – плановий залишок товару на дату постачання, який розраховується наступним чином:

$$S_{t+LT} = \left( S_t^{fact} - \sum_{i=t}^{t+LT-1} f_i \right)^+, \quad (2.3)$$

де  $S_t^{fact}$  – фактичний залишок товару на дату замовлення,  $LT$  – час на виконання замовлення,  $f_i$  – прогноз продажів в періоді  $i$ .

Зі збільшенням інтервалу між постачаннями зростають обсяг замовлення, рівень страхового запасу та витрати на зберігання, але зменшуються витрати на доставку (рис. 2.3). Частіші постачання дають змогу зменшити партії товару, рівень запасів і потребу у складських площах, а також

оперативніше реагувати на зміни попиту, проте підвищують логістичні витрати. Графік замовлень визначає строки та частоту поповнення запасів і узгоджує роботу всіх учасників логістичного ланцюга — від прогнозування попиту й закупівлі до постачання, складування та розміщення товару на полиці. Отже, він задає єдиний ритм взаємодії постачальників, складів і магазинів [4].

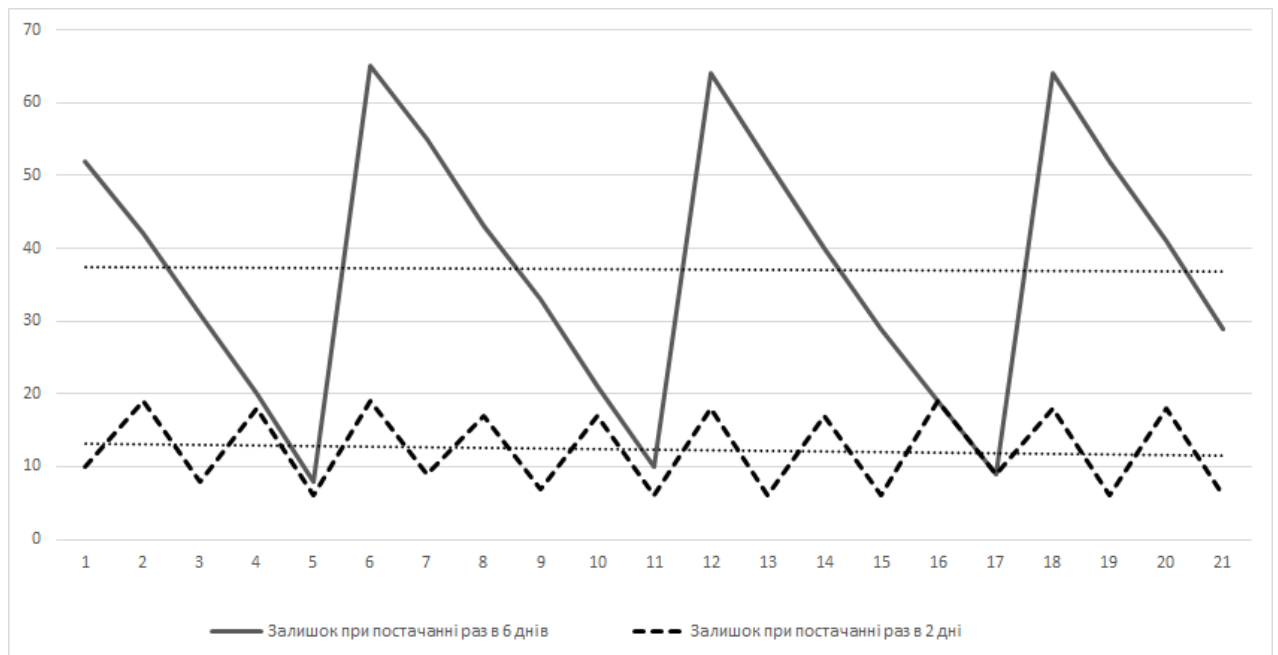


Рис. 2.3. Залежність рівня запасів від частоти постачання

В дату замовлення за графіком інформаційна система розраховує кількість для замовлення. Ця кількість перед відправкою постачальнику проходить через певні етапи додаткових обчислень та підтверджень та може змінитись під впливом правил та політик компанії а також суб'єктивних рішень менеджерів. Етапи, через які проходить кількість для замовлення, наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

### Етапи обробки замовлення в інформаційній системі

| Етап                                             | Опис                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Початкове замовлення                             | Розрахунок кількості товару для поповнення запасів на основі попередніх продажів, сезонності, прогнозу попиту, тривалості та циклічності поставок.                                 |
| Корекція до економічного обсягу замовлення (EOQ) | Початкове замовлення збільшується до EOQ або скасовується, якщо його обсяг замалий. Наприклад, за початкового замовлення 178 шт. та EOQ 230 шт. замовлення збільшується до 230 шт. |

| Етап                                                        | Опис                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Округлення до кратності замовлення товару                   | Замовлення автоматично округлюється в інформаційній системі до погодженої з постачальником кратності, яка може становити 1, 100, 1000 шт. тощо. У результаті кількість може збільшуватися або зменшуватися. Наприклад, за замовлення 230 шт. і кратності 100 шт. математичне округлення дає 200 шт.                                                                                                                                                                                                |
| Округлення до мінімального замовлення та логістичної партії | Мінімальне замовлення визначає найменший сумарний обсяг поставки та може задаватися у кількості, вазі, об'ємі, палетах або грошах. Наприклад, якщо мінімальне замовлення становить 20 000 грн, а сформоване — 15 000 грн, його збільшують до 20 000 грн. Логістична партія визначає кратність сумарного замовлення відповідно до параметрів транспорту. Наприклад, за партії 20 т і замовлення 23 т можливий обсяг 20 або 40 т. У результаті замовлення може як збільшуватися, так і зменшуватися. |
| Перевірка на фінансові обмеження                            | В період військових дій багато компаній знаходиться у фінансовій нестабільності. За наявності фінансового ліміту сума замовлення зменшується до встановленого обмеження або замовлення повністю блокується. Наприклад, за ліміту 300 000 грн замовлення, що перевищує цю суму, скорочується.                                                                                                                                                                                                       |
| Підтвердження менеджером                                    | Перед відправленням постачальнику замовлення може потребувати підтвердження менеджером, який на основі власного досвіду може його збільшити, зменшити або скасувати.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Для конкретизації цільового стану встановлено умови, за яких формується його розрахункова траєкторія, а саме замовлення формуються точно за графіком та не пропускаються, інформаційна система робить точний прогноз та розраховує початкове замовлення товару, постачальнику відправляється початкове замовлення, замовлення виконується постачальником вчасно та в повному обсязі, товар вчасно з'являється на полицях магазину, дані про продажі надходять в інформаційну систему вчасно та без викривлення.

В загальному вигляді рівняння зміни фактичного залишку можна представити як [116]:

$$S_t^{fact} = S_0^{fact} + \sum_{i=1}^{t-1} d_i, \quad (2.4)$$

де  $S_0^{fact}$  – початковий залишок,  $d_i > 0$  – події, що збільшують запас: постачання, повернення, виправлення помилок, виявлення надлишку, тощо,  $d_i < 0$  – події,

що зменшують запас: продажі, втрати, крадіжки, виправлення помилок, повернення постачальнику, списання, тощо.

Розглянемо, як змінюється залишок у цільовому стані інформаційної системи. Події, що збільшують та зменшують залишок у цільовому стані системи, – це постачання та продажі.

$$d_t = Q_t - p_t, \quad (2.5)$$

де  $Q_t$  – постачання в періоді  $t$ ,  $p_t$  – продаж в періоді  $t$ .

У цільовому стані системи початкове замовлення товару виконується постачальником вчасно та в повному обсязі. Якщо час виконання замовлення дорівнює  $LT$ , тоді:

$$Q_t = O_{t-LT}, \quad (2.6)$$

де  $O_{t-LT}$  – початкове замовлення.

У цільовому стані інформаційна система формує точний прогноз, тому прогноз продажів конкретного дня і дорівнює продажам цього дня. Отже, постачання у цільовому стані системи дорівнює:

$$Q_t = \left( \sum_{i=t}^{t+\tau_t} p_i + q - \left( S_{t-LT} - \sum_{i=t-LT}^{t-1} p_i \right)^+ \right)^+, \quad (2.7)$$

де  $Q_t$  – постачання в періоді  $t$ ,  $p_i$  – продаж в періоді  $i$ ,  $\tau_t$  – кількість днів до наступного постачання,  $q$  – кількість для візуальної представленості товару,  $LT$  – час на виконання замовлення,  $x^+ = \max(0, x)$

Залишок у цільовому стані системи визначається з урахуванням постачань та продажів. Він може бути виражений наступним чином [116]:

$$S_t^{tar} = S_{t-n}^{tar} + Q_{t-n} - \sum_{i=t-n}^{t-1} p_i \quad (2.8)$$

З урахуванням розрахунку постачання цільовий стан може бути представлений у вигляді

$$S_t^{tar} = \begin{cases} q + \sum_{i=t}^{t+\tau_t} p_i, & S_{t-LT-n}^{tar} \leq q + \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} p_i, \\ S_{t-n}^{tar} - \sum_{i=t-n}^{t-1} p_i, & S_{t-LT-n}^{tar} > q + \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} p_i. \end{cases} \quad (2.9)$$

де  $S_t^{tar}$  – залишок товару в цільовому стані;  $n$  – кількість періодів від останнього постачання до поточної дати;  $\tau_t$  – кількість періодів до наступного постачання;  $LT$  – час виконання замовлення;  $p_i$  – продаж у періоді  $i$ ;  $q$  – кількість товару для візуальної представленості.

Слід зазначити, що ситуація у цільовому стані системи, коли залишок  $S_{t-LT-n}^{tar}$  більше, ніж  $q + \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} p_i$  є окремим випадком початкових умов, з якими починає працювати модель. Такий залишок поступово буде зменшуватись, поки не досягне рівня, визначеного умовами цільового стану.

Таким чином, залишок  $S_t^{tar}$  у цільовому стані системи дорівнює кількості для візуальної представленості товару  $q$  плюс продажі  $p_i$  від поточної дати до дати наступного постачання. Після досягнення системою режиму, що відповідає заданим умовам управління, цільовий залишок визначається простішим співвідношенням [116]:

$$S_t^{tar} = q + \sum_{i=t}^{t+\tau_t} p_i, \quad (2.10)$$

де  $S_t^{tar}$  – залишок в цільовому стані системи управління запасами,  $\tau_t$  – кількість днів до наступного постачання,  $p_i$  – продаж в періоді  $i$ ,  $q$  – кількість для візуальної представленості товару. Графічне представлення залишку у цільовому стані наведено на рис. 2.4.

У цільовому стані системи залишки товару перебувають у визначених розрахункових межах без втрачених продажів і надлишкових товарних запасів. За рахунок продажів залишки зменшуються, а за рахунок постачань – збільшуються.

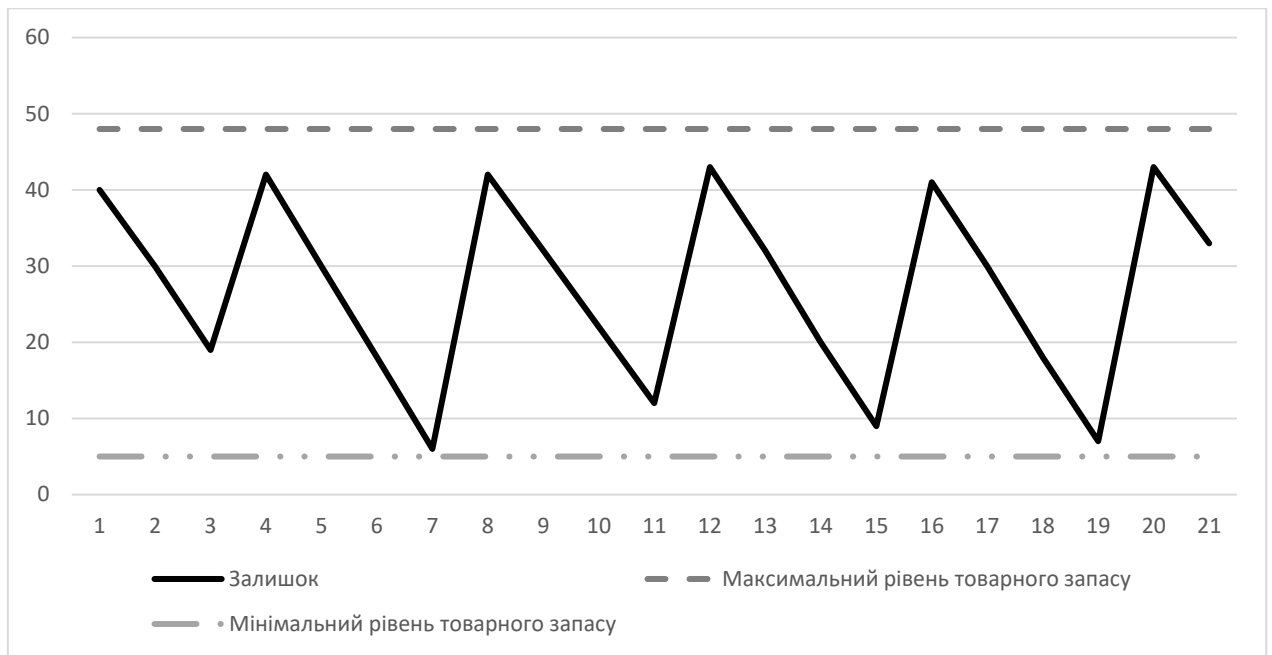


*Рис. 2.4. Залишок товару у цільовому стані системи управління запасами*

Мінімальний залишок у цільовому стані системи дорівнює кількості для візуальної представленості товару  $p$ , а максимальний залежить від сумарних продажів за період між постачаннями.

## **2.2. Формалізація факторів, що впливають на відхилення фактичного стану системи від цільового**

Фактор – це подія, ознака або обставина, яка впливає на певний процес, явище чи результат. У контексті аналізу систем управління запасами фактор – це будь-яка внутрішня або зовнішня подія, що впливає на функціонування, продуктивність та ефективність системи управління запасами. Наприклад: точність прогнозу попиту, час доставки, рівень автоматизації, сезонність.

Ефективність систем управління запасами залежить від широкого спектра факторів, які взаємодіють між собою і визначають, наскільки система здатна забезпечити наявність товару при мінімальних витратах.

Формалізація факторів дозволяє системно і комплексно підійти до аналізу систем управління запасами, виділивши як внутрішні й зовнішні чинники, так і керовані й неконтрольовані, що формують умови

функціонування системи. Для факторів, що мають кількісне вираження, інформаційно-вимірювальна система може бути джерелом фактичних параметрів, необхідних для їх подальшої формалізації.

Фактори можна розподілити за п'ятьма ключовими критеріями: джерела виникнення, характер впливу, можливість контролю, тривалість впливу та функціональна сфера. В табл. 2.2 наведено класифікацію факторів, що впливають на ефективність систем управління запасами [117].

Таблиця 2.2

**Класифікація факторів, що впливають на ефективність систем управління запасами**

| Критерій класифікації    | Тип факторів            | Приклади факторів                                                               |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| За джерелом виникнення   | Внутрішні               | Точність прогнозу, автоматизація, політика зберігання, персонал                 |
|                          | Зовнішні                | Сезонність, поведінка споживачів, політична ситуація, надійність постачальників |
| За характером впливу     | Кількісні               | Обсяг замовлень, час доставки, % точності прогнозу, витрати на логістику        |
|                          | Якісні                  | Комунікація між відділами, гнучкість до змін, репутація постачальників          |
| За можливістю контролю   | Керовані                | Політика замовлень, вибір ERP-системи, навички персоналу                        |
|                          | Некеровані              | Збої на митниці, пандемія, коливання валют, воєнні дії                          |
| За тривалістю впливу     | Постійні                | Інфраструктура складів, бізнес-модель, ІТ-інтеграція                            |
|                          | Тимчасові               | Знижки, маркетингові кампанії, транспортні затримки                             |
| За функціональною сферою | Планування              | Точність прогнозування, аналітика попиту                                        |
|                          | Закупівлі               | Ціни постачальників, гнучкість умов поставки                                    |
|                          | Складування             | Пропускна здатність складу, технології зберігання                               |
|                          | Інформаційна система    | Доступність даних, ступінь автоматизації, інтеграція з іншими системами         |
|                          | Обслуговування клієнтів | Рівень сервісу, точність замовлень, швидкість доставки                          |

В системах управління запасами ефективність визначається здатністю забезпечити наявність необхідного товару у потрібний час, у потрібному обсязі та з мінімальними витратами. У цьому контексті двома критичними показниками виступають втрачені продажі та надлишкові товарні запаси.

У цільовому стані інформаційної системи управління запасами відсутні втрачені продажі та надлишкові товарні запаси. Відхилення фактичного процесу від цього стану можуть виникати внаслідок різних операційних подій (рис. 2.5): неточного прогнозу, зміни або пропуску замовлення, відсутності товару в постачальника, неповного чи несвоєчасного постачання, пошкодження товару тощо [117]. Такі події змінюють фактичний залишок і за певних умов можуть спричинити вихід запасу за допустимі межі. Водночас наявність страхового запасу означає, що не кожне таке відхилення обов'язково призводить до втрачених продажів або надлишку.

Таким чином, формалізацію факторів доцільно виконувати через конкретні операційні події, які змінюють фактичний стан запасу відносно цільового стану системи. Для використання події в алгоритмі атрибуції визначаються її причина або тип, кількісний потенційний вплив на товарний запас і часова позиція.



Рис. 2.5. Фактори, що впливають на ефективність інформаційної системи управління запасами

Окремо для кожного типу фактора задаються правила причинної допустимості щодо відповідного виду відхилення. Така формалізація дозволяє перейти від фіксації факту відхилення до кількісного оцінювання внеску конкретних причинно допустимих подій. Фактори, що впливають на втрачені

продажі або надлишкові товарні запаси в періоді  $t$ , можна представити у вигляді [116]:

$$R_t = \begin{bmatrix} id_1 & id_2 & \dots & id_k \\ n_1 & n_2 & \dots & n_k \\ r_1 & r_2 & \dots & r_k \end{bmatrix}, \quad (2.11)$$

де  $R_t$  – набір факторів, що впливали на показник ефективності в періоді  $t$ ,  $k$  – кількість факторів що впливали на показник ефективності в періоді  $t$ ,  $n_i$  – порядковий номер виникнення фактору,  $id_i$  – ідентифікатор фактору, що характеризує причину його виникнення,  $r_i$  – кількісний вплив на залишок товару.

Вплив подій на зміну залишку може бути як прямий, так і опосередкований. Прикладом прямого впливу є повернення товару, що збільшило залишок. Кількісний вплив на залишок товару – це кількість поверненого товару, час виникнення – дата повернення. Приклад опосередкованого впливу: постачальник виконав замовлення в меншій кількості. Не для всіх подій можливо обчислити прямий кількісний вплив на залишок. В цьому випадку необхідно будувати та використовувати певні математичні моделі, які будуть обраховувати вплив на залишок. Наприклад, внаслідок потепління зріс попит на воду, що призвело до втрачених продажів. Для того, щоб обчислити, як зміна температури повітря впливає на залишок товару, необхідно побудувати модель прогнозу, яка буде враховувати залежність від температури. Якщо таку модель побудувати неможливо, тоді в цьому випадку залежність можна оцінити для більш загального фактора – точність прогнозу.

Вплив факторів на досліджуване відхилення за заданим набором факторів  $R_t$  можна представити у вигляді матриці відповідності  $CR_t$ , яка показує зв'язок показника ефективності з факторами, що на нього вплинули [116]:

$$CR_t = \begin{bmatrix} id_1 & id_2 & \dots & id_k \\ cr_1 & cr_2 & \dots & cr_k \end{bmatrix}, \quad (2.12)$$

де  $CR_t$  – фактори, що вплинули на показник ефективності в періоді  $t$ ,  $cr_i$  – кількісне значення фактора, що вплинув показник ефективності. Якщо вплив фактору призводить до зменшення залишку – це веде до втрачених продажів, якщо до збільшення – до надлишкових товарних запасів. В загальному випадку рівняння залишку з урахуванням впливу факторів може бути представлено у вигляді [116]:

$$S_t^{fact} = S_{t-n}^{fact} + \check{Q}_{t-n} - \sum_{i=t-n}^{t-1} p_i + \sum_{i=t-n}^{t-1} R_i, \quad (2.13)$$

де  $S_t^{fact}$  - фактичний залишок товару,  $n$  – кількість днів від постачання товару до поточної дати,  $S_{t-n}^{fact}$  - фактичний залишок товару на дату постачання,  $\check{Q}_{t-n}$  – кількість фактичного постачання,  $p_i$  – продаж в періоді  $i$ ,  $R_i$  – кількісне значення впливу фактора на фактичний залишок відносно цільового стану системи.

Фактичне постачання може бути виражене як:

$$\begin{aligned} \check{Q}_t = O_{t-LT} + \sum_{i=t-LT}^{t-1} R_i = & \left( \sum_{i=t}^{t+\tau_t} f_i + q + \sum_{i=t}^{t+\tau_t} R_i - \right. \\ & \left. - \left( S_{t-LT}^{fact} - \sum_{i=t-LT}^{t-1} f_i + \sum_{i=t-LT}^{t-1} R_i \right)^+ \right)^+ + \sum_{i=t-LT}^{t-1} R_i, \end{aligned} \quad (2.14)$$

де  $\check{Q}_t$  – кількість фактичного постачання,  $\tau_t$  – кількість днів до наступного постачання,  $LT$  – кількість днів на виконання замовлення,  $O_{t-LT}$  – кількість замовлення,  $f_i$  – прогноз продажів,  $R_i$  – кількісне значення впливу фактора на фактичний залишок відносно цільового стану системи,  $q$  – кількість для візуальної представленості товару,  $x^+ = \max(0; x)$ .

Тоді вплив факторів на фактичний залишок зводиться до системи рівнянь [116]:

$$S_t^{fact} = \begin{cases} q + \sum_{i=t}^{t+\tau_t} p_i + \sum_{i=t-LT-n}^{t-1} R_i, & S_{t-LT-n}^{fact} \leq \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} f_i + q \\ S_{t-LT-n}^{fact} - \sum_{i=t-LT-n}^{t-1} p_i + \sum_{i=t-LT-n}^{t-1} R_i, & S_{t-LT-n}^{fact} > \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} f_i + q \end{cases}, \quad (2.15)$$

$S_t^{fact}$  - фактичний залишок товару,  $n$  – кількість днів від постачання товару до поточної дати,  $LT$  – кількість днів на виконання замовлення,  $S_{t-LT-n}^{fact}$  - фактичний залишок товару на дату замовлення,  $p_i$  – продаж в періоді  $i$ ,  $f_i$  – прогноз продажів,  $R_i$  – кількісне значення впливу фактора на фактичний залишок відносно цільового стану системи,  $q$  – кількість для візуальної представленості товару.

Втрачений продаж – це відсутність товару, тобто  $S_t^{fact} = 0$ . Таким чином, до втрачених продажів призводить ситуація, коли виконується нерівність [117]:

$$- \sum_{i=t-LT-n}^{t-1} R_i \geq \begin{cases} q + \sum_{i=t}^{t+\tau_t} p_i, & S_{t-LT}^{fact} \leq \sum_{i=t-LT}^{t+\tau_t} f_i + q \\ S_{t-LT-n}^{fact} - \sum_{i=t-LT-n}^{t-1} p_i, & S_{t-LT}^{fact} > \sum_{i=t-LT}^{t+\tau_t} f_i + q \end{cases} \quad (2.16)$$

Події, що можуть зменшувати фактичний залишок товару відносно цільового стану, об'єднано у п'ять основних груп: помилки даних, зміни під час формування замовлення, відхилення під час його виконання, операції зі зменшення запасу та помилки прогнозування. Такий поділ дає змогу систематизувати фактори відповідно до етапу процесу управління запасами, на якому вони виникають, а також характеру їх впливу на фактичний рівень запасу. Для кожного фактора визначається потенційний кількісний вплив, що використовується під час подальшої багатофакторної оцінки. Детальний перелік факторів, що можуть впливати на формування втрачених продажів, та способи визначення їх потенційного кількісного впливу наведено в табл. 2.3 [8; 116].

## Фактори, що впливають на втрачені продажі

| Група                 | Ідентифікатор | Опис фактору                                                                                       | Приклад розрахунку                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| помилки даних         | $id_1$        | зміна параметрів, які використовує прогноз, внаслідок чого прогноз під час замовлення було знижено | під час замовлення прогноз продажів складав 100 шт, але в періоді між датою замовлення та датою втраченого продажу ціну товару було знижено внаслідок початку промоактивності, та оновлений прогноз продажів з урахуванням зниження ціни склав 300 шт, тоді $r_1 = -200$ шт. |
|                       | $id_2$        | фактичний залишок на дату замовлення менше, ніж значення залишку в інформаційній системі           | залишок товару складав 100 шт, з яких 20 шт було продано, але внаслідок відсутності зв'язку ця інформація не надійшла до інформаційної системи, Замовлення було зроблено з розрахунку більшої кількості залишку, тоді $r_2 = -20$ шт                                         |
|                       | $id_3$        | фактичний транзит на дату замовлення більше, ніж значення транзиту в інформаційній системі         | Фактичний транзит по товару на дату замовлення складав 20 шт, значення залишку в інформаційній системі складало 150 шт, в результаті чого замовлено було на 130 шт товару менше. Тоді $r_3 = -130$ шт.                                                                       |
| формування замовлення | $id_4$        | відміна замовлення через EOQ                                                                       | початкове замовлення складало 50 шт, економічний обсяг замовлення (EOQ) складає 500 шт, тому було замовлення було скасоване, $r_4 = -50$ шт                                                                                                                                  |
|                       | $id_5$        | зменшення замовлення для забезпечення кратності                                                    | початкове замовлення складало 120 шт, при цьому кратність замовлення складає 100 шт, тому було замовлено тільки 100 шт, $r_5 = -20$ шт                                                                                                                                       |
|                       | $id_6$        | зменшення замовлення для забезпечення логістичної партії                                           | початкове замовлення складало 50 шт, сумарна вага замовлення постачальнику складала 23 т, при цьому логістична партія складає 20 т., тому було замовлено тільки 40 шт, в цьому випадку $r_6 = -10$ шт                                                                        |
|                       | $id_7$        | зменшення замовлення через фінансові обмеження                                                     | початкове замовлення складало 50 шт, але через нестачу коштів товар не було замовлено, тоді $r_7 = -50$ шт.                                                                                                                                                                  |
|                       | $id_8$        | зменшення або відміна замовлення вручну менеджером                                                 | початкове замовлення складало 500 шт, але менеджер зменшив потребу та постачальнику було відправлено замовлення в кількості 100 шт, тоді $r_8 = -400$ шт.                                                                                                                    |

| Група                | Ідентифікатор | Опис фактору                                                                                                                            | Приклад розрахунку                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| виконання замовлення | $id_9$        | постачальник виконав замовлення в меншому обсязі, ніж було замовлено                                                                    | У постачальника було замовлено 100 шт, але поставлено тільки 70 шт, тоді $r_9 = -30$ шт.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                      | $id_{10}$     | поставка відбулась пізніше, ніж передбачено графіком.                                                                                   | даний випадок стосується тільки тих днів з втраченими продажами, які були між датою поставки за графіком та датою фактичного надходження товару. При цьому $r_{10}$ дорівнює повній кількості замовлення, що затримується. Наприклад, в п'ятницю було замовлено 100 шт, які мали бути доставленими в суботу. Але поставка відбулась тільки у вівторок. В неділю та понеділок були втрачені продажі. Тоді для втрачених продажів в неділю та понеділок $r_{10} = -100$ шт. |
| зміна залишку        | $id_{11}$     | проведення переміщення на інші підрозділи або магазини, якщо можливість таких переміщень не врахована в алгоритмі прогнозування         | в магазині є пекарня, для якої мука поставляється окремо. Готову продукцію швидко розкупили та пекарні не вистачає муки в наявності, тому в періоді між $OD_t$ та $t$ муку у кількості 100 кг взяли з полиці магазину, тоді $r_{11} = -100$ кг.                                                                                                                                                                                                                           |
|                      | $id_{12}$     | псування                                                                                                                                | через закінчення терміну придатності в періоді між $OD_t$ та $t$ було списано 5 шт товару, тоді $r_{12} = -5$ шт.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                      | $id_{13}$     | крадіжки                                                                                                                                | через крадіжки в періоді між $OD_t$ та $t$ залишок зменшився на 20 шт, $r_{13} = -20$ шт                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                      | $id_{14}$     | зменшення залишку товару, виявлене при проведенні інвентаризації                                                                        | при проведенні інвентаризації було виявлено, що фактичний залишок товару в періоді між $OD_t$ та $t$ становить 0 шт, а на обліку в системі є 15 шт, тоді $r_{14} = -15$ шт.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| неточність прогнозу  | $id_{15}$     | неточність прогнозу, що не пов'язана з параметрами алгоритму прогнозу, тобто таке збільшення попиту, яке алгоритм не може спрогнозувати | початок пандемії COVID-19 привів до різкого панічного зростання попиту, результатом якого стали пусті полиці магазинів. Кількість для цієї причини дорівнює різниці між втраченими продажами та сумою всіх інших причин, що відносяться до конкретного замовлення. Тобто, кількість втрачених продажів, що не покривається іншими причинами слід віднести до $r_{15}$ .                                                                                                   |

Надлишковий товарний запас, це перевищення максимального рівня цільового запасу  $T_t$ , що визначається за формулою [117]:

$$T_t = \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} p_i + q, \quad (2.17)$$

де  $T_t$  – максимальний рівень цільового запасу,  $LT$  – кількість днів на виконання замовлення,  $n$  – кількість днів від постачання товару до поточної дати,  $\tau_t$  – кількість днів до наступного постачання,  $p_i$  – продаж в періоді,  $q$  – кількість для візуальної представленості товару.

У запропонованій моделі  $T_t$  використовується як консервативна верхня межа для ідентифікації надлишкового запасу і не є значенням залишку  $S_t^{tar}$  у цільовому стані системи у конкретний момент часу. Включення до  $T_t$  попиту від початку відповідного циклу означає, що вже реалізований попит використовується не як майбутня потреба, а для збереження верхньої межі, визначеної для циклу поповнення. Завдяки цьому не кожне перевищення фактичного запасу над траєкторією запасу  $S_t^{fact}$  у цільовому стані системи класифікується як надлишок; надлишком вважається лише частина запасу, що перевищує  $T_t$ .

Такий підхід також не потребує щоденного перерахунку верхньої допустимої межі лише внаслідок фактичної реалізації товару. Використання верхнього рівня запасу відповідає поширеному в управлінні запасами підходу періодичного перегляду, за якого для циклу поповнення встановлюється верхня межа запасу. До надлишкового товарного запасу призводить ситуація, коли виконується нерівність [116]:

$$\sum_{i=t-LT-n}^{t-1} R_i \geq \begin{cases} T_t - q - \sum_{i=t}^{t+\tau_t} p_i, & S_{t-LT}^{fact} \leq \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} f_i + q \\ T_t - S_{t-LT-n}^{fact} + \sum_{i=t-LT-n}^{t-1} p_i, & S_{t-LT}^{fact} > \sum_{i=t-LT-n}^{t+\tau_t} f_i + q \end{cases} \quad (2.18)$$

Фактори надлишкових товарних запасів пов'язані з аналогічними етапами процесу управління запасами, однак їх вплив спрямований на збільшення фактичного залишку або зменшення цільового рівня запасу [8; 116]. Детальний перелік факторів наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

**Фактори, що впливають на надлишкові товарні запаси**

| Група                 | Ідентифікатор | Опис фактору                                                                                                 | Приклад розрахунку                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| формування замовлення | $id_{16}$     | збільшення замовлення для забезпечення EOQ                                                                   | початкове замовлення складало 70 шт, при цьому кратність замовлення складає 100 шт, тому було замовлено 100 шт, в цьому випадку $r_{16} = 30$ шт.                                                       |
|                       | $id_{17}$     | збільшення замовлення для забезпечення кратності                                                             | замовлення складало 70 шт, при цьому кратність замовлення складає 100 шт, тому було замовлено 100 шт, в цьому випадку $r_{17} = 30$ шт.                                                                 |
|                       | $id_{18}$     | збільшення замовлення через логістичну партію                                                                | початкове замовлення складало 50 шт, сумарна вага замовлення постачальнику складала 17 т, при цьому логістична партія складає 20 т, тому було замовлено тільки 90 шт, в цьому випадку $r_{18} = 40$ шт. |
|                       | $id_{19}$     | збільшення замовлення вручну менеджером                                                                      | товарного залишку було достатньо, тому початкове замовлення складало 0 шт, але менеджер вирішив замовити товар та постачальнику було відправлено замовлення в кількості 500 шт, тоді $r_{19} = 500$ шт. |
| виконання замовлення  | $id_{20}$     | постачальник виконав замовлення в більшому обсязі, ніж було замовлено                                        | було замовлено 100 шт, а поставлено 150 шт, тоді $r_{20} = 50$ шт.                                                                                                                                      |
| зміна залишку         | $id_{21}$     | збільшення залишку через переміщення з іншого магазину або підрозділу, не враховане алгоритмом прогнозування | на магазин були переміщені залишки сусіднього магазину внаслідок його закриття                                                                                                                          |

| Група                                          | Ідентифікатор | Опис фактору                                                                                          | Приклад розрахунку                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зміна залишку                                  | $id_{22}$     | збільшення залишку товару внаслідок проведення інвентаризації, наприклад при виявленні пересорту      | при проведенні інвентаризації було виявлено, що фактичний залишок товару становить 50 шт, а на обліку в системі є 10 шт, тоді $r_{22} = 40$ шт.                                                            |
| помилки даних                                  | $id_{23}$     | помилки в даних, збільшення залишку товару внаслідок недостовірної інформації в інформаційній системі | постачання товару у кількості 200 шт не було вчасно внесено в систему, через що повторно було сформоване замовлення на 200 шт, яке було виконано, тоді $r_{23} = 200$ шт.                                  |
|                                                | $id_{24}$     | похибка прогнозу, зменшення цільового рівня внаслідок зміни параметрів алгоритму прогнозування        | після замовлення ціну товару було збільшено, внаслідок чого попит на товар зменшився, що призвело до зменшення цільового рівня з 80 шт до 30 шт. В цьому випадку $r_{24} = 50$ шт.;                        |
| зміна правил візуальної представленості товару | $id_{25}$     | зменшення кількості для візуальної представленості товару                                             | при виході з сезону кількість товару на полиці зменшується з 50 шт до 10 шт, внаслідок чого цільовий рівень зменшується на 40 шт, тоді $r_{25} = 40$ шт                                                    |
| зміна умов постачання                          | $id_{26}$     | зменшення кратності замовлення                                                                        | товар постачався на магазин тільки кратно коробам по 40 шт, але було прийнято рішення про поштучну кратність замовлення, внаслідок чого цільовий рівень зменшився з 40 шт до 25 шт, тоді $r_{26} = 15$ шт. |
| неточність прогнозу                            | $id_{27}$     | зменшення цільового рівня внаслідок зменшення попиту, що не пов'язане з параметрами алгоритму прогноз | Непрогнозоване зниження попиту на товар внаслідок чого цільовий рівень знизився з 150 шт до 70 шт, тоді $r_{27} = 80$ шт.                                                                                  |

У запропонованій моделі проведено систематизацію основних груп факторів, характерних для типового процесу управління запасами, починаючи від формування замовлення і завершуючи появою товару на полиці магазину.

Такий перелік охоплює найбільш поширені причини відхилень, що виникають у практиці роботи більшості торговельних підприємств.

Разом із тим наведена класифікація не претендує на вичерпний перелік усіх можливих факторів. Кожне підприємство використовує власні бізнес-процеси, політики управління запасами, логістичні схеми та правила взаємодії з постачальниками, унаслідок чого можуть виникати специфічні події, характерні лише для конкретної інформаційної системи або предметної області. Наприклад, окремі компанії застосовують додаткові процедури централізованого перерозподілу товарів між магазинами, резервування запасів під інтернет-замовлення, спеціальні правила управління акційними товарами або внутрішні механізми погодження закупівель. Такі процеси також можуть впливати на фактичний залишок товару, хоча й не були окремо розглянуті в даній роботі.

Запропонована формалізація забезпечує застосування спільного механізму кількісної атрибуції до різних за природою операційних факторів. Перелік факторів може бути розширений відповідно до особливостей бізнес-процесів конкретного підприємства за умови визначення для нових типів подій правил причинної допустимості та способу визначення їх потенційного кількісного впливу.

### **2.3. Методи та алгоритми багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів**

У межах дослідження втрачені продажі та надлишкові товарні запаси розглядаються як кількісні результуючі показники двох протилежних напрямів відхилення фактичного стану товарного запасу від цільового: втрачені продажі характеризують наслідок дефіцитного відхилення, а надлишкові товарні запаси – величину надлишкового відхилення.

Запропоновано два методи: метод багатофакторної оцінки втрачених продажів та метод багатофакторної оцінки надлишкових товарних запасів.

Вони призначені для кількісного визначення внеску конкретних операційних подій у формуванні відповідного результуючого відхилення. Основою методів є аналіз фактичних операційних подій, формалізованих відповідно до п. 2.2, та визначення їх внеску в конкретне відхилення показника ефективності.

Запропоновані методи багатофакторної оцінки складаються з двох послідовних етапів: визначення множини причинно-допустимих операційних подій та кількісної атрибуції їх впливу на досліджуване відхилення. На першому етапі для конкретного випадку втраченого продажу або надлишкового запасу формується множина причинно допустимих операційних подій. Це дозволяє виключити з подальшого аналізу події, які були зареєстровані в інформаційній системі, але відповідно до моделі процесу управління запасами не могли спричинити досліджуване відхилення. На другому етапі величина відхилення розподіляється між відібраними подіями з урахуванням їх кількісного впливу та фактичної часової послідовності.

Запропоновані методи не виконують статистичного відкриття причинної структури. Причинна допустимість операційної події визначається відповідно до правил процесу управління запасами, напряму її впливу та часових обмежень. Після цього здійснюється кількісна атрибуція внеску лише тих подій, які пройшли етап причинного відбору. Логіка формування множини причинно-допустимих подій для цих двох показників відрізняється, що обумовлено різними механізмами їх виникнення.

Для визначення факторів, що можуть спричинити втрачений продаж у конкретну дату, аналіз виконується з урахуванням ритму роботи системи управління запасами та графіка формування і виконання замовлень. Позначимо дату виникнення втраченого продажу через  $t$ , а його величину через  $LS_t$ . Під час формування замовлення має бути забезпечена достатня кількість товару для задоволення попиту протягом відповідного циклу поповнення від дати постачання до наступного постачання.

Позначимо через  $OD_t$  дату найближчого замовлення, постачання за яким мало відбутися не пізніше дати втраченого продажу  $t$ , а через  $DD_t$  дату

постачання замовлення за графіком. Таким чином, під час аналізу втраченого продажу розглядаються причинно допустимі події, що могли зменшити фактичний запас товару відносно його розрахункового рівня та виникли в межах відповідного циклу поповнення – від  $OD_t$  до дати  $t$ .

Наприклад, якщо замовлення формуються кожні чотири дні, починаючи з другого дня, то дати формування замовлень становлять 2-й, 6-й, 10-й, 14-й тощо дні. За умови терміну постачання два дні відповідні поставки мають відбуватися у 4-й, 8-й, 12-й, 16-й тощо дні. Якщо втрачені продажі виникли у 14-й та 15-й дні, найближчим замовленням, постачання за яким мало відбутися до цих дат, є замовлення, сформоване у 10-й день із запланованою поставкою у 12-й день. Схематично відповідний цикл поповнення наведено на рис. 2.6.

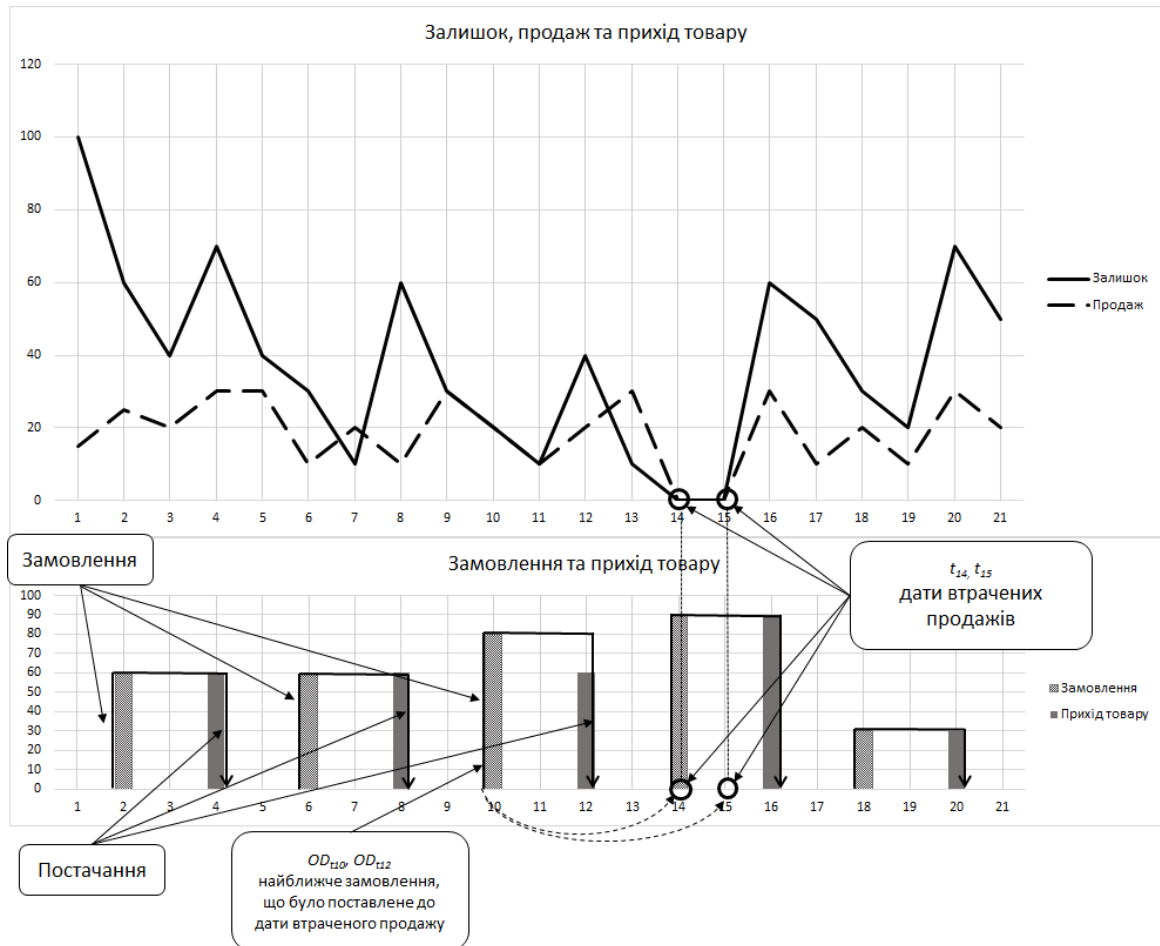


Рис. 2.6. Найближче замовлення, що мало бути поставлене до дати втраченого продажу

Після формування множини причинно допустимих факторів їх аналіз виконується відповідно до фактичної послідовності виникнення операційних

подій. Першими враховуються події, найближчі за часом до дати втраченого продажу  $t$ . Перелік типових подій, які можуть призводити до виникнення втрачених продажів, та способи визначення їх кількісного впливу наведено в табл. 2.3. Цей перелік не є повним і може бути розширений або скоригований відповідно до особливостей бізнес-процесів конкретного підприємства.

Визначення факторів, що впливають на формування надлишкових товарних запасів, виконується за іншою логікою. Позначимо дату надлишкового запасу через  $t$ , а його величину  $OS_t$ . Відповідно до формули (1.22), величина надлишкового запасу визначається співвідношенням фактичного залишку товару  $S_t^{fact}$  та верхньої межі цільового рівня запасу  $T_t$ . Отже, збільшення  $S_t^{fact}$  або зменшення  $T_t$  може призводити до збільшення величини  $OS_t$ . Аналіз причинно допустимих подій здійснюється у зворотному хронологічному порядку від дати надлишкового запасу  $t$  до більш ранніх подій відповідно до прийнятого правила часового пріоритету. Схематично послідовність аналізу наведено на рис. 2.7.

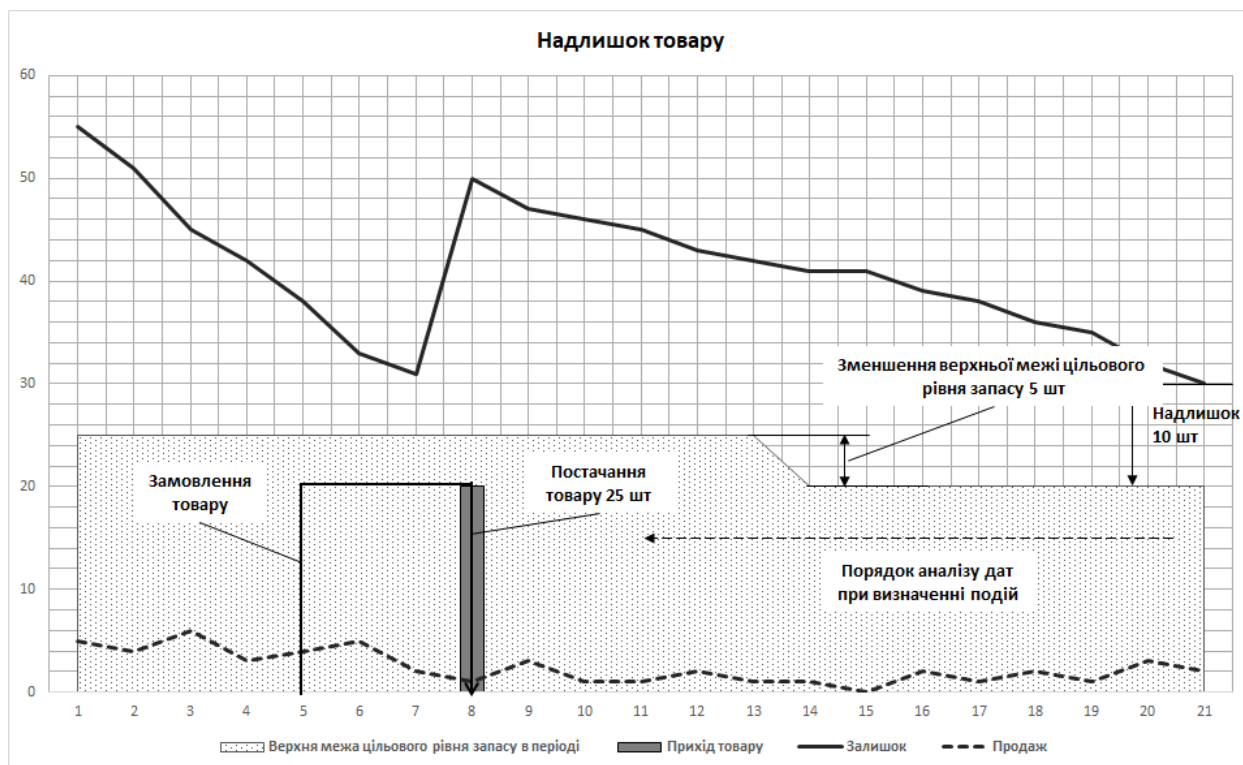


Рис. 2.7. Події, що привели до збільшення залишку або до зменшення цільового рівня запасу

Для ілюстрації розглянемо приклад, наведений на рис. 2.7. Величина надлишкового запасу становить 10 одиниць. Із них 5 одиниць пов'язані зі зменшенням цільового рівня запасу в 14-й день, а ще 5 одиниць – із постачанням товару в 8-й день за відповідним замовленням. Згідно з прийнятим правилом часового пріоритету першою враховується подія 14-го дня, після чого аналіз переходить до більш ранньої події 8-го дня.

Під час кількісного оцінювання впливу факторів враховується не лише величина зміни запасу, а й фактична послідовність виникнення операційних подій. Для цього кожному причинно допустимому фактору присвоюється порядковий номер  $n_i$ , який визначає порядок його врахування відносно дати виникнення втраченого продажу або надлишкового запасу. Менше значення  $n_i$  відповідає події, яка розташована ближче до моменту виникнення досліджуваного відхилення. При цьому часовий пріоритет не розглядається як показник більшої причинної сили фактора, а використовується як детерміноване правило послідовного врахування подій, причинна допустимість яких встановлена на попередньому етапі аналізу.

