

В. В. Ковтун

Національний університет «Одеська політехніка», Україна
пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044
Kovtun.v.v@op.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0003-4636-5099>

**МЕТОД АДАПТИВНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОВАРІВ НА ОСНОВІ
ПРОГНОЗОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ
РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ЗАПАСАМИ**

V. Kovtun

National University "Odesa Polytechnic", Odesa, Ukraine
Shevchenko av., 1, Odesa, 65044
Kovtun.v.v@op.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0003-4636-5099>

**A METHOD FOR ADAPTIVE CLASSIFICATION OF GOODS BASED ON
FORECASTED CHARACTERISTICS TO SUPPORT DECISION-MAKING
IN INVENTORY MANAGEMENT**

Анотація. У статті розглянуто проблему підвищення ефективності підтримки прийняття рішень в управлінні запасами в умовах невизначеного попиту, розширення номенклатури товарів та зростання динамічності ринкового середовища. Показано, що традиційні підходи до класифікації товарів, зокрема ABC-XYZ аналіз, ґрунтуються переважно на використанні історичних даних і не враховують можливі зміни характеристик товарних позицій у майбутніх періодах. Це обмежує можливості своєчасного реагування на зміни попиту та знижує ефективність управління запасами.

Метою дослідження є розробка методу адаптивної класифікації товарів на основі прогнозованих характеристик для підтримки прийняття рішень в управлінні запасами. Запропонований підхід поєднує багатofакторне представлення товарних позицій, прогнозування їх характеристик із використанням методів машинного навчання та механізм адаптивного перегляду належності товарних позицій до класів ABC-XYZ.

У роботі сформовано систему характеристик товарних позицій, яка включає показники економічної цінності, параметри попиту, характеристики доступності товарних запасів та логістичні показники. Особливістю запропонованого підходу є врахування факторів доступності товарів, що дозволяє уникати помилкової інтерпретації зниження продажів у випадках відсутності товарних запасів. На відміну від традиційних підходів, запропонований метод використовує прогнозовані значення характеристик товарів для визначення їх майбутнього стану та формування прогнозного класу товарної позиції.

Для оцінювання доцільності перегляду належності товарної позиції до відповідного класу запропоновано використовувати інтегральний показник зміни стану товару, який враховує прогнозовані зміни всіх характеристик та дозволяє зменшити вплив випадкових коливань показників. Перегляд класу виконується лише за умови наявності відмінностей між поточним і прогнозним класами та перевищення встановленого порогового значення інтегрального показника зміни стану товарної позиції. Запропонований підхід передбачає використання налаштовуваних порогів перегляду класу, що забезпечує його адаптацію до особливостей різних галузей, асортиментних політик та умов функціонування підприємств.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці методу адаптивної класифікації товарів, який забезпечує автоматичний перегляд належності товарних позицій до класів ABC-XYZ на основі прогнозованих характеристик товарів та інтегральної оцінки змін їхнього стану. Практичне значення запропонованого підходу полягає у підвищенні обґрунтованості управлінських рішень щодо контролю, моніторингу та поповнення запасів, а також у формуванні передумов для переходу від реактивного до проактивного управління запасами в умовах невизначеного попиту.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень; машинне навчання; адаптивна класифікація товарів; прогнозування характеристик товарних позицій; управління запасами; ABC-XYZ аналіз.

Abstract. The article addresses the problem of improving decision support in inventory management under conditions of demand uncertainty, expanding product assortments, and increasing market dynamics. It is shown that traditional product classification approaches, particularly ABC-XYZ analysis, are primarily based on historical data and do not account for potential changes in product characteristics in future periods. This limits the ability to respond promptly to demand fluctuations and reduces the effectiveness of inventory management.

The purpose of this study is to develop a method for adaptive product classification based on forecasted product characteristics to support inventory management decision-making. The proposed approach combines a multi-factor representation of product items, forecasting of their characteristics using machine learning methods, and a mechanism for adaptive review of product assignment to ABC-XYZ classes.

The study develops a system of product characteristics that includes indicators of economic value, demand parameters, inventory availability indicators, and logistics-related characteristics. A distinctive feature of the proposed approach is the consideration of inventory availability factors, which helps avoid misinterpretation of declining sales caused by stockouts rather than by a decrease in actual demand. Unlike traditional approaches, the proposed method uses forecasted product characteristics to determine the future state of a product item and to form its forecast class.

To evaluate the necessity of reviewing a product's class assignment, an integrated indicator of product state change is proposed. This indicator incorporates forecasted changes in all product characteristics and reduces the influence of random fluctuations in individual indicators. Class review is performed only when differences exist between the current and forecast classes and when the integrated indicator exceeds a predefined threshold. The proposed approach employs configurable class-review thresholds, enabling adaptation to different industries, assortment policies, and operating conditions of enterprises.

The scientific novelty of the study lies in the development of a method for adaptive product classification that provides automatic review of product assignment to ABC-XYZ classes based on forecasted product characteristics and an integrated assessment of changes in product state. The practical significance of the proposed approach lies in improving the validity of managerial decisions related to inventory control, monitoring, and replenishment, as well as creating the prerequisites for the transition from reactive to proactive inventory management under demand uncertainty.

Keywords: decision support; machine learning; adaptive product classification; forecasting of product item characteristics; inventory management; ABC-XYZ analysis.