У випадку, коли декілька причинно допустимих факторів мають однаковий момент виникнення, визначення їх пріоритету лише за часовою ознакою є неможливим. Таким факторам присвоюється однаковий порядковий номер  $n_i$ , і вони розглядаються як одна часова група. Якщо сумарний потенційний вплив факторів цієї групи не перевищує нерозподіленої величини відхилення, внесок кожного фактора приймається рівним величині його потенційного впливу. Якщо сумарний потенційний вплив групи перевищує нерозподілену величину відхилення, остання розподіляється між факторами групи пропорційно до величини їх потенційного впливу. Після цього аналіз переходить до наступної за часовим пріоритетом групи факторів.

Таким чином, часовий пріоритет визначає послідовність аналізу окремих факторів або їх часових груп. Для кількісного оцінювання внеску факторів у формування втрачених продажів та надлишкових товарних запасів необхідно визначити правило розподілу величини встановленого відхилення

між операційними подіями, які відповідно до запропонованої моделі можуть бути його причинами. Оскільки для кожного фактора вже визначено його кількісний вплив  $r_i$  та часовий пріоритет  $n_i$ , розподіл може здійснюватися з урахуванням фактичної послідовності зміни стану системи.

Для розподілу результуючого відхилення між декількома факторами можуть застосовуватися різні підходи. За пропорційного розподілу внесок кожного фактора визначається пропорційно до величини його потенційного впливу за формулою (1.13). Перевагою такого підходу є простота розрахунку та незалежність результату від порядку факторів. Водночас пропорційний розподіл передбачає, що внесок факторів у кінцевий результат пропорційний величині їх потенційного впливу. Для операційних процесів управління запасами таке припущення не завжди відповідає фактичній послідовності зміни стану системи. Подія, яка відбулася раніше, могла частково або повністю сформувати відхилення ще до виникнення наступного фактора, тому рівномірний пропорційний розподіл не відображає цю особливість процесу.

Іншим підходом є використання значень Шеплі, які визначають середній граничний внесок кожного фактора для різних комбінацій факторів. Такий спосіб забезпечує формалізований розподіл спільного результату та не залежить від одного довільно заданого порядку факторів. Проте класичний метод Шеплі передбачає аналіз множини можливих комбінацій і порядків включення факторів. Для досліджуваної задачі значна частина таких порядків є умовною, оскільки в інформаційній системі вже зафіксовано фактичну послідовність виникнення операційних подій. Крім того, зі збільшенням кількості факторів зростає обчислювальна складність точного визначення значень Шеплі.

Контрфактичний підхід дозволяє оцінити вплив фактора шляхом порівняння фактичного результату із станом системи, який міг би виникнути за відсутності відповідної події. Для систем управління запасами його застосування потребувало б математичного моделювання альтернативної послідовності замовлень, поставок, залишків і продажів. Для комбінації

«товар - місце зберігання - дата» визначення такого стану є недостатньо формалізованим та потребує введення додаткових припущень.

З урахуванням зазначених особливостей у запропонованих методах використано жадібний розподіл внеску факторів за часовим пріоритетом. Загальний принцип жадібних алгоритмів полягає у послідовному виборі на кожному кроці одного з доступних варіантів відповідно до встановленого критерію пріоритету. Для поставленої задачі таким критерієм є фактичний порядок виникнення причинно допустимих операційних подій. Такий підхід дає змогу послідовно враховувати фактори відповідно до перебігу процесу управління запасами та зберігати зв'язок між моментом виникнення події і сформованим відхиленням. Величина внеску фактора визначається за формулою (1.14), після визначення внеску фактора залишкова величина відхилення зменшується за формулою (1.15).

Такий спосіб забезпечує виконання двох основних кількісних обмежень: фактору не може бути приписано внесок, більший за величину його потенційного впливу, та факторам не може бути приписано сумарний внесок, який перевищує величину фактично встановленого відхилення. Послідовне зменшення залишкової величини відхилення також запобігає повторному врахуванню тієї його частини, яка вже була віднесена до впливу попередньо опрацьованих факторів.

Жадібний алгоритм не є інваріантним до довільної перестановки факторів. Якщо змінити порядок їх врахування, результат розподілу може змінитися. Однак у запропонованій моделі порядок  $n_i$  не задається довільно, а визначається фактичними моментами виникнення операційних подій, зафіксованими в інформаційній системі. Тому однозначність результату забезпечується за умови однозначно визначеної фактичної часової послідовності подій. Для подій, що мають однаковий часовий пріоритет, розподіл здійснюється пропорційно величині їх потенційного впливу, що забезпечує єдиний підхід до обробки одночасних факторів.

Основні властивості, що обумовили вибір жадібного розподілу для поставленої задачі, наведено в табл. 2.5. Наведені властивості не визначають жадібний розподіл як універсально кращий метод атрибуції, а обґрунтовують його вибір відповідно до особливостей поставленої задачі, для якої відомі фактична послідовність операційних подій та кількісні параметри їх впливу.

Таблиця 2.5

### Властивості жадібного розподілу внеску факторів

| Властивість                                                | Значення для задачі застосування методів багатфакторної оцінки                                                                               |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Врахування часової послідовності                           | Фактори аналізуються відповідно до фактичного порядку виникнення операційних подій                                                           |
| Використання наявних параметрів факторів                   | Для розподілу безпосередньо використовуються $id_i$ , $n_i$ та $r_i$ , що визначають причину, порядок виникнення та кількісний вплив фактора |
| Дотримання кількісних обмежень                             | Внесок фактора не перевищує його потенційного впливу та нерозподіленої величини відхилення                                                   |
| Відсутність необхідності моделювання контрфактичних станів | Розрахунок виконується на основі фактично зафіксованих подій без побудови альтернативного стану системи                                      |
| Відсутність перебору комбінацій факторів                   | Не потребує аналізу всіх можливих комбінацій і порядків факторів, як у разі точного розрахунку значень Шеплі                                 |
| Простота інтерпретації                                     | Результат показує, яка частина відхилення послідовно віднесена до кожного фактора                                                            |
| Простота програмної реалізації                             | Послідовний алгоритм може бути ефективно реалізований для обробки великих масивів операційних даних                                          |

Практичну реалізацію такого розподілу розглянемо на прикладі. Наприклад, втрачений продаж  $LS_t$  дорівнює 90 шт. Було визначено фактори впливу  $id_a$  з кількісним впливом на залишок товару  $r_a = -20$  шт та порядковим номером  $n_a = 1$ ,  $id_b$  з кількісним впливом на залишок товару  $r_b = -50$  шт та порядковим номером  $n_b = 2$ ,  $id_c$  з кількісним впливом на залишок товару  $r_c = -50$  шт та порядковим номером  $n_c = 3$ . Визначаємо кількісний вплив факторів за порядковим номером, починаючи з першого. Тоді кількісний вплив  $cr_a$  фактора  $id_a$  на втрачений продаж дорівнює 20 шт, кількісний вплив  $cr_b$  фактора  $id_b$  на втрачений продаж дорівнює 50 шт, і, відповідно, кількісний вплив  $cr_c$

фактора  $id_c$  на втрачений продаж дорівнює 20 шт. Схематично це зображено на рис. 2.8.

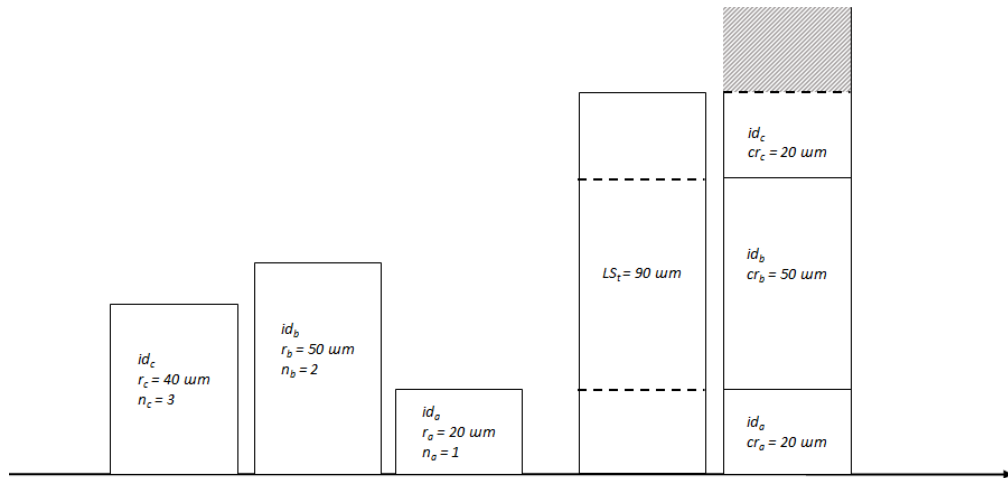


Рис. 2.8. Приклад кількісного впливу факторів

Таким чином, для кожної дати втраченого продажу  $t$  формується матриця причинно допустимих факторів  $R_t[id, n, r]$ , до якої включаються події відповідного циклу поповнення, визначеного відносно  $OD_t$ . Отримана матриця використовується як вхідна інформація для кількісного розподілу величини  $LS_t$  між виявленими факторами

Одній даті формування замовлення  $OD_t$  може відповідати декілька послідовних дат виникнення втрачених продажів. Якщо такі дати визначено як  $t_1, t_2, \dots, t_m$  де  $t_1 < t_2 < \dots < t_m$ , тоді аналіз виконується в хронологічному порядку, тобто спочатку  $LS_{t_1}$ , потім  $LS_{t_2}$  і та до  $LS_{t_m}$ . Після визначення внеску факторів для поточної дати їх залишковий кількісний вплив коригується на вже враховану величину. Під час аналізу наступної дати використовується лише неврахована частина кількісного впливу відповідного фактора. Такий порядок забезпечує послідовне врахування зміни стану товарного запасу та запобігає повторному віднесенню одного й того самого кількісного впливу фактора до декількох дат втрачених продажів у межах одного циклу замовлення.

Для кількісного визначення впливу причинно-допустимих факторів у формування втраченого продажу  $LS_t$  розроблено Алгоритм 1. Послідовність виконання операцій Алгоритму 1 наведено у вигляді блок-схеми на рис. 2.9

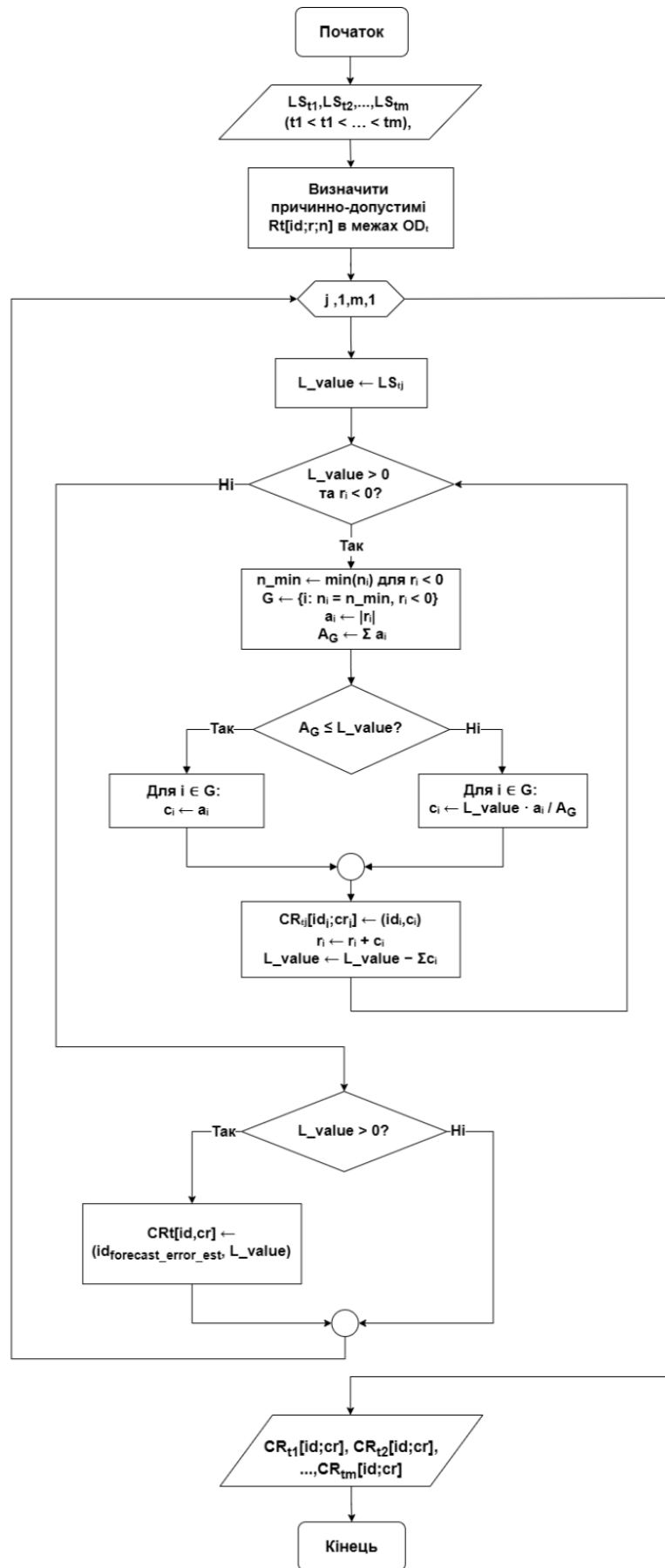


Рис. 2.9. Блок-схема визначення впливу факторів на втрачені продажі

Вхідними даними алгоритму 1 є величина  $LS_t$  та матриця факторів  $R_t[id, n, r]$ . Оскільки виникненню втрачених продажів сприяють фактори, що зменшують товарний запас, для аналізу відбираються фактори з  $r_i < 0$ . На початку роботи алгоритму змінній  $L\_value$  присвоюється значення  $LS_t$ , яке характеризує нерозподілену частину втраченого продажу. На кожній ітерації визначається мінімальне значення часового пріоритету  $n_i$  та формується група  $G$ , що містить усі фактори з однаковим значенням  $n_i$ . Для кожного фактора визначається абсолютна величина потенційного впливу  $a_i = |r_i|$ , а сумарний вплив групи становить:

$$A_G = \sum_{i \in G} a_i \quad (2.19)$$

Якщо  $A_G \leq L\_value$ , внесок кожного фактора приймається рівним  $c_i = a_i$ . Якщо  $A_G > L\_value$ , нерозподілена величина втраченого продажу розподіляється між факторами групи пропорційно до їх потенційного впливу за формулою (1.13). Визначені внески  $c_i$  записуються до матриці  $CR_t[id, cr]$ , після чого коригуються залишковий вплив факторів та нерозподілена величина  $L\_value$ . Процес повторюється для наступних за часовим пріоритетом груп до повного розподілу  $LS_t$  або вичерпання доступних факторів. Якщо після цього  $L\_value > 0$ , відповідна величина фіксується як нерозподілена частина втраченого продажу.

Якщо після врахування всіх виявлених операційних факторів залишається нерозподілена частина втраченого продажу  $L\_value > 0$ , вона використовується для оцінювання впливу похибки прогнозування за залишковим принципом. Такий підхід дозволяє уникнути додаткових розрахунків, пов'язаних з окремим визначенням впливу похибки прогнозу для кожного випадку втраченого продажу. За умови повноти реєстрації операційних факторів нерозподілений залишок може бути інтерпретований як оцінка впливу похибки прогнозування. За наявності неврахованих факторів їх вплив також потрапляє до нерозподіленого залишку, тому отримане значення

розглядається як верхня межа оцінки впливу похибки прогнозування. Таким чином, алгоритм реалізує жадібний розподіл між часовими групами факторів та пропорційний розподіл між факторами з однаковим часовим пріоритетом.

Для кількісного визначення впливу причинно-допустимих факторів у формування надлишкового запасу  $OS_t$  для окремої дати  $t$  розроблено Алгоритм 2. Послідовність виконання операцій Алгоритму 2 наведено у вигляді блок-схеми на рис. 2.10. Аналіз здійснюється у зворотному хронологічному порядку, починаючи від дати виникнення надлишкового запасу  $t$  з поступовим переходом до більш ранніх подій. Порядок урахування подій за часовим пріоритетом визначається аналогічно, як це здійснюється в Алгоритмі 1.

Вхідними даними є величина  $OS_t$  та матриця факторів  $R_t[id, n, r]$ . На початку роботи алгоритму змінній  $O\_value$  присвоюється значення  $OS_t$ , яке характеризує нерозподілену між факторами частину надлишкового запасу. На кожній ітерації серед факторів із додатним залишковим впливом визначається мінімальне значення часового пріоритету  $n_i$  та формується група факторів з однаковим часовим пріоритетом. Формування часових груп і розподіл внеску між факторами однієї групи здійснюються аналогічно, як це визначається в Алгоритмі 1. Визначені внески записуються до матриці відповідності  $CR_t[id, cr]$ . Після врахування внеску фактора, його поточне значення  $r_i$  зменшується на вже розподілену величину, а  $O\_value$  на сумарну величину визначених внесків. Це запобігає повторному використанню одного й того самого кількісного впливу фактора під час аналізу поточної дати  $OS_t$ .

Якщо після опрацювання поточної часової групи залишається нерозподілена частина надлишкового запасу, алгоритм переходить до наступної за часовим пріоритетом групи. Ітераційний процес продовжується до повного розподілу величини  $OS_t$  між причинно допустимими факторами. Така умова завершення ґрунтується на припущенні про повноту реєстрації в інформаційній системі операцій, що змінюють фактичний залишок  $S_t$  або цільовий рівень запасу  $T_t$ . Наявність нерозподіленої частини  $OS_t$  за відсутності причинно допустимих факторів розглядається як ознака неповноти або

некоректності вихідних даних. У результаті роботи алгоритму формується матриця  $CR_t[id, cr]$ , що містить кількісні внески факторів у формування надлишкового запасу на дату  $t$ .

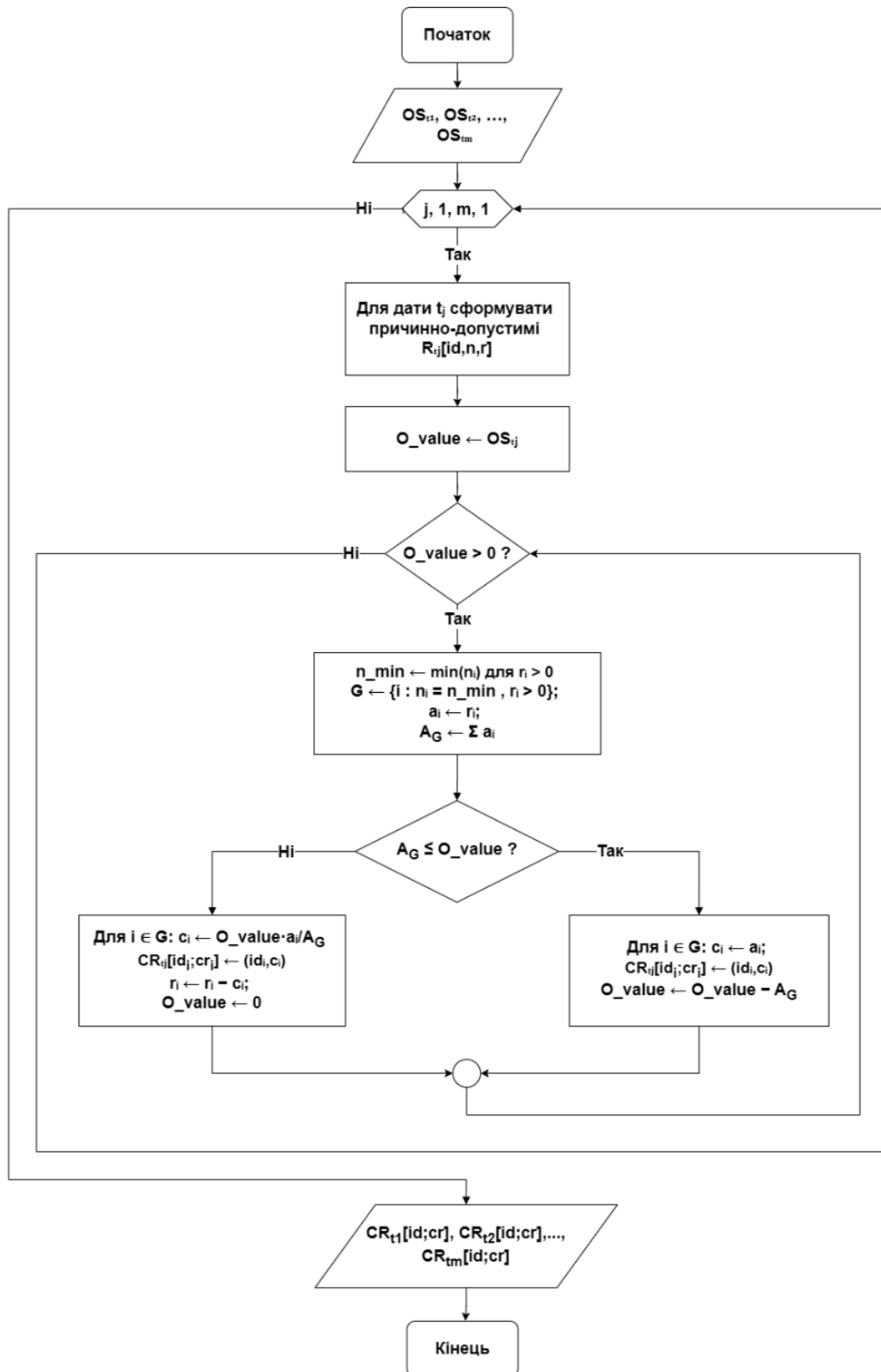


Рис. 2.10. Блок-схема визначення впливу факторів на надлишкові товарні запаси

На відміну від Алгоритму 1, скориговані під час розрахунку значення  $r_i$  використовуються лише для аналізу поточної дати  $OS_i$  і не переносяться на наступні дати надлишкового запасу. Це обумовлено тим, що сформований певною подією додатковий запас може зберігатися в системі протягом декількох періодів і впливати на величину надлишкового запасу в кожному з них.

Якщо надлишковий запас спостерігається протягом декількох послідовних дат  $t_1, t_2, \dots, t_m$ , їх аналіз виконується у хронологічному порядку, починаючи з найменшої дати. Для кожної дати  $t_j$  формується актуальний набір причинно допустимих факторів з урахуванням подій, що відбулися до цієї дати, після чого Алгоритм 2 виконується окремо для  $OS_{t_j}$ . Один і той самий фактор може бути врахований під час аналізу декількох послідовних дат надлишкового запасу, якщо сформований ним додатковий запас продовжує зберігатися в системі.

Коректне застосування запропонованих методів та алгоритмів передбачає наявність у інформаційній системі даних про операційні події, час їх виникнення та кількісну величину впливу на товарний запас. Отже, інформаційно-вимірювальна система повинна забезпечувати повну реєстрацію кількісних параметрів операційних факторів. Інформаційна технологія відстеження подій забезпечує їх часову впорядкованість, необхідну для коректного застосування алгоритмів кількісної атрибуції. До кількісної атрибуції включаються лише фактори, причинна допустимість яких визначена відповідно до моделі процесу управління запасами та напряму їх впливу. Внесок окремого фактора не може перевищувати величину його потенційного впливу, а сукупний внесок факторів - величину досліджуваного відхилення. Однозначність результату жадібного розподілу забезпечується за умови однозначного визначення фактичної часової послідовності операційних подій. Повнота кількісної атрибуції залежить від повноти реєстрації причинно допустимих факторів у вихідних даних. Методи не можуть приписати внесок

причині, яка не представлена у вихідних даних або для якої не визначено правила причинної допустимості та спосіб оцінювання кількісного впливу.

Таким чином, розроблені методи та алгоритми забезпечують кількісну атрибуцію впливу причинно-допустимих факторів на втрачені продажі та надлишкові товарні запаси з урахуванням їх часового пріоритету. Для подій з однаковим пріоритетом розподіл виконується пропорційно величині потенційного впливу. Отримані результати є основою для програмної реалізації та експериментальної перевірки алгоритмів. Розроблені алгоритми формують обчислювальну основу, на якій інформаційна технологія може реалізувати автоматизовану багатофакторну оцінку відхилень товарних запасів.

### **Висновки до другого розділу**

У другому розділі «Розробка моделі, методів та алгоритмів багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану в системах управління запасами» розроблено модель управління товарними запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень фактичного стану запасів від цільового, формалізовано фактори, що впливають на відхилення фактичного стану системи від цільового, розроблено методи та алгоритми багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів.

Запропонована модель встановлює взаємозв'язок між цільовим і фактичним станами запасу, втраченими продажами та надлишковими товарними запасами, операційними подіями, що могли спричинити ці відхилення, та результатами кількісної оцінки їх впливу. Цільовий стан визначено як розрахункову базову траєкторію товарного запасу за відсутності досліджуваних операційних відхилень. Сформована аналітична інформація використовується для підтримки вибору адресних коригувальних управлінських дій, не замінюючи спеціаліста, який приймає рішення.

Удосконалено спосіб формалізації факторів шляхом їх представлення як конкретних операційних подій, для яких визначаються причина, часова

позиція, потенційний кількісний вплив на товарний запас та правила причинної допустимості щодо відповідного відхилення. Такий підхід забезпечує єдине представлення різних за природою факторів та дає змогу розширювати їх перелік відповідно до особливостей бізнес-процесів підприємства без зміни базового механізму кількісної атрибуції.

Набув подальшого розвитку підхід до визначення причинно-допустимих операційних подій шляхом одночасного врахування їх часової позиції відносно досліджуваного відхилення та напряму потенційного впливу. Це дає змогу формувати для кожного випадку втрачених продажів або надлишкових товарних запасів множину причинно-допустимих подій на рівні «товар – місце зберігання – дата».

Розроблено методи багатофакторної оцінки втрачених продажів і надлишкових товарних запасів. Кожен метод передбачає два послідовні етапи: формування для конкретного відхилення множини причинно-допустимих операційних подій та подальшу кількісну оцінку їх впливу з урахуванням фактичної часової послідовності й потенційного кількісного впливу. Такий підхід дає змогу виключити з розрахунку зареєстровані події, які відповідно до моделі процесу не могли спричинити досліджуване відхилення.

Для реалізації методів розроблено окремі алгоритми визначення впливу факторів на втрачені продажі та надлишкові товарні запаси, що враховують відмінності механізмів формування цих показників. Для кількісної атрибуції факторів використано жадібний принцип розподілу із часовим пріоритетом, за яким порядок опрацювання факторів визначається фактичною послідовністю виникнення причинно-допустимих подій. Для подій з однаковим часовим пріоритетом величина відхилення розподіляється пропорційно їх потенційному впливу. При цьому вплив окремого фактора не може перевищувати його потенційний кількісний вплив, а сумарний розподілений вплив – величину досліджуваного відхилення.

Результатом застосування розроблених методів є кількісна характеристика впливу конкретних причинно-допустимих операційних подій

на окреме відхилення на рівні «товар – місце зберігання – дата». Це забезпечує перехід від фіксації факту виникнення втрачених продажів або надлишкових запасів до адресного аналізу причин їх формування та створює формалізовану основу для програмної реалізації й експериментальної перевірки запропонованих методів і алгоритмів у третьому розділі.

Результати дослідження відображено у роботах [4; 5; 6; 8; 116; 117] здобувача.

## РОЗДІЛ 3. Програмна реалізація і експериментальна перевірка методів та алгоритмів багатофакторної оцінки

### 3.1. Архітектура і програмна реалізація методів та алгоритмів багатофакторної оцінки

Наявні інформаційні системи управління запасами забезпечують автоматизацію процесів прогнозування попиту та формування замовлень, але вони часто не містять інструментів для глибинного аналізу причин відхилень фактичного рівня запасів від заданих цільових значень [116]. Тому виникає потреба у розробленні спеціалізованого програмного продукту, здатного застосовувати методи багатофакторної оцінки у ланцюгу постачання та оцінювати їх вплив на рівень запасів.

Розроблений програмний продукт функціонує в режимі аналітичного шару над операційними базами даних підприємства. Воно забезпечує збір і нормалізацію даних із різних джерел, автоматичне виявлення факторів, що призвели до виникнення втрачених продажів або надлишкових товарних запасів, а також кількісне оцінювання на основі запропонованих алгоритмів багатофакторної оцінки. За результатами обробки формуються аналітичні звіти та інтерактивні інформаційні панелі, які відображають структуру факторів, вплив на показники ефективності системи управління запасами, забезпечуючи керівників та операційних менеджерів необхідною інформацією для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Дані, необхідні для роботи програмного продукту, наведено в таблиці 3.1.

*Таблиця 3.1*

#### Дані, необхідні для роботи програмного продукту

| Тип даних | Опис типу даних                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Довідники | Довідники товарів, постачальників, складів, графіки замовлень, інформація про мінімальні партії, параметри товарів – кратність замовлення, викладка, ціна закупки та продажів тощо, інформація про промоактивність. |
| Факти     | Інформація про залишки та всі операції, що змінюють залишок – продажі, надходження, списання, переміщення, тощо.                                                                                                    |

| Тип даних  | Опис типу даних                                                                                                                                                                      |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Замовлення | Інформація про початкове замовлення, зміну замовлення у відповідності до правил та політик компанії, кількість товару у дорозі, виконання замовлень в кількісному та часовому вимірі |
| Прогноз    | Параметри прогнозу, що впливають на кількість сформованого замовлення                                                                                                                |

Формати та структура даних, необхідних для роботи програмного продукту, наведені в додатку Д. Ці дані дозволяють визначати причини втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, описаних в таблицях 2.3 та 2.4.

Для забезпечення можливості збору даних про фактори, що впливають на рівень запасів, інформаційна система управління запасами повинна підтримувати відповідний функціонал [3]. У програмній реалізації інформаційно-вимірювальна система є джерелом первинних операційних записів.

Інформаційна технологія, що забезпечує відстеження подій, дає змогу зберігати зв'язки між послідовними змінами параметрів і використовувати їх під час аналізу та прийняття рішень. Зокрема, система має забезпечувати ведення графіків замовлень і поставчань, встановлення зв'язку між конкретним замовленням і відповідним поставчанням, фіксацію випадків затримки поставчання та збереження історії змін замовлення.

Історія змін повинна містити початкову кількість замовлення, результати застосування кратності замовлення, логістичної партії та фінансових обмежень, а також ручні коригування, виконані менеджером. Крім того, необхідно зберігати історію змін параметрів алгоритму прогнозування, параметрів викладки та кратності замовлення. Система також повинна забезпечувати можливість повторного розрахунку величини замовлення та цільового рівня запасів із використанням змінених параметрів.

Архітектура програмного продукту визначає характер взаємодії між компонентами інформаційної системи, тому її проектування є одним із

ключових етапів під час створення запропонованої системи. У межах цього етапу було проаналізовано три можливі варіанти архітектурних підходів – патерни MVC (Model-View-Controller), MVP (Model-View-Presenter) та MVVM (Model-View-ViewModel).

У представлений архітектурі програмного забезпечення виділено три основні рівні: Data Layer, Analytics Layer та Presentation Layer. За функціональним розподілом відповідальності ці рівні можуть бути умовно співвіднесені з ролями Model, ViewModel та View патерну MVVM.

Таке співвіднесення використовується для пояснення розподілу функцій між рівнями системи та не означає реалізацію класичного MVVM у строгому сенсі. Data Layer охоплює моделі даних, сховище та засоби інтеграції з ERP/WMS/POS і за функціональним призначенням відповідає ролі Model. Analytics Layer реалізує визначення цільового стану системи управління запасами, розрахунок відхилень, застосування методів багатофакторної оцінки та формування структур даних для представлення результатів і функціонально може бути співвіднесений з роллю ViewModel. Presentation Layer забезпечує представлення результатів у вигляді інформаційних панелей, графіків і звітів та функціонально відповідає ролі View.

Водночас розроблений програмний продукт не реалізує класичний MVVM у повному обсязі, оскільки аналітична логіка виконується переважно засобами T-SQL у Microsoft SQL Server, а представлення результатів здійснюється засобами QlikView без характерного для класичного MVVM механізму автоматичного двостороннього зв'язування даних між View та ViewModel. Тому MVVM у роботі розглядається як концептуальна аналогія розподілу відповідальності між рівнями архітектури

Програмний продукт складається з модулів збору та нормалізації даних (Data Exchange), багатофакторної оцінки (Factor Analyzer) та аналітичної візуалізації (Dashboard & Reporting) (рис. 3.1) [3].

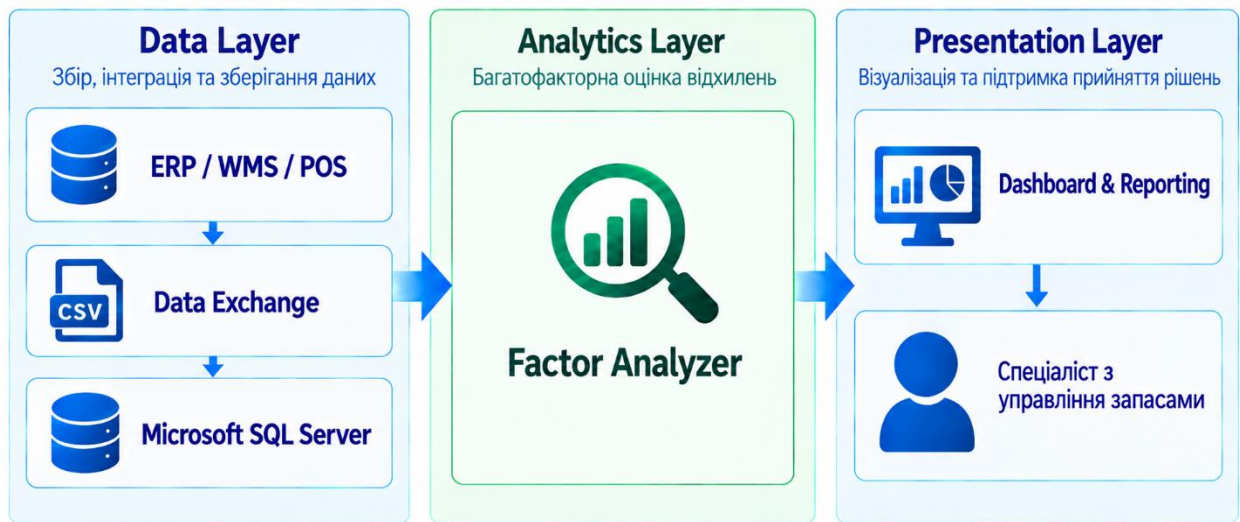


*Рис. 3.1. Модулі програмного забезпечення для аналізу ефективності систем управління запасами*

Модуль збору та нормалізації даних забезпечує інтеграцію з інформаційними системами компанії та отримання даних про замовлення, продажі, постачання, залишки, прогностні показники, графіки замовлень тощо. Також цей модуль виконує попередню перевірку, агрегацію та уніфікацію інформації. Збереження інформації реалізовано на основі реляційної СУБД Microsoft SQL Server, яка забезпечує високу надійність, швидку обробку запитів і підтримку роботи зі складними структурами даних.

Модуль багатофакторної оцінки порівнює фактичний стан запасів із цільовим станом системи, формує множину причинно допустимих операційних подій та визначає їх кількісний внесок у втрачені продажі й надлишкові товарні запаси за алгоритмами 1 та 2, наведеними в пункті 2.3. Модуль аналітичної візуалізації забезпечує побудову графіків і звітів.

У розробленій архітектурі інформаційно-вимірювальна система може виступати зовнішнім джерелом операційних даних для модуля збору та нормалізації даних. Інформаційна технологія, що реалізує відстеження подій, визначає необхідність передавання разом із кількісними значеннями ідентифікаторів об'єктів і часових характеристик подій, які використовуються під час багатофакторної оцінки.

Модуль збору та нормалізації даних призначений для збирання даних із різних інформаційних систем підприємства. Для обміну інформацією в роботі обрано формат CSV завдяки його універсальності, простоті та широкій підтримці корпоративними інформаційними системами [3].

CSV підтримується більшістю ERP, WMS та POS-систем, програм бухгалтерського обліку та BI-платформ, що забезпечує інтеграцію без розроблення спеціалізованих програмних інтерфейсів. Під час обміну через CSV інформаційно-вимірювальна система може передавати разом зі значеннями показників ідентифікатори об'єктів та часові мітки. Інформаційна технологія, що реалізує відстеження подій, використовує ці атрибути для відновлення послідовності записів після їх завантаження до аналітичного шару.

Додатковими перевагами CSV є простота структури, висока швидкість оброблення великих обсягів даних та невеликий розмір файлів порівняно з XML або JSON. Формат підтримує потокове зчитування даних, не залежить від конкретного способу передавання інформації (FTP, SFTP, хмарні сховища, файлові сервери) та забезпечує можливість архівування та аудиту, оскільки кожен файл є окремим знімком стану інформаційної системи. Це робить CSV доцільним форматом для інтеграції даних у запропонованому програмному продукті для реалізації методів багатofакторної оцінки.

Модуль збору та нормалізації даних складається з наступних модулів: DB Settings, File Settings, Steps, Schedules, Notification Settings. Кожен із зазначених модулів виконує окремі функції, пов'язані з налаштуванням процесу збору, обробки та завантаження даних.

Модуль DB Settings (рис. 3.2) відповідає за обмін з базою даних. У даному модулі вказуються параметри приєднання до бази даних Microsoft SQL Server. Імпорт даних спочатку здійснюється в проміжну базу даних, після перевірки дані імпортуються в основну базу даних.

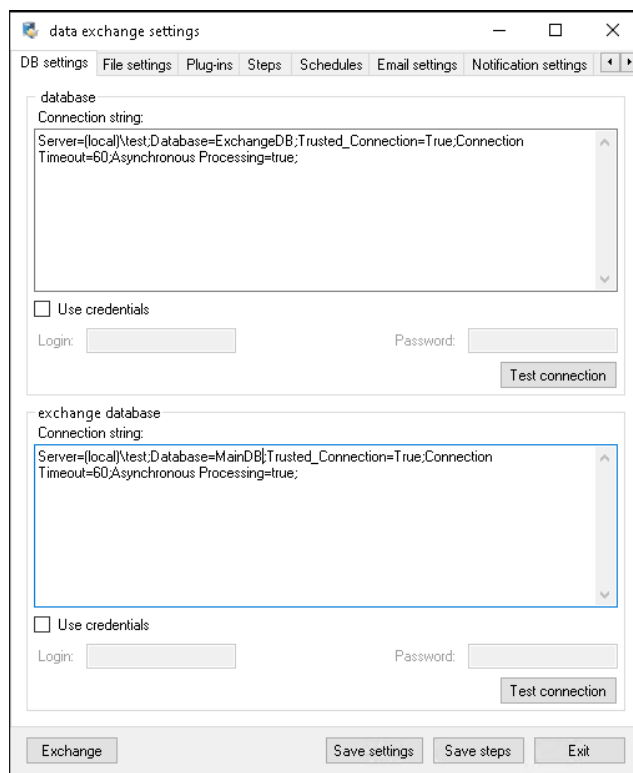


*Рис. 3.2. Налаштування DB Settings*

Модуль File Settings (рис. 3.3) відповідає за налаштування параметрів CSV-файлів: розміщення, кодування файлів, роздільник цілої та дробової частини числа, роздільник колонок. Для економії пам'яті читання з файлу відбувається блоками, за розмір блока відповідає параметр Batch size.

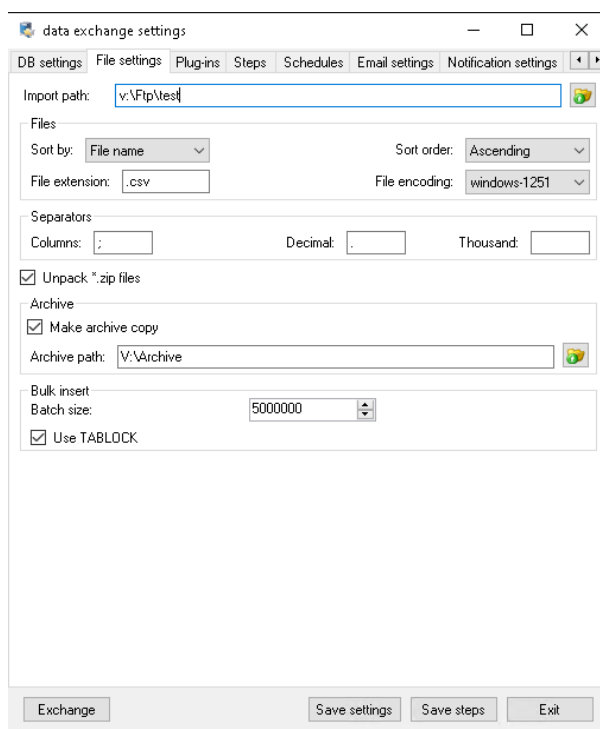
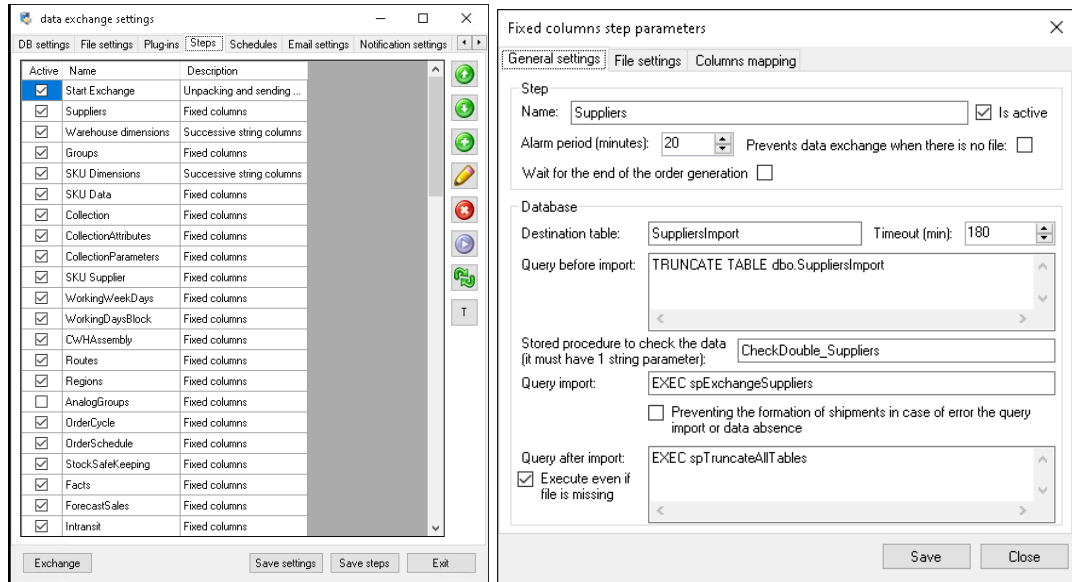


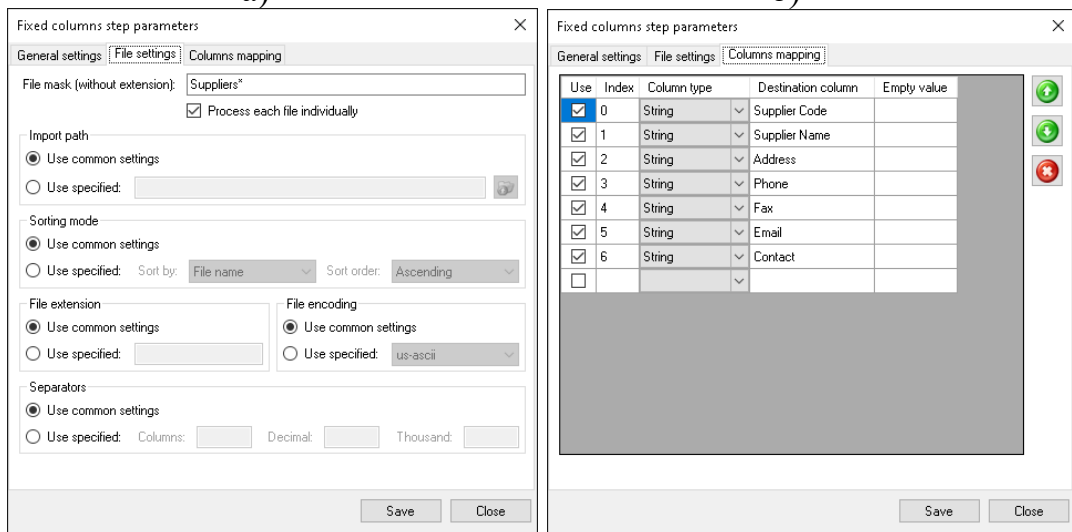
*Рис. 3.3. Налаштування File Settings*

Модуль Steps (рис. 3.4) відповідає за налаштування структури CSV-файлів, порядок їх обробки та виконання перевірок. В модулі проводиться налаштування порядку обробки CSV-файлів (а), таблиць (б), в які відбувається імпорт даних з CSV-файлів (в), встановлюється зв'язок між полями CSV-файлів та полями таблиці в базі даних (г).



а)

б)



в)

г)

Рис. 3.4. Налаштування Steps: а) налаштування порядку обробки; б) налаштування таблиць; в) налаштування CSV-файлів; г) зв'язок між полями CSV-файлів та полями таблиці в базі даних

При імпорті даних спочатку відбувається масове завантаження в проміжні таблиці завантаження даних без бізнес-логіки. Рядки із проміжних таблиць проходять перевірку та трансформацію, помилки маркуються. Після

перевірки запускається перенос даних в основну базу, де для кожної таблиці виконується вставка або оновлення даних.

Модуль Steps також відповідає за перевірку якості вхідних даних і обробку помилок, що виникають під час завантаження. На першому етапі виконується синтаксична валідація CSV-файлів, під час якої перевіряється коректність структури даних: роздільники полів, використання лапок, кількість стовпців та відповідність формату файлу встановленим вимогам. Далі здійснюється типова валідація, яка контролює відповідність значень визначеним типам даних. Дані, отримані від інформаційно-вимірювальної системи, на цьому етапі перевіряються на відповідність визначеній структурі, типам даних та встановленим правилам завантаження.

Після цього перевіряються бізнес-правила. Зокрема, контролюється, щоб кількість продажів і ціни були невід'ємними, а час виконання замовлення не перевищував допустиме значення, встановлене в системі. Завершальним етапом є перевірка цілісності даних, під час якої перевіряється існування кодів товарів, складів, постачальників у довідниках. У разі виявлення помилок модуль реєструє їх у журналі та надсилає повідомлення з назвою файлу, кількістю помилок та прикладами на e-mail обраним адресатам. Налаштування повідомлень відбувається в модулі Notification (рис. 3.5).

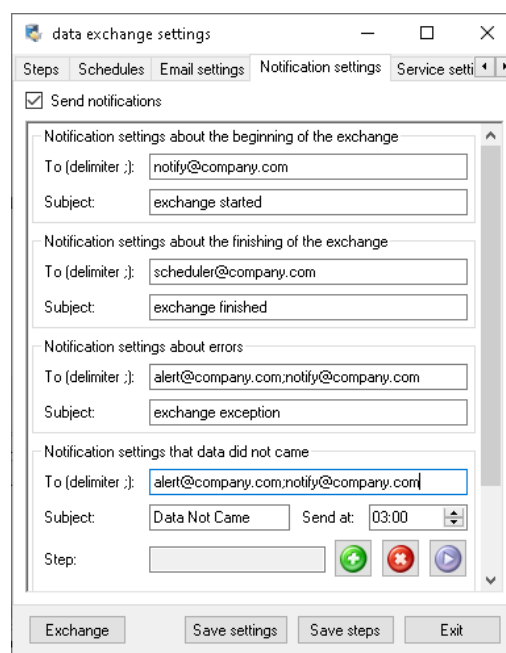


Рис. 3.5. Налаштування Notification

Модуль збору та нормалізації даних працює автоматично згідно з погодженим регламентом. За налаштування розкладу роботи відповідає модуль Schedules (рис. 3.6).

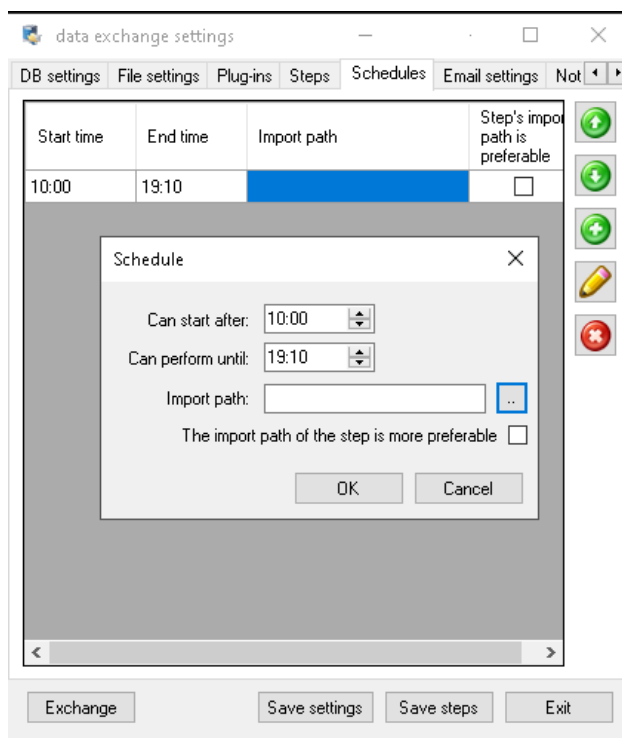


Рис. 3.6. Налаштування Schedules

Модуль збору та нормалізації даних реалізовано на мові C# (.NET Framework) з використанням архітектури на основі плагінів. В ній кожна одиниця операцій імпорту або перетворення реалізує загальний контракт. Абстрактний базовий клас BaseFileStep визначає спільну конфігурацію кроку імпорту: оператори SQL, що виконуються до, під час та після обміну даними, параметри зіставлення файлів (маска, кодування, роздільники полів та десяткових знаків, порядок сортування), а також можливість серіалізації конфігурації кроку в XML та з XML. Все це дозволяє налаштувати та зберігати набір кроків імпорту декларативно, а не шляхом жорсткого кодування. Конкретні типи кроків спеціалізують цей базовий клас для різних структур вихідних файлів та завдань. Клас FixedColumnsStep аналізує файли зі стовпцями фіксованої ширини, клас SuccessiveStringColumnsStep аналізує файли з роздільниками, що містять послідовні текстові стовпці, клас UnpackStep розпаковує вхідні архіви перед імпортом за налаштованим

розкладом. Клас `ScheduledShipmentsStep` – це крок, керований таймером, що використовується для генерації вихідних даних, пов'язаних з відправленнями, за налаштованим щотижневим розкладом. Така архітектура дозволяє додавати нові формати вихідних файлів або правила перетворення шляхом реалізації нового класу кроку, не змінюючи кроки, що вже знаходяться в експлуатації. Повний виклад вихідного коду наведено в Додатку А.

Для зберігання та обробки даних обрано СУБД Microsoft SQL Server. При визначенні впливу факторів на рівень запасів модуль багатофакторної оцінки обробляє великі об'єми даних. База даних спроектована з дотриманням принципів логічної цілісності, нормалізації та зручності оброблення даних. Структура бази даних забезпечує підтримку всіх необхідних функцій – збереження первинних даних, кількісних значень факторів та результатів обчислень, а також роботи з користувачами. Діаграму бази даних представлено та опис основних таблиць наведено в додатку В.

Для обробки даних вирішено було використовувати T-SQL, як основну мову оброблення даних у середовищі Microsoft SQL Server. Такий вибір обумовлений тим, що всі основні обчислення виконуються безпосередньо в СУБД, де фізично зберігаються дані. Це дозволяє мінімізувати передачу великих масивів інформації до зовнішніх застосунків, скоротити мережевий трафік та зменшити витрати на операції введення-виведення [3]. Додатковою перевагою є висока продуктивність SQL Server під час виконання масових обчислень. Система ефективно виконує агрегації, групування, віконні функції та інші операції завдяки оптимізатору запитів, механізмам паралельного виконання, статистикам і системі кешування [21; 92]. T-SQL також надає широкий набір аналітичних інструментів, зокрема функції `LAG`, `LEAD`, `ROW_NUMBER`, `SUM OVER`, оператори `JOIN`, `PIVOT`, `UNPIVOT` та `MERGE`, які безпосередньо використовуються під час реалізації алгоритмів визначення факторів, побудови матриці відповідності та аналізу часової послідовності подій.

Додатковими перевагами обраного підходу є можливість використання спеціалізованих механізмів оптимізації SQL Server, зокрема columnstore indexes, table partitioning, memory-optimized tables та indexed views, що забезпечують ефективну обробку сотень мільйонів записів. Для реалізації бізнес-логіки було обрано використання збережених процедур, функцій і SQL Agent Jobs. Це забезпечує відтворюваність результатів, централізоване супроводження програмного коду, автоматизацію виконання розрахунків та можливість аудиту. Крім того, виконання алгоритмів безпосередньо в СУБД дозволяє використовувати вбудовані механізми керування доступом, логування та захисту даних, що підвищує надійність і безпеку розробленого програмного продукту.

Нижче наведено код на SQL, який визначає дату постачання згідно графіку замовлень.

```
CREATE FUNCTION [dbo].[GetPlanArriveDate](@Date as smalldatetime,
@WarehouseID as int, @SupplierID as int, @OrderScheduleID as int)
/* @Date – поточна дата, @WarehouseID – ідентифікатор складу, @SupplierID
– ідентифікатор постачальника, @OrderScheduleID – номер графіка
замовлення постачальника */
RETURNS smalldatetime
AS
BEGIN
DECLARE @PlanArriveDate as smalldatetime, @LeadTime as INT,@OrderWeek
as numeric(15,4),@StartWeek as numeric(15,4),@Week as
numeric(15,4),@WeekDay as numeric(15,4),@monthDate as
smalldatetime,@DeliveryTime nvarchar(10),@ScheduleType int
SELECT
    @OrderWeek = OrderWeek,
    @StartWeek = StartWeek,
    @ScheduleType = ScheduleType
FROM GS.dbo.OrderCycle
WHERE [SupplierID] = @SupplierID AND [WarehouseID] = @WarehouseID AND
[OrderScheduleID] = @OrderScheduleID
-- Визначення дня тижня та номеру тижня
SET @WeekDay = GS.dbo.GetWeekDay(@Date)
SET @Week = GS.dbo.WeekNumber(@Date)
IF @PlanArriveDate IS NULL
BEGIN
-- Щотижневе замовлення (ScheduleType = 1)
IF @ScheduleType = 1
SELECT @LeadTime = [LeadTime], @DeliveryTime = [DeliveryTime] FROM
GS.dbo.OrderSchedule
```

```

WHERE [SupplierID] = @SupplierID AND [WarehouseID] = @WarehouseID AND
[OrderScheduleID] = @OrderScheduleID AND [OrderDay] = @WeekDay

-- Замовлення у визначений день тижня місяця (ScheduleType = 2)
IF @ScheduleType = 2
SELECT @LeadTime = [LeadTime], @DeliveryTime = [DeliveryTime] FROM
GS.dbo.OrderSchedule
WHERE [SupplierID] = @SupplierID AND [WarehouseID] = @WarehouseID AND
      [OrderScheduleID] = @OrderScheduleID AND [OrderDay] = @WeekDay
-- Замовлення у визначений день місяця (ScheduleType = 3)
IF @ScheduleType = 3
SELECT @LeadTime = [LeadTime], @DeliveryTime = [DeliveryTime] FROM
GS.dbo.OrderSchedule
WHERE [SupplierID] = @SupplierID AND [WarehouseID] = @WarehouseID AND
      [OrderScheduleID] = @OrderScheduleID AND [OrderDay] = 0
-- Визначення дати та часу планового постачання
SET @PlanArriveDate = DATEADD(day,@LeadTime-1,@Date) +
CONVERT(smalldatetime,@DeliveryTime+':00')
RETURN(@PlanArriveDate)

END

```

Для оцінювання обчислювальної складності розглянуто алгоритми кількісного розподілу внеску причинно допустимих факторів, наведені в підпункті 2.3. Оцінка стосується безпосередньо Алгоритму 1 для втрачених продажів і Алгоритму 2 для надлишкових товарних запасів після формування вхідної матриці  $R_i[id, n, r]$ . Кожен фактор опрацьовується один раз, тому кількість виконуваних операцій пропорційна  $k$ . Відповідно, часова складність Алгоритмів 1 і 2 та просторова складність становлять  $O(k)$ . Формування та впорядкування матриці  $R_i$  виконуються на попередньому етапі та до наведеної оцінки безпосередньої роботи Алгоритмів 1 і 2 не включаються.

За умови, що середня кількість факторів  $k$  для одного випадку суттєво не буде збільшуватись із розширенням асортименту та відкриттям нових магазинів, сумарні обчислювальні витрати зростають приблизно пропорційно кількості аналізованих випадків. Основні показники обчислювального навантаження та масштабованості для алгоритмів 1 та 2 наведено в табл. 3.2.

Розрахунки виконувалися на сервері Microsoft SQL Server із двома процесорами AMD EPYC 9254 (48 фізичних ядер) та 512 ГБ оперативної пам'яті. Наведені часові показники відповідають зазначеній апаратній конфігурації. Отримані значення  $k$  свідчать, що локальне обчислювальне

навантаження є обмеженим. Середня кількість факторів становить 1,1012 для Алгоритму 1 та 1,4083 для Алгоритму 2, а для 95% випадків кількість факторів не перевищує відповідно 2 та 3.

Таблиця 3.2

**Показники обчислювальної складності та масштабованості**

| Показник                                  | Алгоритм 1, LS | Алгоритм 2, OS |
|-------------------------------------------|----------------|----------------|
| Середнє $k$                               | 1,1012         | 1,4083         |
| Медіана $k$                               | 1              | 1              |
| P95 $k$                                   | 2              | 3              |
| Максимальне $k$                           | 5              | 15             |
| Середня кількість випадків за 7 днів      | 197 620        | 2 909 321      |
| Середня кількість випадків за місяць      | 858 705        | 12 641 694     |
| Час виконання за 7 днів, хв               | 43,2           | 47,5           |
| Час виконання за місяць, хв               | 194,4          | 213,8          |
| Пропускна здатність за 7 днів, випадків/с | 76,2           | 1020,8         |
| Пропускна здатність за місяць, випадків/с | 73,6           | 985,0          |
| Коефіцієнт масштабування $K_{sc}$         | 1,04           | 1,04           |

Для оцінювання масштабованості порівняно тижневий і місячний режими оброблення. При переході до місячного режиму кількість аналізованих випадків збільшується приблизно у 4,35 рази, а час виконання - приблизно у 4,50 рази. Коефіцієнт масштабованості визначено як відношення коефіцієнта зростання часу виконання до коефіцієнта зростання обсягу даних  $K_{sc}=4,50/4,35\approx 1,04$ . Значення  $K_{sc}$ , близьке до 1, свідчить про близьке до лінійного масштабування програмної реалізації.

Модуль аналітичної візуалізації є користувацьким рівнем програмного продукту, який забезпечує візуалізацію результатів роботи модуля багатофакторної оцінки та взаємодію користувачів із результатами застосування методів багатофакторної оцінки. Основним призначенням модуля є надання оперативного доступу до показників ефективності системи управління запасами, зокрема втрачених продажів, надлишкових товарних запасів та кількісного впливу окремих факторів на їх виникнення. Крім відображення агрегованих показників, модуль дозволяє аналізувати структуру причинно допустимих подій та їх кількісних внесків з деталізацією до рівня

окремого товару (SKU), магазину та дати виникнення події. Інтерактивні інформаційні панелі та аналітичні звіти забезпечують можливість швидкого виявлення проблемних ділянок, аналізу структури факторів і підтримки прийняття управлінських рішень у процесах закупівель, логістики, мерчандайзингу та планування поповнення товарних запасів.

Для реалізації модуля аналітичної візуалізації у роботі обрано платформу QlikView, яка належить до класу систем бізнес-аналітики та призначена для інтерактивного аналізу й візуалізації даних [44]. Основою QlikView є асоціативна модель даних, яка дозволяє користувачам вільно досліджувати інформацію, швидко знаходити взаємозв'язки між показниками та аналізувати результати без жорстко визначеної структури запитів [3]. Використання технології «in-memory processing» дозволяє швидко виконувати агрегацію та фільтрацію великих обсягів даних і формувати інтерактивні інформаційні панелі практично без затримок. QlikView підтримує інтеграцію з Microsoft SQL Server через ODBC/OLE DB, виконання SQL-запитів, автоматичне оновлення даних та інкрементальне завантаження, що забезпечує ефективну роботу з великими наборами даних. Платформа також підтримує масштабування в корпоративному середовищі, одночасну роботу багатьох користувачів, кешування запитів і централізовані механізми автентифікації та розмежування доступу до аналітичної інформації. Сукупність цих можливостей дозволила використати QlikView як інструмент візуалізації результатів застосування методів багатофакторної оцінки та підтримки прийняття управлінських рішень у сфері управління запасами.

Модуль аналітичної візуалізації реалізовано у вигляді скрипта завантаження даних QlikView (Додаток Б), що формує описану вище асоціативну модель даних у пам'яті. Скрипт виконує інкрементне завантаження з бази даних на сервері SQL Server через з'єднання OLE DB і створює таблицю виміру “Календар” із попередньо обчисленими позначками періодів, довідкові таблиці для товарів, складів, постачальників та класифікатора SKU, довідкові таблиці для причин втрачених продажів та

надлишків запасів (що безпосередньо відповідають спискам факторів, проаналізованим у пункті 2.2), таблицю BufferStatus, яка описує цільовий рівень запасів, та таблицю фактів AnalyticData, що об'єднує обсяги продажів, втрачених продажів, надлишкових запасів та залишків запасів. Кожна таблиця завантажується за двоступеневою схемою – завантаження з SQL Server, збереження у локальному файлі .qvd, а потім повторне завантаження з цього файлу – що зменшує навантаження на базу даних та скорочує час повторного завантаження.

Модуль аналітичної візуалізації складається з наступних компонентів: скрипт завантаження даних, побудова структури даних та набір дашбордів. Скрипт завантаження даних (рис. 3.7) виконує підключення до MS SQL Server, виклик SQL-запитів для отримання агрегованих результатів багатофакторної оцінки.

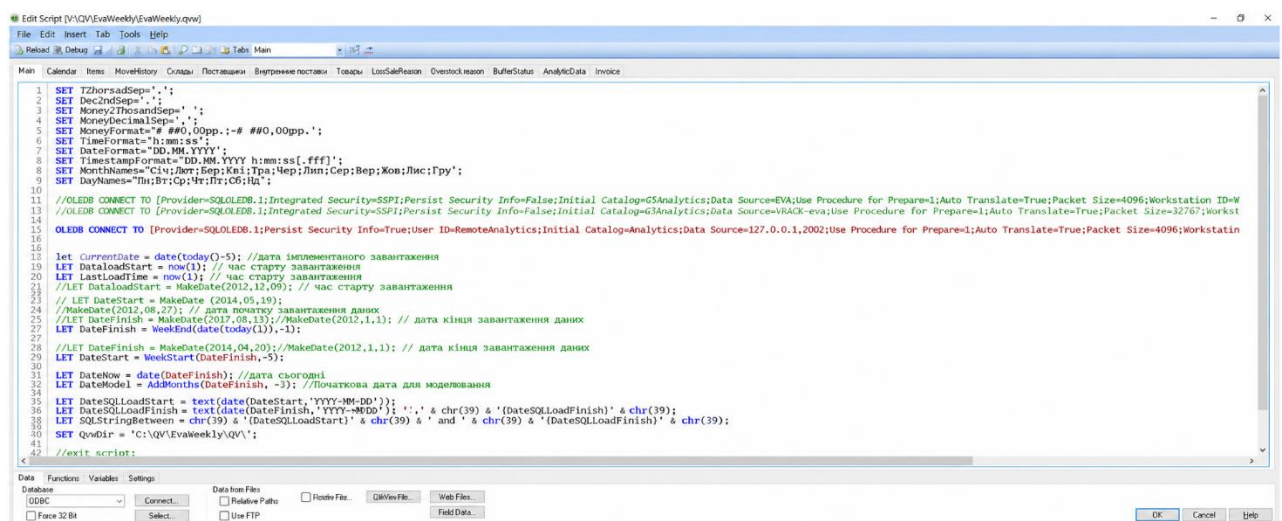


Рис. 3.7. Data Load Script QlikView

Компонент побудови структури даних використовується для формування асоціативної моделі, у межах якої дані з різних джерел об'єднуються за визначеними ключовими полями та логічними зв'язками (рис. 3.8). Це забезпечує узгоджене представлення інформації про товари, місця зберігання, залишки, продажі, замовлення, поставки та операційні події, а також створює основу для подальшої багатофакторної оцінки та аналітичної візуалізації результатів.

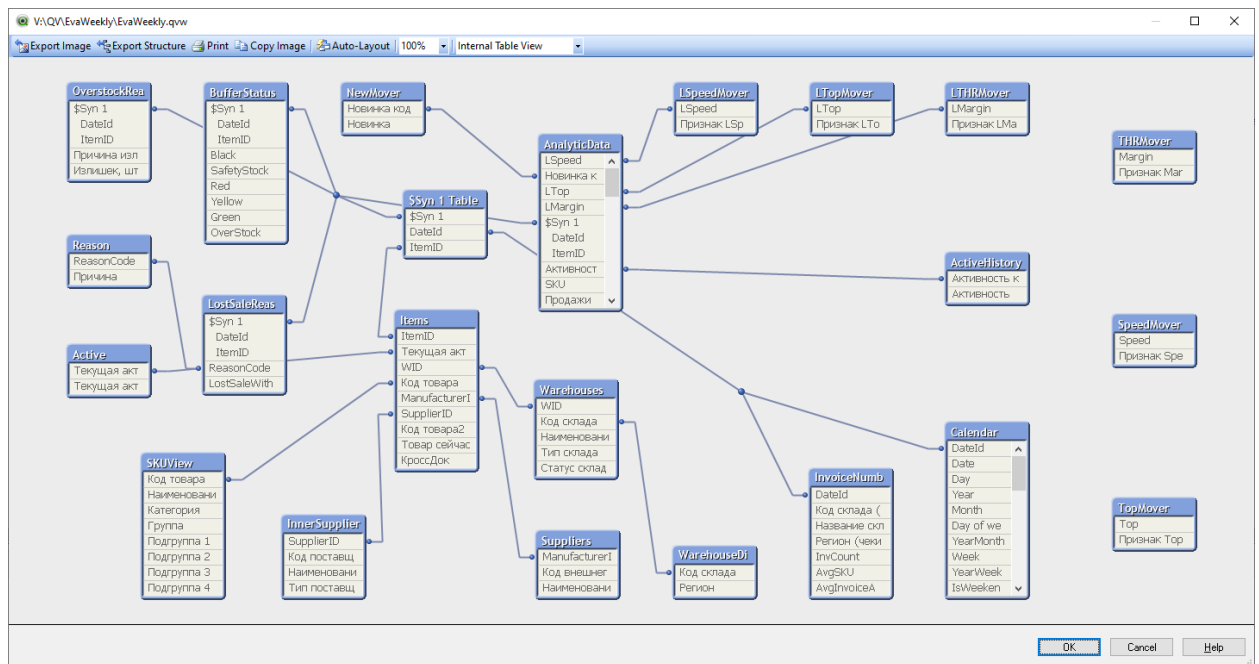


Рис. 3.8. Асоціативна модель даних QlikView

Набір дашбордів складається з наступних звітів: динаміка залишків та продажів (рис. 3.9); структура залишків та продажів в розрізі груп (рис. 3.10); продажі та втрачені продажі (рис. 3.11); втрачені продажі в розрізі груп (рис. 3.12); вплив факторів на втрачені продажі (рис. 3.13); залишки та надлишковий товарний запас (рис. 3.14); надлишки в розрізі груп (рис. 3.15); вплив факторів на надлишкові товарні запаси (рис. 3.16).

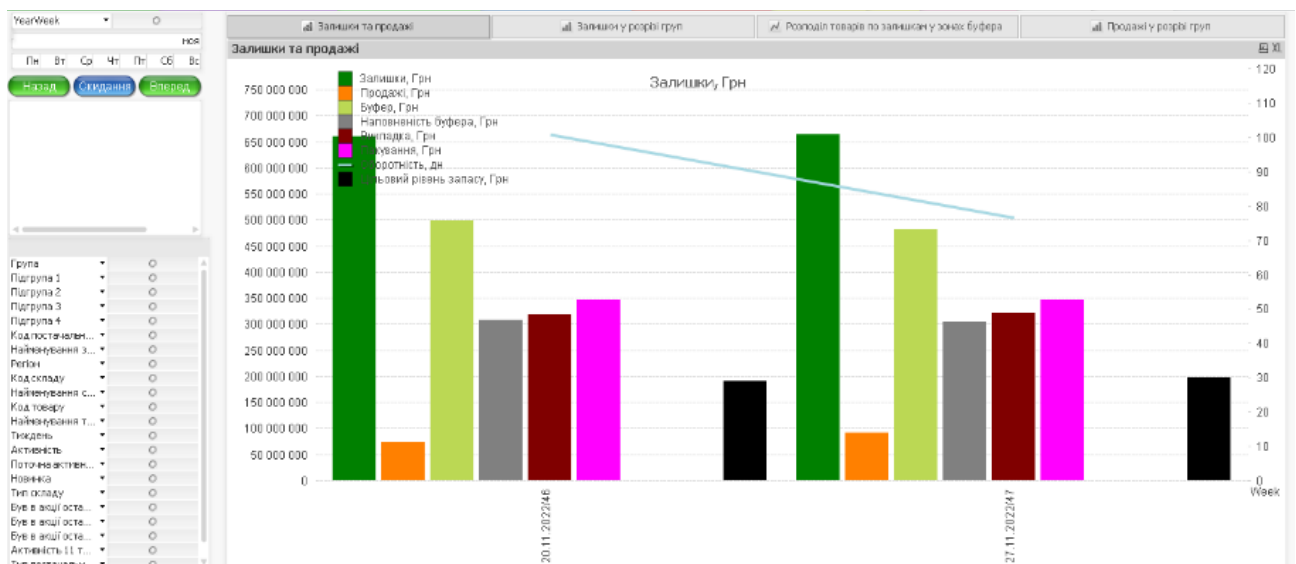
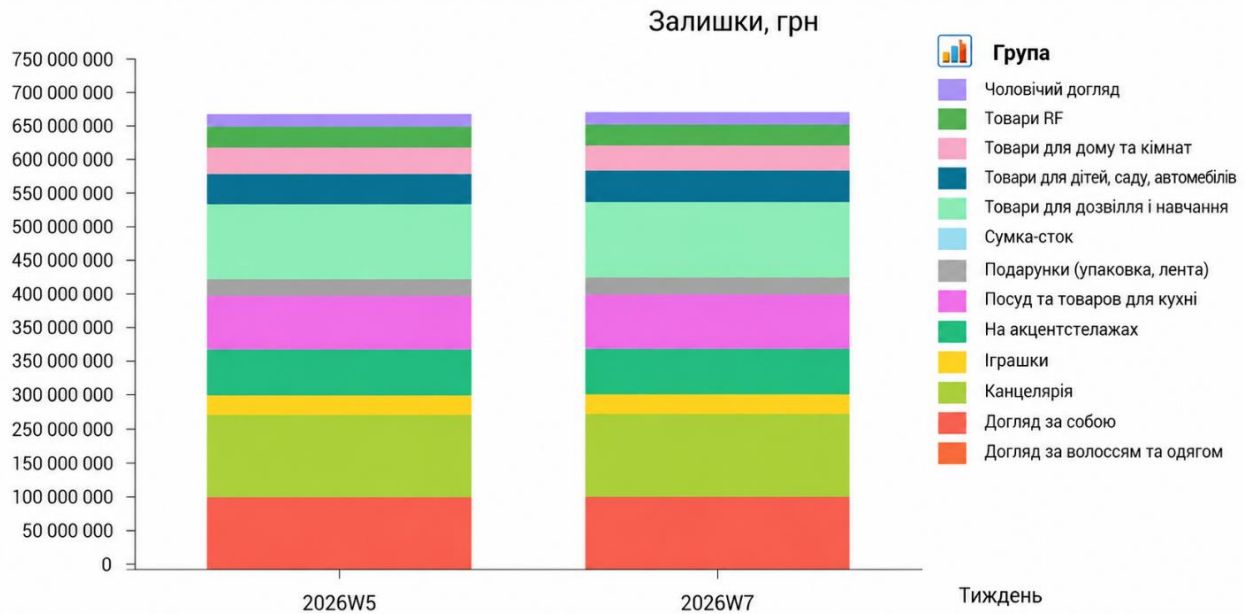


Рис. 3.9. Динаміка залишків та продажів

На рис. 3.9 представлено зміну обсягів товарних залишків і продажів за обраними періодами. Спільне відображення цих показників дає змогу

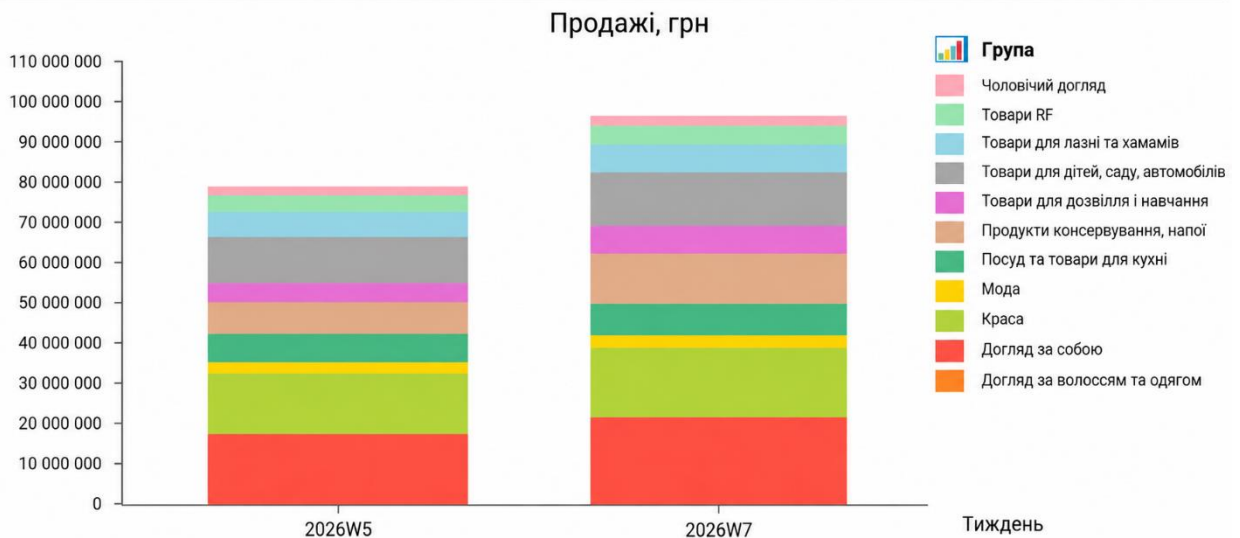
зіставляти динаміку запасів з фактичними продажами та виявляти періоди зміни співвідношення між ними. На рис. 3.10 наведено структуру товарних залишків (а) і продажів (б) у розрізі окремих товарних груп. Порівняння структури двох показників дає змогу визначати групи, для яких співвідношення між обсягом запасів і продажів відрізняється від загальної структури товарного портфеля.

#### Залишки у розрізі груп



а)

#### Продажі у розрізі груп



б)

Рис. 3.10. Структура залишків та продажів в розрізі груп: а) структура залишків в розрізі груп; б) структура продажів в розрізі груп

На рис. 3.11 наведено динаміку фактичних і втрачених продажів за окремими періодами. Порівняння їх величин дає змогу визначати періоди зростання втрачених продажів відносно загального обсягу реалізації.

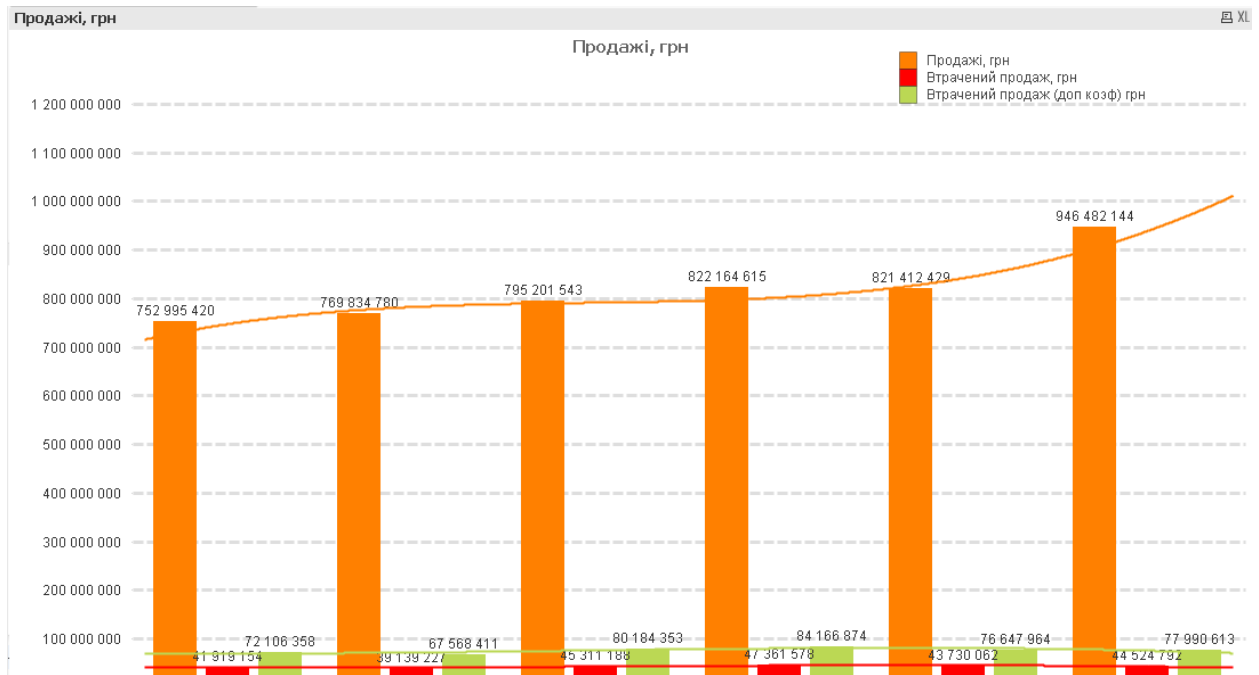


Рис. 3.11. Динаміка продажів та втрачених продажів

На рис. 3.12 представлено розподіл втрачених продажів між товарними групами. Отримана деталізація дає змогу визначати групи з найбільшою величиною втрачених продажів та простежувати зміну їх структури в часі.

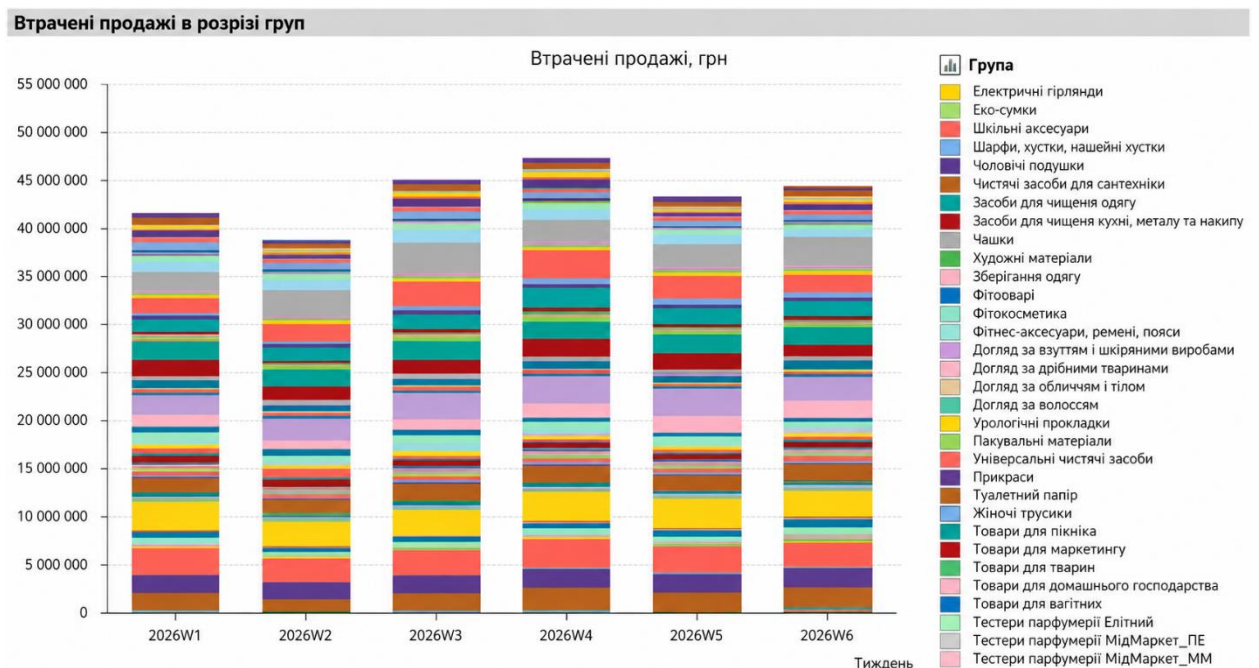


Рис. 3.12. Втрачені продажі в розрізі груп товарів

На рис. 3.13 наведено результати багатофакторної оцінки втрачених продажів із розподілом їх величини між визначеними факторами. Це дає змогу порівнювати кількісний вплив факторів і простежувати зміну їх співвідношення за окремими періодами.

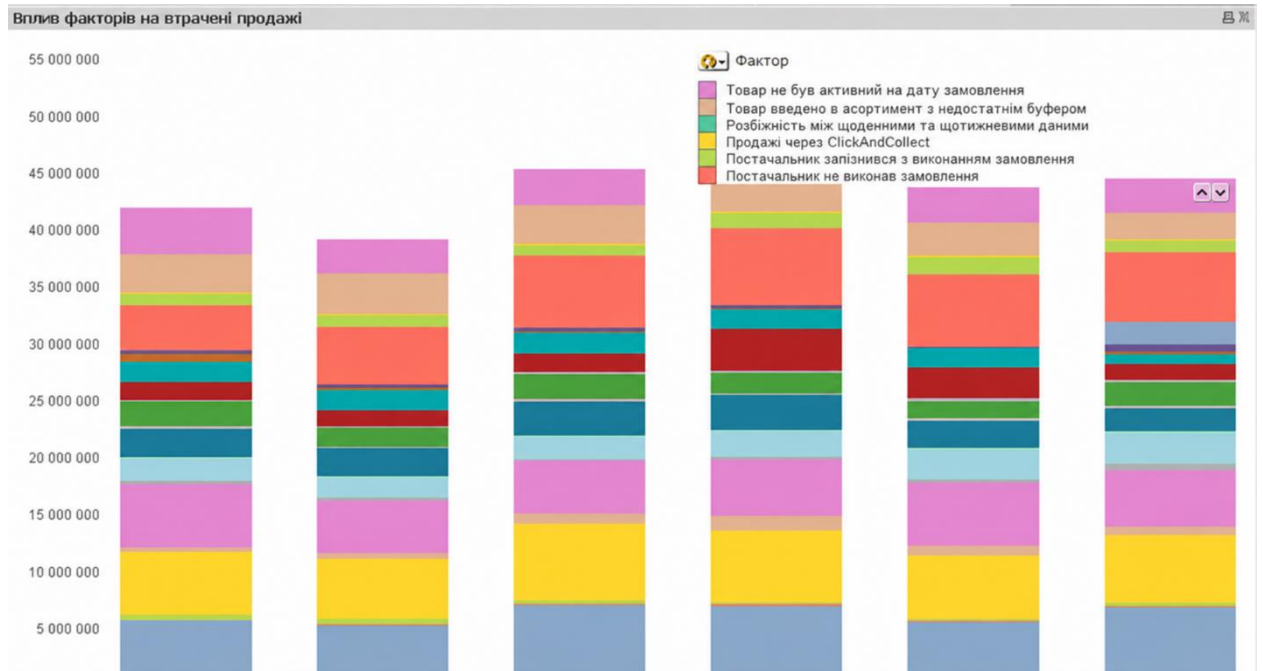


Рис. 3.13. Вплив факторів на втрачені продажі

На рис. 3.14 показано динаміку загального обсягу товарних залишків і надлишкових запасів. Спільне відображення цих показників дозволяє аналізувати зміну величини надлишків відносно загального рівня запасів.

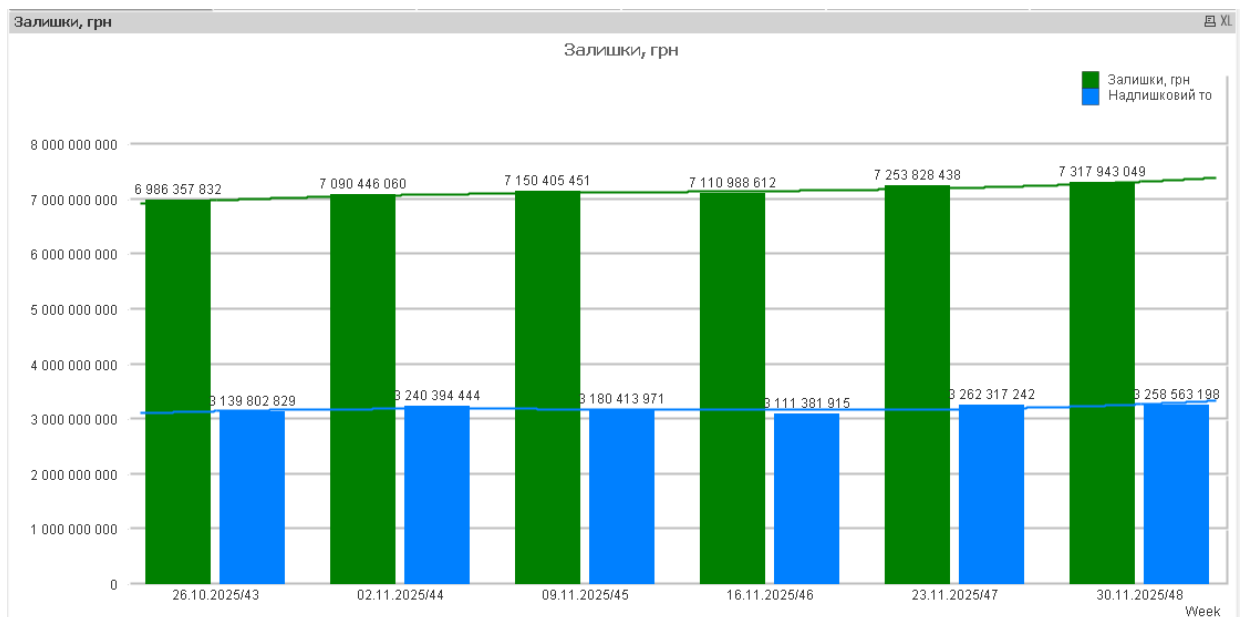


Рис. 3.14. Динаміка залишків на надлишкових товарних запасах

На рис. 3.15 подано структуру надлишкових товарних запасів за товарними групами та її зміну в часі. Такий розріз дозволяє виявляти групи, у яких зосереджується найбільший обсяг надлишкових запасів.

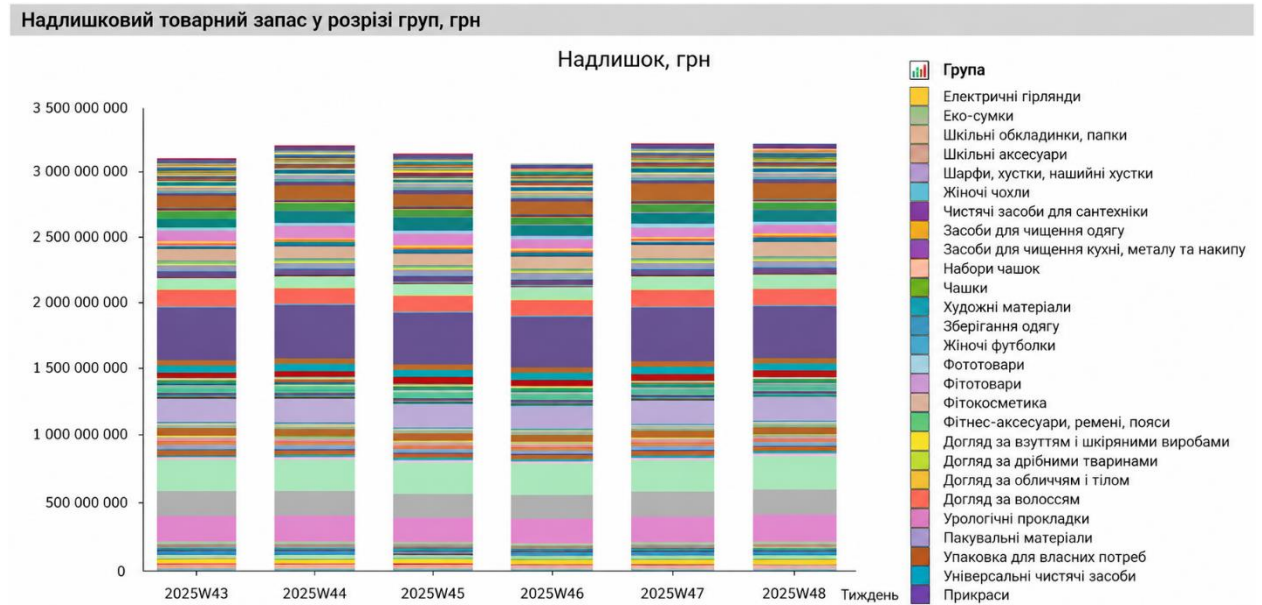


Рис. 3.15. Надлишкові товарні запаси в розрізі груп товарів

На рис. 3.16 відображено результати багатофакторної оцінки надлишкових товарних запасів у розрізі факторів. Отримані дані дають змогу визначати фактори з найбільшим кількісним впливом та аналізувати зміну структури причин формування надлишків за періодами.

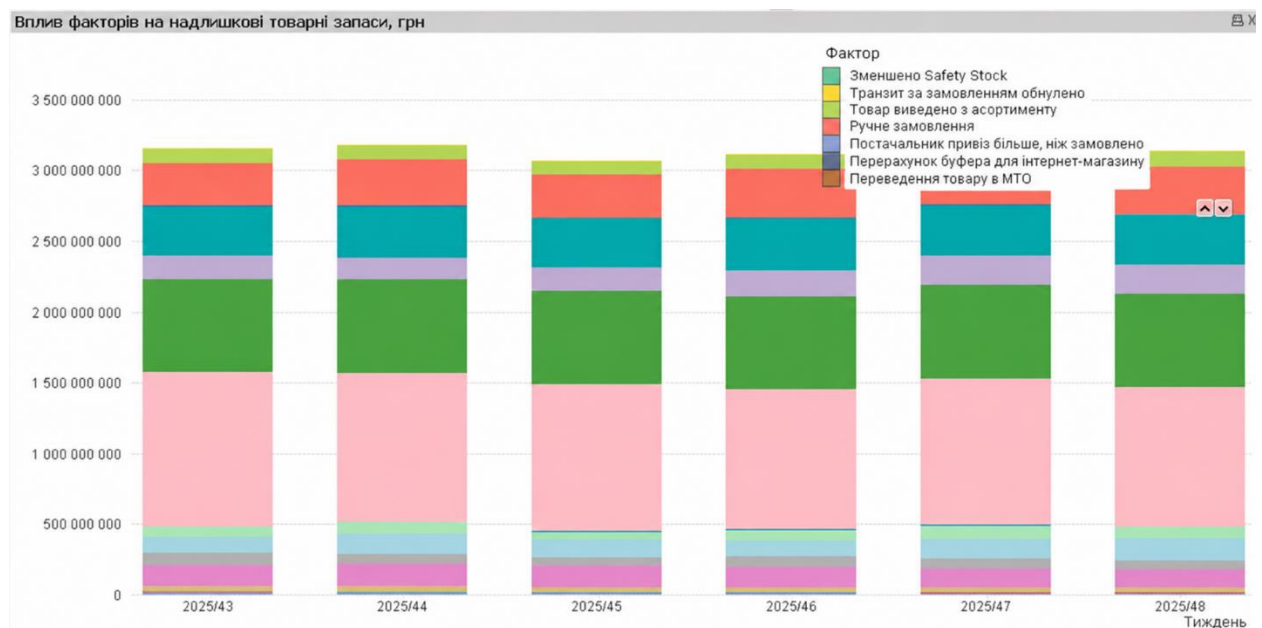


Рис. 3.16. Вплив факторів на надлишкові товарні запаси

Модуль аналітичної візуалізації дозволяє аналізувати інформацію в різних розрізах та за різні періоди: на рівні компанії, категорії, групи або товару, на рівні складу, постачальника та регіону та на рівні окремих тижнів, днів тижня або місяців.

Таким чином модуль аналітичної візуалізації дозволяє оцінювати динаміку зміни залишків, продажів, втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, а також аналізувати результати застосування методу багатофакторної оцінки втрачених продажів і методу багатофакторної оцінки надлишкових товарних запасів у різних розрізах.

Для оцінки коректності та стійкості розроблених методів та програмного забезпечення було застосовано багаторівневу процедуру верифікації. Метою цієї процедури перевірка відповідності програмної реалізації формалізованих логіці Алгоритмів 1 і 2, оцінювання точності кількісної атрибуції на контрольованих наборах, визначення робастності до похибок вхідних даних та перевірка практичного наслідку використання результатів аналізу.

Для верифікації програмного забезпечення було сформовано 20 000 контрольованих випадків, з них 10 000 для втрачених продажів і 10 000 для надлишкових запасів. Загальна кількість факторних подій становила 62 201. Випадки поділено на п'ять класів: вплив одного фактора; вплив декількох одночасних факторів; послідовне виникнення факторів; поєднання причинно допустимих і причинно непридатних подій; змішані багатофакторні випадки. Для кожного випадку до запуску тестованої програмної реалізації формувалася референтний внесок  $C^{REF}$ . Термін «референтний» використано свідомо, оскільки його значення задається відповідно до прийнятої в розділі 2 причинно-часової логіки і тому не трактується як незалежно спостережуваний істинний внесок у реальній системі. Для сформованого набору програмна реалізація відтворила референтний розподіл:  $NMAE$  становила 0%,  $F1$  – 1,000,  $\text{Top-1}$  асигурація – 100%. Цей результат підтверджує відповідність програмної реалізації формалізованих причинно-часовій логіці, але не використовується як твердження про абсолютну точність методів на реальних даних.

Щоб уникнути перевірки лише на ідеальних даних, до контрольованого набору вносились випадкові спотворення. Для величини  $r_i$  використовувались межі  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  та  $\pm 20\%$ , окремо моделювався пропуск 5%, 10% і 20% факторних подій та додатково перевірялись комбіновані сценарії. Кожну умову повторювали 20 разів із різними фіксованими значеннями генератора випадкових чисел (табл. 3.3).

За похибки  $r_i \pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  і  $\pm 20\%$  *NMAE* запропонованих методів становила відповідно 2,21%, 4,39% і 8,69%. За пропуску 5%, 10% і 20% подій *NMAE* зростає до 6,29%, 12,43% і 24,35%. У найжорсткішому комбінованому сценарії (похибка  $r_i \pm 20\%$  і пропуск 20% подій) *NMAE* становила 30,85%, F1 - 0,873, а Top-1 асигнасу - 76,72%. У всіх досліджених умовах і в кожному з 20 повторень *NMAE* запропонованих методів багатофакторної оцінки була нижчою, ніж у пропорційного розподілу та методу Шеплі. Отримані результати показують, що запропоновані методи є більш стійкими до помірної похибки кількісної оцінки фактора, ніж до повної відсутності інформації про частину подій.

Таблиця 3.3

**Результати аналізу робастності методу до похибок кількісного впливу факторів та неповноти даних**

| Умова                                     | NMAE, % | F1    | Top-1, % |
|-------------------------------------------|---------|-------|----------|
| Похибка $r_i \pm 5\%$                     | 2.21    | 0.998 | 99.33    |
| Похибка $r_i \pm 10\%$                    | 4.39    | 0.996 | 98.02    |
| Похибка $r_i \pm 20\%$                    | 8.69    | 0.992 | 95.29    |
| Пропуск 5% подій                          | 6.29    | 0.971 | 94.92    |
| Пропуск 10% подій                         | 12.43   | 0.941 | 89.88    |
| Пропуск 20% подій                         | 24.35   | 0.878 | 79.80    |
| Комбіновано: $r_i \pm 5\%$ + пропуск 5%   | 8.35    | 0.969 | 94.31    |
| Комбіновано: $r_i \pm 10\%$ + пропуск 10% | 16.25   | 0.938 | 88.28    |
| Комбіновано: $r_i \pm 20\%$ + пропуск 20% | 30.85   | 0.873 | 76.72    |

Окремо досліджувалась чутливість до помилки визначення часу події, оскільки параметр  $n_i$  безпосередньо визначає порядок врахування факторів.