Вступ

Управління запасами є одним із ключових напрямів забезпечення ефективності діяльності сучасних підприємств. Від якості прийнятих рішень щодо формування, контролю та поповнення запасів залежать рівень обслуговування споживачів, оборотність капіталу, витрати на зберігання продукції та загальна результативність логістичних процесів. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах нестабільного попиту, розширення номенклатури товарів та підвищення динамічності ринкового середовища.

Одним із найбільш поширених інструментів підтримки прийняття рішень в управлінні запасами є класифікація товарів на основі методів ABC-XYZ аналізу. Використання таких підходів дозволяє визначати пріоритетність контролю товарних позицій, формувати диференційовані стратегії управління запасами та підвищувати ефективність логістичних процесів. Водночас сучасні умови функціонування підприємств потребують переходу від статичних підходів до більш гнучких механізмів аналізу, здатних враховувати зміни характеристик товарних позицій у часі.

Стрімкий розвиток технологій аналізу даних, прогнозування та машинного навчання створює нові можливості для

вдосконалення процесів управління запасами. Використання прогностичної аналітики дозволяє не лише оцінювати поточний стан товарних позицій, а й враховувати очікувані зміни їх характеристик під час формування управлінських рішень. У зв'язку з цим, актуальним науковим завданням є розробка підходів до класифікації товарів, які поєднують прогнозування їх характеристик із механізмами адаптації до змін умов функціонування підприємства.

Постановка проблеми

Сучасні підприємства функціонують в умовах високої невизначеності попиту, скорочення життєвих циклів продукції, частих змін споживчих переваг та зростання складності логістичних процесів. За таких умов ефективність управління запасами дедалі більше залежить від здатності підприємства своєчасно виявляти зміни характеристик товарних позицій та адаптувати до них управлінські рішення.

Одним із базових інструментів підтримки прийняття рішень у сфері управління запасами залишається класифікація товарних позицій. Найбільш поширеним підходом є використання ABC-XYZ аналізу, який дозволяє оцінювати економічну значущість товарних позицій та стабільність попиту. Результати такої

класифікації використовуються для визначення пріоритетів контролю, вибору стратегій поповнення запасів та розподілу управлінських ресурсів.

Разом із тим традиційні методи класифікації мають суттєве обмеження - вони ґрунтуються на історичних даних та фактично відображають минулий або поточний стан товарних позицій. У реальних умовах характеристики товарів можуть змінюватися під впливом сезонності, маркетингових кампаній, змін поведінки споживачів, порушень ланцюгів постачання, дій конкурентів та інших зовнішніх факторів. Унаслідок цього результати класифікації поступово втрачають актуальність, а сформовані на їх основі управлінські рішення можуть перестати відповідати фактичним умовам функціонування підприємства.

Особливо гостро зазначена проблема проявляється для товарних позицій із тривалими термінами постачання. Якщо очікується суттєве зростання попиту, підприємство повинно мати достатній часовий резерв для коригування обсягів закупівель та поповнення запасів. У разі використання лише ретроспективної інформації такі зміни можуть бути виявлені із запізненням, що призводить до дефіциту товарів, втрати продажів та погіршення рівня обслуговування споживачів. Аналогічно зниження попиту може спричинити накопичення надлишкових запасів та збільшення витрат на їх утримання.

Ситуація ускладнюється тим, що на характеристики товарних позицій одночасно впливає значна кількість факторів. Окрім обсягів продажів та виручки, важливе значення мають показники сезонності, стабільності попиту, чутливості до маркетингових активностей, рівня запасів, тривалості відсутності товару на складі, термінів постачання та забезпеченості запасами. Використання обмеженого набору критеріїв не дозволяє повною мірою відобразити реальний стан товарної позиції та її перспективи у майбутніх періодах.

Розвиток методів машинного навчання створює нові можливості для

аналізу багатофакторних залежностей та прогнозування характеристик товарів. На відміну від традиційних статистичних підходів, моделі машинного навчання здатні враховувати складні нелінійні взаємозв'язки між показниками та забезпечувати прогнозування майбутнього стану товарних позицій. Це відкриває перспективи використання прогнозованих характеристик не лише для прогнозування попиту, а й для перегляду результатів класифікації товарів.

Таким чином, існуючі підходи до класифікації товарів не забезпечують врахування прогнозованих змін характеристик товарних позицій під час формування результатів класифікації та прийняття управлінських рішень. Незважаючи на розвиток методів багатокритеріальної класифікації, прогнозування попиту та застосування машинного навчання в управлінні запасами, недостатньо дослідженими залишаються підходи, які поєднують прогнозування характеристик товарних позицій із механізмом адаптивного перегляду їх належності до класів ABC-XYZ.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методу адаптивної класифікації товарів, який поєднуватиме багатофакторне представлення товарних позицій, прогнозування їх характеристик та механізм адаптивного перегляду належності до класів ABC-XYZ. Такий підхід дозволить враховувати очікувані зміни характеристик товарів, своєчасно переглядати їх належність до відповідних класів і підвищувати ефективність підтримки прийняття рішень в управлінні запасами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективне управління запасами є одним із ключових факторів забезпечення конкурентоспроможності сучасних підприємств. В умовах зростання невизначеності попиту, розширення асортименту продукції, скорочення життєвих циклів товарів та ускладнення логістичних процесів особливого значення

набуває своєчасне прийняття рішень щодо формування та контролю запасів. Одним із найбільш поширених інструментів підтримки таких рішень є класифікація асортименту товарів, яка дозволяє диференціювати товарні позиції за рівнем їх важливості та визначати відповідні стратегії управління запасами.