При випадковому зміщенні дати події в межах  $\pm 1$ ,  $\pm 2$  і  $\pm 3$  днів отримано такі результати (табл. 3.4):

Таблиця 3.4

**Результати аналізу робастності методу до похибок часової реєстрації  
факторів**

| Похибка часу | NMAE, % | F1    | Top-1, % | EventNo F1 |
|--------------|---------|-------|----------|------------|
| $\pm 1$ день | 18.43   | 0.957 | 87.33    | 0.937      |
| $\pm 2$ дні  | 30.83   | 0.912 | 78.16    | 0.885      |
| $\pm 3$ дні  | 40.30   | 0.865 | 71.86    | 0.835      |

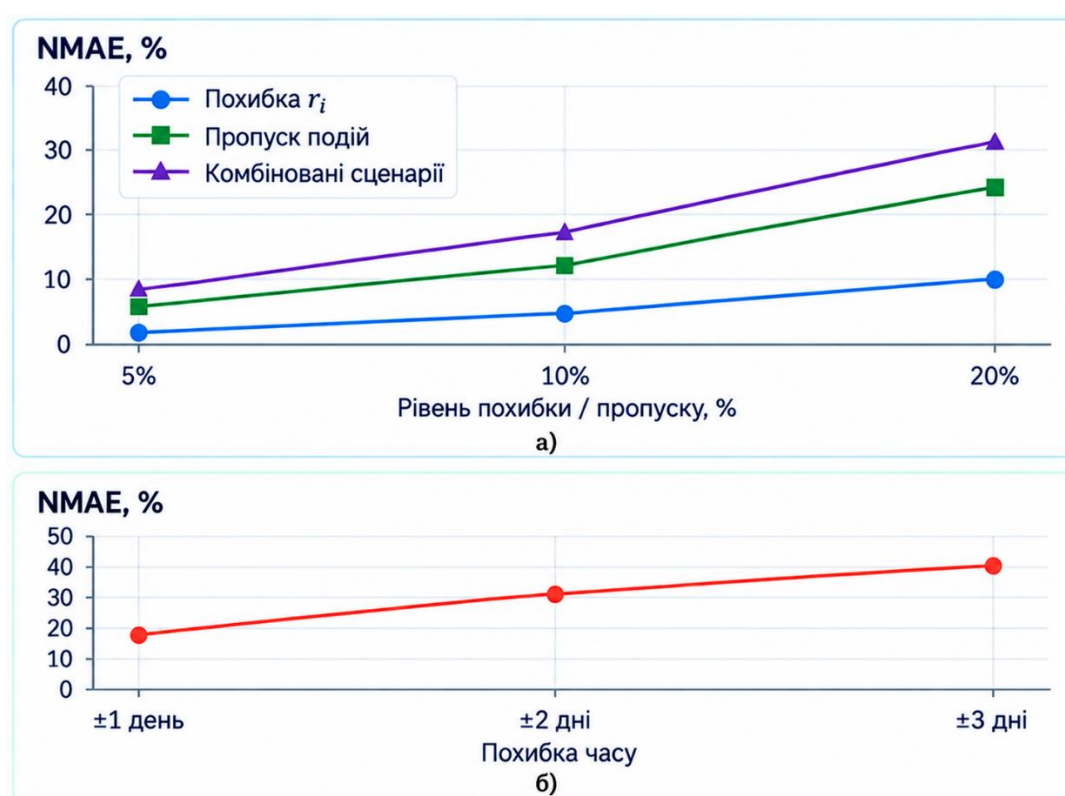


Рис. 3.17. Результати аналізу робастності методу: а) похибка кількісного впливу факторів та неповноти даних; б) похибка часової реєстрації факторів

Зі збільшенням похибки часу NMAE зростає від 18,43% до 40,30%, а Top-1 зменшилась від 87,33% до 71,86%. На рис. 3.17 показано, що неточність часу виникнення події (б) впливає на результат сильніше, ніж порівняння за масштабом похибка величини  $r_i$  (а). Отриманий результат показує, що інформаційно-вимірювальна система повинна забезпечувати точну часову реєстрацію операційних змін. Відстеження подій із достовірними часовими

мітками є необхідною умовою коректного визначення порядку врахування факторів. Для повторних подій одного ідентифікатору фактора додатково моделювався пропуск 5%, 10% і 20% повторів. У цих умовах NMAE становила відповідно 1,86%, 3,65% і 7,30%, тоді як F1 на рівні ідентифікатору фактора залишалась 1,000. Це показує, що правильне визначення типу причини не гарантує точної оцінки її кількісного внеску, якщо інформація про окремі повторні події є неповною.

### **3.2. Імітаційне моделювання та експериментальна перевірка методів багатфакторної оцінки**

Для перевірки методів багатфакторної оцінки було проведено моделювання процесу управління запасами. Важливо також оцінити, наскільки результати запропонованих методів залежать від рівня агрегації вхідних даних. Математичне моделювання забезпечило відтворення заданої послідовності операційних подій та контрольовану зміну параметрів досліджуваного процесу. Агрегований підхід виникає внаслідок практики управлінського аналізу, коли експертне оцінювання впливу факторів здійснюється на основі узагальнених показників за певний період, групу магазинів або товарів. На відміну від цього, запропоновані методи спочатку визначають причинно допустимі фактори та їх внесок для конкретного товару, магазину і дати, а вже потім агрегують результати. Попереднє агрегування може призводити до втрати часової, просторової та товарної відповідності між операційними подіями й конкретними відхиленнями. Відстеження подій на рівні конкретної комбінації «товар – магазин – дата» дає змогу зберегти цю відповідність до етапу агрегування результатів. Тому подальші експерименти спрямовані на кількісне оцінювання розбіжностей, що виникають зі збільшенням рівня агрегації.

Дослідження впливу агрегації виконувалося з послідовним збільшенням її рівня: експеримент 1 - один товар в одному магазині, експеримент 2 - один товар у десяти магазинах та експеримент 3 - десять товарів в десяти магазинах.

Для всіх трьох експериментів горизонт моделювання становив 30 днів. Вибір такого горизонту відповідає місячному періоду, за який на досліджуваних підприємствах виконується експертне оцінювання впливу факторів. Для забезпечення порівнянності результатів у всіх експериментах використовувалася однакова періодична система поповнення. Замовлення формувалося один раз на п'ять днів – у 5, 10, 15, 20, 25 та 30-й дні, постачання виконувалося на наступний день після замовлення. Таким чином, у межах 30-денного горизонту постачання відбувалося у 6, 11, 16, 21 та 26-й дні; постачання за замовленням 30-го дня виходило за межі досліджуваного періоду.

Залишок  $S_t^{tar}$  у цільовому стані системи визначався відповідно до рівняння (2.10), а максимальний допустимий рівень запасу  $T_i$  за формулою (2.17). Для кожної змодельованої операційної події задавалися ідентифікатор фактора  $id_i$ , момент виникнення події та кількісний потенційний вплив  $r_i$ . Час виникнення факторів узгоджено з бізнес-процесом. Зокрема, фактори неповного або надлишкового виконання замовлення постачальником могли виникати лише у день постачання, тоді як фактори зміни кількості замовлення – у день його формування.

Вплив факторів у кожному експерименті визначався трьома способами. За запропонованими методами аналіз спочатку виконувався на мінімальному рівні деталізації «товар - магазин – дата». Для кожного випадку втраченого продажу або надлишкового запасу формувалася множина причинно допустимих факторів, після чого їх вплив визначався відповідно до фактичної часової послідовності подій. Агрегування виконувалося лише після визначення впливу конкретних відхилень:

$$C_j^{MFE} = \sum_i \sum_s \sum_t C_{i,s,t,j} \quad (3.1)$$

де  $C_j^{MFE}$  - сукупний вплив фактора  $j$ , визначений запропонованими методами,  $C_{i,s,t,j}$  - визначений вплив фактора  $j$  у показник товару  $i$ , магазину  $s$  на дату  $t$ .

Для пропорційного розподілу спочатку агрегувалися потенційні впливи факторів  $A_j$  та загальна величина показника  $D_\Sigma$ . Вплив фактора визначався як

$$C_j^{PROP} = D_\Sigma \frac{A_j}{\sum_k A_k} \quad (3.2)$$

де  $C_j^{PROP}$  - вплив фактора  $j$ , визначений пропорційним методом,  $D_\Sigma$  - сумарне відхилення досліджуваного показника;  $A_j$  - агрегована величина впливу фактора  $j$ ,  $\sum_k A_k$  - сумарна величина впливу всіх факторів, що враховуються в аналізі,  $j$  - індекс досліджуваного фактора,  $k$  - індекс фактора у множині факторів, включених до розрахунку. Для методу Шеплі гравцями вважалися ідентифікатори факторів. Для множини факторів  $S$  характеристична функція визначалася як

$$v(S) = \min \left( D_\Sigma, \sum_{j \in S} A_j \right) \quad (3.3)$$

де  $v(S)$  - величина результату, яку може сформувати множина факторів  $S$ ,  $S$  - підмножина досліджуваних факторів;  $D_\Sigma$  - загальна величина відповідного показника ефективності,  $A_j$  - потенційний кількісний вплив фактора  $j$ . Далі значення впливу фактора визначалось за формулою розподілу Шеплі (1.16).

Для порівняння методів абсолютні внески переводилися у частки від загальної величини показника:

$$P_j = \frac{C_j}{D_\Sigma} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

де  $P_j$  - частка фактора  $j$  у загальній величині показника,%;  $C_j$  - кількісний внесок фактора  $j$ ;  $D_\Sigma$  - загальна величина втрачених продажів або надлишкового запасу.

Середня абсолютна розбіжність між результатами запропонованого та альтернативного способів визначалась як:

$$MAD = \frac{\sum_{j=1}^m |P_j^{MFE} - P_j^{ALT}|}{m} \quad (3.5)$$

де  $MAD$  - середня абсолютна розбіжність, відсоткових пунктів,  $m$  - кількість факторів,  $P_j^{MFE}$  - частка фактора  $j$ , визначена запропонованими методами,  $P_j^{ALT}$  - частка того самого фактора, визначена пропорційним розподілом або методом Шеплі.

Метою експерименту 1 було дослідження результатів кількісної атрибуції факторів за мінімального рівня просторової та товарної агрегації. Моделювався один товар в одному магазині протягом 30 днів. Кількість товару для візуального представлення прийнято рівною  $q=5$  шт. Продажі та залишок у цільовому стані системи визначалися відповідно до описаного раніше порядку.

Таблиця 3.5

**Продажі та залишок у цільовому стані системи в експерименті 1**

| $t$ | $\tau_t$ | $p_t$ | $S_t^{star}$ | $t$ | $\tau_t$ | $p_t$ | $S_t^{star}$ |
|-----|----------|-------|--------------|-----|----------|-------|--------------|
| 1   | 5        | 8     | 64           | 16  | 0        | 10    | 15           |
| 2   | 4        | 9     | 56           | 17  | 4        | 8     | 55           |
| 3   | 3        | 11    | 47           | 18  | 3        | 11    | 47           |
| 4   | 2        | 10    | 36           | 19  | 2        | 9     | 36           |
| 5   | 1        | 12    | 26           | 20  | 1        | 10    | 27           |
| 6   | 0        | 9     | 14           | 21  | 0        | 12    | 17           |
| 7   | 4        | 10    | 57           | 22  | 4        | 9     | 55           |
| 8   | 3        | 12    | 47           | 23  | 3        | 11    | 46           |
| 9   | 2        | 11    | 35           | 24  | 2        | 10    | 35           |
| 10  | 1        | 9     | 24           | 25  | 1        | 8     | 25           |
| 11  | 0        | 10    | 15           | 26  | 0        | 12    | 17           |
| 12  | 4        | 11    | 60           | 27  | 4        | 10    | 58           |
| 13  | 3        | 13    | 49           | 28  | 3        | 11    | 48           |
| 14  | 2        | 9     | 36           | 29  | 2        | 9     | 37           |
| 15  | 1        | 12    | 27           | 30  | 1        | 13    | 28           |

Для дослідження різних варіантів взаємодії операційних подій було сформовано три характерні ситуації: вплив одного фактора, вплив двох послідовних факторів та одночасний вплив двох факторів. Продажі та розрахований відповідно до рівняння (2.10) залишок у цільовому стані

системи наведено в табл. 3.5. Позначення в табл. 3.5:  $t$  – період,  $\tau_t$  - кількість днів до постачання  $p_t$  – продажі, шт,  $S_t^{tar}$  - залишок у цільовому стані системи управління запасами на початок періоду  $t$ , тобто на ранок, шт.

Таблиця 3.6

**Моделювання фактичного залишку, втрачених продажів і надлишкових запасів**

| $t$ | $p_t$ | $S_t^{tar}$ | $S_t^{fact}$ | $T_t$ | $LS_t$ | $OS_t$ | Фактор                         |
|-----|-------|-------------|--------------|-------|--------|--------|--------------------------------|
| 1   | 8     | 64          | 64           | 64    | 0      | 0      |                                |
| 2   | 9     | 56          | 56           | 64    | 0      | 0      |                                |
| 3   | 11    | 47          | 47           | 64    | 0      | 0      |                                |
| 4   | 10    | 36          | 36           | 64    | 0      | 0      |                                |
| 5   | 12    | 26          | 26           | 64    | 0      | 0      |                                |
| 6   | 9     | 14          | 14           | 64    | 0      | 0      | $id_9, r_9=-24$                |
| 7   | 10    | 57          | 33           | 78    | 0      | 0      |                                |
| 8   | 12    | 47          | 23           | 78    | 0      | 0      |                                |
| 9   | 11    | 35          | 11           | 78    | 0      | 0      |                                |
| 10  | 9     | 24          | 0            | 78    | 9      | 0      |                                |
| 11  | 10    | 15          | 0            | 78    | 10     | 0      |                                |
| 12  | 11    | 60          | 60           | 79    | 0      | 0      |                                |
| 13  | 13    | 49          | 49           | 79    | 0      | 0      |                                |
| 14  | 9     | 36          | 36           | 79    | 0      | 0      |                                |
| 15  | 12    | 27          | 27           | 79    | 0      | 0      | $id_{19}, r_{19}=35$           |
| 16  | 10    | 15          | 15           | 79    | 0      | 0      |                                |
| 17  | 8     | 55          | 90           | 77    | 0      | 13     |                                |
| 18  | 11    | 47          | 82           | 77    | 0      | 5      | $id_{21}, r_{21}=12$           |
| 19  | 9     | 36          | 83           | 77    | 0      | 6      |                                |
| 20  | 10    | 27          | 74           | 77    | 0      | 0      |                                |
| 21  | 12    | 17          | 64           | 77    | 0      | 0      |                                |
| 22  | 9     | 55          | 55           | 77    | 0      | 0      |                                |
| 23  | 11    | 46          | 46           | 77    | 0      | 0      |                                |
| 24  | 10    | 35          | 35           | 77    | 0      | 0      |                                |
| 25  | 8     | 25          | 25           | 77    | 0      | 0      | $id_5, r_5=-26; id_8, r_8=-26$ |
| 26  | 12    | 17          | 17           | 77    | 0      | 0      |                                |
| 27  | 10    | 58          | 6            | 78    | 4      | 0      |                                |
| 28  | 11    | 48          | 0            | 78    | 11     | 0      |                                |
| 29  | 9     | 37          | 0            | 78    | 9      | 0      |                                |
| 30  | 13    | 28          | 0            | 78    | 13     | 0      |                                |

За відсутності операційних факторів зміна залишку відбувається відповідно до траєкторії запасу у цільовому стані системи: протягом циклу поповнення залишок поступово зменшується внаслідок продажів, після постачання збільшується та розпочинається наступний цикл. Результати моделювання наведено в табл. 3.6. Позначення в табл. 3.6:  $S_t^{fact}$  - фактичний

залишок, шт,  $T_t$  - максимальний рівень запасу,  $LS_t$  – втрачені продажі, шт,  $OS_t$  – надлишкові товарні запаси, шт.

Для наочного представлення результатів на рис. 3.18 наведено динаміку залишку у цільовому стані системи, фактичного залишку, втрачених продажів та надлишкового товарного запасу.

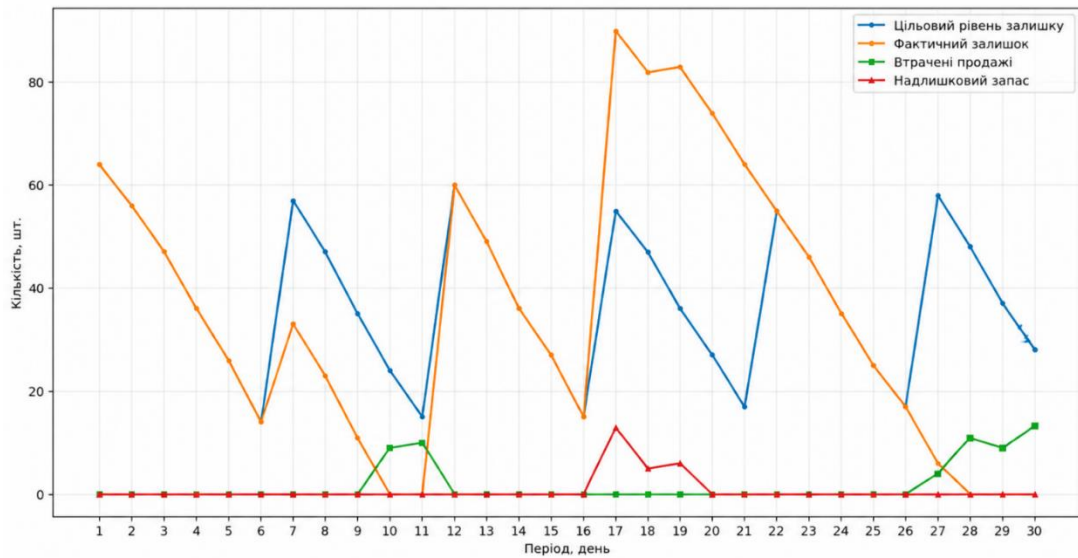


Рис. 3.18. Вплив факторів на фактичний залишок, втрачені продажі та надлишкові товарні запаси.

Для кількісного порівняння способів атрибуції сформованих відхилень внесок кожного фактора було визначено за запропонованими методами, пропорційним розподілом та методом Шеплі. Отримані результати наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

### Порівняння результатів кількісного оцінювання впливу факторів в експерименті 1

| Показник                      | Фактор    | MFE,<br>грн | MFE,%      | PROP,<br>грн | PROP,%     | Шеплі,<br>грн | Шеплі,%    |
|-------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|---------------|------------|
| $LS$                          | $id_5$    | 18,5        | 33,04      | 19,16        | 34,21      | 19,33         | 34,52      |
| $LS$                          | $id_8$    | 18,5        | 33,04      | 19,16        | 34,21      | 19,33         | 34,52      |
| $LS$                          | $id_9$    | 19          | 33,93      | 17,68        | 31,58      | 17,33         | 30,95      |
| <b><math>LS</math>, разом</b> |           | <b>56</b>   | <b>100</b> | <b>56</b>    | <b>100</b> | <b>56</b>     | <b>100</b> |
| $OS$                          | $id_{19}$ | 18          | 75         | 17,87        | 74,47      | 18            | 75         |
| $OS$                          | $id_{21}$ | 6           | 25         | 6,13         | 25,53      | 6             | 25         |
| <b><math>OS</math>, разом</b> |           | <b>24</b>   | <b>100</b> | <b>24</b>    | <b>100</b> | <b>24</b>     | <b>100</b> |

Як видно з табл. 3.7, усі три підходи повністю розподіляють сформовані втрачені продажі та надлишкові запаси між відповідними факторами, однак оцінка внеску окремих факторів відрізняється. Для кількісного оцінювання цих відмінностей було визначено абсолютні розбіжності між частками факторів, отриманими запропонованими методами, пропорційним розподілом та методом Шеплі, а також розраховано їх середнє значення (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

### Розбіжності між результатами методів в експерименті 1

| Показник                             | Фактор                 | MFE - PROP, в.п. | MFE - Шеплі, в.п. |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|-------------------|
| <i>LS</i>                            | <i>id<sub>5</sub></i>  | 1,17             | 1,48              |
|                                      | <i>id<sub>8</sub></i>  | 1,17             | 1,48              |
|                                      | <i>id<sub>9</sub></i>  | -2,35            | -2,98             |
| <b><i>MAD<sub>LS</sub></i>, в.п.</b> |                        | <b>1,57</b>      | <b>1,98</b>       |
| <i>OS</i>                            | <i>id<sub>19</sub></i> | -0,53            | 0                 |
|                                      | <i>id<sub>21</sub></i> | 0,53             | 0                 |
| <b><i>MAD<sub>OS</sub></i>, в.п.</b> |                        | <b>0,53</b>      | <b>0</b>          |

Порівняння результатів показує, що в експерименті з одним товаром в одному магазині всі три методи формують близькі оцінки внеску факторів. Таким чином, за мінімального рівня агрегації, відмінності між способами кількісної атрибуції є незначними. Це пов'язано з тим, що інформація про належність операційних подій до конкретного товару та магазину не втрачається, а розбіжності виникають переважно через різні правила розподілу спільного результату між факторами.

Експеримент 2 був спрямований на дослідження впливу просторової агрегації. Один товар моделювався одночасно у десяти магазинах протягом 30 днів. Для кожного магазину використовувався однаковий графік формування замовлень та поставок, але незалежно задавалися попит і операційні фактори (рис. 3.19). Для формування різних типів поведінки запасу магазину було умовно розподілено на три групи. У магазинах М1-М3 переважали втрачені продажі, у магазинах М4-М6 – надлишкові товарні запаси, а у магазинах М7-М10 співвідношення цих показників було наближеним до збалансованого (табл. 3.9)

**Втрачені продажі та надлишки в експерименті 2**

| Магазин      | LS, шт.    | Кількість днів LS | OS, шт.    | Кількість днів OS | Характер відхилення           |
|--------------|------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------------------|
| M1           | 56         | 6                 | 0          | 0                 | переважають втрачені продажі  |
| M2           | 38         | 4                 | 0          | 0                 | переважають втрачені продажі  |
| M3           | 51         | 5                 | 0          | 0                 | переважають втрачені продажі  |
| M4           | 4          | 1                 | 60         | 3                 | переважають надлишкові запаси |
| M5           | 0          | 0                 | 34         | 3                 | переважають надлишкові запаси |
| M6           | 11         | 2                 | 73         | 5                 | переважають надлишкові запаси |
| M7           | 25         | 3                 | 22         | 2                 | приблизно збалансовано        |
| M8           | 28         | 4                 | 26         | 2                 | приблизно збалансовано        |
| M9           | 27         | 3                 | 18         | 2                 | приблизно збалансовано        |
| M10          | 24         | 3                 | 24         | 2                 | приблизно збалансовано        |
| <b>Разом</b> | <b>264</b> |                   | <b>257</b> |                   |                               |

Запропоновані методи багатфакторної оцінки застосовувалися окремо для кожного магазину та кожної дати. Після визначення впливу для конкретних випадків відхилень результати агрегувалися до рівня десяти магазинів. Така послідовність давала змогу спочатку зберегти просторову прив'язку між операційною подією та відповідним відхиленням, а узагальнення виконувати вже після формування результатів на деталізованому рівні.

Для пропорційного розподілу та методу Шеплі, навпаки, потенційні впливи факторів та показники ефективності спочатку агрегувалися за всіма магазинами. Саме на цьому етапі проявився ефект просторової агрегації (табл. 3.10). Операційна подія могла мати ненульовий потенційний вплив в одному магазині, тоді як втрачені продажі або надлишки виникали в іншому. Деталізований підхід не пов'язував такі події між собою, оскільки їх аналіз виконувався в межах конкретного магазину. Однак після об'єднання даних десяти магазинів ця просторова відповідність втрачалася, що створювало можливість спільного врахування подій і відхилень, які фактично належали до різних об'єктів аналізу.

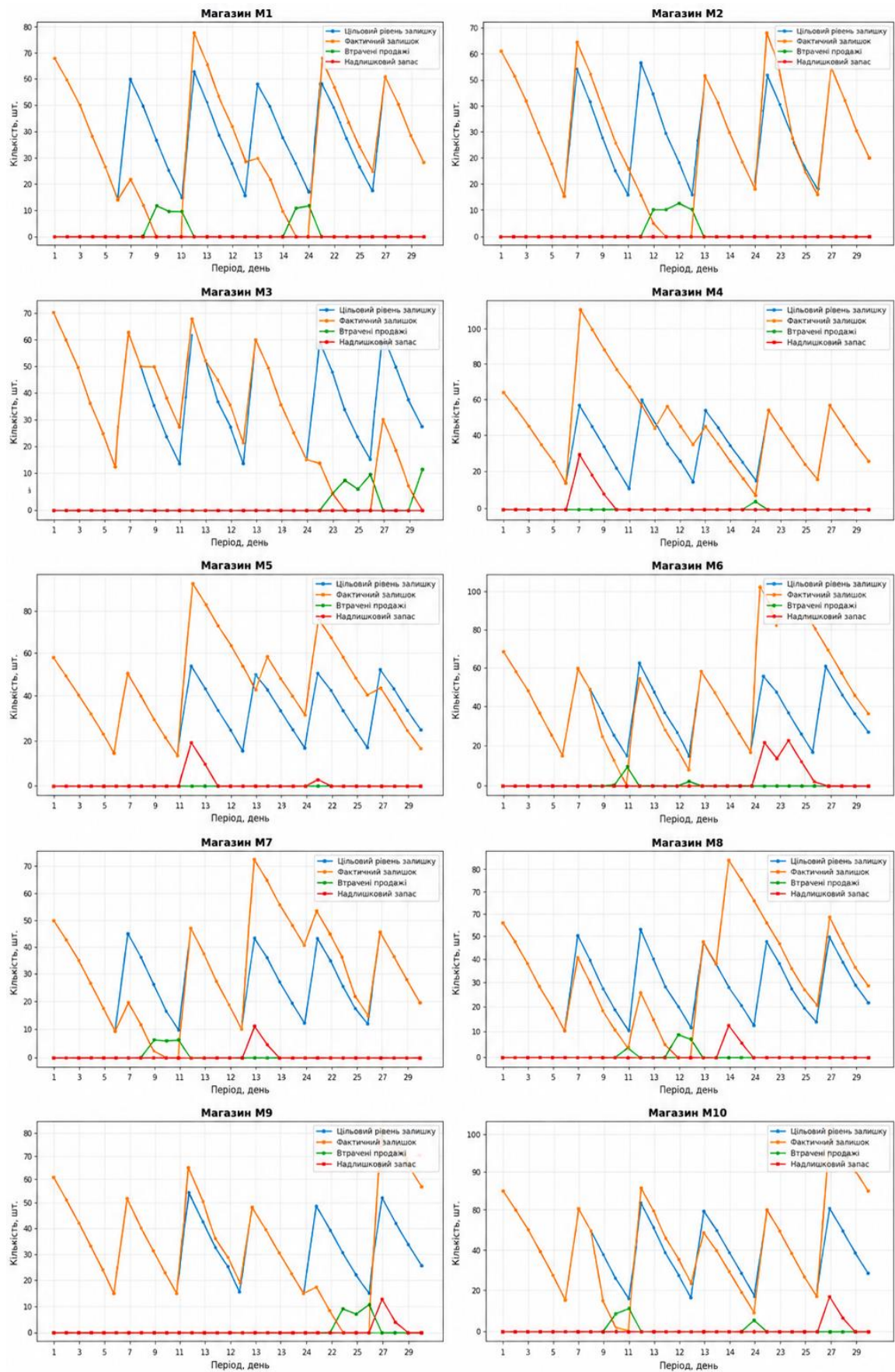


Рис. 3.19. Вплив факторів на фактичний залишок, втрачені продажі та надлишкові товарні запаси по одному товару в 10 магазинах.

**Порівняння результатів кількісного оцінювання впливу факторів в експерименті 2**

| Показник         | Фактор                  | MFE,<br>грн | MFE,<br>%  | PROP,<br>грн | PROP,<br>% | Шеплі,<br>грн | Шеплі,<br>% |
|------------------|-------------------------|-------------|------------|--------------|------------|---------------|-------------|
| LS               | <i>id</i> <sub>5</sub>  | 40,27       | 15,25      | 35,8         | 13,56      | 35,4          | 13,41       |
| LS               | <i>id</i> <sub>6</sub>  | 5           | 1,89       | 15,34        | 5,81       | 14,89         | 5,64        |
| LS               | <i>id</i> <sub>7</sub>  | 42          | 15,91      | 42,19        | 15,98      | 41,95         | 15,89       |
| LS               | <i>id</i> <sub>8</sub>  | 70,73       | 26,79      | 53,69        | 20,34      | 53,68         | 20,33       |
| LS               | <i>id</i> <sub>9</sub>  | 78          | 29,55      | 72,87        | 27,6       | 75,27         | 28,51       |
| LS               | <i>id</i> <sub>11</sub> | 19          | 7,2        | 15,34        | 5,81       | 14,89         | 5,64        |
| LS               | <i>id</i> <sub>12</sub> | 0           | 0          | 14,7         | 5,57       | 14,27         | 5,4         |
| LS               | <i>id</i> <sub>14</sub> | 9           | 3,41       | 14,06        | 5,33       | 13,65         | 5,17        |
| <b>LS, разом</b> |                         | <b>264</b>  | <b>100</b> | <b>264</b>   | <b>100</b> | <b>264</b>    | <b>100</b>  |
| OS               | <i>id</i> <sub>16</sub> | 20,35       | 7,92       | 20,52        | 7,98       | 20,57         | 8,01        |
| OS               | <i>id</i> <sub>17</sub> | 15,65       | 6,09       | 16,42        | 6,39       | 16,32         | 6,35        |
| OS               | <i>id</i> <sub>18</sub> | 31          | 12,06      | 32,83        | 12,77      | 32,71         | 12,73       |
| OS               | <i>id</i> <sub>19</sub> | 61          | 23,74      | 60,53        | 23,55      | 60,71         | 23,62       |
| OS               | <i>id</i> <sub>20</sub> | 66          | 25,68      | 49,76        | 19,36      | 49,72         | 19,35       |
| OS               | <i>id</i> <sub>21</sub> | 63          | 24,51      | 58,48        | 22,75      | 58,52         | 22,77       |
| OS               | <i>id</i> <sub>22</sub> | 0           | 0          | 18,47        | 7,19       | 18,44         | 7,18        |
| <b>OS, разом</b> |                         | <b>257</b>  | <b>100</b> | <b>257</b>   | <b>100</b> | <b>257</b>    | <b>100</b>  |

Наприклад, для фактора *id*<sub>12</sub> деталізований внесок у втрачені продажі дорівнював 0%, оскільки відповідні операційні події не були причинно допустимими для конкретних випадків дефіциту. Після агрегації пропорційний метод визначив для цього фактора частку 5,57%, а метод Шеплі - 5,40%. Аналогічний ефект спостерігався для надлишкових запасів: для *id*<sub>22</sub> деталізований внесок становив 0%, тоді як після агрегації становив 7,19% за пропорційним методом та 7,18% за методом Шеплі.

Середня абсолютна розбіжність для втрачених продажів становить 2,87 в.п. між результатами методу багатфакторної оцінки втрачених продажів і пропорційного розподілу та 2,73 в.п. між результатами цього методу і методу Шеплі. Для надлишкових запасів відповідні значення становлять 2,36 та 2,34 в.п. (табл. 3.11). Порівняно з експериментом 1 це свідчить про збільшення розбіжностей унаслідок просторової агрегації даних за десятьма магазинами.

Метою експерименту 3 було дослідження одночасного впливу просторової, товарної та часової агрегації. Моделювалися десять товарів у десяти магазинах протягом 30 днів, що сформувало 100 незалежних комбінацій товар  $\times$  магазин та 3000 щоденних спостережень.

Таблиця 3.11

## Розбіжності між результатами методів в експерименті 2

| Показник                | Фактор                 | MFE -<br>PROP,<br>в.п. | MFE -<br>Шеплі,<br>в.п. | Показник                | Фактор                 | MFE -<br>PROP,<br>в.п. | MFE -<br>Шеплі,<br>в.п. |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>5</sub></i>  | 1,69                   | 1,84                    | <i>OS</i>               | <i>id<sub>16</sub></i> | 0,06                   | 0,09                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>6</sub></i>  | 3,92                   | 3,75                    | <i>OS</i>               | <i>id<sub>17</sub></i> | 0,3                    | 0,26                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>7</sub></i>  | 0,07                   | 0,02                    | <i>OS</i>               | <i>id<sub>18</sub></i> | 0,71                   | 0,67                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>8</sub></i>  | 6,45                   | 6,46                    | <i>OS</i>               | <i>id<sub>19</sub></i> | 0,19                   | 0,12                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>9</sub></i>  | 1,95                   | 1,04                    | <i>OS</i>               | <i>id<sub>20</sub></i> | 6,32                   | 6,33                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>11</sub></i> | 1,39                   | 1,56                    | <i>OS</i>               | <i>id<sub>21</sub></i> | 1,76                   | 1,74                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>12</sub></i> | 5,57                   | 5,4                     | <i>OS</i>               | <i>id<sub>22</sub></i> | 7,19                   | 7,18                    |
| <i>LS</i>               | <i>id<sub>14</sub></i> | 1,92                   | 1,76                    | <i>MAD<sub>os</sub></i> |                        | <b>2,36</b>            | <b>2,34</b>             |
| <i>MAD<sub>LS</sub></i> |                        | <b>2,87</b>            | <b>2,73</b>             |                         |                        |                        |                         |

В експерименті 3 безпосереднє агрегування кількісних значень у фізичних одиницях є некоректним, оскільки одиниця одного товару не є економічно еквівалентною одиниці іншого. Тому для кожного товару було використано ціну продажу та закупівельну ціну. Ціна продажу змінювалася від 100 до 136 грн, а закупівельна – від 74,63 до 100,74 грн. Продажі, втрачені продажі та вплив факторів у втрачені продажі переводилися у грошовий вимір за ціною продажу, залишки, надлишкові запаси та внески факторів у надлишкові запаси переводилися у грошовий вимір за ціною закупки. Після такого перетворення агрегування між різними товарами виконувалося виключно у гривнях. На рис. 3.20 наведено агреговану за десятьма товарами та десятьма магазинами динаміку показників протягом 30 днів.

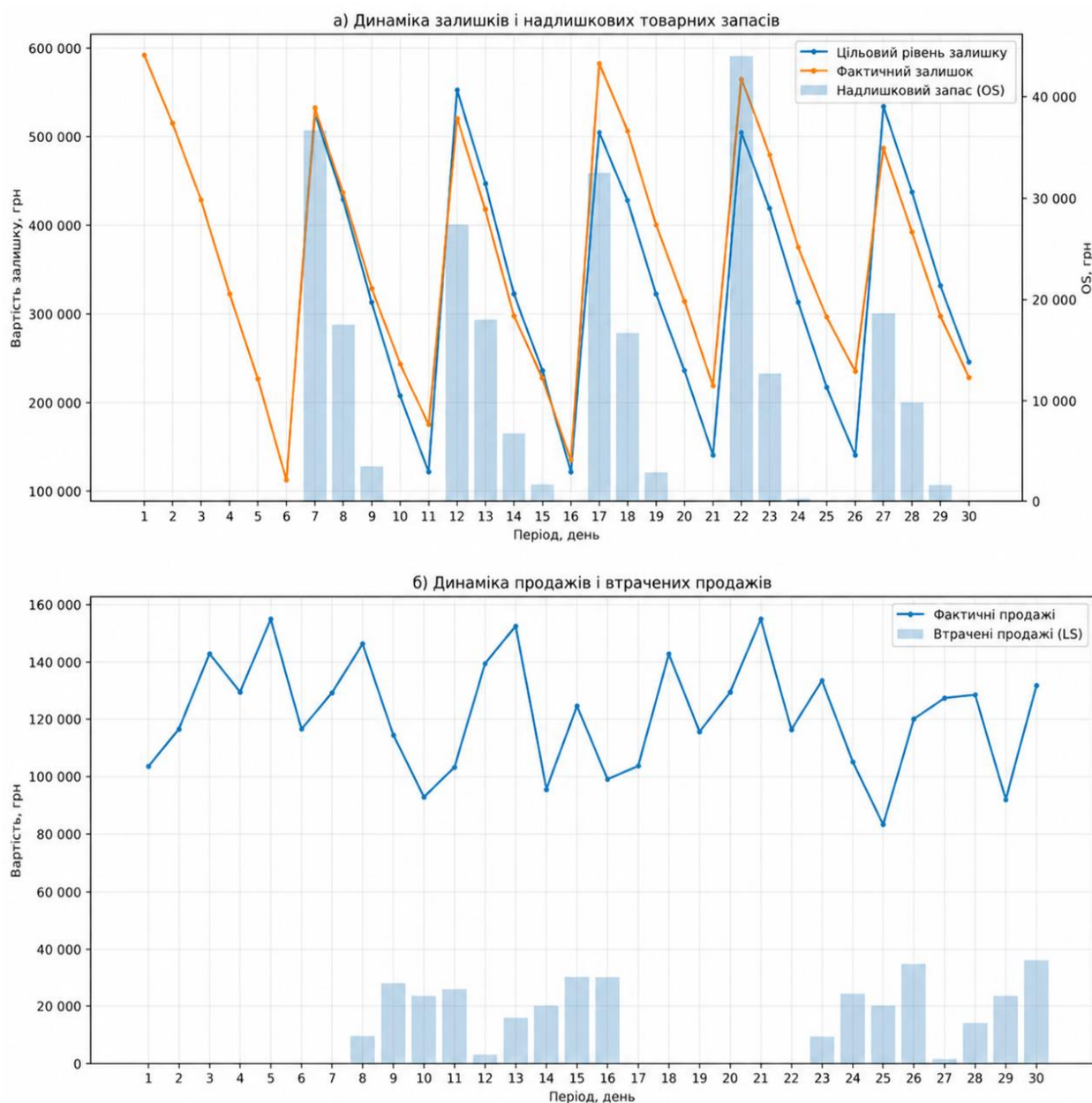


Рис. 3.20. Динаміка агрегованих показників залишків, продажів, втрачених продажів та надлишкових товарних запасів в експерименті 3

Як і в попередньому експерименті, запропоновані методи багатфакторної оцінки застосовувалися окремо для кожного магазину та кожної дати, в той час як для пропорційного розподілу та методу Шеплі, потенційні впливи факторів та показники ефективності спочатку агрегувалися за всіма магазинами та товарами в грошовому еквіваленті. Отримані результати наведено в табл. 3.12. Як видно з табл. 3.12, усі три методи

повністю розподіляють однакову загальну величину втрачених продажів та надлишків, проте структура впливу окремих факторів суттєво відрізняється.

Таблиця 3.12

**Порівняння результатів кількісного оцінювання впливу факторів в експерименті 3**

| Показник     | Фактор                 | MFE, грн      | MFE, % | PROP, грн  | PROP, % | Шеплі, грн | Шеплі, % |
|--------------|------------------------|---------------|--------|------------|---------|------------|----------|
| LS           | <i>id<sub>5</sub></i>  | 0             | 0      | 35 764,18  | 10,18   | 42 774,99  | 12,18    |
| LS           | <i>id<sub>6</sub></i>  | 0             | 0      | 35 764,18  | 10,18   | 42 774,99  | 12,18    |
| LS           | <i>id<sub>7</sub></i>  | 0             | 0      | 35 764,18  | 10,18   | 42 774,99  | 12,18    |
| LS           | <i>id<sub>8</sub></i>  | 341<br>852,00 | 97,31  | 201 368,44 | 57,32   | 172 346,86 | 49,06    |
| LS           | <i>id<sub>9</sub></i>  | 0             | 0      | 35 764,18  | 10,18   | 42 774,99  | 12,18    |
| LS           | <i>id<sub>12</sub></i> | 4 720,00      | 1,34   | 3 433,43   | 0,98    | 3 922,59   | 1,12     |
| LS           | <i>id<sub>14</sub></i> | 4 720,00      | 1,34   | 3 433,43   | 0,98    | 3 922,59   | 1,12     |
| LS,<br>разом |                        | 351<br>292,00 | 100    | 351 292,00 | 100     | 351 292,00 | 100      |
| OS           | <i>id<sub>16</sub></i> | 0             | 0      | 23 503,98  | 9,38    | 25 317,35  | 10,1     |
| OS           | <i>id<sub>17</sub></i> | 0             | 0      | 23 503,98  | 9,38    | 25 317,35  | 10,1     |
| OS           | <i>id<sub>18</sub></i> | 91<br>969,16  | 36,7   | 63 986,93  | 25,53   | 75 988,81  | 30,32    |
| OS           | <i>id<sub>19</sub></i> | 158<br>645,70 | 63,3   | 116 116,00 | 46,33   | 98 674,00  | 39,37    |
| OS           | <i>id<sub>20</sub></i> | 0             | 0      | 23 503,98  | 9,38    | 25 317,35  | 10,1     |
| OS,<br>разом |                        | 250<br>614,86 | 100    | 250 614,86 | 100     | 250 614,86 | 100      |

Найбільші відмінності спостерігаються для факторів, потенційний вплив яких присутній в агрегованій сукупності даних, але які не були причинно допустимими для конкретних випадків відхилень. Для кількісного оцінювання цих відмінностей було розраховано абсолютну розбіжність між частками факторів, визначеними методами багатфакторної оцінки, пропорційним розподілом та методом Шеплі (табл. 3.13).

Для втрачених продажів найбільша розбіжність спостерігається для *id<sub>8</sub>* 39,99 в.п. відносно пропорційного розподілу та 48,25 в.п. відносно методу Шеплі. При цьому *id<sub>5</sub>*, *id<sub>6</sub>*, *id<sub>7</sub>* та *id<sub>9</sub>* за методом багатфакторної оцінки втрачених продажів мають нульовий внесок, тоді як після агрегування

отримують ненульові частки. Для надлишків найбільші розбіжності характерні для  $id_{19}$  16,97 та 23,93 в.п. відповідно.

Таблиця 3.13

### Розбіжності між результатами методів в експерименті 3

| Показник                       | Фактор    | MFE -<br>PROP,<br>в.п. | MFE -<br>Шеплі,<br>в.п. | Показник                       | Фактор    | MFE -<br>PROP, в.п. | MFE -<br>Шеплі,<br>в.п. |
|--------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------|
| <i>LS</i>                      | $id_5$    | 10,18                  | 12,18                   | <i>OS</i>                      | $id_{16}$ | 9,38                | 10,1                    |
| <i>LS</i>                      | $id_6$    | 10,18                  | 12,18                   | <i>OS</i>                      | $id_{17}$ | 9,38                | 10,1                    |
| <i>LS</i>                      | $id_7$    | 10,18                  | 12,18                   | <i>OS</i>                      | $id_{18}$ | 11,17               | 6,38                    |
| <i>LS</i>                      | $id_8$    | 39,99                  | 48,25                   | <i>OS</i>                      | $id_{19}$ | 16,97               | 23,93                   |
| <i>LS</i>                      | $id_9$    | 10,18                  | 12,18                   | <i>OS</i>                      | $id_{20}$ | 9,38                | 10,1                    |
| <i>LS</i>                      | $id_{12}$ | 0,37                   | 0,23                    | <b><i>MAD<sub>os</sub></i></b> |           | <b>11,25</b>        | <b>12,12</b>            |
| <i>LS</i>                      | $id_{14}$ | 0,37                   | 0,23                    |                                |           |                     |                         |
| <b><i>MAD<sub>LS</sub></i></b> |           | <b>11,64</b>           | <b>13,92</b>            |                                |           |                     |                         |

На рис. 3.21 наведено узагальнення результатів трьох експериментів у вигляді середньої абсолютної розбіжності між результатами, отриманими запропонованими методами багатофакторної оцінки, пропорційним розподілом та методом Шеплі. Верхній графік відображає розбіжності для втрачених продажів, нижній – для надлишкових запасів. Для кожного експерименту показано два значення: *MAD<sub>Prop</sub>* - середню абсолютну розбіжність між методами багатофакторної оцінки та пропорційним розподілом, та *MAD<sub>Shapley</sub>* - середню абсолютну розбіжність між методами багатофакторної оцінки і методом Шеплі.

Результати трьох експериментів демонструють, що зі зростанням рівня агрегації даних розбіжності між методами послідовно збільшуються послідовне зростання розбіжностей зі збільшенням рівня агрегації даних. Для втрачених продажів значення *MAD<sub>Prop</sub>* зростає від 1,57 в.п. в експерименті 1 до 2,87 в.п. в експерименті 2 та 11,64 в.п. в експерименті 3, а *MAD<sub>Shapley</sub>* - від 1,98 в.п. до 2,73 в.п. і 13,92 в.п. відповідно. Аналогічна тенденція спостерігається і для надлишкових запасів: *MAD<sub>Prop</sub>* зростає від 0,53 в.п. до 2,36 в.п. і 11,25 в.п., а *MAD<sub>Shapley</sub>* - від 0,00 в.п. до 2,34 в.п. і 12,12 в.п.



Рис. 3.21. Порівняння середньої абсолютної розбіжності результатів у трьох експериментах

Отримані результати підтверджують, що мінімальні розбіжності між методами виникають при аналізі одного товару в одному магазині, тобто за найвищого рівня деталізації. У міру переходу до агрегованого аналізу одного товару в декількох магазинах, а особливо до одночасної агрегації за товарами та магазинами, відмінності між методами істотно зростають. Це пояснюється тим, що при агрегації частково втрачається зв'язок між конкретними операційними подіями та сформованими ними відхиленнями.

Для перевірки того, як застосування методів багатфакторної оцінки впливає на стан товарних запасів, проведено імітаційне моделювання на даних 10 товарних позицій у 100 магазинах ТОВ «ОМЕГА» за 2025 рік, період моделювання склав 52 повних тижні. У цьому експерименті математичне моделювання використано для відтворення динаміки запасів, застосування коригувальних дій та порівняння результатів різних методів за однакових початкових умов. Як результативні показники використано частку втрачених продажів ( $LS$ ) та частку надлишкових запасів ( $OS$ ). Порівнювалися запропоновані методи багатфакторної оцінки ( $MFE$ ), пропорційний метод ( $PROP$ ), метод Шеплі ( $Shapley$ ) та контрольний варіант без коригувальних дій ( $NCA$ ).

Було сформовано два сценарії – базовий та оперативний (табл. 3.14). Базовий сценарій виконує порівняння методів за однакових часових умов. Для *MFE*, *PROP* і *Shapley* періодичність розрахунку *AP* становила 30 днів, в оперативному сценарії для *MFE* періодичність розрахунку скорочено до 7 днів. Для всіх методів у двох сценаріях горизонт дії коригувального рішення (*CAH*) зафіксовано на рівні 14 днів. Це означає, що після формування рішення його вплив на процес моделюється протягом двох тижнів. Значення *CAH* є однаковим для *MFE*, *PROP* і *Shapley*, тому не створює переваги жодному з методів. Завдання визначення оптимального горизонту в цьому експерименті не ставилося, а 14 днів використано як єдину фіксовану умову порівняння.

Таблиця 3.14

#### Параметри сценаріїв імітаційного експерименту

| Параметр               | Базовий | Оперативний |
|------------------------|---------|-------------|
| APMFE, днів            | 30      | 7           |
| APShapley, APPROP днів | 30      | 30          |
| CAH, днів              | 14      | 14          |
| COV LS/OS, %           | 50      | 50          |

Охоплення коригувальними діями *COV* для *LS* та *OS* встановлено на рівні 50%. Цей параметр обмежує однакову для всіх методів частину проблемного обсягу та кількість доступних адрес, на які одночасно можуть бути спрямовані дії. Результативність однієї коригувальної дії для втрачених продажів і надлишкових запасів задавалася випадково з рівномірного розподілу в межах 0,05–0,50. Для однакової комбінації «товар - магазин - фактор» у межах одного номера запуску використовувалося однакове значення результативності для всіх методів, що виключає перевагу через різні випадкові реалізації ефекту дії.