Традиційно для вирішення зазначених завдань використовуються методи ABC та XYZ аналізу. Вони дозволяють класифікувати товари за економічною значущістю та стабільністю попиту відповідно. У роботах Шендерівської та Варварової [1], а також Бочарової [2] показано ефективність використання ABC-XYZ аналізу для підтримки прийняття рішень щодо управління запасами підприємств. Разом із тим автори відзначають, що результати класифікації формуються переважно на основі історичних даних та не враховують можливі зміни характеристик товарів у майбутньому.

Подальший розвиток методів класифікації пов'язаний із переходом від одно- та двокритеріальних моделей до багатокритеріальних підходів. У систематичному огляді Heger та Klein [3] наголошується, що сучасні задачі управління товарами потребують врахування значно ширшого набору характеристик товарів, ніж це передбачено класичними моделями ABC-XYZ. До таких характеристик належать фінансові показники, параметри попиту, логістичні характеристики та показники ефективності управління запасами.

Подібний підхід реалізовано у роботі Wang та Ning [4], де запропоновано багатокритеріальну модель класифікації запасів з урахуванням стабільності попиту. Отримані результати підтверджують, що використання декількох критеріїв дозволяє підвищити якість класифікації порівняно з традиційними методами. У роботі Qaffas, Crone та Aljameel [5] для багатокритеріальної класифікації запасів запропоновано використовувати підходи Explainable Artificial Intelligence, що дозволяє не лише підвищити точність

класифікації, а й забезпечити інтерпретацію отриманих результатів.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із підвищенням динамічності процесів класифікації. У роботі Kmieciak [6] запропоновано концепцію Dynamic ABC Analysis, яка передбачає регулярне оновлення результатів класифікації залежно від зміни характеристик товарів. Автор зазначає, що використання статичних результатів класифікації в умовах нестабільного ринку поступово призводить до втрати їх актуальності та зниження ефективності управлінських рішень.

Паралельно з розвитком методів класифікації активно розвивається напрям використання машинного навчання у логістиці та управлінні запасами. У систематичному огляді Babaї та ін. [7] проаналізовано сучасні підходи до застосування машинного навчання в управлінні ланцюгами постачання. Автори відзначають суттєве зростання кількості досліджень, присвячених прогнозуванню попиту, плануванню запасів та підтримці прийняття рішень.

Подібні висновки наведено у роботі Bergsma та ін. [8], де розглянуто сучасні підходи до використання машинного навчання для оптимізації управління запасами. Автори наголошують на високій ефективності моделей машинного навчання при роботі зі складними багатофакторними залежностями, характерними для сучасних логістичних систем.

Особливе місце у зазначених дослідженнях займають задачі прогнозування попиту. У роботах Douaioui та ін. [9], а також Khedr та ін. [10] виконано детальний аналіз сучасних моделей машинного та глибокого навчання для прогнозування попиту в ланцюгах постачання. Автори показують, що такі моделі дозволяють враховувати сезонність, маркетингові активності, поведінкові особливості споживачів та інші фактори, які суттєво впливають на характеристики товарних позицій.

Практичні аспекти застосування машинного навчання в логістиці досліджуються у роботах Чебанової та

Волохова [11], а також Молчанова [12]. Автори розглядають можливості використання алгоритмів машинного навчання для аналізу логістичних даних,

прогнозування попиту та підтримки прийняття рішень щодо управління запасами.



Рис. 1. Еволюція підходів до класифікації товарів в системах управління запасами

Важливим елементом побудови ефективних моделей машинного навчання є формування системи ознак та забезпечення інтерпретованості результатів. У роботах Kuhn та Silge [13], Raschka та ін. [14], Géron [15] детально розглянуто сучасні підходи до формування наборів ознак, відбору найбільш інформативних характеристик та побудови моделей для аналізу табличних даних. Питання інтерпретованості моделей машинного навчання висвітлено у роботі Molnar [16], де наголошується на необхідності забезпечення прозорості результатів для підтримки управлінських рішень.

Окремої уваги заслуговують дослідження у сфері підтримки прийняття рішень. У роботі Lepenioti та ін. [17]

розглянуто концепцію Prescriptive Analytics, яка передбачає інтеграцію результатів аналізу та прогнозування із механізмами формування управлінських рекомендацій. Автори підкреслюють, що сучасні системи підтримки прийняття рішень повинні не лише прогнозувати майбутні події, а й забезпечувати своєчасне реагування на очікувані зміни.

Аналіз розглянутих досліджень свідчить про формування двох взаємопов'язаних напрямів розвитку систем управління запасами. Перший напрям орієнтований на вдосконалення методів класифікації товарів та розширення набору критеріїв оцінювання товарних позицій. Другий напрям пов'язаний із використанням методів машинного

навчання для прогнозування характеристик товарів та підтримки прийняття управлінських рішень. Водночас результати прогнозування здебільшого використовуються для визначення параметрів поповнення запасів або прогнозування попиту і практично не

застосовуються для автоматичного перегляду належності товарів до класів ABC-XYZ.

Для узагальнення результатів аналізу в таблиці 1 наведено порівняльну характеристику сучасних підходів до класифікації товарів.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика підходів до класифікації товарів

Підхід	Багато-критеріальність	Прогнозування	Динамічність	Адаптивний перегляд класу
ABC	–	–	–	–
ABC-XYZ	±	–	–	–
Багатокритеріальна класифікація	+	–	–	–
Dynamic ABC	+	–	+	±
ML-моделі прогнозування	+	+	–	–
Запропонований підхід	+	+	+	+

Проведений аналіз показав, що сучасні дослідження забезпечують ефективне вирішення окремих завдань класифікації товарів або прогнозування характеристик товарів. Проте питання інтеграції багатокритеріальної класифікації та прогнозування характеристик товарних позицій у межах єдиного механізму адаптивної перекласифікації залишаються недостатньо дослідженими. Зокрема, у відомих роботах практично відсутні підходи, які б використовували прогнозовані характеристики товарів для автоматичного перегляду їх належності до класів ABC-XYZ з метою підтримки прийняття рішень в управлінні запасами.

Таким чином, актуальним науковим завданням є розробка методу адаптивної класифікації товарів на основі прогнозованих характеристик, який забезпечуватиме своєчасний перегляд належності товарних позицій до класів ABC-XYZ та підвищення ефективності управління запасами в умовах динамічного ринкового середовища.

Проведений аналіз наукових публікацій показав, що існуючі дослідження охоплюють широкий спектр питань, пов'язаних із класифікацією товарів, прогнозуванням попиту та використанням методів машинного навчання в управлінні запасами. Значна частина робіт спрямована на вдосконалення

методів ABC-XYZ класифікації шляхом розширення набору критеріїв оцінювання товарних позицій або впровадження багатокритеріальних підходів. Інший напрям досліджень зосереджений на застосуванні моделей машинного навчання для прогнозування попиту та оптимізації параметрів управління запасами.

Водночас результати проведеного аналізу свідчать, що більшість існуючих підходів розглядає задачі класифікації товарів та прогнозування характеристик товарів як окремі напрями досліджень. У відомих роботах класифікація переважно виконується на основі історичних даних, тоді як прогнозні моделі використовуються головним чином для оцінювання майбутнього попиту або визначення параметрів поповнення запасів.

Недостатньо дослідженими залишаються питання інтеграції багатокритеріальної класифікації товарів та прогнозування характеристик товарних позицій у межах єдиного механізму адаптивної перекласифікації. Зокрема, у науковій літературі практично відсутні підходи, які б забезпечували автоматичний перегляд належності товарів до класів ABC-XYZ на основі прогнозованих характеристик з урахуванням економічної цінності товарів, особливостей попиту, доступності товарних запасів та логістичних параметрів.

Крім того, недостатньо уваги приділено використанню налаштовуваних порогів перекласифікації, які дозволяють адаптувати механізм прийняття рішень до особливостей різних галузей, асортиментних політик та умов функціонування підприємств.

Таким чином, існує потреба у розробці методу адаптивної класифікації товарів, який поєднує багатофакторне представлення товарних позицій, прогнозування їх характеристик та механізм автоматичної перекласифікації для підтримки прийняття рішень в управлінні запасами.

Мета дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності підтримки прийняття рішень в управлінні запасами шляхом розробки методу адаптивної класифікації товарів на основі прогнозованих характеристик, який поєднує багатофакторне представлення товарних позицій, прогнозування їх характеристик засобами машинного навчання та механізм адаптивного перегляду належності до класів ABC–XYZ відповідно до очікуваних змін їх стану.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасні умови функціонування підприємств характеризуються високою динамічністю попиту, скороченням життєвих циклів товарів, зростанням асортиментної різноманітності та підвищенням вимог до рівня обслуговування споживачів. За таких умов ефективність управління запасами значною мірою залежить від здатності підприємства своєчасно виявляти зміни характеристик товарних позицій та адаптувати до них управлінські рішення.

Традиційний ABC-XYZ аналіз дозволяє визначити належність товарних позицій до відповідних класів на основі їх економічної значущості та параметрів попиту. Однак результати такої класифікації відображають лише поточний або минулий стан товарів. Унаслідок змін ринкового середовища характеристики товарних

позицій можуть суттєво змінюватися протягом часу, що призводить до поступової втрати актуальності сформованої класифікації.

Наприклад, товарна позиція може належати до класу ВУ через середній обсяг продажів та помірну варіативність попиту. Водночас під впливом сезонного фактора або маркетингової кампанії попит може суттєво зрости, що фактично переводить товар до категорії АХ. Якщо система управління запасами продовжує використовувати результати попередньої класифікації, підприємство ризикує зіткнутися з дефіцитом товарів, втратою продажів та погіршенням рівня обслуговування споживачів.

Проблема особливо загострюється для товарів із тривалими термінами постачання. У таких випадках підприємство повинно отримувати інформацію про можливі зміни заздалегідь, оскільки після фактичного виникнення дефіциту часу для реагування може бути недостатньо. Це обумовлює необхідність переходу від ретроспективної класифікації до прогнозно-орієнтованого підходу, в якому рішення приймаються з урахуванням прогнозованого стану товарних позицій.