Під час імітаційного моделювання для кожної комбінації «товар – магазин дата» послідовно відтворювався рух запасу та формувалися втрачені продажі й надлишкові запаси під впливом коригувальних дій. Контрольний варіант *NCA* відтворював ту саму траєкторію факторних подій, але без

застосування коригувальних дій. Він використовувався як спільна контрольна база для оцінки ефекту застосування кожного методу.

*PROP* і *Shapley* визначали вплив факторів на агрегованому рівні та не встановлювали, у якій саме комбінації «товар – магазин - дата» конкретний фактор сформував відповідне відхилення. Тому доступна кількість адрес спочатку розподілялася між факторами пропорційно до їх агрегованого впливу. Далі для кожного фактора конкретні адреси вибиралися лише серед тих комбінацій «товар – магазин - дата», де цей фактор реально спостерігався, але без причинного ранжування адрес. Вибір усередині такого набору здійснювався випадковим, але відтворюваним чином. Таким чином, *MFE* використовував адресну причинну інформацію, тоді як *PROP* і *Shapley* мали інформацію про важливість фактора в цілому, але не про відносну причинну значущість конкретних адрес його прояву. Для зменшення впливу випадкової складової та оцінки варіативності результатів кожний сценарій було виконано 100 разів. Для кожного показника визначено середнє значення та 95% довірчий інтервал (ДІ). Результати показників за 100 повторними запусками наведено в табл. 3.15 та графічно зображено на рис. 3.22.

Таблиця 3.15.

**Результати 100 запусків за сценаріями**

| Сценарій    | Метод   | LS, % | 95%<br>ДІ LS | $\Delta$ LS<br>до<br>NCA,<br>в.п. | OS, %  | 95%<br>ДІ OS | $\Delta$ OS<br>до<br>NCA,<br>в.п. |
|-------------|---------|-------|--------------|-----------------------------------|--------|--------------|-----------------------------------|
| Базовий     | MFE     | 8,696 | $\pm 0,0032$ | 0,655                             | 16,692 | $\pm 0,0240$ | 4,532                             |
| Базовий     | PROP    | 8,952 | $\pm 0,0022$ | 0,398                             | 19,517 | $\pm 0,0153$ | 1,707                             |
| Базовий     | Shapley | 8,966 | $\pm 0,0022$ | 0,384                             | 18,443 | $\pm 0,0223$ | 2,781                             |
| Базовий     | NCA     | 9,350 | $\pm 0,0000$ | 0,000                             | 21,224 | $\pm 0,0000$ | 0,000                             |
| Оперативний | MFE     | 7,797 | $\pm 0,0065$ | 1,553                             | 13,628 | $\pm 0,0317$ | 7,596                             |
| Оперативний | PROP    | 8,975 | $\pm 0,0021$ | 0,375                             | 19,670 | $\pm 0,0150$ | 1,553                             |
| Оперативний | Shapley | 8,989 | $\pm 0,0021$ | 0,361                             | 18,684 | $\pm 0,0224$ | 2,540                             |
| Оперативний | NCA     | 9,350 | $\pm 0,0000$ | 0,000                             | 21,224 | $\pm 0,0000$ | 0,000                             |

У базовому сценарії всі методи поставлено в однакові часові умови. Використання результатів *MFE* для формування коригувальних дій забезпечило частку втрачених продажів 8,696%, тоді як краща альтернатива (*PROP*) – 8,952% (табл. 3.16). Різниця становила 0,257 в.п. (95% ДІ  $\pm 0,0017$  в.п.), або 2,87% відносно кращої альтернативи (95% ДІ  $\pm 0,02\%$ ). Для надлишкових запасів *MFE* забезпечив 16,692%, а краща альтернатива (*Shapley*) – 18,443%; різниця становила 1,751 в.п. (95% ДІ  $\pm 0,0197$  в.п.), або 9,49% (95% ДІ  $\pm 0,10\%$ ).

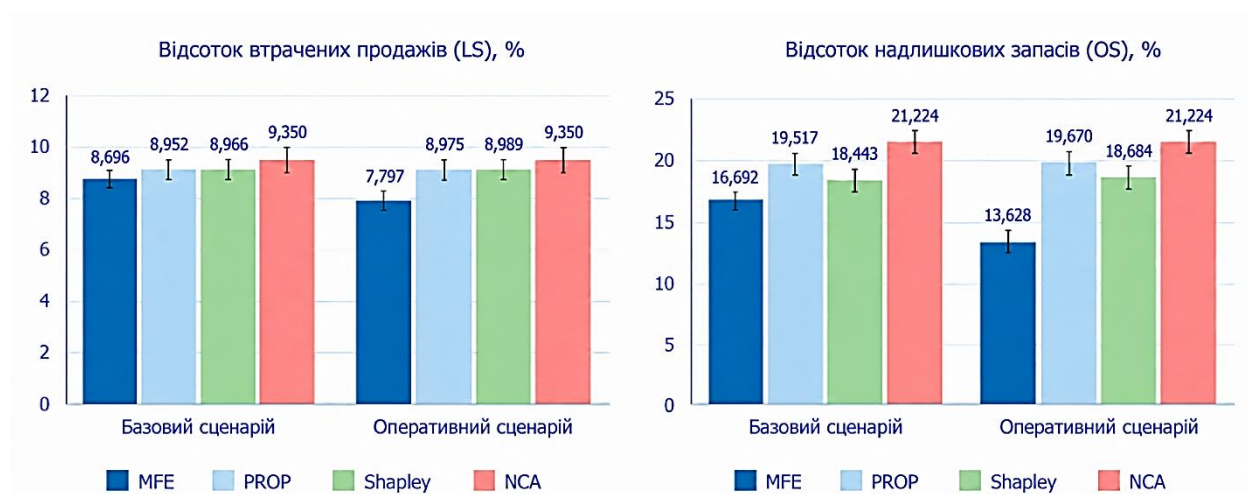


Рис. 3.22. Відсоток втрачених продажів та надлишків за сценаріями та методами

Оскільки всі параметри базового сценарію однакові, різниця в базовому сценарії характеризує насамперед відмінність у способі адресації коригувальних дій, тому що *MFE* використовує ранжування конкретних адрес, тоді як *PROP* і *Shapley* спираються на агрегований вплив факторів без такого ранжування.

В оперативному сценарії *MFE* застосовувався щотижнево, тоді як *PROP* і *Shapley* застосовувались раз на місяць. За цих умов частка втрачених продажів для *MFE* становила 7,797%, а частка надлишкових запасів – 13,628%. Краща альтернатива (*PROP*) забезпечила 8,975% втрачених продажів, тому різниця становила 1,178 в.п. (95% ДІ  $\pm 0,0049$  в.п.), або 13,13% (95% ДІ  $\pm 0,06\%$ ). Для надлишків краща альтернатива (*Shapley*) забезпечила 18,684%, а

різниця на користь *MFE* становила 5,056 в.п. (95% ДІ  $\pm 0,0261$  в.п.), або 27,06% (95% ДІ  $\pm 0,14\%$ ). Порівняно з базовим сценарієм збільшення різниці відображає поєднання двох властивостей *MFE* в умовах моделі: адресного причинного вибору та більш оперативного оновлення аналітичної інформації.

Таблиця 3.16

### Різниця між багатфакторною оцінкою та кращою альтернативою

| Сценарій    | Показник | ALT метод | MFE, % | ALT, % | $\Delta$ , в.п. | 95% ДІ $\Delta$ , в.п. | $\Delta$ , % | 95% ДІ $\Delta$ , % |
|-------------|----------|-----------|--------|--------|-----------------|------------------------|--------------|---------------------|
| Базовий     | LS       | PROP      | 8,696  | 8,952  | 0,257           | $\pm 0,0017$           | 2,87         | $\pm 0,02$          |
| Базовий     | OS       | Shapley   | 16,692 | 18,443 | 1,751           | $\pm 0,0197$           | 9,49         | $\pm 0,10$          |
| Оперативний | LS       | PROP      | 7,797  | 8,975  | 1,178           | $\pm 0,0049$           | 13,13        | $\pm 0,06$          |
| Оперативний | OS       | Shapley   | 13,628 | 18,684 | 5,056           | $\pm 0,0261$           | 27,06        | $\pm 0,14$          |

Різницю між *MFE* та кращою альтернативою окремо для втрачених продажів і надлишкових запасів показано на рис. 3.23. Для кожного сценарію на рисунках наведено абсолютну різницю у відсоткових пунктах, її 95% довірчий інтервал та відносну різницю у відсотках. Така форма подання дає змогу одночасно оцінити абсолютний і відносний масштаб ефекту.

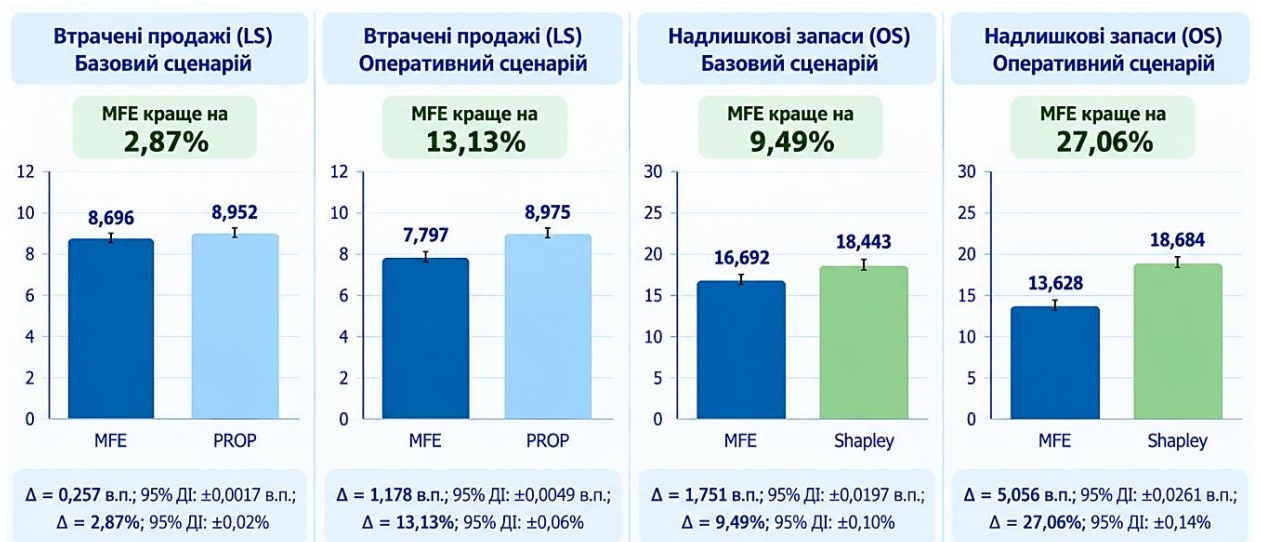


Рис. 3.23. Порівняння MFE з кращою альтернативою

Порівняння MFE між двома сценаріями показало, що перехід від 30-денної до 7-денної періодичності застосування результатів зменшив частку

втрачених продажів у середньому на 0,899 в.п. (95% ДІ  $\pm 0,0035$  в.п.), а частку надлишкових запасів – на 3,064 в.п. (95% ДІ  $\pm 0,0110$  в.п.).

Результати експерименту в межах прийнятих припущень імітаційної моделі показують, що використання *MFE* для формування адресних коригувальних дій забезпечує нижчі значення *LS* та *OS* порівняно з *PROP* і *Shapley*. Наявність різниці вже у базовому сценарії, де параметри однакові, узгоджується з перевагою деталізованої багатофакторної оцінки на рівні «товар - магазин - фактор» під час вибору адрес для коригування. Збільшення різниці в оперативному сценарії додатково показує значення регулярності оновлення аналітичної інформації. Отже, у моделі результативність коригувальних рішень визначається не лише оцінкою того, який фактор є важливим у цілому, а й можливістю встановити, де саме його вплив сформував конкретне відхилення, та своєчасно використати цю інформацію.

Отже, імітаційна модель засвідчила, що використання детальнішої причинної інформації на рівні конкретних комбінацій «товар - місце зберігання - фактор» може зменшувати як втрачені продажі, так і надлишкові запаси. Найбільший ефект досягається за умови регулярного оновлення результатів аналізу та накопичення підтверджень повторюваного впливу факторів.

### **3.3. Оцінювання результативності застосування програмного забезпечення**

Методи багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів і програмне забезпечення для їх реалізації були впроваджені в ТОВ «ОМЕГА» (національна мережа супермаркетів «VARUS») та ТОВ «РУШ» (національна мережа магазинів краси та здоров'я «EVA»). Мережа супермаркетів «VARUS» налічує 120 супермаркетів із середнім асортиментом близько 8,8 тис SKU, мережа «EVA» - більше 1 150 магазинів із середнім асортиментом близько 10 тис SKU.

Вплив факторів на втрачені продажі та надлишкові товарні запаси в зазначених компаніях визначався за допомогою експертної оцінки. У ТОВ «ОМЕГА» група експертів складалася з 5 осіб, у ТОВ «РУШ» – з 12 осіб. Оцінка впливу факторів виконувалася раз на місяць, а підготовка інформації та проведення аналізу займали в середньому 4 календарні дні в ТОВ «ОМЕГА» та 5 календарних днів у ТОВ «РУШ».

Для кількісного оцінювання впливу автоматизації на тривалість підготовки аналітичної інформації було проведено порівняння експертного способу оцінювання та автоматизованого застосування методів багатофакторної оцінки. Початком процесу в обох випадках вважався момент доступності вхідних операційних даних для аналізу, завершенням – момент формування повного набору результатів оцінювання, придатного для подальшого використання користувачами. Скорочення тривалості підготовки аналітичної інформації зменшує часовий інтервал між надходженням операційних даних і прийняттям рішень користувачами. Для експертного способу враховувалася календарна тривалість від початку підготовки даних до отримання підсумкових результатів, для автоматизованого – час від початку завантаження та оброблення даних до формування результатів програмним забезпеченням. Відносне скорочення тривалості процесу підготовки аналітичної інформації визначалося за формулою:

$$E_T = \frac{T_{expert} - T_{auto}}{T_{expert}} \quad (3.6)$$

де  $T_{expert}$  та  $T_{auto}$  - тривалість підготовки аналітичної інформації відповідно експертним та автоматизованим способом.

Результати впровадження показали, що в ТОВ «РУШ» виконання аналогічного обсягу розрахунків після автоматизації скоротилось до 16,4 години, а в ТОВ «ОМЕГА» – до 12 годин (табл. 3.17). Таким чином, тривалість виконання аналітичних робіт зменшилася на 86,3% та 87,5%. Завдяки автоматизації стало можливим виконувати розрахунок впливу факторів більш

регулярно. Було налаштовано виконання розрахунків щотижнево – в ніч з неділі на понеділок. Через зменшення обсягу з місяця на тиждень, час розрахунків скоротився 3,7 годин для ТОВ «РУШ» та 2,7 годин для ТОВ «ОМЕГА». Беручи до уваги, що розрахунки відбувались вночі, на ранок робочого тижня вони вже були готові, що до дозволило використовувати підготовлену аналітичну інформацію на початку робочого дня.

Таблиця 3.17

### Порівняння часу виконання розрахунків

| Назва компанії | Час, який експерти витрачали на розрахунок показників за місяць | Час, який витрачає на розрахунок показників система за місяць | Зменшення часу розрахунку, % |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|
| ТОВ «РУШ»      | 5 днів (120 годин)                                              | 16,4 годин                                                    | 86,3%                        |
| ТОВ «ОМЕГА»    | 4 дні (96 годин)                                                | 12 годин                                                      | 87,5%                        |

Отримані результати свідчать, що автоматизація методів багатофакторної оцінки дозволяє більше, ніж у сім-вісім разів скоротити час підготовки аналітичних даних. При цьому вивільнений робочий час не витрачається на пошук і зіставлення даних, а може бути спрямований на аналіз отриманих результатів, виявлення системних проблем та розроблення заходів щодо підвищення ефективності управління запасами. Важливо також, що скорочення часу розрахунків супроводжується зменшенням впливу людського фактора, оскільки всі обчислення виконуються за єдиними алгоритмами без залежності від досвіду чи суб'єктивних оцінок окремих експертів.

Для експериментальної перевірки результатів застосування методів багатофакторної оцінки на ТОВ «РУШ» було проведено порівняння алгоритмічних та експертних оцінок [117]. Експеримент проводився на фактичних операційних даних за червень 2025 року. Досліджувана торговельна мережа включала 1128 магазинів із середньою кількістю 10 620 SKU на один магазин.

До експертного оцінювання було залучено 12 категорійних менеджерів. Кожен категорійний менеджер оцінював товари категорії, за які він відповідав

у межах своїх посадових обов'язків. Для оцінювання використовувалися фактичні значення втрачених продажів та надлишкових товарних запасів за червень 2025 року, виражені у грошовому еквіваленті в розрізі товарних позицій відповідної категорії. Для кожного досліджуваного фактора менеджер визначав суму втрачених продажів або надлишкових товарних запасів, виникнення якої, за його оцінкою, було пов'язане з дією відповідного фактора.

Підсумкова експертна оцінка впливу фактора на рівні підприємства визначалася не як середнє арифметичне відсоткових оцінок окремих категорій, а шляхом агрегування абсолютних грошових оцінок за всіма товарними категоріями:

$$E_j = \frac{\sum_{c=1}^C E_{jc}}{\sum_{c=1}^C TE_c} \quad (3.7)$$

де  $E_j$  - частка впливу фактора  $j$  на рівні підприємства, %,  $E_{jc}$  - визначена категорійним менеджером сума втрачених продажів або надлишкових товарних запасів, віднесена до фактора  $j$  у категорії  $c$ , грн,  $TE_c$  - загальна сума відповідно втрачених продажів або надлишкових товарних запасів у категорії  $c$ , грн,  $C$  - кількість товарних категорій.

Аналогічне агрегування виконувалося для результатів автоматизованого застосування методів багатфакторної оцінки. Це забезпечило порівняння експертних та алгоритмічних оцінок на однаковому рівні агрегації та врахування відмінностей між категоріями за обсягом втрачених продажів і надлишкових товарних запасів.

Відповідно до умов договору про нерозголошення конфіденційної інформації абсолютні грошові показники в розрізі товарів, категорій і магазинів у роботі не наводяться. Результати експерименту представлені в агрегованому вигляді на рівні підприємства у відсотках та відсоткових пунктах.

Було проведено оцінювання таких факторів: виконання постачальником замовлення в меншому обсязі, скорочення замовлення з метою забезпечення

логістичної партії, ручне зменшення або скасування замовлення менеджером, похибка прогнозу, введення нового товару в асортимент, різке зростання попиту, а також зменшення запасів товару, спричинене недостовірною інформацією в інформаційній системі. Результати експертної оцінки та алгоритмічного розрахунку впливу факторів на втрачені продажі наведено в табл. 3.18.

Найбільша розбіжність спостерігається для похибки прогнозування. Експерти визначили внесок цього фактора у втрачені продажі на рівні 48,2%, тоді як автоматизований розрахунок показав 19,5%. Значна розбіжність спостерігається також для неповного виконання замовлень постачальником: експертна оцінка становила 40,3%, а алгоритмічна – 22,3%. Отримані значення характеризують відмінність структури факторних внесків між двома способами оцінювання і не розглядаються як доказ точності одного з них.

*Таблиця 3.18*

**Порівняння експертної оцінки та алгоритмічного розрахунку впливу факторів на втрачені продажі**

| <b>Фактор, що впливає на втрачені продажі</b>                       | <b>Оцінка експертів, %</b> | <b>Розрахункова оцінка, %</b> |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Постачальник виконав замовлення в меншому обсязі                    | 40,30                      | 22,30                         |
| Замовлення скорочено з метою забезпечення логістичної ділянки       | 0,00                       | 12,60                         |
| Замовлення, що було вручну зменшено або скасовано менеджером        | 5,00                       | 22,10                         |
| Похибка прогнозу                                                    | 48,20                      | 19,50                         |
| До асортименту додано новий товар                                   | 0,00                       | 10,80                         |
| Різке зростання попиту (обстріли, відключення електроенергії тощо)  | 2,00                       | 8,50                          |
| Зменшення запасів через недостовірність даних інформаційної системи | 0,0                        | 1,2                           |
| Інші причини                                                        | 4,5                        | 3,0                           |

Водночас для низки факторів (рис. 3.24) алгоритмічні оцінки були суттєво вищими за експертні. Для скорочення замовлення через логістичні обмеження відповідні значення становили 0% та 12,6%, для введення нового

товару в асортимент – 0% та 10,8%, а для ручного зменшення або скасування замовлення менеджером – 5,0% та 22,1%. Ці результати свідчать про відмінність рівня деталізації та інформаційної бази двох способів оцінювання. Для фактора різкого зростання попиту експертна оцінка становила 2,0%, тоді як розрахункова – 8,5%. Крім того, автоматизований аналіз визначив внесок недостовірності даних інформаційної системи на рівні 1,2%, який експерти не врахували.

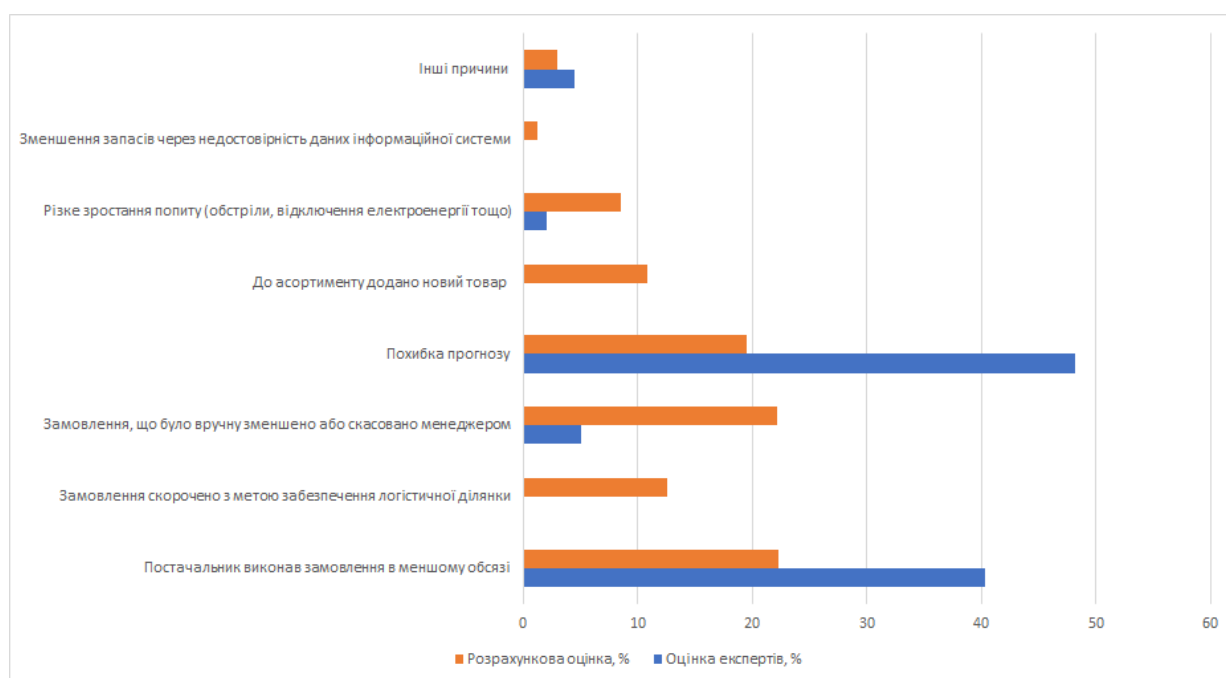


*Рис. 3.24. Порівняння експертної оцінки та алгоритмічного розрахунку впливу факторів на втрачені продажі*

Ці результати свідчать про відмінність рівня деталізації та інформаційної бази двох способів оцінювання. Для фактора різкого зростання попиту експертна оцінка становила 2,0%, тоді як розрахункова – 8,5%. Крім того, автоматизований аналіз визначив внесок недостовірності даних інформаційної системи на рівні 1,2%, який експерти не врахували.

Аналогічне порівняння було проведено і для надлишкових товарних запасів. Було оцінено фактори, що впливають на надлишкові запаси: збільшення замовлення менеджером, збільшення замовлення для забезпечення логістичної партії, помилки в даних, вилучення товару з

асортименту, зменшення викладки на полицях, похибка прогнозу, а також виконання постачальником замовлення більшому обсязі. Результати наведено в таблиці 3.19.

Таблиця 3.19

**Порівняння експертної оцінки та алгоритмічного розрахунку впливу факторів на надлишкові товарні запаси**

| <b>Фактори, що впливають на надлишкові запаси</b>                | <b>Оцінка експертів, %</b> | <b>Розрахункова оцінка, %</b> |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Збільшення замовлення менеджером                                 | 12,70                      | 31,60                         |
| Збільшення замовлення для забезпечення логістичної партії        | 5,00                       | 22,90                         |
| Помилки в даних                                                  | 0,00                       | 11,50                         |
| Вилучення товару з асортименту                                   | 5,00                       | 7,00                          |
| Зменшення викладки на полицях                                    | 2,00                       | 5,40                          |
| Помилка у прогнозі                                               | 49,2                       | 19,90                         |
| Постачальник виконав замовлення в обсязі, більшому за замовлений | 21,00                      | 1,10                          |
| Інші причини                                                     | 5,10                       | 0,60                          |

Як і у випадку з втраченими продажами, для надлишкових запасів зафіксовано суттєві розбіжності між експертними та алгоритмічними оцінками. Для ручного збільшення замовлення експертна оцінка становила 12,7%, а алгоритмічна – 31,6%; для збільшення замовлення через логістичну партію – відповідно 5,0% та 22,9%. Отримані значення характеризують відмінність структури факторних внесків і не використовуються як незалежний еталон точності одного з підходів.

Для окремих факторів алгоритмічні оцінки також перевищували експертні (рис. 3.25). Зокрема, для помилок у даних інформаційної системи експертна оцінка становила 0%, а алгоритмічна – 11,5%; для вилучення товарів з асортименту та зменшення викладки алгоритмічні оцінки становили відповідно 7,0% та 5,4%. Такі розбіжності можуть бути пов'язані з різним рівнем деталізації, повнотою доступної інформації та способом агрегування результатів.

Найбільша розбіжність для надлишкових запасів спостерігалася щодо похибки прогнозування: експертна оцінка становила 49,2%, а алгоритмічна – 19,9%. Для постачання товару в більшому обсязі, ніж було замовлено, відповідні значення становили 21,0% та 1,1%. За відсутності незалежного еталонного значення ці розбіжності не трактуються як доказ правильності або помилковості одного зі способів оцінювання.

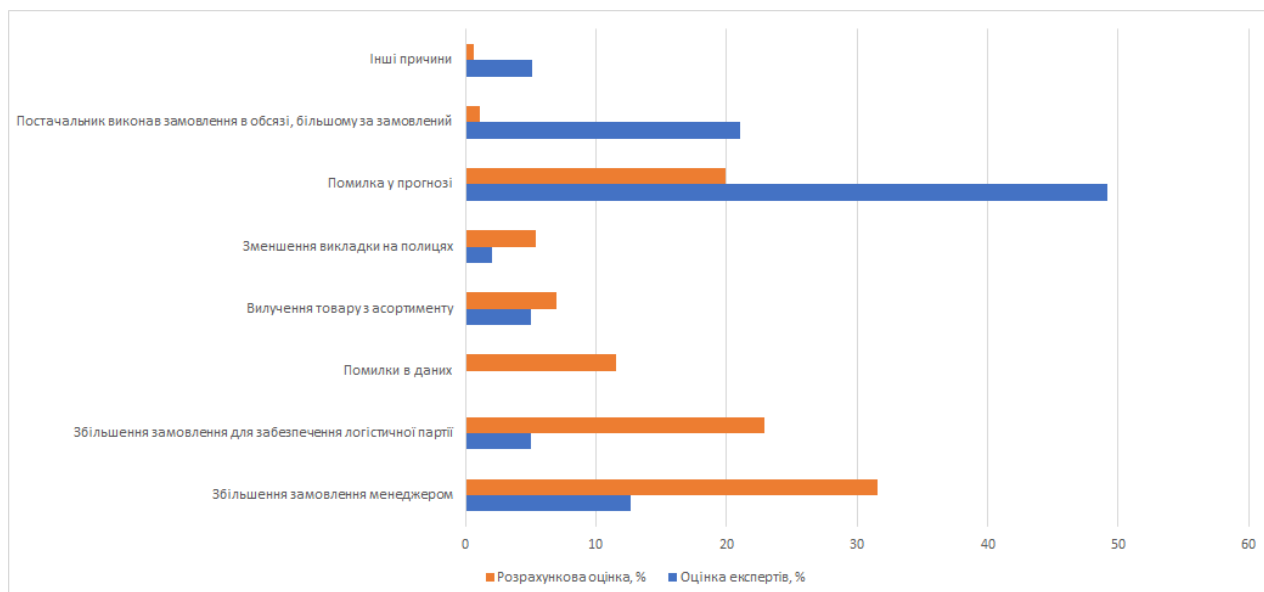


*Рис. 3.25. Порівняння експертної оцінки та алгоритмічного розрахунку впливу факторів на надлишкові товарні запаси*

Для оцінювання ступеня відмінності між експертними та алгоритмічними оцінками використано середню абсолютну розбіжність:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N |E_i - CR_i|}{N} \quad (3.8)$$

де  $A$  – середня абсолютна розбіжність між експертною та алгоритмічною оцінками, в.п,  $E_i$  – експертна оцінка впливу фактора  $i$ , %,  $CR_i$  – алгоритмічна оцінка впливу фактора  $i$ , %,  $N$  – кількість факторів.

За результатами розрахунку середня абсолютна розбіжність становила 12,05 в.п. для факторів, що впливають на втрачені продажі, та 13,425 в.п. для факторів, що впливають на надлишкові товарні запаси. Порівняння

результатів показує, що експертні оцінки впливу факторів суттєво відрізняються від результатів автоматизованого застосування методів багатофакторної оцінки. Одним із чинників формування таких розбіжностей є різний рівень деталізації аналізу. Експертне оцінювання виконується переважно на основі агрегованих даних за звітний період і товарними категоріями, тоді як запропоновані методи спочатку визначають причинно допустимі фактори та їх кількісний внесок для конкретної комбінації «товар - магазин - дата» і лише після цього агрегує результати. У проведеному експерименті підсумкова експертна оцінка на рівні підприємства також формувалася шляхом агрегування оцінок за товарними категоріями.

Результати експериментів 1,2 та 3, наведених у п. 3.2, підтверджують, що зі збільшенням рівня агрегації зростають розбіжності між деталізованою факторною атрибуцією та методами, що застосовуються після попереднього агрегування даних. За мінімального рівня агрегації відмінності між методами були незначними, оскільки зберігалася відповідність між конкретними операційними подіями та сформованими ними відхиленнями. При агрегації за магазинами, товарами і періодами ця відповідність частково втрачається, унаслідок чого потенційний вплив фактора може бути присутнім в агрегованій сукупності даних, хоча відповідна подія не була причинно-допустимою для конкретного випадку втрачених продажів або надлишкового запасу.

Отже, агрегований характер експертного аналізу може розглядатися як один із механізмів виникнення розбіжностей між експертними та алгоритмічними оцінками. Додатковими чинниками є неповнота інформації, доступної експерту, та суб'єктивність оцінювання. Частина операційних подій або характеристик інформаційної системи може бути відсутня в аналітичних даних, на основі яких формується експертна оцінка. Отримані значення характеризують ступінь відмінності між двома способами оцінювання і не розглядаються як показник точності одного з них. Водночас порівняння дозволило визначити фактори, для яких зафіксовано найбільші систематичні розбіжності між експертними та алгоритмічними оцінками.

Скорочення часу застосування методів багатофакторної оцінки та підвищення деталізації отриманих результатів створюють передумови для оперативнішого прийняття коригувальних управлінських рішень. Для оцінювання практичної динаміки показників після впровадження запропонованих методів проаналізовано зміну втрачених продажів та надлишкових товарних запасів. Для перевірки цього твердження проаналізуємо динаміку зміни втрачених продажів та надлишків. Оскільки фінансова інформація про діяльність компаній є закритою, оцінку динаміки будемо проводити по зміні відсотків втрачених продажів  $LS\%$  та відсотків надлишків  $OS\%$ . Ці параметри обчислюються за формулами (1.33) та (1.34):

Впровадження методу оцінки факторів на ТОВ «РУШ» та ТОВ «ОМЕГА» стартувало на початку 2026 року. На рис. 3.26 наведено динаміку відсотка втрачених продажів і надлишкових товарних запасів протягом 2025 року та перших 30 тижнів 2026 року для ТОВ «РУШ». Протягом 2025 року обидва показники характеризувалися значними коливаннями, що свідчить про нестабільність процесів управління запасами. Відсоток втрачених продажів змінювався переважно в межах 6–9%, окремими тижнями досягаючи 13,8% на 2-му тижні, і для мережі магазинів це є нормальним, оскільки це період Нового Року. Частка надлишкових товарних запасів коливалася від 20% до 34%. Незважаючи на незначне зниження надлишкових запасів впродовж року, їх рівень залишався достатньо високим, а стійкої тенденції до покращення не спостерігалось.

На початку 2026 року ситуація практично не відрізнялася від попереднього року. У перші тижні відсоток втрачених продажів знову досягав 13,7%, а надлишкові товарні запаси перевищували 30%. Саме з цього періоду на підприємстві було розпочато впровадження запропонованих методів багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів. На відміну від традиційного експертного оцінювання, система почала автоматично визначати першопричини виникнення відхилень і формувати кількісні оцінки впливу кожного фактора, що дало можливість оперативно

коригувати правила формування замовлень, параметри прогнозування та окремі бізнес-процеси.

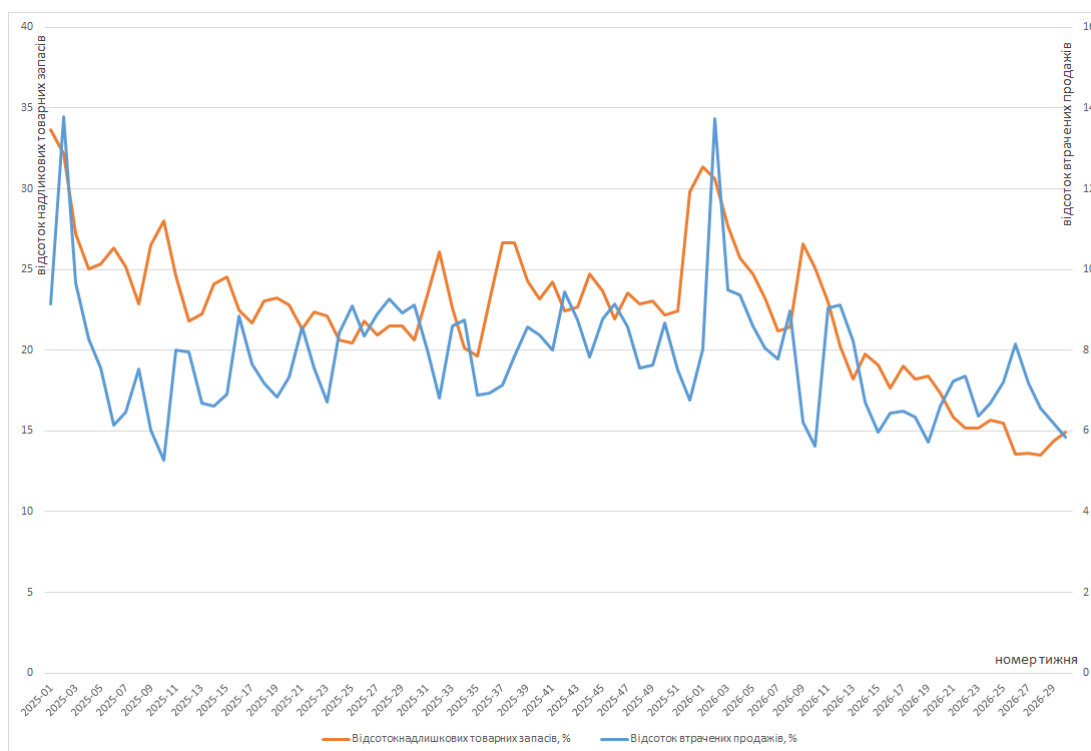


*Рис. 3.26. Динаміка зміни відсотків втрачених продажів та надлишкових товарних запасів ТОВ «РУШ»*

Найбільш помітні зміни спостерігаються для показника надлишкових товарних запасів. Починаючи приблизно з 13–16 тижня 2026 року формується стійка тенденція до його зменшення. Якщо на початку року надлишкові запаси становили понад 30%, то до 20-го тижня вони скоротилися до 17,3%, а починаючи з 26-го тижня стабілізувалися на рівні 13–15%. Таким чином, за перші сім місяців 2026 року частка надлишкових запасів зменшилася більш ніж удвічі порівняно з початком періоду, що свідчить про підвищення ефективності прийняття рішень та зменшення впливу причин накопичення запасів.

Динаміка втрачених продажів також демонструє позитивні зміни, хоча вони є менш вираженими. Якщо у 2025 році значення показника переважно перебувало в межах 7–9%, а окремими тижнями перевищувало 13%, то після впровадження автоматизованого застосування методів багатофакторної оцінки більшість значень у другій половині 2026 року знаходиться в інтервалі

5,7–7,4%. При цьому практично зникають різкі пікові значення, характерні для попереднього періоду, що свідчить про підвищення стабільності роботи системи управління запасами.

Для наочнішого представлення динаміки змін відніmemo від значень відсотків втрачених продажів та надлишкових товарних запасів 2026 року значення за аналогічний номер тижня 2025 року. Від’ємне значення показує, що показник зменшився, а додатне – що він збільшився (рис. 3.27).

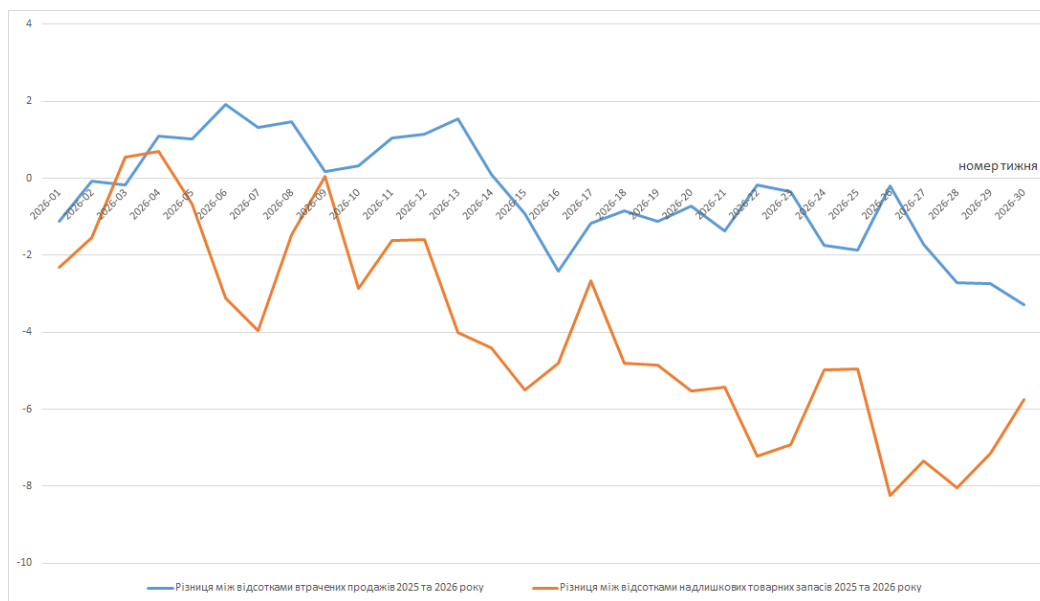
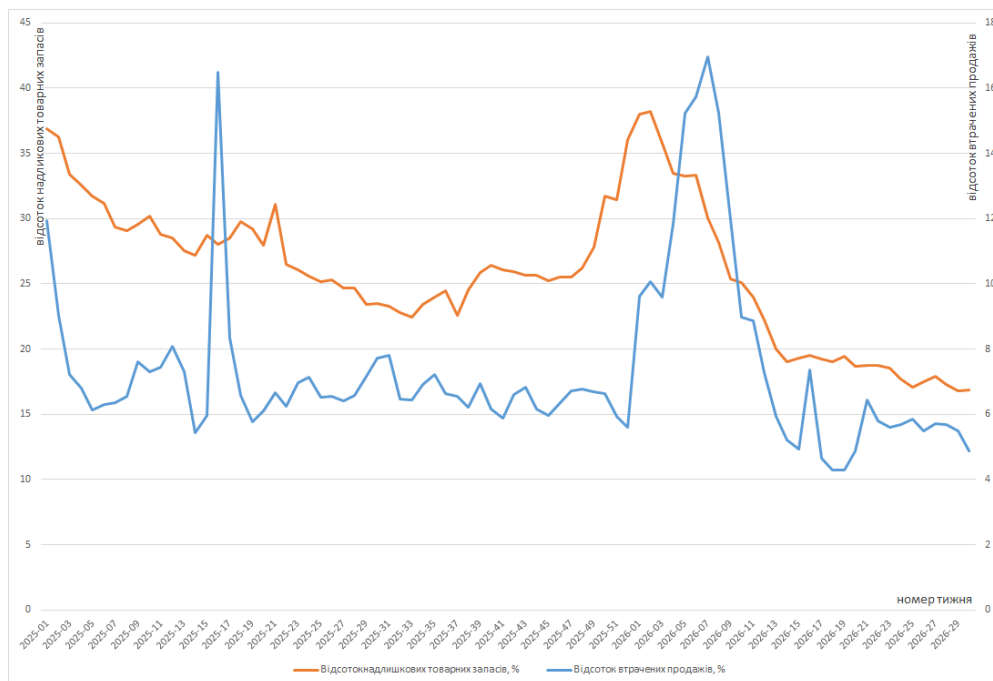


*Рис. 3.27. Зміна динаміки відсотків втрачених продажів та надлишкових товарних запасів ТОВ «РУШ» у 2026 році в порівнянні з 2025 роком*

Зрозуміло, що одне тільки впровадження алгоритму не дає миттєвий ефект, і зміни в компанії є накопичувальними та більшою мірою залежать від прийнятих управлінських рішень, для яких метод надає аналітику. Проте, присутня позитивна динаміка у зміні показників, та в періоді за останні 10 тижнів аналізованого періоду (з 21 тижня по 30 тиждень) втрачені продажі в середньому знизились на 1,6 в.п., а надлишкові товарні запаси – на 6.6 в.п. порівнянні з аналогічними показниками 2025 року.

Отримані зміни характеризують динаміку показників після впровадження розробленого програмного забезпечення, однак не можуть розглядатися як оцінка його ізольованого причинного ефекту. Розроблене програмне забезпечення було впроваджено для всіх товарних категорій, тому

контрольна група товарів, до яких впровадження не застосовувалося, відсутня. У зв'язку з цим застосування схеми різниці різниць для наявних даних є неможливим. На динаміку показників також могли впливати інші внутрішні та зовнішні фактори.



щодо надлишкових товарних запасів. Якщо на початку 2026 року їх відсоток становив близько 38%, то вже до 13-го тижня він знизився до 20%, а наприкінці досліджуваного періоду стабілізувся на рівні 16–18%. Таким чином, відносне скорочення надлишкових запасів перевищило 55%, що характеризує позитивну динаміку показника в досліджуваному періоді. При цьому на його зміну, крім використання результатів застосування методів багатофакторної оцінки при прийнятті управлінських рішень, могли впливати відновлення логістичних потужностей та інші зовнішні й внутрішні фактори. Після пікових значень 15–17% у перші тижні 2026 року вже з 13-го тижня відсоток втрачених продажів зменшився до рівня 5–6% і надалі залишається відносно стабільним, а в окремі тижні досягає 4,3–4,9%. У порівнянні з максимальними значеннями на початку року відсоток втрачених продажів скоротився майже утричі. Одночасно значно зменшилася амплітуда коливань показника, що свідчить про підвищення стабільності функціонування системи управління запасами.

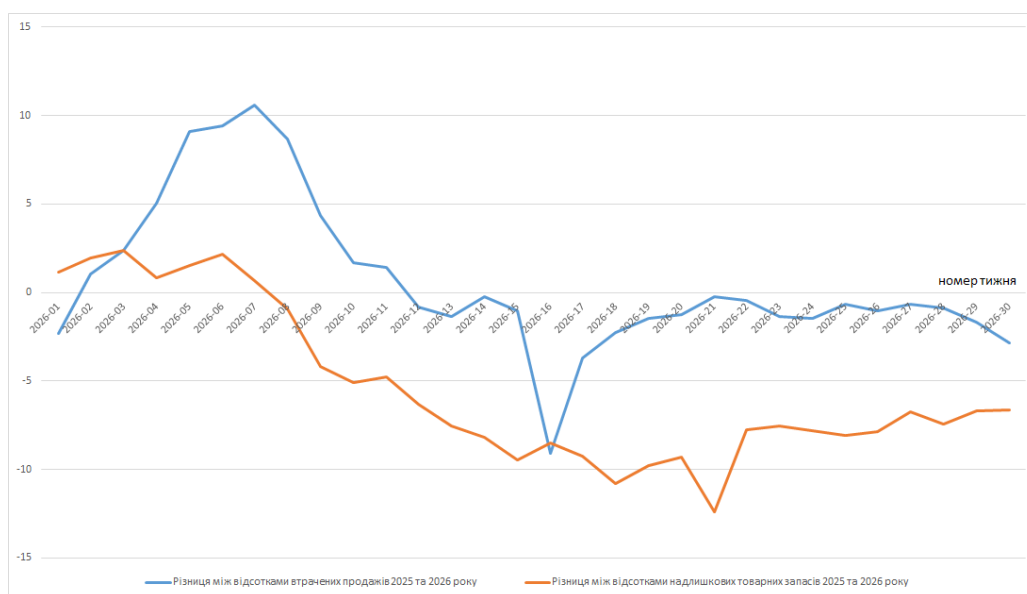


*Рис. 3.29. Зміна динаміки відсотків втрачених продажів та надлишкових товарних запасів ТОВ «ОМЕГА» у 2026 році в порівнянні з 2025 роком*

На рис. 3.29 наведено зміну динаміки відсотків втрачених продажів та надлишкових товарних запасів ТОВ «ОМЕГА» у 2026 році в порівнянні з 2025 роком. В періоді з 21 тижня по 30 тижднів втрачені продажі в середньому

знизились на 1,13 в.п., а надлишкові товарні запаси – на 7.9 в.п. у порівнянні з аналогічними показниками 2025 року.

Отримана після практичного впровадження динаміка узгоджується за напрямом із результатами імітаційного моделювання, проведеного у п. 3.1. В імітаційній моделі використання результатів застосування методів багатофакторної оцінки для формування адресних коригувальних дій приводило до зменшення втрачених продажів і надлишкових запасів, причому найбільший ефект спостерігався за підвищення оперативності аналізу та використання накопиченої інформації про повторювані причинні зв'язки. У комбінованому сценарії частка втрачених продажів зменшилася від 9,350% у контрольному варіанті до 8,215%, тобто на 1,135 в.п., а частка надлишкових запасів - від 21,224% до 14,720%, або на 6,504 в.п.

Практичне впровадження відбувалося в умовах, що відповідають логіці оперативного сценарію імітаційного моделювання: після автоматизації періодичність застосування методів багатофакторної оцінки було збільшено з одного разу на місяць до одного разу на тиждень, що дозволило оперативніше використовувати отримані результати при коригуванні правил формування замовлень, параметрів прогнозування та інших бізнес-процесів. Для ТОВ «РУШ» упродовж 21–30-го тижнів 2026 року середнє зменшення порівняно з відповідними тижнями 2025 року становило 1,6 в.п. для втрачених продажів і 6,6 в.п. для надлишкових запасів, а для ТОВ «ОМЕГА» – відповідно 1,13 та 7,9 в.п.

Таким чином, результати практичного впровадження не суперечать встановленій під час імітаційного моделювання закономірності: підвищення деталізації та оперативності застосування методів багатофакторної оцінки створює інформаційні передумови для більш адресного коригування причин втрачених продажів і надлишкових запасів. Водночас близькість окремих величин модельного та практичного зменшення показників не слід трактувати як підтвердження точного прогнозу імітаційної моделі. Моделювання виконувалося за заданими сценарними параметрами, тоді як у реальних

умовах на динаміку показників одночасно впливали прийняті управлінські рішення та інші внутрішні й зовнішні фактори. Тому результати п. 3.2 характеризують очікуваний механізм і напрям впливу використання результатів застосування методів багатофакторної оцінки, а дані п. 3.3 демонструють узгоджену з ним практичну динаміку після впровадження запропонованих методів.