Для вирішення зазначеної проблеми запропоновано метод адаптивної класифікації товарів, який поєднує багатофакторне представлення товарних позицій, прогнозування їх характеристик за допомогою методів машинного навчання та механізм автоматичної перекласифікації між класами ABC-XYZ.

Загальну логіку запропонованого підходу наведено на рис. 2.

На відміну від класичних підходів, запропонований метод використовує не лише показники продажів або виручки, а комплекс характеристик, які описують економічні, попитові, логістичні та операційні аспекти функціонування товарної позиції.

Система характеристик товарних позицій наведена в таблиці 2.



Рис. 2. Концептуальна схема методу адаптивної класифікації товарів на основі прогнозованих характеристик

Таблиця 2. Система характеристик товарних позицій

Група характеристик	Показник	Призначення
Економічна цінність	Revenue	Оцінювання фінансової значущості товару
Економічна цінність	Margin Profit	Врахування прибутковості товарної позиції
Попит	Demand	Інтенсивність попиту
Попит	Seasonality	Характер сезонних коливань
Попит	Promotion Sensitivity	Чутливість до маркетингових активностей
Доступність	Stock Level	Поточний рівень запасів
Доступність	Days Out of Stock (DOOS)	Тривалість відсутності товару
Логістика	Lead Time	Тривалість постачання
Логістика	Days of Supply (DOS)	Забезпеченість поточним запасом

Використання показників Revenue та Margin Profit дозволяє враховувати не лише обсяг реалізації, але й фактичний внесок товарної позиції у фінансовий результат підприємства. Це особливо важливо для товарів, які за однакової виручки можуть суттєво відрізнитися за рівнем прибутковості.

Група характеристик попиту дозволяє враховувати не лише фактичний рівень продажів, але й особливості поведінки попиту. Показник сезонності відображає циклічні зміни споживання товарів, тоді як

показник чутливості до маркетингових активностей характеризує реакцію попиту на проведення акцій та рекламних кампаній.

Окрему увагу приділено характеристикам доступності товарних позицій. У традиційних підходах відсутність продажів часто інтерпретується як зниження попиту. Проте на практиці причиною такого явища може бути відсутність товару на складі. У цьому випадку продажі не відображають реальну потребу споживачів, що може призвести до

помилкової перекласифікації товарної позиції.

Приклад такої ситуації наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Приклад впливу дефіциту товару на результати класифікації

Тиждень	Потенційний попит	Продажі	Stock Level
1	120	120	150
2	130	130	100
3	140	0	0
4	150	0	0

Наведений приклад демонструє, що відсутність продажів не завжди означає відсутність попиту. Навпаки, потенційний попит продовжує зростати, однак його реалізація стає неможливою через відсутність товарних запасів. Саме тому до

запропонованої системи характеристик включено показники Stock Level та Days Out of Stock.

Для використання методами машинного навчання кожна товарна позиція подається у вигляді вектора характеристик:

$$F_i = (Revenue_i, Margin_i, Demand_i, Seasonality_i, Promotion_i, StockLevel_i, DOOS_i, LeadTime_i, DOS_i),$$

де:

- (F_i) - вектор характеристик (i) -го товару;
- $Revenue_i$ - виручка від реалізації товару;
- $Margin_i$ - маржинальний прибуток;
- $Demand_i$ - інтенсивність попиту;
- $Seasonality_i$ - показник сезонності;
- $Promotion_i$ - чутливість до маркетингових активностей;
- $StockLevel_i$ - поточний рівень запасів;
- $DOOS_i$ (Days Out of Stock) - тривалість відсутності товару на складі;
- $LeadTime_i$ - час постачання;
- DOS_i (Days of Supply) - забезпеченість поточним запасом.

Наступним етапом запропонованого методу є прогнозування характеристик товарних позицій. На відміну від більшості існуючих підходів, де прогнозуванню підлягає лише попит, у роботі пропонується прогнозувати весь вектор характеристик товарної позиції. Це дозволяє враховувати не лише майбутню інтенсивність продажів, але й можливі зміни прибутковості, рівня запасів, забезпеченості товаром та інших характеристик, що впливають на процес управління запасами.

Прогнозований вектор характеристик товарної позиції визначається за допомогою моделі машинного навчання:

$$\widehat{F}_{t+h} = ML(F_t),$$

де:

- F_t - поточний вектор характеристик товарної позиції;
- \widehat{F}_{t+h} - прогнозований вектор характеристик товарної позиції;
- $ML(\cdot)$ - модель машинного навчання;
- h - горизонт прогнозування.

У межах дослідження пропонується використовувати горизонт прогнозування тривалістю вісім тижнів. Такий період забезпечує достатній часовий резерв для прийняття рішень щодо поповнення запасів, особливо для товарних позицій із тривалими термінами постачання.

При цьому перегляд класифікації виконується один раз на місяць. Таке співвідношення горизонту прогнозування та періодичності перегляду дозволяє підтримувати актуальність результатів класифікації та водночас забезпечує можливість завчасного реагування на прогнозовані зміни.

Після отримання прогнозованого вектора характеристик формується прогнозний клас товарної позиції:

$$Class_{t+h} = g(\widehat{F}_{t+h})$$

де:

- $Class_{t+h}$ - прогнозний клас товарної позиції на горизонт прогнозування h ;

- F_{t+h} - прогнозований вектор характеристик товарної позиції;

- $g(\cdot)$ - процедура формування класу товарної позиції відповідно до обраного методу класифікації.

Процедура формування класів виконується відповідно до правил та порогових значень, визначених політикою підприємства або особливостями предметної області. Запропонований метод не обмежує спосіб формування класів та може використовуватися з різними варіантами реалізації ABC-XYZ класифікації.

Отриманий прогнозний клас порівнюється з поточним класом товарної позиції. Проте сама відмінність між поточним та прогнозним класом не є достатньою підставою для перекласифікації. Незначні коливання характеристик можуть спричинити часті переходи між суміжними класами, що знижує стабільність системи управління запасами та збільшує кількість необґрунтованих управлінських рішень.

Для оцінювання суттєвості прогнозованих змін пропонується використовувати інтегральний показник зміни стану товарної позиції. Для кожної характеристики визначається нормована величина зміни:

$$\Delta x_i = \frac{|x_i - \hat{x}_i|}{x_i},$$

де:

- x_i - поточне значення i -ї характеристики;
- \hat{x}_i - прогнозоване значення i -ї характеристики;
- Δx_i - відносна зміна i -ї характеристики.

Інтегральний показник зміни товарної позиції розраховується як:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^n w_i \Delta x_i$$

де:

- ΔF - інтегральний показник зміни стану товарної позиції;
- w_i - ваговий коефіцієнт i -ї характеристики товарної позиції;

- Δx_i - відносна зміна i -ї характеристики товарної позиції;

- n - кількість характеристик, що входять до вектора характеристик товарної позиції.

Значення інтегрального показника ΔF характеризує сукупний рівень зміни стану товарної позиції з урахуванням усіх прогнозованих характеристик. Чим більшим є значення ΔF , тим суттєвішими є очікувані зміни характеристик товару та вищою є доцільність перегляду його належності до відповідного класу.

Для забезпечення коректності розрахунків вагові коефіцієнти нормуються:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

де:

- w_i - ваговий коефіцієнт i -ї характеристики товарної позиції;
- n - кількість характеристик, що входять до вектора характеристик товарної позиції.

Умова нормування забезпечує інтерпретацію вагових коефіцієнтів як відносної важливості окремих характеристик товарної позиції та дозволяє уникнути викривлення інтегральної оцінки внаслідок використання різних масштабів ваг. Вагові коефіцієнти можуть визначатися експертним шляхом відповідно до особливостей предметної області або автоматично на основі оцінки важливості ознак, отриманої під час навчання моделей машинного навчання.

Логіку адаптивної перекласифікації наведено на рис. 3.

Адаптивний перегляд класу товарної позиції виконується лише за одночасного виконання двох умов:

$$Class_t \neq Class_{(t+h)} \\ \text{та} \\ \Delta F > \theta$$

де:

- $Class_t$ - поточний клас товарної позиції;

- $Class_{(t+h)}$ - прогнозний клас товарної позиції на горизонт прогнозування h ;
- ΔF - інтегральний показник зміни стану товарної позиції;

- θ - порогове значення інтегрального показника зміни стану товарної позиції, при перевищенні якого перегляд класу вважається доцільним.



Рис. 3. Механізм адаптивного перегляду належності товарної позиції до класів ABC-XYZ

Використання другої умови дозволяє зменшити вплив випадкових коливань характеристик товарної позиції та запобігти необгрунтованим переходам між класами.

Особливістю запропонованого підходу є використання налаштовуваних порогів адаптивного перегляду класу. Необхідність такого рішення пояснюється тим, що одна й та сама зміна характеристик може мати різний вплив на різні види бізнесу. Наприклад, для підприємств із короткими термінами постачання зміна попиту на 10-15 % може не створювати суттєвих ризиків. Водночас для компаній, що працюють з імпортною продукцією або мають тривалий цикл постачання, аналогічна зміна може вимагати негайного коригування планів закупівель та перегляду рівня контролю запасів.

Таким чином, метод передбачає використання налаштовуваних порогів адаптивного перегляду класу, що дозволяє адаптувати систему до особливостей різних

галузей, асортиментних політик та умов функціонування підприємств.

Результатом роботи запропонованого методу є оновлена належність товарних позицій до класів ABC-XYZ, яка використовується для підтримки прийняття рішень в управлінні запасами. Належність товарної позиції до відповідного класу визначає рівень контролю та пріоритетність моніторингу, що визначає доцільність коригування управлінських дій щодо формування і поповнення запасів.

Запропонований метод забезпечує інтеграцію прогнозування характеристик товарних позицій, адаптивного перегляду їх належності до класів ABC-XYZ та підтримки прийняття рішень у межах єдиної системи управління запасами. Використання прогнозованих характеристик дозволяє своєчасно виявляти зміни у стані та поведінці товарних позицій, завчасно переглядати їх належність до класів ABC-XYZ і підвищувати обгрунтованість управлінських рішень

щодо контролю, моніторингу та поповнення запасів в умовах невизначеного попиту.