Таким чином, в порівнянні з експертною оцінкою впровадження алгоритмічного розрахунку впливу факторів на втрачені продажі та надлишкові товарні запаси дозволило скоротити затрати часу підготовку аналітичної інформації на 86,3-87,5%. Порівняння алгоритмічного та експертного оцінювання показало середню абсолютну розбіжність 12,05 в.п. для факторів втрачених продажів та 13,425 в.п. для факторів надлишкових товарних запасів. Отримані результати дали змогу виявити суттєві відмінності в оцінюванні ролі окремих факторів. Після впровадження розроблених методів та програмного забезпечення в досліджуваному періоді спостерігалось зниження втрачених продажів на 1,13-1,6 в.п. та надлишкових товарних запасів на 6,6-7,9 в.п. порівняно з відповідними періодами 2025 року. Через відсутність контрольної групи зазначені зміни характеризують динаміку показників після впровадження та не розглядаються як оцінка ізольованого причинного ефекту розроблених методів.

### **Висновки до третього розділу**

У третьому розділі «Програмна реалізація і експериментальна перевірка методів та алгоритмів багатофакторної оцінки» розроблено архітектуру і програмну реалізацію методів та алгоритмів багатофакторної оцінки, проведено імітаційне моделювання, експериментальну перевірку методів багатофакторної оцінки та оцінювання результативності застосування програмного забезпечення.

Програмне забезпечення функціонує як аналітичний шар над наявними корпоративними інформаційними системами та побудовано за модульним

принципом та складається з модулів збору нормалізації даних, багатофакторної оцінки та аналітичної візуалізації. Для інтеграції даних з інформаційними системами використано формат CSV, алгоритми реалізовано засобами Microsoft SQL Server і T-SQL, а візуалізацію результатів – засобами QlikView. Запропонована архітектура дає змогу використовувати розроблені методи як окремий аналітичний шар над корпоративними ERP-, WMS- та POS-системами.

Верифікацію програмної реалізації проведено на 20 000 контрольованих випадках, що містили 62 201 факторну подію з наперед заданими референтними результатами. У сформованому контрольованому наборі отримано повний збіг із заданою логікою розподілу впливу: *NMAE* становила 0%, *F1* – 1,000, *Top-1 accuracy* – 100%. Це підтверджує відповідність програмної реалізації формалізованих причинно-часовій логіці розроблених методів у межах заданих контрольованих умов. Оцінка масштабованості показала близьке до лінійного зростання часу оброблення зі збільшенням обсягу даних, коефіцієнт масштабування  $K_{sc}$  становив 1,04.

Експерименти з поступовим укрупненням даних показали, що зі зростанням рівня агрегації збільшується розбіжність між результатами *MFE* та альтернативними методами. Для втрачених продажів середня абсолютна розбіжність між *MFE* і *PROP* зросла з 1,57 до 11,64 в.п., а між *MFE* і *Shapley* – з 1,98 до 13,92 в.п. Для надлишкових запасів відповідні значення зросли з 0,53 до 11,25 в.п. та з 0,00 до 12,12 в.п. Це підтверджує значущість збереження деталізації даних на рівні конкретних комбінацій «товар – місце зберігання – дата» під час кількісної оцінки впливу факторів.

Дослідження робастності показало, що точність результатів залежить від якості інформації. Зі збільшенням похибки потенційного впливу  $r_i$  від  $\pm 5\%$  до  $\pm 20\%$  *NMAE* зростала від 2,21% до 8,69%, а за пропуску від 5% до 20% факторних подій – від 6,29% до 24,35%. Найбільшу чутливість виявлено до часових похибок реєстрації операційних подій, що підтверджує необхідність забезпечення повноти та часової узгодженості вхідних даних. Отримані

результати додатково підтверджують, що інформаційно-вимірjuвальна система повинна забезпечувати повне відстеження подій та достовірну реєстрацію часу їх виникнення. Це є необхідною передумовою коректного застосування методів багатофакторної оцінки.

Проведене математичне моделювання у формі імітаційного експерименту показало перевагу використання деталізованих результатів *MFE* для формування адресних коригувальних дій. У базовому сценарії частка втрачених продажів для *MFE* становила 8,696% порівняно з 8,952% для кращої альтернативи *PROP*, а частка надлишкових запасів – 16,692% порівняно з 18,443% для *Shapley*. Відносна різниця становила відповідно 2,87% та 9,49%. В оперативному сценарії, за скорочення періодичності застосування *MFE* з 30 до 7 днів, відносна різниця збільшилася до 13,13% для втрачених продажів і до 27,06% для надлишкових запасів. Перехід до оперативного сценарію додатково зменшив для *MFE* частку втрачених продажів у середньому на 0,899 в.п., а надлишкових запасів – на 3,064 в.п.

Оцінювання результативності програмного забезпечення проведено на даних ТОВ «РУШ» та ТОВ «ОМЕГА». Порівняння алгоритмічних та експертних результатів показало середню абсолютну розбіжність 12,05 в.п. для факторів втрачених продажів та 13,425 в.п. для факторів надлишкових товарних запасів. Автоматизація застосування методів скоротила час підготовки аналітичної інформації з 120 до 16,4 год на місяць у ТОВ «РУШ» та з 96 до 12 год у ТОВ «ОМЕГА», що відповідає скороченню на 86,3% та 87,5% відповідно. У досліджуваному періоді після впровадження також спостерігалось зменшення втрачених продажів на 1,13–1,6 в.п. та надлишкових товарних запасів на 6,6–7,9 в.п. порівняно з відповідними періодами попереднього року. Ця динаміка характеризує результати, що спостерігалися після впровадження, і не розглядається як оцінка ізольованого причинного ефекту програмного забезпечення.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують відповідність програмної реалізації розробленим методам, показують важливість деталізації

та якості вихідних даних, демонструють переваги адресного використання результатів багатофакторної оцінки та підтверджують можливість практичного застосування розробленого програмного забезпечення для формування аналітичної інформації й підтримки вибору коригувальних управлінських дій.

Результати дослідження відображено у роботах [3; 5; 8; 116; 117] здобувача.

## Висновки

У дисертаційній роботі згідно з поставленими завданнями: проведено аналіз наявних моделей, методів та програмних засобів управління запасами на основі оцінки їх стану; розроблено модель управління товарними запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень фактичного стану запасів від цільового; формалізовано фактори як операційні події з визначеними причиною, часовою позицією, потенційним кількісним впливом і правилами причинної допустимості; розроблено методи багатофакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, а також алгоритми кількісної атрибуції внеску причинно-допустимих операційних подій з урахуванням їх часового пріоритету та залишкового кількісного впливу; розроблено програмне забезпечення для реалізації запропонованої моделі, методів та алгоритмів багатофакторної оцінки, проведено верифікацію та експериментальну перевірку запропонованих рішень. Відповідно до поставлених завдань сформульовано такі висновки:

1. Проведено аналіз наявних моделей, методів, інформаційних технологій і програмних засобів управління запасами. Встановлено, що сучасні AIDC, RFID, IoT, ERP, WMS і BI-рішення забезпечують автоматизований збір та обробку операційних даних, прогнозування попиту, контроль стану запасів і виявлення відхилень. Методи причинного аналізу, кількісної атрибуції та аналізу послідовності подій дають змогу досліджувати окремі складові причинних і процесних залежностей. Водночас для автоматизованого визначення причин окремих випадків втрачених продажів і надлишкових запасів необхідно зберігати зв'язок між операційною подією, товаром, місцем зберігання, часом її виникнення та величиною сформованого відхилення. Це обґрунтувало необхідність розроблення методів багатофакторної оцінки на деталізованому рівні «товар – місце зберігання – дата».

2. Розроблено модель управління товарними запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень фактичного стану запасів від цільового. У

моделі визначено взаємозв'язок між цільовим і фактичним станами запасу, результуючими відхиленнями у вигляді втрачених продажів і надлишкових товарних запасів та операційними подіями, що впливають на їх формування. Цільовий стан використовується як базова траєкторія, відносно якої визначаються відхилення, а результати багатофакторної оцінки формують аналітичну основу для вибору коригувальних управлінських дій.

3. Формалізовано фактори впливу на стан товарних запасів як конкретні операційні події, що характеризуються причиною, часовою позицією та потенційним кількісним впливом. Визначено правила причинної допустимості, за якими встановлюється можливість впливу певної події на конкретний випадок втрачених продажів або надлишкових запасів з урахуванням напряду її впливу та часу виникнення. Запропонована формалізація дає змогу однаково представляти фактори різної природи та використовувати їх у подальшій алгоритмічній обробці.

4. Розроблено методи багатофакторної оцінки втрачених продажів і надлишкових товарних запасів та алгоритми кількісної атрибуції впливу причинно-допустимих операційних подій. Алгоритми передбачають послідовний розподіл величини відхилення між подіями відповідно до їх часового пріоритету та доступного потенційного впливу. Для подій з однаковим часовим пріоритетом застосовується пропорційний розподіл. Після врахування впливу події її залишковий потенційний вплив зменшується, що запобігає повторному віднесенню однієї й тієї самої частини впливу до наступних відхилень. Результатом застосування методів є кількісна оцінка впливу конкретних операційних подій на окреме відхилення на рівні «товар – місце зберігання – дата».

5. Розроблено програмне забезпечення для реалізації запропонованої моделі, методів та алгоритмів багатофакторної оцінки. Програмне забезпечення функціонує як аналітичний шар над корпоративними інформаційними системами та включає модулі збору і нормалізації даних, багатофакторної оцінки та аналітичної візуалізації. Верифікація на 20 000

контрольованих випадках із 62 201 факторною подією підтвердила відповідність програмної реалізації формалізованих причинно-часовій логіці методів. Дослідження масштабованості показало близьке до лінійного зростання часу оброблення, а аналіз робастності підтвердив залежність результатів від повноти даних і точності часових міток. Імітаційне моделювання на даних 10 товарних позицій у 100 магазинах ТОВ «ОМЕГА» показало переваги адресного та оперативного використання результатів багатофакторної оцінки. Практична апробація в ТОВ «РУШ» і ТОВ «ОМЕГА» забезпечила скорочення часу підготовки аналітичної інформації з 120 до 16,4 год та з 96 до 12 год на місяць відповідно. У досліджуваному періоді після впровадження спостерігалось зменшення втрачених продажів на 1,13–1,6 в.п. та надлишкових запасів на 6,6–7,9 в.п. порівняно з відповідними періодами попереднього року.

Проведене дослідження не вичерпує всіх аспектів поставленої проблеми, тому доцільним є продовження наукового пошуку у таких напрямках: розширення переліку факторів, що враховуються під час аналізу, за рахунок інтеграції інформації про ціноутворення, макроекономічні показники, погодні умови, ризики ланцюгів постачання та інші зовнішні чинники, які можуть впливати на рівень запасів і результати діяльності підприємства; розширення сфери застосування запропонованих методів на багаторівневі ланцюги постачання, виробничі підприємства, маркетплейси з розподіленими складами. Це дозволить використовувати розроблений підхід як універсальний інструмент підтримки прийняття рішень для оцінювання ефективності логістичних процесів у різних предметних областях.

## Література

1. Граф М. С., Райковський В. А., Артамонов Є. Б., Толстой І. А. Розробка інформаційної системи внутрішньої мережі підприємства. *Технічна інженерія*. 2024. № 2(94). С. 104–112. DOI: [10.26642/ten-2024-2\(94\)-104-112](https://doi.org/10.26642/ten-2024-2(94)-104-112).
2. Граф М. С., Яновський Д. В. Особливості обчислення похибки прогнозу споживання товарів в роздрібній торгівлі. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2023) : тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ, 23–24 травня 2023 р. Київ : НАУ, 2023. С. 256–258. URL: <https://drive.google.com/file/d/1BLRLBRK-16IREQOSW6FPNWUx06zuapWu/view> (дата звернення: 30.05.2026).
3. Яновський Д. В. Архітектура програмного забезпечення для аналізу ефективності систем управління запасами. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2026. Т. 37 (76), № 1. С. 472–480. DOI: [10.32782/2663-5941/2026.1.2/59](https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.2/59).
4. Яновський Д. В. Оптимізація ланцюгів поставок: вирішення «ефекту батога» для замовлень постачальників. *Технічна інженерія*. 2023. № 2(92). С. 146–151. DOI: [10.26642/ten-2023-2\(92\)-146-151](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-146-151).
5. Яновський Д. В. Оцінка факторів, що впливають на втрачені продажі в інформаційних системах управління запасами. *Сучасні інформаційні технології 2024 : тези XIV Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених*, Одеса, 16–17 травня 2024 р. Одеса : Національний університет «Одеська політехніка», 2024. С. 140–142. URL: [https://drive.google.com/file/d/1\\_rENZ6jNkZQAZ2jiE2SVUU2vRrhuC8sR/view](https://drive.google.com/file/d/1_rENZ6jNkZQAZ2jiE2SVUU2vRrhuC8sR/view) (дата звернення: 30.06.2026).
6. Яновський Д. В., Граф М. С. Аналіз існуючих методів прогнозування попиту та способів оцінки їх якості. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2023. № 3. С. 70–77. DOI: [10.32782/IT/2023-3-9](https://doi.org/10.32782/IT/2023-3-9).
7. Яновський Д. В., Граф М. С. Особливості застосування задачі розподілу в мережах магазинів. *Інформаційно-комп'ютерні технології – 2023 : тези*

*XIII Міжнародної науково-технічної конференції*, Житомир, 30–31 березня 2023 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2023. С. 18–19. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/povnyy-tekst.pdf> (дата звернення: 30.05.2026).

8. Яновський Д. В., Граф М. С. Фактори, що впливають на надлишкові товарні запаси в інформаційних системах управління запасами. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІІРТК-2024) : тези XVII Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ, 21–22 травня 2024 р. Київ : Національний авіаційний університет, 2024. С. 440. URL: [https://drive.google.com/file/d/1P1FuD\\_Q\\_kuugNbdQu\\_1-EO9OmmZ3eDmq/view](https://drive.google.com/file/d/1P1FuD_Q_kuugNbdQu_1-EO9OmmZ3eDmq/view) (дата звернення: 30.05.2026).

9. Adato A. A. Evaluating the Effectiveness of Inventory Management Practice and Its' Challenges on Manufacturing Companies in Yirgalem Agro-Industrial Park, Ethiopia. *European Business & Management*. 2022. Vol. 8, No. 4. P. 89–98. DOI: [10.11648/j.ebm.20220804.12](https://doi.org/10.11648/j.ebm.20220804.12).

10. Aichner T., Santa V. Demand Forecasting Methods and the Potential of Machine Learning in the FMCG Retail Industry. *Serving the Customer: The Role of Selling and Sales*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023. P. 215–252. DOI: [10.1007/978-3-658-39072-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-658-39072-3_8).

11. Al Ruqeishi I. M. S., Ullah A. Inventory management: methods, approaches, benefits and challenges. *International Journal of Social Sciences and Management Review*. 2024. Vol. 7, No. 4. P. 10–18. DOI: [10.37602/IJSSMR.2024.7402](https://doi.org/10.37602/IJSSMR.2024.7402).

12. Alnahhal M., Aylak B. L., Al Hazza M., Sakhrieh A. Economic Order Quantity: A State-of-the-Art in the Era of Uncertain Supply Chains. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 14. Art. No. 5965. DOI: [10.3390/su16145965](https://doi.org/10.3390/su16145965).

13. Alnaim M., Kouaib A. Inventory Turnover and Firm Profitability: A Saudi Arabian Investigation. *Processes*. 2023. Vol. 11, No. 3. Art. No. 716. DOI: [10.3390/pr11030716](https://doi.org/10.3390/pr11030716).

14. Alqhatani A., Ashraf M. S., Ferzund J., Shaf A., Abosaq H. A., Rahman S., Irfan M., Alqhtani S. M. 360° Retail Business Analytics by Adopting Hybrid Machine Learning and a Business Intelligence Approach. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 19. Art. No. 11942. DOI: [10.3390/su141911942](https://doi.org/10.3390/su141911942).
15. Alsawaylimi A. A. Comparison of ARIMA, ANN and Hybrid ARIMA-ANN Models for Time Series Forecasting. *Information Sciences Letters*. 2023. Vol. 12, No. 2. P. 1003–1016. DOI: [10.18576/isl/120238](https://doi.org/10.18576/isl/120238).
16. Amosu O. R., Kumar P., Ogunsuji Y. M., Oni S., Faworaja O. AI-driven demand forecasting: Enhancing inventory management and customer satisfaction. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024. Vol. 23, No. 2. P. 708–719. DOI: [10.30574/wjarr.2024.23.2.2394](https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.2.2394).
17. Arunkumar O. N., Divya D. Deep Learning Techniques for Demand Forecasting: Review and Future Research Opportunities. *Information Resources Management Journal*. 2022. Vol. 35, No. 2. P. 1–24. DOI: [10.4018/IRMJ.291692](https://doi.org/10.4018/IRMJ.291692).
18. Bijvank M., Huh W. T., Janakiraman G. Lost-sales inventory systems. *Research Handbook on Inventory Management*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2023. P. 2–26. DOI: [10.4337/9781800377103.00008](https://doi.org/10.4337/9781800377103.00008).
19. Boute R. N., Gijsbrechts J., Van Jaarsveld W., Van Woensel T. Deep reinforcement learning for inventory control: A roadmap. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 298, No. 2. P. 401–412. DOI: [10.1016/j.ejor.2021.07.016](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.016).
20. Brackmann C., Hütsch M., Wulfert T. Identifying Application Areas for Machine Learning in the Retail Sector: A Literature Review and Interview Study. *SN Computer Science*. 2023. Vol. 4. Art. No. 426. DOI: [10.1007/s42979-023-01888-w](https://doi.org/10.1007/s42979-023-01888-w).
21. Bruno N., Galindo-Legaria C. A., Joshi M., Calvo Vargas E., Mahapatra K., Ravindran S., Chen G., Cervantes Juárez E., Sezgin B. Unified Query Optimization in the Fabric Data Warehouse. *Companion of the 2024 International Conference on Management of Data (SIGMOD-Companion '24), Santiago, Chile, June 9–15, 2024*. New York : ACM, 2024. P. 18–30. DOI: [10.1145/3626246.3653369](https://doi.org/10.1145/3626246.3653369).

22. Bynum L. E. J., Loftus J. R., Stoyanovich J. Counterfactuals for the Future. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 37, No. 12. P. 14144–14152. DOI: [10.1609/aaai.v37i12.26655](https://doi.org/10.1609/aaai.v37i12.26655).
23. Cai J., Jia L., Zhou Q., Yao D. E-commerce supply chain inventory decisions and contract design considering sales effort and risk aversion. *Electronic Commerce Research*. 2024. Vol. 24. P. 1847–1888. DOI: [10.1007/s10660-022-09575-3](https://doi.org/10.1007/s10660-022-09575-3).
24. Canco I. Opportunities for improving the inventory management based on the example of Albanian manufacturing companies. *Socialiniai tyrimai*. 2022. Vol. 45, No. 1. P. 91–103. DOI: [10.15388/Soctyr.45.1.6](https://doi.org/10.15388/Soctyr.45.1.6).
25. Chen H., Covert I. C., Lundberg S. M., Lee S.-I. Algorithms to estimate Shapley value feature attributions. *Nature Machine Intelligence*. 2023. Vol. 5. P. 590–601. DOI: [10.1038/s42256-023-00657-x](https://doi.org/10.1038/s42256-023-00657-x).
26. Jarašūnienė A., Čižiūnienė K., Čereška A. Research on Impact of IoT on Warehouse Management. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 4. Art. No. 2213. DOI: [10.3390/s23042213](https://doi.org/10.3390/s23042213).
27. Cornelisz I., van Klaveren C. Recurrent individual treatment assignment: a treatment policy approach to account for heterogeneous treatment effects. *npj Science of Learning*. 2022. Vol. 7. Art. No. 3. DOI: [10.1038/s41539-021-00117-4](https://doi.org/10.1038/s41539-021-00117-4).
28. Dasht Bozorgi Z., Teinemaa I., Dumas M., La Rosa M., Polyvyanyy A. Prescriptive process monitoring based on causal effect estimation. *Information Systems*. 2023. Vol. 116. Art. No. 102198. DOI: [10.1016/j.is.2023.102198](https://doi.org/10.1016/j.is.2023.102198).
29. de la Cruz N.-N., Daduna H. Analysis of second order properties of production–inventory systems with lost sales. *Annals of Operations Research*. 2023. Vol. 331. P. 899–921. DOI: [10.1007/s10479-022-05061-z](https://doi.org/10.1007/s10479-022-05061-z).
30. Demiray Kırmızı S., Ceylan Z., Bulkan S. Enhancing Inventory Management through Safety-Stock Strategies – A Case Study. *Systems*. 2024. Vol. 12, No. 7. Art. No. 260. DOI: [10.3390/systems12070260](https://doi.org/10.3390/systems12070260).
31. Developer Resource Center / Oracle. URL: <https://developer.oracle.com/> (дата звернення: 09.06.2026).

32. Dinesh L., Devi K. G. An efficient hybrid optimization of ETL process in data warehouse of cloud architecture. *Journal of Cloud Computing*. 2024. Vol. 13, No. 1. Art. No. 12. DOI: [10.1186/s13677-023-00571-y](https://doi.org/10.1186/s13677-023-00571-y).

33. Dynamics 365 Supply Chain Management / Microsoft. 2026. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365/products/supply-chain-management> (дата звернення: 09.06.2026).

34. E E., Tian X., Tao Y., Sun H. An ES-based model with contemporaneous and temporal aggregation for forecasting intermittent and lumpy retail demand. *Procedia Computer Science*. 2024. Vol. 242. P. 264–271. DOI: [10.1016/j.procs.2024.08.239](https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.08.239).

35. Eglite L., Birzniece I. Retail Sales Forecasting Using Deep Learning: Systematic Literature Review. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*. 2022. No. 30. P. 53–62. DOI: [10.7250/csimq.2022-30.03](https://doi.org/10.7250/csimq.2022-30.03).

36. Eiglsperger J., Haselbeck F., Stiele V., Guadarrama Serrano C., Lim-Trinh K., Menrad K., Hannus T., Grimm D. G. Forecasting seasonally fluctuating sales of perishable products in the horticultural industry. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 249. Art. No. 123438. DOI: [10.1016/j.eswa.2024.123438](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123438).

37. Ensafi Y., Amin S. H., Zhang G., Shah B. Time-series forecasting of seasonal items sales using machine learning – A comparative analysis. *International Journal of Information Management Data Insights*. 2022. Vol. 2, No. 1. Art. No. 100058. DOI: [10.1016/j.jjime.2022.100058](https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100058).

38. Enterprise resource planning (ERP) software market revenues worldwide from 2019 to 2026. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/605888/worldwide-enterprise-resource-planning-market-forecast/> (дата звернення: 17.09.2026).

39. Falatouri T., Darbanian F., Brandtner P., Udokwu C. Predictive Analytics for Demand Forecasting – A Comparison of SARIMA and LSTM in Retail SCM. *Procedia Computer Science*. 2022. Vol. 200. P. 993–1003. DOI: [10.1016/j.procs.2022.01.298](https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.298).

40. Faveto A., Traini E., Bruno G., Chiabert P. Review-based method for evaluating key performance indicators: an application on warehouse system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024. Vol. 130. P. 297–310. DOI: [10.1007/s00170-023-12684-4](https://doi.org/10.1007/s00170-023-12684-4).

41. Feizabadi J. Machine learning demand forecasting and supply chain performance. *International Journal of Logistics Research and Applications*. 2022. Vol. 25, No. 2. P. 119–142. DOI: [10.1080/13675567.2020.1803246](https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1803246).

42. Fourkiotis K. P., Tsadiras A. Applying Machine Learning and Statistical Forecasting Methods for Enhancing Pharmaceutical Sales Predictions. *Forecasting*. 2024. Vol. 6, No. 1. P. 170–186. DOI: [10.3390/forecast6010010](https://doi.org/10.3390/forecast6010010).

43. Gaalman G., Disney S. M., Wang X. When bullwhip increases in the lead time: An eigenvalue analysis of ARMA demand. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 250. Art. No. 108623. DOI: [10.1016/j.ijpe.2022.108623](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108623).

44. Grobler-Dębska K., Mularczyk R., Gawęda B., Kucharska E. Time Series Methods and Business Intelligent Tools for Budget Planning: Case Study. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 1. Art. No. 287. DOI: [10.3390/app15010287](https://doi.org/10.3390/app15010287).

45. Grover A. K., Ashraf M. H. Autonomous and IoT-driven intralogistics for Industry 4.0 warehouses: A thematic analysis of the literature. *Transportation Journal*. 2024. Vol. 63, No. 1. P. 42–61. DOI: [10.1002/tjo3.12002](https://doi.org/10.1002/tjo3.12002).

46. Gupta P., Sachan A. Resource planning and inventory management in supply chain. *Supply Chain Management*. Boca Raton : CRC Press, 2024. P. 58–79. DOI: [10.1201/9781003509561-4](https://doi.org/10.1201/9781003509561-4).

47. Hänninen P. Improving inventory management efficiency: the impact of optimisation : Master's thesis / School of Engineering Science, LUT School of Engineering Sciences. Lappeenranta, 2024. 83 p. URL: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/167053> (дата звернення: 26.09.2026).

48. Hearson J. What Is Inventory Management? Oracle. 2024. URL: <https://www.oracle.com/scm/inventory-management/what-is-inventory-management/> (дата звернення: 09.06.2026).

49. Idrees M. A., Abbas M., Ali S. Q., Khan A. The Factors Influencing Effective Inventory Management: A Supply Chain Perspective. *Journal of Policy Research*. 2023. Vol. 9, No. 1. P. 380–394. URL: <https://jprpk.com/index.php/jpr/article/view/205> (дата звернення: 17.09.2026).

50. İfraz M., Aktepe A., Ersöz S., Çetinyokuş T. Demand forecasting of spare parts with regression and machine learning methods: Application in a bus fleet. *Journal of Engineering Research*. 2023. Vol. 11, No. 2. Art. No. 100057. DOI: [10.1016/j.jer.2023.100057](https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100057).

51. Joseph R. V., Mohanty A., Tyagi S., Mishra S., Satapathy S. K., Mohanty S. N. A hybrid deep learning framework with CNN and Bi-directional LSTM for store item demand forecasting. *Computers & Electrical Engineering*. 2022. Vol. 103. Art. No. 108358. DOI: [10.1016/j.compeleceng.2022.108358](https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108358).

52. Kapucugil İkiz A., Utma G. H. Combined Forecasts of Intermittent Demand for Stock-keeping Units (SKUs). *World Journal of Applied Economics*. 2023. Vol. 9, No. 1. P. 1–31. DOI: [10.22440/wjae.9.1.1](https://doi.org/10.22440/wjae.9.1.1).

53. Kariri E., Louati H., Louati A., Masmoudi F. Exploring the Advancements and Future Research Directions of Artificial Neural Networks: A Text Mining Approach. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 5. Art. No. 3186. DOI: [10.3390/app13053186](https://doi.org/10.3390/app13053186).

54. Khan Y., Su'ud M. B. M., Alam M. M., Ahmad S. F., Ahmad A. Y. A. B., Khan N. Application of Internet of Things (IoT) in sustainable supply chain management. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 1. Art. No. 694. DOI: [10.3390/su15010694](https://doi.org/10.3390/su15010694).

55. Kontopoulou V. I., Panagopoulos A. D., Kakkos I., Matsopoulos G. K. A review of ARIMA vs. machine learning approaches for time series forecasting in data driven networks. *Future Internet*. 2023. Vol. 15, No. 8. Art. No. 255. DOI: [10.3390/fi15080255](https://doi.org/10.3390/fi15080255).

56. Kretzschmann D., Berti A., van der Aalst W. M. P. A Data-Driven Framework for Retail Inventory Optimization: Integrating Object-Centric Process Mining and Mathematical Models. *Business Information Systems: 25th*

*International Conference, BIS 2025, Poznań, Poland, June 25–27, 2025, Proceedings*. Lecture Notes in Business Information Processing. Vol. 554. Cham : Springer, 2025. P. 179–193. DOI: [10.1007/978-3-031-94193-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-94193-1_14).

57. Kretzschmann D., Park G., Berti A., van der Aalst W. M. P. Overstock Problems in a Purchase-to-Pay Process: An Object-Centric Process Mining Case Study. *Advanced Information Systems Engineering Workshops: CAiSE 2024 International Workshops, Limassol, Cyprus, June 3–7, 2024, Proceedings*. Lecture Notes in Business Information Processing. Vol. 521. Cham : Springer, 2024. P. 347–359. DOI: [10.1007/978-3-031-61003-5\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61003-5_29).

58. Krishna K. S. R., Pasula P., Kavyakeerthi T., Karthik I. Identifying Demand Forecasting using Machine Learning for Business Intelligence. *2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, India, 29–31 March 2022*. IEEE, 2022. P. 938–942. DOI: [10.1109/ICCMC53470.2022.9753965](https://doi.org/10.1109/ICCMC53470.2022.9753965).

59. Kubasakova I., Kubanova J. Utilization of the intersection of ABC and XYZ analysis in stock planning in the warehouse by Covid period. *Acta logistica*. 2024. Vol. 11, No. 3. P. 461–472. DOI: [10.22306/al.v11i3.532](https://doi.org/10.22306/al.v11i3.532).

60. Kubwimana M., Njenga G. Effect of Inventory Management on Organizational Productivity of Manufacturing Companies in Rwanda: A Case of Urwibutso Enterprise. *Journal of Procurement & Supply Chain*. 2023. Vol. 7, No. 3. P. 40–51. DOI: [10.53819/81018102t2232](https://doi.org/10.53819/81018102t2232).

61. Kumar L., Khedlekar S., Khedlekar U. K. A comparative assessment of Holt Winter exponential smoothing and ARIMA for inventory optimization in supply chains. *Supply Chain Analytics*. 2024. Vol. 8. Art. No. 100084. DOI: [10.1016/j.sca.2024.100084](https://doi.org/10.1016/j.sca.2024.100084).

62. Kumar L., Sharma K., Khedlekar U. K. Dynamic pricing strategies for efficient inventory management with auto-correlative stochastic demand forecasting using exponential smoothing method. *Results in Control and Optimization*. 2024. Vol. 15. Art. No. 100432. DOI: [10.1016/j.rico.2024.100432](https://doi.org/10.1016/j.rico.2024.100432).

63. Li M., Li Z., Yin K., Nie X., Zhang W., Sui K., Pei D. Causal Inference-Based Root Cause Analysis for Online Service Systems with Intervention Recognition. *Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. Washington, DC, USA, August 14–18, 2022. New York : ACM, 2022. P. 3230–3240. DOI: [10.1145/3534678.3539041](https://doi.org/10.1145/3534678.3539041).
64. Li M., Sun H., Huang Y., Chen H. Shapley value: from cooperative game to explainable artificial intelligence. *Autonomous Intelligent Systems*. 2024. Vol. 4. Art. No. 2. DOI: [10.1007/s43684-023-00060-8](https://doi.org/10.1007/s43684-023-00060-8).
65. Li S., Lu L. X., Lu S. F., Huang S. Estimating the Stockout-Based Demand Spillover Effect in a Fashion Retail Setting. *Manufacturing & Service Operations Management*. 2023. Vol. 25, No. 2. P. 468–488. DOI: [10.1287/msom.2022.1135](https://doi.org/10.1287/msom.2022.1135).
66. Ma S. Retail store-SKU level replenishment planning with attribute-space graph recurrent neural networks. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 249. Art. No. 123727. DOI: [10.1016/j.eswa.2024.123727](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123727).
67. Mahajan P. S., Raut R. D., Kumar P. R., Singh V. Inventory management and TQM practices for better firm performance: a systematic and bibliometric review. *The TQM Journal*. 2024. Vol. 36, No. 2. P. 405–430. DOI: [10.1108/TQM-04-2022-0113](https://doi.org/10.1108/TQM-04-2022-0113).
68. Mashayekhy Y., Babaei A., Yuan X.-M., Xue A. Impact of Internet of Things (IoT) on inventory management: A literature survey. *Logistics*. 2022. Vol. 6, No. 2. Art. No. 33. DOI: [10.3390/logistics6020033](https://doi.org/10.3390/logistics6020033).
69. Mawonde D., Nyoni J., Mabwe P., Kamvumbi L. An assessment of the effect of inventory control systems on organisational performance in the mining sector in Zimbabwe. *Cogent Business & Management*. 2024. Vol. 11, No. 1. Art. No. 2298535. DOI: [10.1080/23311975.2023.2298535](https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2298535).
70. Mejía S., Aguilar J. A demand forecasting system of product categories defined by their time series using a hybrid approach of ensemble learning with feature engineering. *Computing*. 2024. Vol. 106. P. 3945–3965. DOI: [10.1007/s00607-024-01320-y](https://doi.org/10.1007/s00607-024-01320-y).

71. Microsoft Dynamics 365 Supply Chain Management documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dynamics365/supply-chain/> (дата звернення: 09.06.2026).

72. Montesinos López O. A., Montesinos López A., Crossa J. Fundamentals of Artificial Neural Networks and Deep Learning. *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction*. Cham : Springer, 2022. P. 379–425. DOI: [10.1007/978-3-030-89010-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89010-0_10).

73. Moraes T. de Castro, Yuan X.-M., Chew E. P. Hybrid convolutional long short-term memory models for sales forecasting in retail. *Journal of Forecasting*. 2024. Vol. 43, No. 5. P. 1278–1293. DOI: [10.1002/for.3073](https://doi.org/10.1002/for.3073).

74. Mung L. K., Khun J. L. T., Kiumarsi S. Effective inventory management among Malaysian SMEs in the manufacturing sector towards organisational performance. *International Journal of Internet and Enterprise Management*. 2023. Vol. 9, No. 4. P. 281–302. DOI: [10.1504/IJIEEM.2023.134422](https://doi.org/10.1504/IJIEEM.2023.134422).

75. Munyaka J. B., Yadavalli V. S. S. Inventory management concepts and implementations: a systematic review. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2022. Vol. 33, No. 2. P. 15–36. DOI: [10.7166/33-2-2527](https://doi.org/10.7166/33-2-2527).

76. Nasser M., Falatouri T., Brandtner P., Darbanian F. Applying Machine Learning in Retail Demand Prediction—A Comparison of Tree-Based Ensembles and Long Short-Term Memory-Based Deep Learning. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 19. Art. No. 11112. DOI: [10.3390/app131911112](https://doi.org/10.3390/app131911112).

77. Nwalu E. A. C., Orga C. C., Ugwu F. I. Economic Order Quantity Dimensions and Efficiency of Manufacturing Industry in Enugu Metropolis. *International Journal of Economics and Public Policy*. 2023. Vol. 7, No. 2. P. 26–37. URL: <https://airjournal.org/article/economic-order-quantity-dimensions-and-efficiency-of-manufacturing-industry-in-enugu-metropolis/> (дата звернення: 17.09.2026).

78. Olsen L. H. B., Glad I. K., Jullum M., Aas K. A comparative study of methods for estimating model-agnostic Shapley value explanations. *Data Mining*

and Knowledge Discovery. 2024. Vol. 38. P. 1782–1829. DOI: [10.1007/s10618-024-01016-z](https://doi.org/10.1007/s10618-024-01016-z).

79. Panigrahi R. R., Shrivastava A. K., Kapur P. K. Impact of inventory management practices on the operational performances of SMEs: review and future research directions. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2024. Vol. 15, No. 5. P. 1934–1955. DOI: [10.1007/s13198-023-02216-4](https://doi.org/10.1007/s13198-023-02216-4).

80. Paredes Rodríguez A. M., Bravo Bastidas J. J., Osorio Gómez J. C., Peña Orozco D. L., González Feliu J. F. Fuzzy AHP TOPSIS Methodology for Multicriteria ABC Inventory Classification. *Journal of Engineering*. 2023. Vol. 2023, No. 1. Art. No. 7661628. DOI: [10.1155/2023/7661628](https://doi.org/10.1155/2023/7661628).

81. Park G., van der Aalst W. M. P. Action-oriented process mining: bridging the gap between insights and actions. *Progress in Artificial Intelligence*. 2022. P. 1–22. DOI: [10.1007/s13748-022-00281-7](https://doi.org/10.1007/s13748-022-00281-7).

82. Petropoulos F., Apiletti D., Assimakopoulos V., Babai M. Z., Barrow D. K. Forecasting: theory and practice. *International Journal of Forecasting*. 2022. Vol. 38, No. 3. P. 705–871. DOI: [10.1016/j.ijforecast.2021.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.11.001).

83. Praveena S., Prasanna D. S. A Hybrid Demand Forecasting for Intermittent Demand Patterns using Machine Learning Techniques. *2022 1st International Conference on Computational Science and Technology (ICCST)*. Chennai, India, 09–10 November 2022. IEEE, 2022. P. 557–561. DOI: [10.1109/ICCST55948.2022.10040407](https://doi.org/10.1109/ICCST55948.2022.10040407).

84. Qi M., Shi Y., Qi Y., Ma C., Yuan R., Wu D., Shen Z.-J. A Practical End-to-End Inventory Management Model with Deep Learning. *Management Science*. 2023. Vol. 69, No. 2. P. 759–773. DOI: [10.1287/mnsc.2022.4564](https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.4564).

85. Rahmad Y. H. Forecasting Raw Material Inventory Using Exponential Smoothing and Moving Average Methods. *International Journal of Engineering, Economic, Social Politic and Government*. 2024. Vol. 2, No. 2. P. 18–25. DOI: [10.26638/ijespg.89](https://doi.org/10.26638/ijespg.89).

86. Rashid A., Rasheed R. Mediation of Inventory Management in the Relationship Between Knowledge and Firm Performance. *SAGE Open*. 2023. Vol. 13, No. 2. P. 1–11. DOI: [10.1177/21582440231164593](https://doi.org/10.1177/21582440231164593).
87. Rashid A., Rasheed R., Noor Aina Amirah. Benchmarking inventory management practices and organizational performance. *Benchmarking: An International Journal*. 2026. P. 1–30. DOI: [10.1108/BIJ-12-2024-1096](https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2024-1096).
88. Robus S., Kömüves Z., Walter V. An Overview of Performance Measurement for Demand Forecasting Based on Artificial Neural Networks. *Regional and Business Studies*. 2022. Vol. 14, No. 2. P. 5–20. DOI: [10.33568/rbs.4434](https://doi.org/10.33568/rbs.4434).
89. Romanuke V. Arima Model Optimal Selection for Time Series Forecasting. *Maritime Technical Journal*. 2022. Vol. 224, No. 1. P. 28–40. DOI: [10.2478/sjpna-2022-0003](https://doi.org/10.2478/sjpna-2022-0003).
90. SAP Help Portal: Documentation. URL: <https://help.sap.com/docs/> (дата звернення: 09.06.2026).
91. SAP Learning. URL: <https://learning.sap.com/> (дата звернення: 09.06.2026).
92. Schab S. The comparative performance analysis of selected relational database systems. *Journal of Computer Sciences Institute*. 2023. Vol. 28. P. 296–303. DOI: [10.35784/jcsi.3767](https://doi.org/10.35784/jcsi.3767).
93. Seyedan M., Mafakheri F., Wang C. Order-up-to-level inventory optimization model using time-series demand forecasting with ensemble deep learning. *Supply Chain Analytics*. 2023. Vol. 3. Art. No. 100024. DOI: [10.1016/j.sca.2023.100024](https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100024).
94. Shili M., Jayasingh S., Hammedi S. Advanced Customer Behavior Tracking and Heatmap Analysis with YOLOv5 and DeepSORT in Retail Environment. *Electronics*. 2024. Vol. 13, No. 23. Art. No. 4730. DOI: [10.3390/electronics13234730](https://doi.org/10.3390/electronics13234730).
95. Shoush M., Dumas M. When to Intervene? Prescriptive Process Monitoring Under Uncertainty and Resource Constraints. *Business Process Management*

*Forum: BPM 2022 Forum, Münster, Germany, September 11–16, 2022, Proceedings*. Lecture Notes in Business Information Processing. Vol. 458. Cham : Springer, 2022. P. 207–223. DOI: [10.1007/978-3-031-16171-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-16171-1_13).

96. Singh N., Adhikari D. AI in Inventory Management: Applications, Challenges, and Opportunities. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*. 2023. Vol. 11, No. 11. P. 2049–2053. DOI: [10.22214/ijraset.2023.57010](https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57010).

97. Singhal K., Singh V., Kaul A. Smart Retail: Utilizing Machine Learning for Demand Prediction, Price Strategy, and Inventory Management. *2024 IEEE 16th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, Indore, India, 22–23 December 2024. IEEE, 2024. P. 485–489. DOI: [10.1109/CICN63059.2024.10847534](https://doi.org/10.1109/CICN63059.2024.10847534).

98. Song P., Zhao C., Huang B. MPGE and RootRank: A sufficient root cause characterization and quantification framework for industrial process faults. *Neural Networks*. 2023. Vol. 161. P. 397–417. DOI: [10.1016/j.neunet.2023.01.030](https://doi.org/10.1016/j.neunet.2023.01.030).

99. Susilo G. B. Forecasting Demand for Electric Batik Stoves Using Moving Average Method in CV. ABC. *Journal of Industrial Engineering and Halal Industries*. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 148–155. DOI: [10.14421/jiehis.3999](https://doi.org/10.14421/jiehis.3999).

100. Swaminathan K., Venkitasubramony R. Demand forecasting for fashion products: A systematic review. *International Journal of Forecasting*. 2024. Vol. 40, No. 1. P. 247–267. DOI: [10.1016/j.ijforecast.2023.02.005](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2023.02.005).

101. Tadayonrad Y., Ndiaye A. B. A new key performance indicator model for demand forecasting in inventory management considering supply chain reliability and seasonality. *Supply Chain Analytics*. 2023. Vol. 3. Art. No. 100026. DOI: [10.1016/j.sca.2023.100026](https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100026).

102. Tan W. C., Sidhu M. S. Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives*. 2022. Vol. 9. Art. No. 100229. DOI: [10.1016/j.orp.2022.100229](https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229).

103. Tavassoli M., Farzipoor Saen R. A stochastic data envelopment analysis approach for multi-criteria ABC inventory classification. *Journal of Industrial and*

*Production Engineering*. 2022. Vol. 39, No. 6. P. 415–429. DOI: [10.1080/21681015.2022.2037761](https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2037761).

104. Ternero R., Sepulveda-Rojas J. P., Alfaro M., Fuertes G., Vargas M. Inventory Management with Stochastic Demand: Case Study of a Medical Equipment Company. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2023. Vol. 34, No. 1. P. 131–142. DOI: [10.7166/34-1-2668](https://doi.org/10.7166/34-1-2668).

105. Theodorou E., Spiliotis E., Assimakopoulos V. Forecast accuracy and inventory performance: Insights on their relationship from the M5 competition data. *European Journal of Operational Research*. 2025. Vol. 322, No. 2. P. 414–426. DOI: [10.1016/j.ejor.2024.12.033](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.12.033).

106. Tubis A. A., Rohman J. Intelligent Warehouse in Industry 4.0–Systematic Literature Review. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 8. Art. No. 4105. DOI: [10.3390/s23084105](https://doi.org/10.3390/s23084105).

107. Udenio M., Vatamidou E., Fransoo J. C. Exponential smoothing forecasts: taming the bullwhip effect when demand is seasonal. *International Journal of Production Research*. 2023. Vol. 61, No. 6. P. 1796–1813. DOI: [10.1080/00207543.2022.2048114](https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2048114).

108. Ulrich M., Jahnke H., Langrock R., Pesch R., Senge R. Classification-based model selection in retail demand forecasting. *International Journal of Forecasting*. 2022. Vol. 38, No. 1. P. 209–223. DOI: [10.1016/j.ijforecast.2021.05.010](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.05.010).

109. Van Houdt G., Martin N., Depaire B. AITIA-PM: Discovering the true causes of events in a process mining context. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 126, Part D. Art. No. 107145. DOI: [10.1016/j.engappai.2023.107145](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107145).

110. Walter A., Ahsan K., Rahman S. Application of artificial intelligence in demand planning for supply chains: a systematic literature review. *The International Journal of Logistics Management*. 2025. Vol. 36, No. 3. P. 672–719. DOI: [10.1108/IJLM-02-2024-0120](https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2024-0120).

111. Wang J.-G., Chen R., Ye X.-Y., Xie Z.-T., Yao Y., Liu L.-L. A hierarchical Granger causality analysis framework based on information of redundancy for root cause diagnosis of process disturbances. *Computers & Chemical Engineering*. 2024. Vol. 182. Art. No. 108589. DOI: [10.1016/j.compchemeng.2024.108589](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2024.108589).

112. Wang L., Pertheban T. R. A. L., Li T., Zhao L. Application of business intelligence based on big data in E-commerce data evaluation. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 21. Art. No. e38768. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e38768](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38768).

113. Wang Y. Review on greedy algorithm. *Theoretical and Natural Science*. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 233–239. DOI: [10.54254/2753-8818/14/20241041](https://doi.org/10.54254/2753-8818/14/20241041).

114. Xu Z., Dang Y. Data-driven causal knowledge graph construction for root cause analysis in quality problem solving. *International Journal of Production Research*. 2023. Vol. 61, No. 10. P. 3227–3245. DOI: [10.1080/00207543.2022.2078748](https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2078748).

115. Yani L. P. E., Aamer A. M. Supply chain collaborative planning, forecasting, and replenishment. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2646, No. 1. Art. No. 050044. DOI: [10.1063/5.0136133](https://doi.org/10.1063/5.0136133).

116. Yanovsky D. V., Graf M. S. Methods for analyzing the effectiveness of information systems for inventory management. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2024. No. 3. P. 224–232. DOI: [10.15588/1607-3274-2024-3-19](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-19).

117. Yanovsky D., Graf M., Kvasnikov V. Comparison of expert and algorithmic analysis of efficiency evaluation of inventory management systems. *Joint Proceedings of the Workshops at the Fourth International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2025)*. CEUR Workshop Proceedings. Vol. 4024. Kyiv, Ukraine, June 20–22, 2025. P. 388–397. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-4024/paper25.pdf> (дата звернення: 26.09.2026).

118. Yuan X., Zhang X., Wang M., Zhang D. Quantifying the Bullwhip Effect in a Reverse Supply Chain: The Impact of Different Forecasting Methods. *Mathematical Problems in Engineering*. 2022. Vol. 2022. Art. No. 2701530. 16 p. DOI: [10.1155/2022/2701530](https://doi.org/10.1155/2022/2701530).

119. Yue W., Chai J., Wan X., Xie Y., Chen X., Gui W. Root cause analysis for process industry using causal knowledge map under large group environment. *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Vol. 57. Art. No. 102057. DOI: [10.1016/j.aei.2023.102057](https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102057).

120. Zhou S., Cai H., Chen H., Ye L. A Comparative Study of Causality Detection Methods in Root Cause Diagnosis: From Industrial Processes to Brain Networks. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 15. Art. No. 4908. DOI: [10.3390/s24154908](https://doi.org/10.3390/s24154908).

121. Zhou Y., Shen X., Yu Y. Inventory control strategy: based on demand forecast error. *Modern Supply Chain Research and Applications*. 2023. Vol. 5, No. 2. P. 74–101. DOI: [10.1108/MS CRA-02-2023-0009](https://doi.org/10.1108/MS CRA-02-2023-0009).