Таблиця 4. Використання результатів адаптивної класифікації в управлінні запасами

Клас	Рівень контролю	Пріоритет управління
AX	Максимальний	Безперервний моніторинг
AU	Високий	Регулярний контроль
AZ	Високий	Контроль ризику дефіциту
BX	Середній	Плановий контроль
BV	Середній	Періодичний аналіз
BZ	Середній	Контроль коливань попиту
CX	Низький	Спрощений контроль
CV	Низький	Контроль за потребою
CZ	Мінімальний	Епізодичний контроль

Висновки

У статті досліджено проблему підвищення ефективності підтримки прийняття рішень в управлінні запасами в умовах нестабільного попиту та динамічного ринкового середовища. Проведений аналіз показав, що традиційні підходи до класифікації товарів, зокрема ABC-XYZ аналіз, ґрунтуються переважно на використанні історичних даних та не враховують можливі зміни характеристик товарних позицій у майбутніх періодах, що обмежує можливості своєчасного реагування на зміни попиту та умов функціонування підприємства.

У результаті дослідження запропоновано метод адаптивної класифікації товарів, який поєднує багатофакторне представлення товарних позицій, прогнозування їх характеристик за допомогою методів машинного навчання та механізм адаптивного перегляду належності товарних позицій до класів ABC-XYZ. На відміну від існуючих підходів, запропонований метод використовує для формування класу не лише поточні, а й прогнозовані характеристики товарів, що дозволяє враховувати очікувані зміни їхнього стану під час прийняття управлінських рішень.

Сформовано систему характеристик товарних позицій, яка включає показники економічної цінності, параметри попиту, характеристики доступності товарів та логістичні показники. Особливістю запропонованого підходу є врахування

факторів доступності товарних запасів, що дозволяє уникати помилкової інтерпретації зниження продажів у випадках відсутності товарів на складі.

Розроблено механізм адаптивного перегляду належності товарних позицій до класів ABC-XYZ на основі порівняння поточного та прогнозного класів. Для оцінювання доцільності перегляду запропоновано використовувати інтегральний показник зміни стану товарної позиції, який враховує прогнозовані зміни всіх характеристик товару та дозволяє зменшити вплив випадкових коливань показників на результати класифікації.

Практичне значення запропонованого методу полягає у можливості своєчасного виявлення змін характеристик товарних позицій, підвищенні обґрунтованості управлінських рішень щодо контролю та поповнення запасів, а також формуванні передумов для переходу від реактивного до проактивного управління запасами.

Перспективами подальших досліджень є розробка моделей прогнозування характеристик товарних позицій, визначення оптимальних вагових коефіцієнтів інтегрального показника зміни стану товару, а також експериментальна оцінка ефективності запропонованого методу на реальних наборах даних.

Література

1. Шендерівська Л.П., Варварова А.К. ABC-XYZ аналіз в системі управління запасами

підприємства. Підприємництво і торгівля. 2024. № 41. С. 126–136.

DOI: 10.32782/2522-1256-2024-41-16.

2. Бочарова Н.А. Удосконалення логістичного управління запасами підприємства на основі ABC та XYZ аналізу. Проблеми економіки транспорту. 2022. DOI: 10.15802/rtem2022/277666.

3. Heger J., Klein R. Assortment optimization: a systematic literature review. *OR Spectrum*. 2024. Vol. 46. P. 1099–1161. DOI: 10.1007/s00291-024-00752-4.

4. Wang C., Ning G. Multi-criteria inventory classification considering demand stability. *Scientific Reports*. 2026. DOI: 10.1038/s41598-026-42590-0.

5. Qaffas A.A., Crone S., Aljameel S. An Explainable Artificial Intelligence Approach for Multi-Criteria ABC Inventory Classification. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 2023. Vol. 18(2). P. 1045–1065.

DOI: 10.3390/jtaer18020044.

6. Kmiecik M. Dynamic ABC Analysis for Assortment Management in 3PL. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*. 2023. Vol. 189. P. 317–331.

7. Babai M.Z., Arampatzis M., Hasni M., Lolli F., Tsadiras A. On the use of machine learning in supply chain management: a systematic review. *IMA Journal of Management Mathematics*. 2025. Vol. 36(1). P. 21–49. DOI: 10.1093/imaman/dpae029.

8. Bergsma R., de Ruijt C., Bhulai S. A systematic review of machine learning approaches in inventory control optimization. *Operations Research Perspectives*. 2025. Vol. 15. Article 100367.

DOI: 10.1016/j.orp.2025.100367.

9. Douaioui K., Oucheikh R., Benmoussa O., Mabrouki C. Machine Learning and Deep Learning Models for Demand Forecasting in Supply Chain Management: A Critical Review. *Applied System Innovation*. 2024. Vol. 7(5). Article 93.

DOI: 10.3390/asi7050093.

10. Khedr A.M., Sheeja R.S. et al. Enhancing Supply Chain Management with Deep Learning and Machine Learning Techniques: A Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2024. Article 100379. DOI: 10.1016/j.joitmc.2024.100379.

11. Чебанова О.П., Волохов В.А. Використання технологій машинного навчання для оптимізації логістики. *Вісник економіки транспорту та промисловості*. 2023. № 83. С. 278–283.

DOI: 10.18664/btie.83.300406.

12. Молчанов Б.О. Використання машинного навчання у системах управління запасами і складом. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2024. № 341(5).

DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-50.

13. Kuhn M., Silge J. *Tidy Modeling with R*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022.

14. Raschka S., Liu Y., Mirjalili V. *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn*. Birmingham: Packt Publishing, 2022.

15. Géron A. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. 3rd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022.

16. Molnar C. *Interpretable Machine Learning*. 2nd ed. 2025.

17. Lepenioti K., Bousdekis A., Apostolou D., Mentzas G. Prescriptive Analytics: Literature Review and Research Challenges. *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 50. P. 57–70. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.003.

18. Іваненко Л.М., Смерічевська С.В., Іваненко В.І. Інтегральний підхід до логістики постачання, виробництва та дистрибуції на основі формалізації логістичних бізнес-процесів. *БізнесІнформ*. 2024. № 4. С. 315–325.

DOI: 10.32983/2222-4459-2024-4-315-325.

19. Скаско О.І., Кут Д.М. Застосування нових систем управління запасами на підприємствах в умовах ринкової нестабільності та військового конфлікту. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2024. № 76.

DOI: 10.32782/2522-1205-2024-76-14.

20. Іпполітова І., Білоцерківський О., Гудименко В. Вплив логістичних процесів на ефективність управління запасами підприємства. *Економіка та суспільство*. 2024. № 65.

DOI: 10.32782/2524-0072/2024-65-9.

References

1. Shenderivska, L.P., & Varvarova, A.K. ABC-XYZ Analysis in an Enterprise's Inventory Management System. *Entrepreneurship and Trade*. 2024. No. 41. pp. 126–136.

DOI: 10.32782/2522-1256-2024-41-16.

2. Bocharova, N.A. Improving a company's logistics inventory management based on ABC and XYZ analysis. *Problems of Transport Economics*. 2022. DOI: 10.15802/rtem2022/277666.

3. Heger, J., Klein, R. Assortment optimization: a systematic literature review. *OR Spectrum*. 2024. Vol. 46. P. 1099–1161. DOI: 10.1007/s00291-024-00752-4.

4. Wang C., Ning G. Multi-criteria inventory classification considering demand stability. *Scientific Reports*. 2026. DOI: 10.1038/s41598-026-42590-0.

5. Qaffas A.A., Crone S., Aljameel S. An Explainable Artificial Intelligence Approach for Multi-Criteria ABC Inventory Classification. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 2023. Vol. 18(2). pp. 1045–1065. DOI: 10.3390/jtaer18020044.

6. Kmiecik M. Dynamic ABC Analysis for Assortment Management in 3PL. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*. 2023. Vol. 189. pp. 317–331.

7. Babai M.Z., Arampatzis M., Hasni M., Lolli F., Tsadiras A. On the use of machine learning in supply chain management: a systematic review. *IMA Journal of Management Mathematics*. 2025. Vol. 36(1). pp. 21–49. DOI: 10.1093/imaman/dpae029.

8. Bergsma R., de Ruijt C., Bhulai S. A systematic review of machine learning approaches in inventory control optimization. *Operations Research Perspectives*. 2025. Vol. 15. Article 100367.

DOI: 10.1016/j.orp.2025.100367.

9. Douaioui K., Oucheikh R., Benmoussa O., Mabrouki C. Machine Learning and Deep Learning Models for Demand Forecasting in Supply Chain Management: A Critical Review. *Applied System Innovation*. 2024. Vol. 7(5). Article 93. DOI: 10.3390/asi7050093.

10. Khedr A.M., Sheeja R.S. et al. Enhancing Supply Chain Management with Deep Learning and Machine Learning Techniques: A Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2024. Article 100379. DOI: 10.1016/j.joitmc.2024.100379.

11. Chebanova O.P., Volokhov V.A. The Use of Machine Learning Technologies for Logistics Optimization. *Bulletin of Transport and Industrial Economics*. 2023. No. 83. pp. 278–283. DOI: 10.18664/btie.83.300406.

12. Molchanov, B.O. The Use of Machine Learning in Inventory and Warehouse Management Systems. *Bulletin of Khmelnytskyi National University*. 2024. No. 341(5). DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-50.

13. Kuhn, M., & Silge, J. *Tidy Modeling with R*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022.

14. Raschka S., Liu Y., Mirjalili V. *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn*. Birmingham: Packt Publishing, 2022.

15. Géron A. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. 3rd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022.

16. Molnar C. *Interpretable Machine Learning*. 2nd ed. 2025.

17. Lepenioti K., Bousdekis A., Apostolou D., Mentzas G. Prescriptive Analytics: Literature Review and Research Challenges. *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 50. pp. 57–70. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.003.

18. Ivanenko L.M., Smerichevska S.V., Ivanenko V.I. An Integrated Approach to Supply, Production, and Distribution Logistics Based on the Formalization of Logistics Business Processes. *BusinessInform*. 2024. No. 4. pp. 315–325. DOI: 10.32983/2222-4459-2024-4-315-325.

19. Skask O.I., Kut D.M. Application of New Inventory Management Systems at Enterprises in Conditions of Market Instability and Military Conflict. *Bulletin of Lviv University of Trade and Economics*. 2024. No. 76. DOI: 10.32782/2522-1205-2024-76-14.

20. Ippolitova, I., Bilotserkivskiy, O., and Gudymenko, V. The Impact of Logistical Processes on the Effectiveness of Enterprise Inventory Management. *Economy and Society*. 2024. No. 65. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-65-9.

The article has been sent to the editors 17.06.26.

After processing 25.06.26.

Submitted for printing 30.06.26

Copyright under license CCBY-SA4.0.