## Додатки

## Лістинги програмного коду модуля збору та нормалізації даних (C#)

### Лістинг А.1 – BaseFileStep.cs

Базовий алгоритм виконання кроку імпорту файлів, включаючи підготовку, перевірку та запуск SQL-операцій.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Globalization;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Xml;
using System.Xml.Schema;
using System.Xml.Serialization;
using System.IO;
namespace GoodStream.DataExchange.Core
{
    public enum FilesSortBy { FileName,
    CreationDate };
    public enum FilesSortOrder {
    Ascending, Descending };
    public enum DataTypes
    {
        Boolean, DateTime, TimeSpan,
        String, Guid, Decimal, Double, Single,
        SByte, Int16, Int32, Int64,
        Byte, UInt16, UInt32, UInt64
    };

    public abstract class BaseFileStep
    : IXmlSerializable
    {
        protected bool genShipments,
        dataWasInserted = false;
        public BaseFileStep()
        {
            Name = "";
            IsActive = true;
            Crit = false;
            genShipments = true;
            TableName = "";
            Timeout = 60;
            SQLPre = "";
            SQLCheckData = "";
            SQLExchange = "";

            CanPreventShipmentsGeneration = false;
            SQLPost = "";
            SQLPostExecuteAlways =
            false;
            ImportPath = null;
            FilesMask = "";
            ProcessFilesIndividually =
            false;
            FilesExtension = null;
            UseCommonSortMode = true;

            SortBy =
            FilesSortBy.FileName;
            SortOrder =
            FilesSortOrder.Ascending;
            FilesEncoding = null;
            FieldsSeparator = null;
            DecimalSeparator = null;
            ThouthandsSeparator = null;
        }

        #region Events
        public event
        WebServiceMessageChangeHandler
        WebServiceMessageChanged;
        #endregion
        #region Properties

        public string Name { get; set;
        }

        public bool IsActive { get;
        set; }

        public bool Crit { get; set; }
        public bool IsShipmentsStep {
        get { return false; } }
        public bool IsDataPresent { get
        { return dataWasInserted; } }
        public string TableName { get;
        set; }

        public int Timeout { get; set;
        }

        public string SQLPre { get;
        set; }

        public string SQLCheckData {
        get; set; }
        public string SQLExchange {
        get; set; }
        public bool
        CanPreventShipmentsGeneration { get;
        set; }

        public string SQLPost { get;
        set; }

        public bool
        SQLPostExecuteAlways { get; set; }
        public string ImportPath { get;
        set; }

        public string FilesMask { get;
        set; }

        public bool
        ProcessFilesIndividually { get; set; }
        public string FilesExtension {
        get; set; }
```

```

        public bool UseCommonSortMode {
get; set; }
        public FilesSortBy SortBy {
get; set; }
        public FilesSortOrder SortOrder
{ get; set; }
        public Encoding FilesEncoding {
get; set; }
        public string FieldsSeparator {
get; set; }
        public string DecimalSeparator
{ get; set; }
        public string
ThouthandsSeparator { get; set; }
        public int AlarmMinutes { get;
set; }
        public bool CanPreventExchange
{ get; set; }
        public bool
IgnoreCheckDataErrors { get; set; }
        public bool
WaitWhileOrdersGenerating { get; set; }
        #endregion
        #region Members of
IXmlSerializable

        public XmlSchema GetSchema()
        {
            return null;
        }

        public void ReadXml(XmlReader
reader)
        {
            if
(reader.Name.Equals("BaseFileStep") &&
!reader.IsEmptyElement)
            {
                reader.Read();

                while (reader.NodeType
!= XmlNodeType.EndElement)
                    switch
(reader.Name)
                    {
                        case "Name":
                            Name =
reader.ReadElementContentAsString();
                            break;
                        case
"IsActive":
                            IsActive =
bool.Parse(reader.ReadElementContentAsS
tring());
                            break;
                        case "Crit":
                            Crit =
bool.Parse(reader.ReadElementContentAsS
tring());
                            break;
                    }
            }
        }
    }

```

```

        case
"TableName":
            TableName =
reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case "Timeout":
            Timeout =
reader.ReadElementContentAsInt();
            break;
        case "SQLPre":
            SQLPre =
reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case
"SQLCheckData":
            SQLCheckData =
reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case
"SQLExchange":
            SQLExchange
= reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case
"CanPreventShipmentsGeneration":
            CanPreventShipmentsGeneration =
bool.Parse(reader.ReadElementContentAsS
tring());
            break;
        case "SQLPost":
            SQLPost =
reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case
"SQLPostExecuteAlways":
            SQLPostExecuteAlways =
bool.Parse(reader.ReadElementContentAsS
tring());
            break;
        case
"ImportPath":
            ImportPath
= reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case
"FilesMask":
            FilesMask =
reader.ReadElementContentAsString();
            break;
        case
"ProcessFilesIndividually":
            ProcessFilesIndividually =
bool.Parse(reader.ReadElementContentAsS
tring());
            break;
        case
"FilesExtension":

```

## Лістинг A.2 – Settings.cs

Глобальні налаштування системи обміну даними: параметри БД, шляхи імпорту, кодування файлів та інші конфігураційні параметри.

```
namespace GoodStream.DataExchange.ServiceInformer.Properties {
    // This class allows you to handle specific events on the settings class:
    // The SettingChanging event is raised before a setting's value is changed.
    // The PropertyChanged event is raised after a setting's value is changed.
    // The SettingsLoaded event is raised after the setting values are loaded.
    // The SettingsSaving event is raised before the setting values are saved.
    internal sealed partial class Settings {

        public Settings() {
            // // To add event handlers for saving and changing settings, uncomment
            the lines below:
            //
            // this.SettingChanging += this.SettingChangingEventHandler;
            //
            // this.SettingsSaving += this.SettingsSavingEventHandler;
            //
        }

        private void SettingChangingEventHandler(object sender,
            System.Configuration.SettingChangingEventArgs e) {
            // Add code to handle the SettingChangingEvent event here.
        }

        private void SettingsSavingEventHandler(object sender,
            System.ComponentModel.CancelEventArgs e) {
            // Add code to handle the SettingsSaving event here.
        }
    }
}
```

## Лістинг A.3 – Helper.cs

Допоміжні методи доступу до бази даних та виконання SQL-запитів.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Net;
using System.Reflection;
using System.Security;
using System.ServiceModel;
using System.Text;
using System.Data.SqlClient;
using System.IO;
using System.Threading.Tasks;
using System.Xml.Serialization;
using System.Windows.Forms;
using System.Threading;
using System.Data;
using System.Security.Cryptography;
using System.Net.Mail;
using System.Xml;
using System.Linq;
using GoodStream.DataExchange.Core.ExchangeService;

using
GoodStream.DataExchange.ServiceInformer
;
using
GoodStream.DataExchange.ServiceInformer
.GoodStreamInfo;
using GoodStream.WcfHelpers;
using Timer = System.Timers.Timer;
using System.Threading;
using System.Xml.Schema;
using Newtonsoft.Json;
using System.Net.Http;

namespace GoodStream.DataExchange.Core
{
    public static class Helper
    {
        private const int
        MaxAllowedMsgLength = 10000;
        private static readonly object
        EmailLocker = new object();
    }
}
```

```

        private static bool
        useAltMailGlobal = false;

        static Helper()
        {
            SettingsFileName =
            Path.Combine(Path.GetDirectoryName(Asse
            mbly.GetExecutingAssembly().Location),
            "Settings.config");
            StepsFileName =
            Path.Combine(Path.GetDirectoryName(Asse
            mbly.GetExecutingAssembly().Location),
            "Steps.config");
        }

        public enum LogType {
        ManualExchange, ServiceExchange,
        Exception };

        #region Localized messages

        //public static
        System.Resources.ResourceManager
        Resources { get { return resources; } }

        public static string
        StartProcessingLog
        {
            get { return
            Messages.StartProcessingLog; }
        }

        public static string
        EndProcessingSuccessLog
        {
            get { return
            Messages.EndProcessingSuccessLog; }
        }

        public static string
        EndProcessingErrorLog
        {
            get { return
            Messages.EndProcessingErrorLog; }
        }

        public static string
        ServiceDescription
        {
            get { return
            Messages.ServiceDescription; }
        }

        public static string
        ServiceExchangeAlreadyStartedError
        {
            get { return
            Messages.ServiceExchangeAlreadyStartedE
            rror; }
        }

```

```

        public static string
        ManualExchangeAlreadyStartedError
        {
            get { return
            Messages.ManualExchangeAlreadyStartedEr
            ror; }
        }

        public static string
        WaitOrdersMessage
        {
            get { return
            Messages.WaitOrdersMessage; }
        }

        #endregion

        #region Private properties

        //private static readonly
        System.Resources.ResourceManager
        resources = new
        System.Resources.ResourceManager("GoodS
        tream.DataExchange.Core.Messages",
        System.Reflection.Assembly.GetExecuting
        Assembly());
        private static readonly string
        ManualLogFileName =
        Path.Combine(Path.GetDirectoryName(Asse
        mbly.GetExecutingAssembly().Location),
        "ExchangeManual.log");
        private static readonly string
        ServiceLogFileName =
        Path.Combine(Path.GetDirectoryName(Asse
        mbly.GetExecutingAssembly().Location),
        "ExchangeService.log");
        private static readonly string
        ExceptionLogFileName =
        Path.Combine(Path.GetDirectoryName(Asse
        mbly.GetExecutingAssembly().Location),
        "Exceptions.log");

        private const string
        ErrorIdTable = "ErrorCodes";
        private const string
        ErrorsTable = "Errors";

        private static Informer
        _serviceInformer;
        private static string
        _webSvcMessage;
        private static readonly object
        LogsLocker = new object();
        private static readonly object
        WebSvcMessageLocker = new object();

        private delegate void
        MessageDelegate(string message);
        private delegate DialogResult
        QuestionDelegate(string question,
        MessageBoxButtons buttons);

```

```

#endregion

#region Settings

    public static string
SettingsFileName { get; private set; }

    /// <summary>
    /// Loading saved settings
    without exceptions handling
    /// </summary>
    /// <returns>Loaded
    settings</returns>
    public static Settings
LoadSettings()
    {
        if
(!File.Exists(SettingsFileName))
            return new Settings();

        var serializer = new
XmlSerializer(typeof(Settings));
        using (var stream =
XmlReader.Create(SettingsFileName, new
XmlReaderSettings() { IgnoreComments =
true, IgnoreWhitespace = true }))
            return
(Settings)serializer.Deserialize(stream
);
    }

    /// <summary>
    /// Saving settings without
    exceptions handling
    /// </summary>
    /// <param
    name="settings">Settings to be
    saved</param>
    public static void
SaveSettings(Settings settings)
    {
        try
        {
            var archiveFile =
Path.GetDirectoryName(Assembly.GetExecu
tingAssembly().Location) +

string.Format(@"\Archive\Settings_{0:y
yyyMMddHHmmss}.config", DateTime.Now);
            if
(!Directory.Exists(Path.GetDirectoryNam
e(archiveFile)))

Directory.CreateDirectory(Path.GetDirec
toryName(archiveFile));

File.Copy(SettingsFileName,
archiveFile);
        }
        catch
        {
    }

```

```

        var tmpFile =
Path.GetTempFileName();
        try
        {
            var serializer = new
XmlSerializer(typeof(Settings));
            using (var stream =
XmlWriter.Create(tmpFile, new
XmlWriterSettings() { Encoding =
Encoding.UTF8, NewLineHandling =
NewLineHandling.Entitize, Indent = true
}))

serializer.Serialize(stream, settings);

            File.Copy(tmpFile,
SettingsFileName, true);
        }
        finally
        {
            try {
File.Delete(tmpFile); }
            catch { }
        }

        public static List<string>
GetChangedProperties<T>(object A,
object B)
        {
            if (A != null && B != null)
            {
                var type = typeof(T);
                var allProperties =
type.GetProperties(BindingFlags.Public
| BindingFlags.Instance);
                var allSimpleProperties
= allProperties.Where(pi =>
IsSimple(pi.PropertyType));
                var unequalProperties =
from pi in
allSimpleProperties
                let AValue =
type.GetProperty(pi.Name).GetValue(A,
null)
                let BValue =
type.GetProperty(pi.Name).GetValue(B,
null)
                where AValue !=
BValue && (AValue == null ||
!AValue.Equals(BValue))
                select (pi.Name
+ " old val: " + AValue.ToString() + ";
new val: " + BValue.ToString() + ";");
                return
unequalProperties.ToList();
            }
            else
            {
    }

```

```
        throw new
ArgumentNullException("You need to
provide 2 non-null objects");
```

## ЛІСТІНГ А.4 – FixedColumnsStep.cs

## Реалізація імпорту CSV-файлів із фіксованою кількістю колонок.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Globalization;
using System.Text;
using System.Text.RegularExpressions;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Xml;
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Xml.Schema;
using GoodStream.DataExchange.Core;
using GoodStream.DataExchange.Plugin;

namespace
GoodStream.DataExchange.FixedColumnsPlu
gin
{
    public class FixedColumnsStep :
BaseFileStep, IFileStep, ICloneable
    {
        protected List<FileColumn>
fileColumns;

        public FixedColumnsStep()
        {
            fileColumns = new
List<FileColumn>();
        }

        #region Properties

        public List<FileColumn>
FileColumns
        {
            get { return fileColumns; }
            set
            {
                fileColumns.Clear();

                if (value != null)
fileColumns.AddRange(value);
            }
        }

        #endregion

        #region Memebers of IStep

```

```

fileColumns.Add(column);

reader.ReadElementContentAsString();
    }

reader.ReadEndElement();
    break;
default:
reader.Read();
    break;
    }

    public new void
WriteXml(XmlWriter writer)
    {
        base.WriteXml(writer);

writer.WriteStartElement("FileColumns")
;
        foreach (var column in
fileColumns)
        {

writer.WriteStartElement("FileColumn");

column.WriteXml(writer);

writer.WriteEndElement();
        }
        writer.WriteEndElement();
    }

#endregion

#region Members of BaseFileStep

protected override bool
ReadFile(Settings settings, string
fileName, int sessionId,
Cancellation token? cancellationToken,
out int rowCount)
    {
        var result = true;
        int errorsCount = 0;
        const int maxErrors = 10;

        var data = getDataTable();

        var decimalFormatInfo = new
NumberFormatInfo
        {
            NumberDecimalSeparator
=
string.IsNullOrEmpty(DecimalSeparator)
? settings.DecimalSeparator :
DecimalSeparator,
            NumberGroupSeparator =
string.IsNullOrEmpty(ThouthandsSeparato

```

```

r) ? settings.ThouthandsSeparator :
ThouthandsSeparator
        };

        rowCount = 0;
        using (var reader = new
StreamReader(fileName, FilesEncoding ??
settings.FilesEncoding))
            while
(!reader.EndOfStream)
            {
                var line =
reader.ReadLine();

                if
(line.Trim().Length == 0)
                    continue;

                //if
((line.StartsWith("\"") &&
line.EndsWith("\"")) ||
line.Contains("\"\""))
                //    line =
Regex.Replace(line,
"(<=\\")\\|^\\"(?=.*\\$)|(<=\\".*)\\$",
""");

                if
(line.StartsWith("\"") ||
line.EndsWith("\"") ||
line.Contains("\"\""))
                line =
Regex.Replace(line,
"(<=\\")\\|^\\"|\\$", "");

                FileColumn
fileColumn = null;
                try
                {
                    var inputData =
line.Split(new[] {
string.IsNullOrEmpty(FieldsSeparator) ?
settings.FieldsSeparator :
FieldsSeparator },
StringSplitOptions.None);

                    var newRow =
data.NewRow();

                    foreach (var
column in fileColumns.Where(clmn =>
clmn.IsInUse &&
!string.IsNullOrEmpty(clmn.TableField)
&&
!string.IsNullOrEmpty(inputData[clmn.In
dex])))
                    {
                        fileColumn
= null;
                        object
value = DBNull.Value;

                        if
(string.IsNullOrEmpty(column.EmptyValue

```

```

) ||
!inputData[column.Index].ToLower().Equals(column.EmptyValue.ToLower()))
{

fileColumn = column;

switch
(column.Type)
{

case DataTypes.Boolean: value =
bool.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.Byte: value =
byte.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.DateTime: value =
DateTime.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.Decimal: value =
decimal.Parse(inputData[column.Index],
decimalFormatInfo); break;

case DataTypes.Double: value =
double.Parse(inputData[column.Index],
decimalFormatInfo); break;

case DataTypes.Guid: value = new
Guid(inputData[column.Index]); break;

case DataTypes.Int16: value =
short.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.Int32: value =
int.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.Int64: value =
long.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.SByte: value =
sbyte.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.Single: value =
float.Parse(inputData[column.Index],
decimalFormatInfo); break;

case DataTypes.String: value =
inputData[column.Index]; break;

case DataTypes.TimeSpan: value =
TimeSpan.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.UInt16: value =

```

```

ushort.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.UInt32: value =
uint.Parse(inputData[column.Index]);
break;

case DataTypes.UInt64: value =
ulong.Parse(inputData[column.Index]);
break;

}

newRow[column.Name] = value;
}

data.Rows.Add(newRow);
rowsCount++;
}
catch
(OperationCanceledException)
{
throw;
}
catch (Exception
ex)
{
if (errorsCount
< maxErrors)
{
var message
= string.Format("{0}: {1}, {2}: {3},
{4}: {5})", Messages.File,
Path.GetFileName(fileName),
Messages.Line, line, Messages.Column,
fileColumn != null ?
fileColumn.TableField : "null");

ProtocolHelper.WriteStepErrors(settings
, sessionId,
Helper.HandleException(settings, ex,
message, cancellationTokens),
cancellationTokens);
}

errorsCount++;
result = false;
}

if (data.Rows.Count
>= 100000)
{
result &=
BulkCopy(settings, data, fileName,
sessionId, cancellationTokens);

data.Rows.Clear();
}
}

```

```

    }

    if (data.Rows.Count != 0)
        result &=
BulkCopy(settings, data, fileName,
sessionStepId, cancellationToken);

        if (errorsCount != 0 &&
errorsCount > maxErrors)
        {
            var message =
string.Format("{0}: {1}, {2}: {3})",
Messages.File,
Path.GetFileName(fileName),
Messages.TotalErrors, errorsCount);
            var errors =
Helper.WriteLogToDatabase(Helper.GetDbC

```

```

onnectionString(settings), new
Exception(Messages.TotalErrorsInFile),
message,
            cancellationToken);

ProtocolHelper.WriteStepErrors(settings
, sessionStepId, errors,
cancellationToken);
        }

        return result;
    }

    public override async
Task<string>
TestInsertForErrors(Settings settings,
CancellationToken? cancellationToken)

```

## Лістинг А.5 – SuccessiveStringColumnsStep.cs

Імпорт файлів із динамічною кількістю колонок.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Globalization;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Xml;
using System.Data;
using System.IO;
using System.Data.SqlClient;
using System.Xml.Schema;
using GoodStream.DataExchange.Core;
using GoodStream.DataExchange.Plugin;

namespace
GoodStream.DataExchange.SuccessiveStrin
gColumnsPlugin
{
    public class
SuccessiveStringColumnsStep :
BaseFileStep, IFileStep
    {
        #region Properties

        public string
NumberOfColumnsCheckProcedure
        { get; set; }

        public int
NumberOfColumnsToShift
        { get; set; }

        #endregion

        #region Members of IStep

        public string PluginName

```

```

        { get { return
EntryPoint.GetPluginName(); } }

        public string Description
        { get { return
EntryPoint.GetStepDescription(); } }

        #endregion

        #region Members of
IXmlSerializable

        public new XmlSchema
GetSchema()
        {
            return null;
        }

        public new void
ReadXml(XmlReader reader)
        {
            base.ReadXml(reader);

            while (reader.NodeType !=
XmlNodeType.EndElement)
                switch (reader.Name)
                {
                    case
"NumberOfColumnsCheckProcedure":
NumberOfColumnsCheckProcedure =
reader.ReadElementContentAsString();
break;

                    case
"NumberOfColumnsToShift":
NumberOfColumnsToShift =
reader.ReadElementContentAsInt();
break;

```

```

                                default:
reader.Read(); break;
                                }
                                }

    public new void
WriteXml(XmlWriter writer)
    {
        base.WriteXml(writer);

writer.WriteElementString("NumberOfColumnsCheckProcedure",
NumberOfColumnsCheckProcedure);

writer.WriteElementString("NumberOfColumnsToShift",
NumberOfColumnsToShift.ToString());
    }

    #endregion

    #region Members of BaseFileStep

    protected override bool
ReadFile(Settings settings, string
fileName, int sessionStepId,
Cancellation token? cancellationToken,
out int rowCount)
    {
        var result = true;
        int errorsCount = 0;
        const int maxErrors = 10;

        var data = new DataTable();

        rowCount = 0;
        using (var reader = new
StreamReader(fileName, FilesEncoding ??
settings.FilesEncoding))
            while
(!reader.EndOfStream)
            {
                var line =
reader.ReadLine();

                if
(line.Trim().Length == 0)
                    continue;

                try
                {
                    var inputData =
line.Split(new [] {
string.IsNullOrEmpty(FieldsSeparator) ?
settings.FieldsSeparator :
FieldsSeparator },
StringSplitOptions.None);
                    if
(inputData.Length > data.Columns.Count)

```

```

addColumns(data, inputData.Length -
data.Columns.Count);

                                var newRow =
data.NewRow();
                                for (var i = 0;
i < inputData.Length; i++)
                                    newRow[i] =
inputData[i];

data.Rows.Add(newRow);
                                rowCount++;
                                }
                                catch
(OperationCanceledException)
                                {
                                    throw;
                                }
                                catch (Exception
ex)
                                {
                                    if (errorsCount
< maxErrors)
                                    {
                                        var message
= string.Format("({0}: {1}, {2}: {3})",
Messages.File,
Path.GetFileName(fileName),
Messages.Line, line);

ProtocolHelper.WriteStepErrors(settings
, sessionStepId,
Helper.HandleException(settings, ex,
message, cancellationToken),
cancellationToken);
                                    }
                                    errorsCount++;
                                    result = false;
                                }

                                if (data.Rows.Count
>= 100000)
                                {
                                    result &=
BulkCopy(settings, data, fileName,
sessionStepId, cancellationToken);

data.Rows.Clear();
                                }
                                }

                                if (data.Rows.Count != 0)
                                    result &=
BulkCopy(settings, data, fileName,
sessionStepId, cancellationToken);

                                if (errorsCount != 0 &&
errorsCount > maxErrors)
                                {

```

```

        var message =
            string.Format("({0}: {1}, {2}: {3})",
                Messages.File,
                Path.GetFileName(fileName),
                Messages.TotalErrors, errorsCount);
        var errors =
            Helper.WriteLogToDatabase(Helper.GetDbC
                onnectionString(settings), new
                Exception(Messages.TotalErrorsInFile),
                message,
                cancellationToken);

        ProtocolHelper.WriteStepErrors(settings
            , sessionStepId, errors,
            cancellationToken);
    }

    return result;
}

public override async
Task<string>
TestInsertForErrors(Settings settings,
    CancellationToken? cancellationToken)
{
    await Task.Delay(0);

    var path =
        settings.GetImportPath(this);
    var extension =
        string.IsNullOrEmpty(FilesExtension) ?
        settings.FilesExtension :
        FilesExtension;
    var fileList =
        Directory.GetFiles(path, FilesMask +
            extension);
    string file = null,
    testLine = null;
    var lineNumber = 0;
    var fileLines =
        fileList.SelectMany(f =>
            {
                file = f;
                lineNumber = 0;
                return
                    GetFileContentAsync(f, FilesEncoding ??
                        settings.FilesEncoding);
            });

```

```

        using (var bulkCopy = new
            SqlBulkCopy(Helper.GetDbConnectionStrin
                g(settings)))
            using (var data = new
                DataTable())
                try
                {
                    bulkCopy.DestinationTableName =
                        TableName;

                    foreach (var
                        lineTask in fileLines)
                    {
                        testLine =
                            await lineTask;
                        lineNumber++;
                        var line =
                            testLine.Trim();
                        if (line.Length
                            == 0)
                            continue;

                        var inputData =
                            line.Split(new [] {
                                string.IsNullOrEmpty(FieldsSeparator) ?
                                    settings.FieldsSeparator :
                                    FieldsSeparator },
                                StringSplitOptions.None);
                        if
                            (inputData.Length > data.Columns.Count)
                            addColumns(data, inputData.Length -
                                data.Columns.Count);

                        var newRow =
                            data.NewRow();
                        for (var i = 0;
                            i < inputData.Length; i++)
                            newRow[i] =
                                inputData[i];

                        data.Rows.Add(newRow);

                        bulkCopy.ColumnMappings.Clear();
                        for (var i = 0;
                            i < data.Columns.Count; i++)

```

## Лістинг А.6 – UnpackStep.cs

Підготовка файлів до імпорту та формування службових повідомлень.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Globalization;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Xml;

```

```

using System.Xml.Schema;
using GoodStream.DataExchange.Core;
using System.Data;
using System.IO;
using System.Linq;
using GoodStream.DataExchange.Plugin;

```

```

using Ionic.Zip;

namespace
GoodStream.DataExchange.UnpackPlugin
{
    public class UnpackStep :
    IUnpackStep
    {
        private bool _isDataPresent;
        private readonly List<Schedule>
        _schedules;

        public UnpackStep()
        {
            _isDataPresent = false;
            IsDataCame = false;
            _schedules = new
            List<Schedule>();
        }

        #region Properties

        public IList<Schedule>
        CheckFileSchedules
        {
            get { return _schedules; }
            set
            {
                _schedules.Clear();
                if (value != null)

                _schedules.AddRange(value);
            }
        }

        #endregion

        #region Events

        public event
        WebServiceMessageChangeHandler
        WebServiceMessageChanged;

        #endregion

        #region Members of IUnpackStep

        public bool IsDataCame
        { get; set; }

        public async
        Task<ProcessingStepResult>
        UnpackAndSendStartNotification(Settings
        settings, Steps steps, int
        sessionStepId, Cancellation.Token?
        cancellationToken)
        {
            _isDataPresent = false;
            IsDataCame = false;

            var errorOccurred = false;
            try

```

```

        {
            var notificationData =
            new DataTable();

            notificationData.Columns.Add(new
            DataColumn(Messages.File,
            typeof(string)));

            notificationData.Columns.Add(new
            DataColumn(Messages.Count,
            typeof(string)));

            notificationData.Columns.Add(new
            DataColumn(Messages.Size,
            typeof(string)));

            var unpacked = false;
            if (settings.Unpack)
            {
                var archives =
                Directory.GetFiles(settings.GetImportPa
                th(), "*.zip")
                    .Where(file =>
                    (Path.GetExtension(file) ??
                    string.Empty).ToLower().Equals(".zip"))
                    .ToList();

                if
                (MustCheckFilesExistence())
                {
                    var tmpDir =
                    Path.Combine(Path.GetTempPath(),
                    Path.GetRandomFileName());

                    Directory.CreateDirectory(tmpDir);
                    try
                    {
                        foreach
                        (var fileName in archives)
                            using
                            (var zip = new ZipFile(fileName))

                            zip.ExtractAll(tmpDir,
                            ExtractExistingFileAction.OverwriteSile
                            ntly);

                        if
                        (!IsRequiredFilesExists(settings, steps,
                        tmpDir))
                            return
                            new ProcessingStepResult(true, false);
                    }
                    finally
                    {
                        //
                        ReSharper disable once
                        EmptyGeneralCatchClause
                        try
                        {
                            Directory.Delete(tmpDir, true);
                        }

```

```

        catch
        {
        }
    }

    foreach (var
fileName in archives)
    {
        using (var zip
= new ZipFile(fileName))

zip.ExtractAll(settings.GetImportPath()
,
ExtractExistingFileAction.OverwriteSile
ntly);

        if
(WebServiceMessageChanged != null)

WebServiceMessageChanged(this,
settings, Path.GetFileName(fileName),
cancellationToken);

        unpacked =
true;

notificationData.Rows.Add(new object[]
{ Path.GetFileName(fileName), "",
GetFileSizeString(fileName) });

        if
(settings.ArchiveCopy &&
!string.IsNullOrEmpty(settings.ArchiveC
opyPath))
        {
            var name =
Path.GetFileNameWithoutExtension(fileNa
me);

            var
extension =
Path.GetExtension(fileName);

            var
archiveName =
string.Format("{0}\\{1}_{2:yyyyMMddHHmm
ss}{3}", settings.ArchiveCopyPath,
name, DateTime.Now, extension);

File.Move(fileName, archiveName);
        }

        if
(File.Exists(fileName))

File.Delete(fileName);
    }

    if (!settings.Unpack ||
unpacked)

```

```

    {
        if
(!settings.Unpack &&
MustCheckFilesExistence() &&
!IsRequiedFilesExists(settings, steps))
            return new
ProcessingStepResult(true, false);

        foreach (var step
in
steps.GetActiveSteps().OfType<IFileStep
>())
        {
            try
            {
                long
filesSize;

                int
filesCount;

                string
fileMask;

                step.GetFilesInfo(settings, out
fileMask, out filesCount, out
filesSize);

                if
(filesCount > 0 && filesSize > 0)
                {
                    _isDataPresent = true;

                    if
(step.CanPreventShipmentsGeneration)

IsDataCame = true;
                }

notificationData.Rows.Add(new object[]
{ fileMask,
filesCount.ToString(CultureInfo.Invaria
ntCulture),
GetFileSizeString(filesSize) });
            }
            catch
(OperationCanceledException)
            {
                throw;
            }
            catch
(Exception ex)
            {

ProtocolHelper.WriteStepErrors(settings
, sessionId,
Helper.HandleException(settings, ex,
cancellationToken), cancellationToken);

errorOccurred = true;
            }
        }
    }

```

```

        if (_isDataPresent &&
steps.GetActiveSteps().OfType<IFileStep>().Count(step =>
step.CanPreventShipmentsGeneration) ==
0)
        IsDataCame = true;

        if (_isDataPresent &&
notificationData.Rows.Count != 0)
        {
            var toList =
settings.MailSettings.ExchangeStartedTo
List.Split(';').Where(addr =>
!string.IsNullOrEmpty(addr.Trim())).ToA
rray();

            if (!await
Helper.SendNotification(notificationDat
a, toList,
settings.MailSettings.ExchangeStartedSu

```

```

bject, settings, cancellationToken,
false))
            errorOccurred =
true;
        }
    }
    catch
(OperationCanceledException)
    {
        throw;
    }
    catch (Exception ex)
    {
        ProtocolHelper.WriteStepErrors(settings
, sessionId,
Helper.HandleException(settings, ex,
cancellationToken), cancellationToken);
        return new
ProcessingStepResult(false, false);
    }
}

```

## Лістинг А.7 – ScheduledShipmentsStep.cs

Механізм виконання обміну даними за розкладом.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Reflection;
using System.Resources;
using System.ServiceModel;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Xml;
using GoodStream.DataExchange.Core;
using GoodStream.DataExchange.Plugin;
using
GoodStream.DataExchange.ServiceInformer
;
using
GoodStream.DataExchange.ServiceInformer
.GoodStreamInfo;
using
GoodStream.DataExchange.ShipmentsPlugin
;
using Timer = System.Timers.Timer;

namespace
GoodStream.DataExchange.ScheduledShipme
ntsPlugin
{
    public class ScheduledShipmentsStep
: ShipmentsStep, IScheduledStep
    {
        private readonly bool[] _days;
        private readonly List<DateTime>
_times;
        private readonly List<string>
_reportsBefore, _reportsAfter;
        private DateTime _lastExecuted;
        private bool _execute;

```

```

        private Guid _guid;
        private Task _mainTask;
        private CancellationTokenSource
_mainCancellation;

        public ScheduledShipmentsStep()
        {
            IsProcessing = false;
            _days = new[] {false,
false, false, false, false, false,
false};
            _times = new
List<DateTime>();
            _lastExecuted =
DateTime.MinValue;
            _reportsBefore = new
List<string>();
            _reportsAfter = new
List<string>();
            _guid = Guid.NewGuid();

            WaitMinutesCount = 1;
        }

        #region Properties

        public bool PerformOnMonday
        {
            get { return _days[0]; }
            set { _days[0] = value; }
        }

        public bool PerformOnTuesday
        {
            get { return _days[1]; }
            set { _days[1] = value; }
        }

```

```

public bool PerformOnWednesday
{
    get { return _days[2]; }
    set { _days[2] = value; }
}

public bool PerformOnThursday
{
    get { return _days[3]; }
    set { _days[3] = value; }
}

public bool PerformOnFriday
{
    get { return _days[4]; }
    set { _days[4] = value; }
}

public bool PerformOnSaturday
{
    get { return _days[5]; }
    set { _days[5] = value; }
}

public bool PerformOnSunday
{
    get { return _days[6]; }
    set { _days[6] = value; }
}

public int WaitMinutesCount {
get; set; }

public IEnumerable<DateTime>
TimeList
{
    get { return _times; }
    set
    {
        _times.Clear();

        if (value != null)
            _times.AddRange(value);
    }
}

public IEnumerable<string>
ReportsBefore
{
    get { return
_reportsBefore; }
    set
    {
        _reportsBefore.Clear();

        if (value != null)
            _reportsBefore.AddRange(value);
    }
}

public IEnumerable<string>
ReportsAfter
{
    get { return _reportsAfter; }
    set
    {
        _reportsAfter.Clear();

        if (value != null)
            _reportsAfter.AddRange(value);
    }
}

public bool
ExecuteReportsAlways { get; set; }

#endregion

#region Overriden properties

public new string PluginName
{
    get { return
EntryPoint.GetPluginName(); }
}

public new string Description
{
    get { return
EntryPoint.GetStepDescription(); }
}

#endregion

#region Private methods

private bool
IsScheduledDay(DateTime date)
{
    switch (date.DayOfWeek)
    {
        case DayOfWeek.Monday:
            return
PerformOnMonday;
        case DayOfWeek.Tuesday:
            return
PerformOnTuesday;
        case
DayOfWeek.Wednesday:
            return
PerformOnWednesday;
        case
DayOfWeek.Thursday:
            return
PerformOnThursday;
        case DayOfWeek.Friday:
            return
PerformOnFriday;
    }
}

```

```

        case
        DayOfWeek.Saturday:
            return
        PerformOnSaturday;
        case DayOfWeek.Sunday:
            return
        PerformOnSunday;
    }

    return false;
}

private async Task
StartMainTask(Settings settings, Steps
steps, Cancellation token?
cancellation token)
{
    while (!_execute)

```

```

    {
        var tasks = new
        List<Task>();
        Timer alarmTimer =
        null;
        try
        {
            //All dates will be
            in hours and minutes format plus
            current date
            var currentTime =
            DateTime.Parse(DateTime.Now.ToString("H
            H:mm"));
            //If current day of
            week is not in the list, then wait and
            skip the rest part

```

## Додаток Б

## Скрипт завантаження даних модуля аналітичної візуалізації (QlikView)

## Завантаження

```
//опис форматів
SET ThousandSep=' ';
SET DecimalSep='.';
SET MoneyThousandSep=' ';
SET MoneyDecimalSep='.';
SET MoneyFormat='# ##0,00грн.;-
# ##0,00грн.';
SET TimeFormat='h:mm:ss';
SET DateFormat='DD.MM.YYYY';
SET TimestampFormat='DD.MM.YYYY
h:mm:ss[.fff]';
SET
MonthNames='січ;лют;бер;кві;тра;чер;лип
;сер;вер;жов;лис;гру';
SET DayNames='Пн;Вт;Ср;Чт;Пт;Сб;Нд';

// підключення до бази даних
OLEDB CONNECT TO
[Provider=SQLOLEDB.1;Persist Security
Info=True;User
ID=RemoteAnalytics;Initial
Catalog=GSAalytics;Data
Source=127.0.0.1,2002;Use Procedure for
Prepare=1;Auto Translate=True;Packet
Size=4096;Workstation ID=NS3165885;Use
Encryption for Data=False;Tag with
column collation when possible=False]
(XPassword is *****);

LET CurrentDate = date(today()-5);
// дата інкрементального
завантаження
LET LastLoadTime = now(1); // час
старту завантаження
LET DateFinish =
WeekEnd(date(today(1)),-1); // дата
кінця завантаження даних
LET DateStart = WeekStart(DateFinish,-
5);
LET DateNow = date(DateFinish);
//поточна дата
LET DateModel=AddMonths(DateFinish,-3);
// початкова дата для моделювання
LET DateSQLLoadStart =
text(date(DateStart,'YYYY-MM-DD'));
LET DateSQLLoadFinish =
text(date(DateFinish,'YYYY-MM-DD'));
LET SQLString = chr(39) &
'$(DateSQLLoadStart)' & chr(39)
&','&chr(39) & '$(DateSQLLoadFinish)' &
chr(39);
LET SQLStringBetween = chr(39) &
'$(DateSQLLoadStart)' & chr(39) & ' and
'&chr(39) & '$(DateSQLLoadFinish)' &
chr(39);
```

SET vQvdDir =

'C:\QV\FactorAnalyzer\QVD';

## Опис таблиць асоціативної моделі

Calendar: //налаштування календаря

## LOAD

```
DateId,
DateId as 'Date',
Day(DateId) as 'Day',
Year(DateId) as 'Year',
Month(DateId) as 'Month',
WeekDay(DateId) as 'Day of week',

Year(DateId)&'/'&num(Month(DateId),'00'
) as 'YearMonth',
if ( Year(DateId)=2021 or (
Year(DateId)=2023 and Month(DateId)=1
and Day(DateId)=1),

DateId&'/'&num(Week(DateId),'00'
),

DateId&'/'&num(Week(DateId),'00'
)
) as 'Week',
if ( Year(DateId)=2021 or (
Year(DateId)=2023 and Month(DateId)=1
and Day(DateId)=1),

'2022'&'/'&num(Week(DateId),'00'
),

num(Year(DateId))&'/'&num(Week(D
ateId),'00')
) as 'YearWeek',
if(num(WeekDay(DateId))=5 or
num(WeekDay(DateId))=6, 1, 0) as
IsWeekend,
'K' & Ceil(Month(DateId)/3) AS
'Quarter',
'П' & Ceil(Month(DateId)/6) AS
'Half-year',

if(InWeekToDate(DateId,'$(DateNow)',0),
1) as CurrWeekDateFlag,

if(InWeekToDate(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevWeekDateFlag,

if(InYearToDate(DateId,'$(DateNow)',0),
1) as CurrYearDateFlag,

if(InYearToDate(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevYearDateFlag,

if(InMonthToDate(DateId,'$(DateNow)',0)
,1) as CurrMonthDateFlag,
```

```

if(InMonthToDate(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevMonthDateFlag,

if(InQuarterToDate(DateId,'$(DateNow)',
0),1) as CurrQuarterDateFlag,

if(InQuarterToDate(DateId,'$(DateNow)',
-1),1) as PrevQuarterDateFlag,
    if(InDay(DateId,'$(DateNow)',0),1)
as CurrDayFullFlag,
    if(InDay(DateId,'$(DateNow)',-1),1)
as PrevDayFullFlag,
    if(InDay(DateId,'$(DateNow)',-2),1)
as PrevPrevDayFullFlag,
    if(InWeek(DateId,'$(DateNow)',0),1)
as CurrWeekDateFullFlag,
    if(InWeek(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevWeekDateFullFlag,
    if(InWeek(DateId,'$(DateNow)',-
2),1) as PrevPrevWeekDateFullFlag,
    if(InYear(DateId,'$(DateNow)',0),1)
as CurrYearDateFullFlag,
    if(InYear(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevYearDateFullFlag,
    if(InYear(DateId,'$(DateNow)',-
2),1) as PrevPrevYearDateFullFlag,

if(InMonth(DateId,'$(DateNow)',0),1) as
CurrMonthDateFullFlag,
    if(InMonth(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevMonthDateFullFlag,
    if(InMonth(DateId,'$(DateNow)',-
13),1) as
PrevMonthPrevYearDateFullFlag,
    if(InMonth(DateId,'$(DateNow)',-
2),1) as PrevPrevMonthDateFullFlag,

if(InQuarter(DateId,'$(DateNow)',0),1)
as CurrQuarterDateFullFlag,
    if(InQuarter(DateId,'$(DateNow)',-
1),1) as PrevQuarterDateFullFlag,
    if(InQuarter(DateId,'$(DateNow)',-
2),1) as PrevPrevQuarterDateFullFlag;

load date('$(DateStart)' + IterNo() -1)
as DateId
autogenerate 1
while ('$(DateStart)'+IterNo()-
1)<='$(DateFinish)';

Items: //параметри товарів в розрізі
складів
LOAD
    ID AS ItemID,
    WarehouseID AS [WID],
    [ManufacturerID],
    SupplierID,
    SKU AS [Код товару],
    SKU AS [Код товару2],
    Active AS [Поточна активність],
    [Акція],

```

```

[Тип постачання];
SQL SELECT
    ID,
    Items.WarehouseID,
    ManufacturerID,
    SupplierID,
    SKU,
    SKU,
    Items.Active,
    IIF(ActionMover =1,'Так','Hi')
[Акція],
    IIF(ISNULL(Range.CrossDock,0) =
0,'Зберігання','PBL') [Тип постачання]
FROM Items
left join Range on
Range.ItemID=Items.ID;

DIRECTORY $(vQvddir);
STORE Items INTO Items.qvd (qvd);

DROP TABLE Items;

Items:
LOAD
    ItemID,
    [WID],
    [ManufacturerID],
    SupplierID,
    [Код товару],
    [Код товару2],
    [Поточна активність],
    [Акція],
    [Тип постачання];
FROM Items.qvd (qvd);

Active: //ознака активності товару
LOAD
    ID AS [Поточна активність код],
    Name AS [Поточна активність];
SQL SELECT ID, Name FROM Active;

NewMover: //Ознака нового товару
LOAD
    ID AS [Новинка код],
    Name AS [Новинка];
SQL SELECT ID, Name FROM NewMover;

LSpeedMover: //Ознака LSpeedMover
LOAD
    ID AS [LSpeed],
    Name AS [Ознака LSpeed];
SQL SELECT ID, IIF(Name='', '---', Name)
[Name] FROM LSpeedMover;

LTopMover: //Ознака LTopMover
LOAD
    ID AS [LTop],
    Name AS [Ознака LTop];
SQL SELECT ID, IIF(Name='', '---', Name)
[Name] FROM LTopMover;

LTHRMover: //Ознака LTHRMover

```

```

LOAD
    ID AS [LMargin],
    Name AS [Ознака LMargin] ;
SQL SELECT ID, IIF(Name='', '---', Name)
[Name] FROM LTHRMover;

```

ActiveHistory: //ознака активності  
товару в історії

```

LOAD
    ID AS [Активність код],
    Name AS [Активність];
SQL SELECT ID, Name FROM Active;

```

SpeedMover: //ознака SpeedMover

```

LOAD
    ID AS [Speed],
    Name AS [Ознака Speed];
SQL SELECT ID, IIF(Name='', '---', Name)
[Name] FROM SpeedMover;

```

TopMover: //ознака TopMover

```

LOAD
    ID AS [Top],
    Name AS [Ознака Top];
SQL SELECT ID, IIF(Name='', '---', Name)
[Name] FROM TopMover;

```

THRMover: //ознака THRMover

```

LOAD
    ID AS [Margin],
    Name AS [Ознака Margin];

SQL SELECT ID, IIF(Name='', '---', Name)
[Name] FROM THRMover;

```

Warehouses: //довідник складів

```

LOAD
    ID AS [WID],
    Code AS [Код складу],
    Name AS [Назва складу],
    CWH as [Тип складу],
    [Статус] as [Статус складу]
;

SQL
SELECT
    ID,
    Code,
    Name,
    case when CWH=1 then 'ПЦ' else
'Mагазин' end as [CWH],
    case when OrderType=1 then
'Підключено'
        when OrderType=2 then
'Тимчасово відключено'
        else 'Віключено' end
[Статус]
FROM Warehouses;

LOAD
    Code as [Код складу],
    DimensionValue as [Region];

```

```

SQL
SELECT Code, DimensionValue from
WarehouseDimensions WD WHERE
WD.DimensionNumber =2;

```

Suppliers: //довідник зовнішніх  
постачальників

```

LOAD
    ID AS [ManufacturerID],
    Code AS [Код зовнішнього
постачальника],
    Name AS [Найменування
зовнішнього постачальника];
SQL SELECT ID, Code, Name FROM
Suppliers;

```

InnerSuppliers: //довідник внутрішніх  
постачальників

```

LOAD
    ID AS [SupplierID],
    Code AS [Код постачальника],
    Name AS [Найменування
постачальника],
    [Тип постачальника];

SQL
SELECT
    ID,
    Code,
    Name,
    case
        when Code in (
            SELECT
                S1.Code FROM
                Suppliers S1
            LEFT JOIN
                Warehouses W1
            on W1.Code
                =S1.Code
            WHERE W1.Code
                is not null
                and W1.CWH
                =1)
        then 'Внутрішній'
        else 'Зовнішній'
    end [Тип постачальника]
FROM Suppliers;

DIRECTORY $(vQvdDir);
STORE InnerSuppliers INTO
InnerSuppliers.qvd (qvd);

```

```

DROP TABLE InnerSuppliers;
DIRECTORY $(vQvdDir);

```

InnerSuppliers:

```

LOAD
    [SupplierID],
    [Код поставщика],
    [Наименование поставщика],
    [Тип поставщика]
FROM InnerSuppliers.qvd (qvd);

```

SKUView: //класифікатор товарів

**LOAD**

Code AS [Код товару],  
Name as [Назва товару],  
GroupName AS [Категорія],  
SubGroup1 AS [Група],  
SubGroup2 AS [Подгрупа 1],  
SubGroup3 AS [Подгрупа 2],  
SubGroup4 AS [Подгрупа 3],  
SubGroup5 AS [Подгрупа 4];

**SQL SELECT** \* FROM SKUView;

**DIRECTORY \$(vQvdDir);**

**STORE** SKUView INTO SKUView.qvd (qvd);

**DROP** TABLE SKUView;

SKUView:

**LOAD**

[Код товару],  
[Назва товару],  
[Категорія],  
[Група],  
[Подгрупа 1],  
[Подгрупа 2],  
[Подгрупа 3],  
[Подгрупа 4]

FROM SKUView.qvd (qvd);

LostSaleReason: //причини втрачених продажів

**LOAD**

DateId as DateId,  
ItemID as ItemID,  
ReasonCode,  
LostSaleQty as

LostSaleWithReason;

**SQL**

**SELECT**

DATEADD (DAY, 7-  
dbo.GetWeekDay(Date),Date)  
[DateId],  
ItemID,  
ReasonCode,  
sum(LostSale) as LostSaleQty

FROM LostSaleReason

WHERE Date between **\$(SQLStringBetween)**

GROUP BY DATEADD (DAY, 7-  
dbo.GetWeekDay(Date),Date), ItemID,  
ReasonCode;

**DIRECTORY \$(vQvdDir);**

**STORE** LostSaleReason INTO  
LostSaleReason.qvd (qvd);

**DROP** TABLE LostSaleReason;

LostSaleReason:

**LOAD**

DateId,

ItemID,  
ReasonCode,  
LostSaleWithReason

FROM LostSaleReason.qvd (qvd);

OverstockReason: //причини надлишків

**LOAD**

Date as DateId,  
ItemID as ItemID,  
[Причина] as [Причина надлишку],  
[Надлишок, шт];

**SQL**

**SELECT**

OSR.Date,  
OSR.ItemID,  
CASE

WHEN OSR.ReasonCode = 1020

AND (PA.PurchaseDate <= OSR.[Date] AND  
PA.EndDate >= OSR.[Date]) THEN  
N'Замовлення під поточну акцію '

WHEN OSR.ReasonCode = 1060

AND LEN(OSR.ReasonDetails)<>0 THEN  
OSR.ReasonDetails

WHEN OSR.ReasonCode = 1120

AND (PA.PurchaseDate <= OSR.[Date] AND  
PA.EndDate >= OSR.[Date]) THEN N'  
Замовлення під поточну акцію з дод.  
місцем '

ELSE R.Description

END [Причина],

OSR.OverStock [Надлишок, шт]

FROM OverStockReason OSR

JOIN Reason R ON R.Code =

OSR.ReasonCode AND R.Type = 'S'

LEFT JOIN PostedAction PA ON

PA.ItemID=OSR.ItemID AND PA.[Document

No.]=OSR.ActionDocumentNo AND

OSR.ReasonCode IN (1020,1120)

WHERE OSR.[Date] between

**\$(SQLStringBetween)**

UNION ALL

**SELECT**

OS.Date,  
OS.ItemID,  
'Надлишок РЦ' [Причина],  
OS.OverStock [Надлишок, шт]

FROM OverStock OS

JOIN Items I ON I.ID = OS.ItemID

JOIN Warehouses W on W.ID

=OS.WarehouseID

WHERE W.CWH =1 AND OS.Date between

**\$(SQLStringBetween);**

Reason: //довідник причин

**LOAD**

Code as ReasonCode,  
Description as [Причина];

**SQL SELECT** Code, Description FROM  
Reason WHERE Type = 'S';

BufferStatus: //цільвий рівень запасу

**LOAD**

```

[DateId] as DateId,
ItemID,
[Black],
[SafetyStock],
[Red],
[Yellow],
[Green],
[OverStock];

SQL exec qvGetBufferStatus
$(SQLString);

DIRECTORY $(vQvdDir);
STORE BufferStatus INTO
BufferStatus.qvd (qvd);

DROP TABLE BufferStatus;

BufferStatus:
LOAD
    DateId,
    ItemID,
    [Black],
    [SafetyStock],
    [Red],
    [Yellow],
    [Green],
    [OverStock]
FROM BufferStatus.qvd (qvd);

AnalyticData: //факти

LOAD
    [Date] as DateId,
    ItemID,
    SKU as [SKU],
    Sales as [Продажі],
    SalePrice as [Цена продажу],
    PurchasePrice as [Ціна
закупівлі],
    LostSales1 as [Втрачений
продаж],
    LostSalesAdv as [Втрачений
продаж (дод)],
    OverStock as [Надлишок],
    Inventory as [Залишок],
    [Продаж грн],
    [Продаж у цін зак грн],
    [Втрачений продаж грн],
    LostSalesAdvUAN as [Втрачений
продаж (дод) грн],
    [Залишок грн],
    [Залишок у цін прод грн] ,
    [Надлишок грн],
    [Активний асортимент],
    [MTS товар],
    [Активність коду],
    [Активність 11 тижнів],
    [Новинка код],
    [Викладка],
    [Викладка, грн],
    [Незнижуваний залишок],

```

```

[Незнижуваний залишок, грн],
[Буфер],
[Буфер, грн],
[LSpeed],
[LTop],
[LMargin],
ActionOneWeek as [Був в акції
останній тиждень],
ActionTwoWeek as [Був в акції
останні 2 тижні],
ActionFourWeek as [Був в акції
останні 4 тижні],
Package as [Упаковка],
MaxSale as [Макс продаж],
BufferFill as [Наповненість
буфера],
SafetyStockStructure as
[Наповненість незнижуваного залишку],
ShelfQntStructure as
[Наповненість викладки],
BufferStructure as [Наповненість
буфера],
OverStockStructure as
[Наповненість надлишку] ,
BufferPart as [Чистий буфер],
ShelfQntPart as [Викладка у
буфері];

```

```

SQL exec qvGetAnalyticData
$(SQLString);

```

```

DIRECTORY $(vQvdDir);
STORE AnalyticData INTO
AnalyticData.qvd (qvd);

```

```

DROP TABLE AnalyticData;

```

```

AnalyticData:
LOAD
    DateId,
    ItemID,
    [SKU],
    [Продаж],
    [Ціна продажу],
    [ціна закупівлі],
    [Втрачений продаж],
    [Втрачений продаж (дод)],
    [Надлишки],
    [Залишок],
    [Продаж грн],
    [Продаж у цін зак грн],
    [Втрачений продаж грн],
    [Втрачений продаж (дод) грн],
    [Залишок грн],
    [Залишок у цін прод грн] ,
    [Надлишок грн],
    [Активний асортимент],
    [MTS товар],
    [Активність коду],
    [Активність 11 тижнів],
    [Новинка код],
    [Викладка],

```

```

[Викладка, грн],
[Незнижуваний залишок],
[Незнижуваний залишок, грн],
[Буфер],
[Буфер, грн],
[LSpeed],
[LTop],
[LMargin],
[Був в акції останній тиждень],
[Був в акції останні 2 тижні],
[Був в акції останні 4 тижні],
[Упаковка],
[Макс продаж],
[Наповненість буфера],
[Наповненість незнижуваного
залишку],
[Наповненість викладки],
[Наповненість буфера],

```

```

[Наповненість надлишку] ,
[Чистий буфер],
[Викладка у буфері]
FROM AnalyticData.qvd (qvd);

InvoiceNumber: //чеки
LOAD
    Date as DateId,
    Code as [Код складу (чеки)],
    Name as [Назва складу (чеки)],
    DimensionValue as [Region
(чеки)],
    [InvCount],
    [AvgSKU],
    [AvgInvoiceAmount];

SQL exec qvGetInvoiceNumber
$(SQLString);

```

## Діаграма бази даних

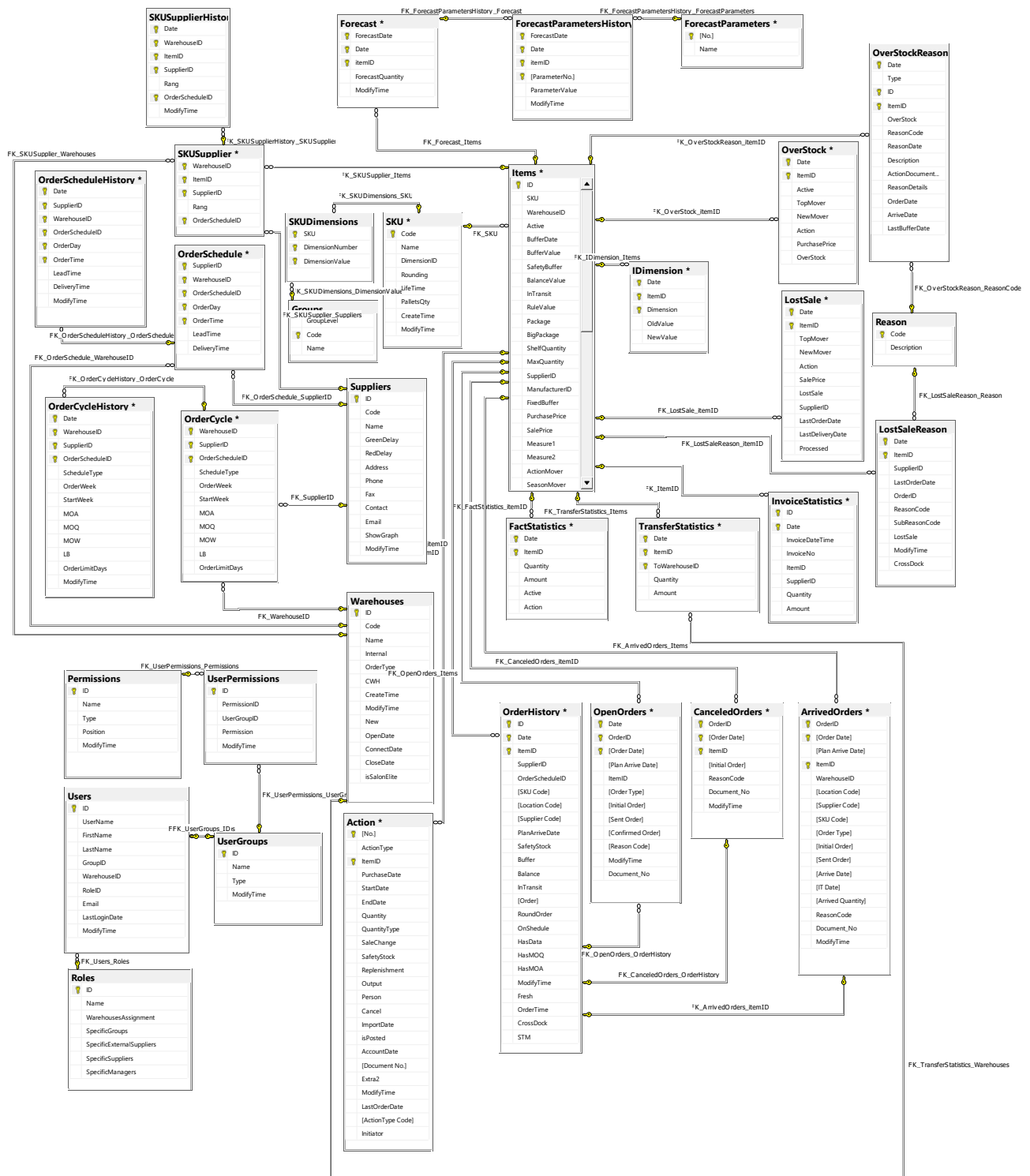


Рис. В.1. Діаграма бази даних програмного забезпечення для багатофакторної оцінки відхилень запасу від цільового стану

Таблиця В.1

## Основні таблиці бази даних

| Група таблиць                      | Назва таблиць                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Довідники                          | Довідник товарів (SKU), параметри товарів (SKUDimensions), класифікатор товарів (SKUDimensions), довідник постачальників (Suppliers), довідник складів (Warehouses), параметри товарів в розрізі складів: викладка, кратність замовлення, цільовий рівень запасу, ціни, тощо (Items), графіки та параметрів замовлень (SKUSupplier, OrderCycle, OrderSchedule), промоактивні (Action). |
| Історія змін параметрів довідників | Історія змін параметрів товарів (IDimension), історія змін графіків замовлень та їх параметрів (SKUSupplierHistory, OrderCycleHistory, OrderScheduleHistory).                                                                                                                                                                                                                          |
| Прогноз                            | Історія розрахунку прогнозу продажів на кожен день (Forecast), параметри розрахунку прогнозу (ForecastParametersHistory), довідник параметрів прогнозу (ForecastParameters).                                                                                                                                                                                                           |
| Факти                              | Історія залишків (FactStatistics), продажів в розрізі інвойсів (InvoiceStatistics), переміщень між складами (TransferStatistics).                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Замовлення                         | Історія замовлень (OrderHistory), історія виконання або відміни замовлень (OpenOrders, ArrivedOrders, CanceledOrders).                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Результати розрахунків             | Втрачені продажі та вплив факторів на втрачені продажі (LostSale, LostSaleReason), надлишкові товарні запаси та фактори, що на них вплинули (OverStock, OverStockReason), довідник факторів (Reason).                                                                                                                                                                                  |
| Налаштування користувачів          | Таблиці Users, UserPermissions, Permissions, UserGroups, Roles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## Структура даних для збору інформації про вплив факторів на рівень запасів

### 1. Довідники

Таблиця Д.1.1

Довідник товарів SKUDimensions &lt;date&gt;.csv

| Ключ | Назва поля      | Формат поля   |
|------|-----------------|---------------|
| •    | SKU Code        | varchar(20)   |
|      | SKU Name        | varchar(100)  |
|      | Dimension       | varchar(20)   |
|      | Rounding        | smallint      |
|      | LifeTime        | decimal(15,4) |
|      | PalletQnt       | int           |
|      | Manufacturer    | varchar(100)  |
|      | SKUWeight       | decimal(15,4) |
|      | AnalogGroupCode | varchar(20)   |
|      | Manager         | varchar(200)  |
|      | Group           | varchar(20)   |
|      | SubGroup1       | varchar(20)   |
|      | SubGroup2       | varchar(20)   |
|      | ...             |               |

SKU Code – унікальний код товару;

SKU Name – назва товару;

Dimension – одиниця виміру;

Rounding – округлення одиниці виміру (0-до цілого, 1-до десятих, 2-до сотих);

LifeTime – термін зберігання товару в днях (якщо вказано 0.5 – зберігання 12 годин, 0.25 – 6 годин);

PalletQnt – кількість на палеті;

Manufacturer – назва виробника;

SKUWeight – вага одиниці виміру, кг;

AnalogGroupCode – код групи товарів-аналогів;

Manager – менеджер, що відповідає за категорію даного товару;

Group, SubGroup1, SubGroup2... – коди класифікаторів товару з таблиці Д.1.2 (від верхнього рівня до нижнього).

Таблиця Д.1.2

Довідник класифікаторів Groups &lt;date&gt;.csv

| Ключ | Назва поля | Формат поля  |
|------|------------|--------------|
| •    | Level      | Int          |
| •    | Group Code | varchar(20)  |
|      | Group Name | varchar(100) |

Level – рівень класифікатора (1 – Категорія, 2 – Група, 3 – Підгрупа тощо);

Group Code – код класифікатора;

Group Name – назва класифікатора.

Параметри товарів SKUData &lt;date&gt;.csv

| Ключ | Назва поля       | Формат поля   |
|------|------------------|---------------|
| •    | SKU Code         | varchar(20)   |
| •    | Location Code    | varchar(20)   |
|      | PurchasePrice    | decimal(15,4) |
|      | SalePrice        | decimal(15,4) |
|      | Package1         | decimal(15,4) |
|      | Package2         | decimal(15,4) |
|      | ShelfQuantity    | decimal(15,4) |
|      | MaxShelfQuantity | decimal(15,4) |
|      | SafetyStock      | decimal(15,4) |
|      | Active           | smallint      |
|      | StartBuffer      | decimal(15,4) |
|      | Fresh            | int           |
|      | PickByLine       | Int           |
|      | SKUPickingTime   | int           |
|      | BlockStartDate   | smalldatetime |
|      | BlockEndDate     | smalldatetime |
|      | ActiveStartDate  | smalldatetime |
|      | ActiveEndDate    | Smalldatetime |
|      | MainSKUCell      | smallint      |
|      | LastArrivalDate  | smalldatetime |
|      | Import           | smallint      |
|      | ActiveImport     | smallint      |

SKU Code – код товару;

Location Code – код складу (магазину);

PurchasePrice – ціна закупівлі;

SalePrice – ціна продажі;

Package1, Package2 – мінімальна нероздільна кількість товару, яка може бути поставлена;

Значення в Package2 не може бути менше значення Package1

ShelfQuantity – викладка (розмір викладки, який треба підтримувати на полиці; може бути менше максимально можливої викладки);

MaxShelfQuantity – максимально можлива викладка на полиці (якщо цього значення немає – вивантажуємо 0);

Значення в MaxShelfQuantity не може бути менше значення ShelfQuantity

SafetyStock – страховий запас товару;

Active – активність товару (1-замовляє «GS», 2-замовляється вручну, 3-товар є на залишку, але не замовляється (підлягає виведенню з асортименту), 0-немає на залишку та не замовляється (сміття));

StartBuffer – стартовий буфер (використовується при введенні нового товару та проставляється менеджерами клієнта);

Fresh – ознака товару залежно від терміну зберігання;

Значення «1» - нескоропорт (термін зберігання товару більше 21 дня).

Значення «2» - скоропорт (кінцевий термін зберігання при поставці в об'єкт зберігання не перевищує 21 день)

Значення«0» - ознака не визначена;

SKUPickingTime – кількість днів, як потрібна на обробку товару на РЦ;  
 PickByLine – якщо товар доставляється по схемі "pick-by-line" - вивантажуємо «1», інакше – «0»;  
 BlockStartDate – дата, з якої (включно) блокуються замовлення товару з магазину (складу) на постачальника (дата початку заборони поставки);  
 BlockEndDate – дата, до якої (включно) блокуються замовлення товару з магазину (складу) на постачальника (дата завершення заборони поставки);  
 ActiveStartDate – дата, з якої товар-новинка має почати постачатись на магазин (склад);  
 ActiveEndDate – дата, з якої товар повинен припинити постачатись на магазин (склад) через його виведення з асортиментної матриці (з цієї дати в полі "Active" слід вивантажувати статуси "3" або "0").  
 MainSKUCell – основний товар в клітинці (який слід замовляти у зовнішнього постачальника): 1-основний, 0-аналог;;  
 LastArrivalDate – дата останнього надходження товару.  
 Import – мітка імпортного товару (якщо імпорт – вивантажуємо «1», інакше – «0»);  
 ActiveImport – активність імпортного товару (якщо активний – вивантажуємо «1», інакше – «0»). Активний товар буде замовлено у поточному замовленні імпорту.

Таблиця Д.1.4

Довідник складів Warehouses\_&lt;date&gt;.csv

| Ключ | Назва поля       | Формат поля   |
|------|------------------|---------------|
| •    | Location Code    | varchar(20)   |
|      | Location Name    | varchar(100)  |
|      | CWH              | smallint      |
|      | Region           | varchar(100)  |
|      | Opening Date     | smalldatetime |
|      | Order Start Date | smalldatetime |
|      | Closing Date     | smalldatetime |
|      | Off store reason | smallint      |

Location Code – код складу (магазину);  
 Location Name – назва складу (магазину);  
 CWH – ознака центрального складу (розподільчого центру). Якщо склад центральний – ставимо 1, якщо звичайний – 0;  
 Region – регіональна ознака складу (магазину);  
 Opening Date – дата відкриття складу (магазину);  
 Order Start Date – дата початку формування замовлень (для нового магазину);  
 Closing Date – дата закриття складу (магазину);  
 Off store reason -причина закриття магазину: 0 - значення за замовчуванням; 1 - закритий назавжди; 2- закритий тимчасово.

Таблиця Д.1.5

Довідник постачальників Suppliers\_&lt;date&gt;.csv

| Ключ | Назва поля    | Формат поля  |
|------|---------------|--------------|
| •    | Supplier Code | varchar(20)  |
|      | Supplier Name | varchar(100) |

Supplier Code – код постачальника;  
 Supplier Name – назва постачальника.

Таблиця Д.1.6

**Інформація про промоактивність Action <date>.csv**

| Ключ | Назва поля    | Формат поля   |
|------|---------------|---------------|
| •    | Location Code | varchar(20)   |
| •    | SKU Code      | varchar(20)   |
| •    | PurchaseDate  | smalldatetime |
|      | StartDate     | smalldatetime |
|      | EndDate       | smalldatetime |
|      | SaleChange    | decimal(15,4) |
|      | StartQuantity | decimal(15,4) |
| •    | Action        | tinyint       |
|      | Replenishment | bit           |
|      | CancelAction  | smallint      |
|      | Person        | varchar(100)  |
| •    | Document No.  | varchar(50)   |

Location Code – код складу (магазину);

SKU Code – код товару;

PurchaseDate – дата початку закупівлі;

StartDate – дата початку акції/сезону;

EndDate - дата завершення акції/сезону;

SaleChange – коефіцієнт збільшення продажу (буферу);

StartQuantity – кількість товару під акцію;

Action – акція/додаткове місце (акція з компенсацією – «1», додаткове місце – «4», акція без компенсації – «5»);

Replenishment - тип закупівлі («0»-поповнюємо протягом усього періоду акції, «1»-разова закупівля);

CancelAction – статус активності акції. Залежно від статусу активності акції, повинні приходити наступні коди: «0» - акція активна, «1» - акція відмінена повністю, «2» - акція тимчасово призупинена, «3» - акція передчасно завершена (раніше дати закінчення);

Person – відповідальний за заповнення акції/сезону;

Document No. – ідентифікатор акції (номер документа чи інший унікальний номер);

Таблиця Д.1.7

**Товари і постачальники SKUSupplier <date>.csv**

| Ключ | Назва поля     | Формат поля |
|------|----------------|-------------|
| •    | Location Code  | varchar(20) |
| •    | SKU Code       | varchar(20) |
| •    | Supplier Code  | varchar(20) |
|      | Rang           | int         |
|      | OrderSheduleID | int         |

Location Code – код складу (магазину);

SKU Code – код товару;

Supplier Code – код постачальника;

Rang – рейтинг постачальника (використовується для визначення пріоритету постачальника, якому в першу чергу надсилається замовлення; чим менше значення - тим вище рейтинг);

OrderSheduleID – номер графіка (використовується для постачальників, які возять на один і той самий склад різні товари по різним графікам (мають декілька графіків замовлення);

якщо постачальник возить всі свої товари по одному графіку - в полі вказуємо "0", якщо у постачальника немає графіка постачання - в полі вказуємо "0").

Таблиця Д.1.8

**Циклічність замовлення OrderCycle <date>.csv**

| Ключ | Назва поля     | Формат поля   |
|------|----------------|---------------|
| •    | Location Code  | varchar(20)   |
| •    | Supplier Code  | varchar(20)   |
| •    | OrderSheduleID | int           |
|      | SheduleType    | int           |
|      | OrderWeek      | int           |
|      | StartWeek      | int           |
|      | MOA            | decimal(15,4) |
|      | MOQ            | decimal(15,4) |
|      | MOAThreshold   | decimal(15,4) |
|      | MOQThreshold   | decimal(15,4) |
|      | MOP            | decimal(15,4) |
|      | MOW            | decimal(15,4) |
|      | MOPThreshold   | decimal(15,4) |
|      | MOWThreshold   | decimal(15,4) |

Location Code – код складу (магазину);

Supplier Code – код постачальника;

OrderSheduleID – номер графіка (використовується для постачальників, які возять на той самий склад різні товари за різними графіками (мають кілька графіків поставок); якщо постачальник возить усі свої товари за одним графіком - у полі вказуємо «0»);

SheduleType – тип графіка (1-щотижневе замовлення, 2-день тижня місяця, 3-у конкретний день місяця);

OrderWeek:

1-кожен тиждень, 2-через тиждень, 3-через кожні два тижні...

Номер тижня місяця. Наприклад, якщо замовлення має робитися кожен другий понеділок місяця, то ставимо OrderWeek=2 (якщо кожен перший понеділок - OrderWeek=1)

Число місяця, коли робимо замовлення (якщо цей день припадає на вихідні - замовлення автоматично зміщується на понеділок);

StartWeek - StartWeek - ідентифікує тиждень у році, з якого треба починати замовляти, якщо OrderWeek > 1. Якщо OrderWeek = 1, вивантажуємо «0».

Наприклад: OrderWeek=2, StartWeek=1 - замовлення кожного непарного тижня.

MOA – мінімальна сума замовлення на постачальника (якщо потреба менша за встановлену суму – замовлення не формується);

MOQ – мінімальна кількість замовлення на постачальника (якщо потреба менше встановленої кількості – замовлення не формується);

MOAThreshold – поріг округлення у відсотках до мінімальної суми замовлення (MOA);

MOQThreshold - поріг округлення у відсотках до мінімальної кількості замовлення (MOQ);

MOP – мінімальна кількість палет у замовленні на постачальника (якщо потреба менша за встановлену кількість - замовлення не формується);

MOW – мінімальна вага замовлення на постачальника в кг (якщо потреба менша за встановлену вагу - замовлення не формується);

MOPThreshold – поріг округлення у відсотках до мінімальної кількості палет (MOP);

MOWThreshold - поріг округлення у відсотках до мінімальної ваги замовлення (MOW);

Таблиця Д.1.9

**Графік замовлень OrderShedule <date>.csv**

| Ключ | Назва поля     | Формат поля |
|------|----------------|-------------|
| •    | Supplier Code  | varchar(20) |
| •    | Location Code  | varchar(20) |
| •    | OrderSheduleID | int         |
| •    | OrderDay       | int         |
| •    | OrderTime      | int         |
|      | LeadTime       | int         |
|      | DeliveryTime   | varchar(10) |

Supplier Code – код постачальника;

Location Code – код складу (магазину);

OrderSheduleID – номер графіку (використовується для постачальників, які возять на той самий склад різні товари за різними графіками (мають кілька графіків поставок); якщо постачальник возить усі свої товари за одним графіком - у полі вказуємо «0»);

OrderDay – день замовлення (1-понеділок, 2-вівторок, 3-середа, 4-четвер.... Якщо SheduleType=3, ставимо «0»);

OrderTime – час формування замовлення у годинах (від 1 до 24). Якщо час замовлення не визначено – ставимо 0;

LeadTime - час виконання замовлення постачальником в днях, включаючи день замовлення. Наприклад, якщо замовлення сьогодні, а постачальник привезе – завтра, тоді LeadTime=2;

DeliveryTime - час у годинах, до якого машина має приїхати за графіком згідно з домовленістю (якщо машина має приїхати до 16:30, DeliveryTime=16:30. Якщо час не визначено - ставимо 0);

**2. Факти**

Таблиця Д.2.1

**Дані про залишки Stock\_ <date>.csv**

| Ключ | Назва поля    | Формат поля   |
|------|---------------|---------------|
| •    | Date          | smalldatetime |
| •    | Location Code | varchar(20)   |
| •    | SKU Code      | varchar(20)   |
|      | Quantity      | decimal(15,4) |
|      | Amount        | decimal(15,4) |

Date – дата залишку;

Location Code - код складу (магазину) в ІТ-системі;

SKU Code - унікальний код товару в ІТ- системі;

Quantity – кількість, шт.;

Amount – сума, грн. (к-сть \* ціна закупівлі).

До цієї таблиці повинні потрапляти залишки на кожен день тижня. Вивантажувати слід лише результативні рядки (якщо по товару в конкретний день на залишку був 0, то цього дня рядок вивантажувати не треба).

Таблиця Д.2.2

**StockChange <date>.csv**

| Ключ | Название поля | Формат поля   |
|------|---------------|---------------|
| •    | Date          | smalldatetime |
| •    | DocumentDate  | datetime      |
| •    | DocumentType  | varchar(50)   |

| Ключ | Название поля | Формат поля   |
|------|---------------|---------------|
| •    | Document No.  | varchar(50)   |
| •    | Location Code | varchar(20)   |
| •    | SKU Code      | varchar(20)   |
|      | Quantity      | decimal(15,4) |

Date – дата;

DocumentDate – дата та час операції;

DocumentType – тип документу;

Location Code - код складу (магазину);

SKU Code – код товару;

Document No. - номер документу в ІТ-системі;

Quantity – кількість в одиницях виміру. Якщо це прибуткова операція, кількість слід передавати як позитивне число, якщо видаткова – як негативне (зі знаком «мінус»).

Таблиця Д.2.3

### Дані про переміщення між складами Transfer\_<date>.csv

| Ключ | Назва поля         | Формат поля   |
|------|--------------------|---------------|
| •    | Date               | smalldatetime |
| •    | ArriveDate         | smalldatetime |
| •    | From Location Code | varchar(20)   |
| •    | To Location Code   | varchar(20)   |
| •    | SKU Code           | varchar(20)   |
|      | Quantity           | decimal(15,4) |
|      | Amount             | decimal(15,4) |

Date – дата переміщення;

ArriveDate – дата постачання на склад (магазин) одержувач;

From Location Code - код складу відправника в ІТ-системі;

To Location Code - код складу (магазину) одержувача в ІТ-системі;

SKU Code\_ унікальний код товару в ІТ-системі;

Quantity – кількість, шт.;

Amount – сума, грн. (кількість \* ціна продажу).

### 3. Заовлення та виконання замовлень

Таблиця Д.3.1

#### Історія замовлень Orders <date>.csv

| Ключ | Назва поля           | Формат поля   |
|------|----------------------|---------------|
| •    | Date                 | smalldatetime |
| •    | OrderID              | varchar(50)   |
|      | Document No.         | varchar(30)   |
|      | DeliveryDateTime     | smalldatetime |
|      | NextDeliveryDateTime | smalldatetime |
| •    | Location Code        | varchar(20)   |
| •    | Supplier Code        | varchar(20)   |
| •    | SKU Code             | varchar(20)   |
| •    | OrderType            | int           |
|      | Stock                | decimal(15,4) |

| Ключ | Назва поля    | Формат поля   |
|------|---------------|---------------|
|      | Transit       | decimal(15,4) |
|      | Forecast      | decimal(15,4) |
|      | InitialOrder  | decimal(15,4) |
|      | PackageOrder  | decimal(15,4) |
|      | SupplierOrder | decimal(15,4) |

Date – дата замовлення;

OrderID – унікальний номер рядка замовлення;

Document No. – номер документу замовлення в ІТ-системі;

DeliveryDateTime – планова дата та час постачання;

NextDeliveryDateTime – планова дата та час наступного постачання;

Location Code – код складу (магазину);

Supplier Code – код постачальника;

SKU Code – код товару;

OrderType – тип замовлення (1-замовлення, згенероване автоматично; 2-ручне замовлення);

Stock – залишок на момент формування замовлення, шт

Transit – транзит на момент формування замовлення, шт

Forecast –прогноз продажів на момент формування замовлення, шт

InitialOrder – потреба в товарі, розрахована на основі прогнозу, шт;

PackageOrder – потреба в товарі, збільшена до кратності постачання;

SupplierOrder – кількість товару, відправлена постачальнику на замовлення, шт;

У таблицю повинні потрапляти всі відкриті на поточну дату замовлення, на які ми очікуємо доставлення. У цій таблиці «товар у дорозі» деталізується до окремих замовлень, яких може бути кілька.

Таблиця Д. 3.2.

Відкриті замовлення OpenOrders <date>.csv

| Ключ | Назва поля       | Формат поля   |
|------|------------------|---------------|
| •    | CurrentDate      | Smalldatetime |
| •    | OrderID          | Varchar(50)   |
|      | Document No.     | varchar(50)   |
| •    | OrderDate        | Smalldatetime |
|      | DeliveryDateTime | Smalldatetime |
| •    | Location Code    | varchar(20)   |
| •    | Supplier Code    | varchar(20)   |
| •    | SKU Code         | varchar(20)   |
| •    | OrderType        | Int           |
|      | InitialOrder     | decimal(15,4) |
|      | SentOrder        | decimal(15,4) |
|      | ConfirmedOrder   | decimal(15,4) |

CurrentDate – поточна дата;

OrderID – унікальний номер рядка замовлення;

Document No. – номер документу замовлення в ІТ-системі;

OrderDate – дата (і час) створення замовлення;

DeliveryDateTime – планова дата (час) постачання;

Location Code – код складу (магазину);

Supplier Code – код постачальника;

SKU Code – код товару;

OrderType – тип замовлення (1-замовлення, згенероване автоматично; 2-ручне замовлення);

InitialOrder – кількість замовлення, згенерована системою;

SentOrder – кількість товару, відправлена постачальнику на замовлення;

ConfirmedOrder – кількість товару, яку постачальник підтвердив у замовленні (за замовчуванням дорівнює SentOrder);

В дану таблицю повинні потрапити всі товари, для яких була сформована потреба, але не сформоване замовлення, із зазначенням причини (замовлення за графіком, не набиралася мін сума/мін кількість тощо.).

Таблиця Д. 3.3.

**Скасовані замовлення CanceledOrders <date>.csv**

| Ключ | Назва поля       | Формат поля   |
|------|------------------|---------------|
| •    | OrderID          | varchar(50)   |
| •    | InitialOrderDate | smalldatetime |
| •    | Location Code    | varchar(20)   |
| •    | Supplier Code    | varchar(20)   |
| •    | SKU Code         | varchar(20)   |
|      | InitialOrder     | decimal(15,4) |
|      | CancelReason     | int           |
|      | Document No.     | varchar(30)   |

OrderID – унікальний номер рядка замовлення;

InitialOrderDate – дата формування потреби;

Location Code – код складу (магазину);

Supplier Code – код постачальника;

SKU Code – код товару;

InitialOrder – кількість замовлення, згенерована системою;

CancelReason – причина відміни замовлення (не набралася мінімальна сума, не набралася мінімальна партія, замовлення не за графіком, постачальник не працює, прострочена заборгованість, замовлення було відправлено пізніше встановленого часу, переговори із постачальником, проблема з транспортом, тощо);

Document No. – номер документа відміни замовлення.

Таблиця Д.3.4

**Приходи товару ArrivedOrders <date>.csv**

| Ключ | Назва поля      | Формат поля   |
|------|-----------------|---------------|
| •    | OrderID         | varchar(50)   |
| •    | OrderCreateDate | smalldatetime |
| •    | Location Code   | varchar(20)   |
| •    | Supplier Code   | varchar(20)   |
| •    | SKU Code        | varchar(20)   |
| •    | OrderType       | int           |
|      | OrderArriveDate | smalldatetime |
|      | ItInputDate     | smalldatetime |
|      | InitialOrder    | decimal(15,4) |
|      | SentOrder       | decimal(15,4) |
|      | ArrivedQnt      | decimal(15,4) |

| Ключ | Назва поля   | Формат поля |
|------|--------------|-------------|
|      | CancelReason | Int         |
|      | Document No. | varchar(30) |

OrderID – унікальний номер рядка замовлення;

OrderCreateDate – дата замовлення;

Location Code - код складу (магазину) в ІТ-системі;

Supplier Code - код постачальника в ІТ- системі;

SKU Code - унікальний код товару в ІТ- системі;

OrderType – тип замовлення (1-замовлення, згенероване системою автоматично; 2-ручне замовлення);

OrderArriveDate – фактична дата та час приїзду машини;

ItInputDate – дата та час внесення до ІТ-системи;

InitialOrder – кількість замовлення, згенерована системою;

SentOrder – кількість замовлення, відправлена постачальнику;

ArrivedQnt – кількість товару, яка фактично приїхала;

CancelReason – причина невиконання замовлення;

Document No. – номер приходного документу.

#### 4. Прогноз

Таблиця Д.4.1

**Прогноз продажів Forecast\_<date>.csv**

| Ключ | Назва поля       | Формат поля   |
|------|------------------|---------------|
| •    | ForecastDate     | smalldatetime |
| •    | Date             | smalldatetime |
| •    | Location Code    | varchar(20)   |
| •    | SKU Code         | varchar(20)   |
|      | ForecastQuantity | decimal(15,4) |

ForecastDate – дата розрахунку прогнозу продажів;

Date – дата, на яку виконується прогноз продажів;

Location Code - код складу (магазину) в ІТ-системі;

SKU Code - унікальний код товару в ІТ- системі;

ForecastQuantity – кількість прогнозу продажів товару SKU Code на складі Location Code у дату Date

Таблиця Д.4.2

**Довідник параметрів прогнозу продажів ForecastParameters\_<date>.csv**

| Ключ | Назва поля    | Формат поля  |
|------|---------------|--------------|
| •    | ParameterNo   | varchar(50)  |
|      | ParameterName | varchar(500) |

ParameterNo – ідентифікатор параметру прогнозу

ParameterName – назва параметру прогнозу

Таблиця Д.4.3

**Параметри прогнозу продажів ForecastParametersHistory\_<date>.csv**

| Ключ | Назва поля    | Формат поля   |
|------|---------------|---------------|
| •    | ForecastDate  | smalldatetime |
| •    | Date          | smalldatetime |
| •    | Location Code | varchar(20)   |
| •    | SKU Code      | varchar(20)   |

| Ключ | Назва поля     | Формат поля |
|------|----------------|-------------|
|      | ParameterNo    | varchar(50) |
|      | ParameterValue | varchar(50) |

ForecastDate – дата розрахунку прогнозу продажів;

Date – дата, на яку виконується прогноз продажів;

Location Code - код складу (магазину) в ІТ-системі;

SKU Code - унікальний код товару в ІТ- системі;

ParameterNo – ідентифікатор параметру прогнозу

ParameterValue – значення параметру прогнозу

**Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про  
апробацію результатів дисертації**

**Статті у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових  
видань України з присвоєнням категорії «А»**

1. Yanovsky D.V., Graf M.S. Methods for analyzing the effectiveness of information systems for inventory management. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2024. No. 3. PP. 224-232. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-19>.

**Статті у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових  
видань України з присвоєнням категорії «Б»**

2. Яновський Д., Граф. М. Аналіз існуючих методів прогнозування попиту та способів оцінки їх якості. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2023. № 3. С. 70-77. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-3-9>.

3. Яновський Д.В. Оптимізація ланцюгів поставок: вирішення «ефекту батога» для замовлень постачальників. *Технічна інженерія*, 2023. №2(92). С. 146-151. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-146-151](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-146-151).

4. Яновський Д.В. Архітектура програмного забезпечення для аналізу ефективності систем управління запасами. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 2026. Том 37 (76) № 1 2026. С. 472-480. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.2/59>.

**Публікації у матеріалах наукових конференцій:**

5. Граф М. С., Яновський Д. В. Особливості обчислення похибки прогнозу споживання товарів в роздрібній торгівлі. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2023): Шістнадцята Міжнародна науково-практична конференція (23-24 травня 2023 р., м. Київ, Україна).* К.:

НАУ, 2023. С. 256-258. URL: <https://drive.google.com/file/d/1BLRLBRK-16IREQOSW6FPNWUx06zuapWu/view>.

6. Яновський Д. В., Граф М. С. Особливості застосування задачі розподілу в мережах магазинів. *Тези XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2023»*, (м. Житомир, 30-31 березня 2023 року). Житомир: «Житомирська політехніка», 2023. С. 18-19. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/povnyy-tekst.pdf>.

7. Яновський Д. В., Граф М. С. Фактори, що впливають на надлишкові товарні запаси в інформаційних системах управління запасами. *Тези сімнадцятої міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси" (ІРТК-2024)* (м. Київ, 21-22 травня 2024 року). Київ: "Національний авіаційний університет. 2024. С. 440. URL: [https://drive.google.com/file/d/1P1FuD\\_Q\\_kuugNbdQu\\_1-EO9OmmZ3eDmq/view](https://drive.google.com/file/d/1P1FuD_Q_kuugNbdQu_1-EO9OmmZ3eDmq/view).

8. Яновський Д.В. Оцінка факторів, що впливають на втрачені продажі в інформаційних системах управління запасами. *Тези чотирнадцятої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених "Сучасні інформаційні технології 2024"*, (16-17 травня 2024 року, м. Одеса.) присвяченої 60-річчю Інституту комп'ютерних систем/ МОН України; Національний університет «Одеська політехніка»; Ін-т комп'ют. систем. Одеса: Наука і техніка, 2024. С. 140-142. URL: [https://drive.google.com/file/d/1\\_rENZ6jNkZQAZ2jiE2SVUU2vRrhuC8sR/view](https://drive.google.com/file/d/1_rENZ6jNkZQAZ2jiE2SVUU2vRrhuC8sR/view).

9. Yanovsky D., Graf M., Kvasnikov V. Comparison of expert and algorithmic analysis of efficiency evaluation of inventory management systems. *Proceedings of the Workshops at the Fourth International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2025)* (20-22 June, 2025, Kyiv, Ukraine). Kyiv, Ukraine, June 20 - 22, 2025. Pp. 388-397. - URL: <https://ceur-ws.org/Vol-4024/>.

Відомості про апробацію результатів дисертації

Яновського Дмитра Валерійовича

«Методи та алгоритми управління запасами на основі багатофакторної  
оцінки відхилень від цільового стану»

121 Інженерія програмного забезпечення

### **Масові науково-практичні заходи міжнародного рівня**

1. XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2023» (Україна, м. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 30–31 березня 2023 р.). Форма участі – заочна, публікація тез доповіді на тему *«Особливості застосування задачі розподілу в мережах магазинів»* у збірнику матеріалів конференції.

2. XVI Міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (ІРТК-2023) (Україна, м. Київ, 23–24 травня 2023 р.). Форма участі – заочна, публікація тез доповіді на тему *«Особливості обчислення похибки прогнозу споживання товарів у роздрібній торгівлі»* у збірнику матеріалів конференції.

3. XIV Міжнародна наукова конференція студентів та молодих учених «Сучасні інформаційні технології 2024» (Україна, м. Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 16–17 травня 2024 р.). Форма участі – заочна, публікація тез доповіді на тему *«Оцінка факторів, що впливають на втрачені продажі в інформаційних системах управління запасами»* у збірнику матеріалів конференції.

4. XVII Міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (ІРТК-2024) (Україна, м. Київ: Національний авіаційний університет, 21–22 травня 2024 р.). Форма участі – заочна, публікація тез доповіді на тему *«Фактори, що впливають на надлишкові товарні запаси в інформаційних системах управління запасами»* у збірнику матеріалів конференції.

5. IV міжнародна конференція з «Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks» (CH&CMiGIN 2025) (Україна, м. Київ, 20–22 червня 2025 р.). Форма участі – заочна, публікація статті на тему «*Comparison of Expert and Algorithmic Analysis of Efficiency Evaluation of Inventory Management Systems*» у збірнику матеріалів конференції.

**Масові науково-практичні заходи регіонального рівня:**

1. Засідання міжкафедрального науково-методологічного семінару для молодих учених Державного університету «Житомирська політехніка» (Україна, м. Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка», 16 вересня 2026 р.). Форма участі – виступ з презентацією за результатами дисертаційного дослідження на тему: «Методи та алгоритми управління запасами на основі багатofакторної оцінки відхилень від цільового стану»

Довідки про впровадження результатів дисертації  
Яновського Дмитра Валерійовича  
«Методи та алгоритми управління запасами на основі багатофакторної  
оцінки відхилень від цільового стану»  
(СКАНОВАНІ КОПІЇ)



ТОВ «Омега»

юридична адреса: 49041, Україна, м. Дніпро, вул. Панікахи, 6,15

поштова адреса: 49055, Україна, м. Дніпро, пр. О. Поля, 104А, тел.: (056) 795-28-86

код ЄДРПОУ 30982361, П/р № UA 43 328209 0000026004000032259 ПАТ АБ «Південний», МФО 328209

ІПН 309823604614, свідоцтво № 200019141

**ДОВІДКА**  
**про впровадження результатів наукового дослідження**  
**ЯНОВСЬКОГО Дмитра Валерійовича**

Дана довідка підтверджує, що науково-практичні результати дисертаційних досліджень ЯНОВСЬКОГО Д.В. на тему «Методи та алгоритми управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану», були впроваджені в діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «ОМЕГА».

У межах впровадження застосовано розроблені автором методи, алгоритми та програмні засоби автоматизованої багатофакторної оцінки відхилень фактичного стану товарних запасів від цільового. Результати роботи програмних засобів використовуються під час аналізу проблемних товарних позицій та місць зберігання, визначення причин відхилення запасів від цільового стану і підготовки рішень щодо коригування параметрів управління запасами. Застосування розроблених засобів дозволило підвищити рівень деталізації аналітичної інформації та скоротити час встановлення причин виникнення відхилень.

Практична цінність полягає в автоматизації аналізу причин відхилень товарних запасів від цільового стану, скороченні часу на підготовку аналітичної інформації та підвищенні обґрунтованості управлінських рішень у сфері управління запасами.

Даний документ не є підставою для подальших взаємних фінансових розрахунків.

Директор з логістики



Ю.О.Поєнко



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «РУШ»

## ДОВІДКА

### про впровадження результатів наукового дослідження ЯНОВСЬКОГО Дмитра Валерійовича

Дана довідка підтверджує, що науково-практичні результати дисертаційних досліджень ЯНОВСЬКОГО Д.В. на тему «Методи та алгоритми управління запасами на основі багатофакторної оцінки відхилень від цільового стану», були впроваджені в діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «РУШ».

У межах впровадження використано розроблені автором методи, алгоритми та програмні засоби автоматизованої багатофакторної оцінки відхилень фактичного стану товарних запасів від цільового стану. Програмна реалізація забезпечує автоматизоване отримання операційних даних, їх обробку, виконання аналізу впливу факторів на появу втрачених продажів та надлишків та формування аналітичної інформації. Отримані результати мають практичну цінність, скорочують час на підготовку аналітичної інформації, та використовуються фахівцями підприємства як інформаційна основа для визначення проблемних товарів і місць зберігання, встановлення факторів, що найбільше впливають на показники управління запасами, та підготовки управлінських рішень.

Даний документ не є підставою для подальших взаємних фінансових розрахунків.

**Генеральний директор**



**Олексій Шищук**

Місцезнаходження:  
вул. Володимира Антоновича, 6, м. Дніпро, 49101  
ЄДРПОУ 37007740, ПІН 2538176456, Свідоцтво № 12345678900032 з реєстру платників ПДВ від 27.04.2015, IBAN UA403046150000026002604217600  
у ПАТ «Перший Український Міжнародний Банк», МФО 334851

Тел. (056)787-33-44  
Факс (056)787-33-42



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
 Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr Polytechnic State University

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005  
 103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005  
 Phone/Fax: (0412) 24-14-22, 24-14-23, e-mail: rector@zpu.edu.ua, https://zpu.edu.ua, код ЄДРПОУ 05407870  
 СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВІДПОВІДАЄ ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019  
 QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015 and ISO 21001:2019

Від 28.08.2026 № 44-01.00/4676  
 На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження**  
**на тему «Методи та алгоритми управління запасами на основі багатofакторної**  
**оцінки відхилень від цільового стану»**

**ЯНОВСЬКОГО ДМИТРА Валерійовича**

**на здобуття наукового ступеня доктора філософії**  
**за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення**  
**у галузі знань 12 Інформаційні технології**

Дана довідка підтверджує, що науково-теоретичні та практичні результати дисертаційного дослідження ЯНОВСЬКОГО Дмитра, які полягають у розробці моделі управління товарними запасами на основі багатofакторної оцінки відхилень від цільового стану; методів багатofакторної оцінки втрачених продажів та надлишкових товарних запасів, а також алгоритмів кількісної атрибуції для окремої комбінації «товар – місце зберігання – дата»; способу формалізації операційних факторів; підходу до визначення причинно-допустимих операційних подій шляхом одночасного врахування їх часової позиції відносно досліджуваного відхилення та напряму потенційного впливу; програмного забезпечення для автоматизованого визначення впливу причинно-допустимих операційних подій у формування втрачених продажів і надлишкових товарних запасів та підготовки аналітичної інформації для підтримки управлінських рішень використовуються в освітньому процесі факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Державного університету «Житомирська політехніка» при підготовці фахівців за спеціальністю F2 Інженерія програмного забезпечення, а саме викладанні освітньої компоненти «Методи дослідження операцій», «Системний аналіз та теорія прийняття рішень», «Теорія ймовірностей та математична статистика». Проведені експериментальні дослідження показали працездатність та ефективність запропонованих рішень.

Проректор з  
 науково-педагогічної роботи  
 та цифрової трансформації



Андрій МОРОЗОВ

Звіт подібності

StrikePlagiarism.com

Звіт не був оцінений

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

Яновський\_Д\_В\_без літератури\_та додатків

Автор

Дмитро Яновський

Науковий керівник / Експерт

Zhytomyr Polytechnic

ID документа

334532757

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

State University "Zhytomyr Polytechnic"

підрозділ

State University "Zhytomyr Polytechnic"

ЗВІТ

Дата звіту

2026-08-07

Дата редагування

---

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

5.43%

5.43%

КП 1

2.38%

2.38%

КП 2

25

Довжина фраз для коефіцієнта подібності 2

29720

Кількість слів

224461

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі відображаються ознаки МОЖЛИВИХ текстових маніпуляцій, які можуть впливати на результати аналізу подібності. Деякі зміни можуть бути непомітними під час читання документа, але впливати на результати перевірки. Оцініть, чи є такі зміни навмисними. У разі виникнення запитань зверніться до служби підтримки.

|                        |  |     |
|------------------------|--|-----|
| Заміна букв            |  | 5   |
| Інтервали              |  | 0   |
| Мікропробіли           |  | 124 |
| Білі знаки             |  | 11  |
| Парафрази (SmartMarks) |  | 85  |

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копію тексту

| # | НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ) | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---|------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026       | 132 0 (0.44 %)                         |

|                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                           |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика") |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                           |
| 2                                                          | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026<br>Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")                                                                                                                                                            | 80 0 (0.27 %)                             |
| 3                                                          | 2_3639_Yanovsky,Graf<br>5/27/2024<br>National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Редакція "Радіоелектроніка, інформатика, управління")                                                                                                                  | 76 0 (0.26 %)                             |
| 4                                                          | 2_3639_Yanovsky,Graf<br>5/27/2024<br>National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Редакція "Радіоелектроніка, інформатика, управління")                                                                                                                  | 65 0 (0.22 %)                             |
| 5                                                          | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026<br>Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")                                                                                                                                                            | 46 0 (0.15 %)                             |
| 6                                                          | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026<br>Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")                                                                                                                                                            | 45 0 (0.15 %)                             |
| 7                                                          | 2_3639_Yanovsky,Graf<br>5/27/2024<br>National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Редакція "Радіоелектроніка, інформатика, управління")                                                                                                                  | 38 0 (0.13 %)                             |
| 8                                                          | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026<br>Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")                                                                                                                                                            | 34 0 (0.11 %)                             |
| 9                                                          | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026<br>Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")                                                                                                                                                            | 32 0 (0.11 %)                             |
| 10                                                         | <a href="http://ir.library.nmu.com/bitstream/123456789/14996/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf">http://ir.library.nmu.com/bitstream/123456789/14996/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf</a> | 30 0 (0.1 %)                              |
| Домашня база даних (0.08 %)                                |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                           |
| #                                                          | ЗАГОЛОВОК                                                                                                                                                                                                                                                   | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ<br>(ФРАГМЕНТІВ) |
| 1                                                          | Оптимізація ланцюгів поставок вирішення «ефекту батога» для замовлень постачальників.pdf<br>11/6/2023<br>State University "Zhytomyr Polytechnic" (State University "Zhytomyr Polytechnic")                                                                  | 25 (1) (0.08 %)                           |
| Програма обміну базами даних (4.16 %)                      |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                           |
| #                                                          | ЗАГОЛОВОК                                                                                                                                                                                                                                                   | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ<br>(ФРАГМЕНТІВ) |
| 2                                                          | Яновський Д.В. стаття<br>1/14/2026<br>Publishing House "Helvetica" (Видавничий дім "Гельветика")                                                                                                                                                            | 791 (38) (2.66 %)                         |
| 3                                                          | 2_3639_Yanovsky,Graf<br>5/27/2024<br>National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Редакція "Радіоелектроніка, інформатика, управління")                                                                                                                  | 206 (5) (0.69 %)                          |
| 4                                                          | bitstream_200acb39-634d-4d45-80e0-9336f75dcd7<br>12/8/2024<br>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" students papers (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" students papers)                                 | 32 (3) (0.11 %)                           |



