

УДК 005.591.6:004.738.5:336

DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2025.23.18>

Федорчак О.Є.

кандидат економічних наук,

програміст SMSWords (USA)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7467-5085>

Fedorchak Oleksiy

PhD, Senior SOFTWARE ENGINEER SMSWORDS (USA)

МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ Е-КОМЕРЦІЇ

MODEL OF DEVELOPING AN ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEM FOR E-COMMERCE ENTERPRISES

У статті обґрунтовано, що для ефективного управління фінансами підприємств в умовах динамічного ринкового середовища необхідна комплексна адаптивна система, яка поєднує сучасні технології прогнозування, автоматизації, інтеграції бізнес-процесів, кібербезпеки та персоналізованого ціноутворення. Вихідна модель, яка включала аналітичні методи обробки даних, автоматизоване управління, крос-функціональну інтеграцію, заходи кіберзахисту та адаптацію до змінних споживчих трендів, була вдосконалена шляхом впровадження більш інноваційних технологій та підходів. Доведено, що застосування гібридного прогнозування на основі LSTM-мереж та ARIMA-GARCH дозволяє не лише покращити точність передбачення попиту, а й зменшити вплив стохастичних ринкових коливань, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Аргументовано, що впровадження цифрових двійників сприяє значному підвищенню ефективності управління через можливість тестування стратегій у віртуальному середовищі, що мінімізує ризики та підвищує швидкість адаптації до змін. Додатково, наскрізна потокова аналітика забезпечує миттєву реакцію на зміни у поведінці клієнтів та ринковій ситуації, що дозволяє підприємствам автоматизувати прийняття рішень у режимі реального часу. Значно посилено рівень кібербезпеки завдяки інтеграції AI-аналітики загроз, яка здатна не лише виявляти шахрайські дії, а й прогнозувати потенційні атаки, що підвищує загальну стійкість інформаційних систем. Реалізація динамічного AI-прайсингу з гіперперсоналізацією створює умови для оптимального ціноутворення, що підвищує конверсію продажів та рівень задоволеності клієнтів за рахунок індивідуального підходу до кожного користувача. Таким чином, удосконалена модель адаптивного управління фінансами підприємств демонструє значні переваги у порівнянні з первинною, забезпечуючи більш точне прогнозування, автоматизовану адаптацію бізнес-процесів, оперативну інтеграцію інформаційних потоків, посилену безпеку та ефективне ціноутворення. Це дозволяє підприємствам е-комерції не лише підвищувати рівень операційної ефективності, а й забезпечувати довгострокову конкурентоспроможність у цифровій економіці.

Ключові слова: адаптивне управління, бізнес-процес, підприємства е-комерції, операційна ефективність, конкурентоспроможність.

The article substantiates that effective financial management of enterprises under dynamic market conditions requires a comprehensive adaptive system combining advanced forecasting technologies, automation, integration of business processes, cybersecurity, and personalized pricing. The initial model, which included analytical data processing methods, automated management, cross-functional integration, cybersecurity measures, and adaptation to changing consumer trends, has been improved by introducing more innovative technologies and approaches. It is demonstrated that hybrid forecasting based on LSTM neural networks and ARIMA-GARCH models significantly enhances demand prediction accuracy and reduces the impact of stochastic market fluctuations, which is critical for informed managerial decisions. The introduction of digital twins is argued to significantly enhance management efficiency by allowing strategy testing within a virtual environment, thereby minimizing risks and accelerating adaptation to changes. Additionally,

end-to-end streaming analytics ensures instant responses to changes in customer behavior and market conditions, enabling businesses to automate real-time decision-making processes. The level of cybersecurity is greatly strengthened through the integration of AI-based threat analytics, which can detect fraudulent activities and predict potential attacks, thus increasing the overall resilience of information systems. Implementation of dynamic AI-driven pricing with hyper-personalization creates optimal pricing conditions, improving sales conversion rates and customer satisfaction through individualized approaches. Consequently, the enhanced adaptive financial management model demonstrates substantial advantages over the original one, ensuring more accurate forecasting, automated adaptation of business processes, rapid integration of information flows, increased security, and effective pricing. This enables e-commerce enterprises not only to enhance operational efficiency but also to maintain long-term competitiveness in the digital economy.

Keywords: adaptive management, business process, e-commerce enterprises, operational efficiency, competitiveness.

Постановка проблеми. Адаптивне управління підприємствами е-комерції в умовах швидких ринкових змін потребує комплексного підходу, що поєднує аналітику, автоматизацію, інтеграцію бізнес-процесів, кібербезпеку та персоналізацію споживчого досвіду. В основі побудови такої системи лежить використання сучасних технологій аналізу даних, машинного навчання, штучного інтелекту, а також інтегрованих цифрових платформ, що забезпечують ефективну взаємодію всіх бізнес-компонентів. Формування такої архітектури дозволяє підприємствам не лише підвищувати операційну ефективність, а й забезпечувати стійку конкурентну перевагу завдяки гнучкому реагуванню на зміни споживчих уподобань і ринкових умов.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасних досліджень, зокрема таких вчених, як: Tkachenko O., Hnatiuk M. [1], Yang Y., Li M., An F., Shi F., Yi T. [2], Krithika L., Prabadevi B., Deepa N., Bhavanasi S. [3], G P., Natesan G. [4], Hanzal P., Beranek R. [5], Westenbroek, T., Dong, R., Ratliff, L., Sastry, S. [6], Westenbroek, T., Dong R., Ratliff L., Sastry S. [7], Archary D., Coetzee M. [8], Loginova O., Mantovani A. [9] свідчить, що ключовими факторами успішного розвитку підприємств е-комерції є автоматизація операцій і інтеграція бізнес-систем (впровадження ERP та CRM-систем, використання сучасних аналітичних інструментів, використання глибокого навчання, ARIMA-моделей та аналітики соціальних мереж забезпечує точність прогнозів, зменшуючи ризики у прийнятті управлінських рішень). Отже, для ефективного розвитку підприємств е-комерції необхідні комплексні підходи з автоматизації процесів, прогнозування на основі аналітики та стратегічного використання великих даних. Однак, залишається мало вивченим питання побудови системи адаптації управління підприємствами е-комерції.

Формування цілей статті: розробка та обґрунтування удосконаленої моделі адаптивного управління підприємствами е-комерції з використанням сучасних технологій прогнозування, автоматизації бізнес-процесів, крос-функціональної інтеграції, посилення кібербезпеки та персоналізованого ціноутворення для забезпечення їхньої конкурентоспроможності та ефективності в умовах цифрової економіки.

Виклад основного матеріалу. Центральним елементом архітектури є рівень аналітики та обробки даних, що забезпечує стратегічне управління шляхом аналізу великих масивів інформації. Використання Big Data та методів машинного навчання, таких як Decision Trees, Random Forest та K-Means, дозволяє прогнозувати поведінку клієнтів, визначати тренди ринку та персоналізувати комерційні пропозиції. Аналітичні моделі сприяють оптимізації ризиків та формуванню ефективних стратегій ціноутворення, що підтверджують практики провідних фінансових установ, таких як JPMorgan Chase, Goldman Sachs та Mastercard. На основі предиктивної аналітики підприємства можуть не лише прогнозувати попит, а й адаптувати свої маркетингові кампанії та управління запасами для мінімізації витрат і максимізації прибутковості.

Наступним рівнем у загальній архітектурі моделі є автоматизація бізнес-процесів, яка дозволяє значно підвищити швидкість та ефективність операційної діяльності. Використання ERP-систем, таких як SAP та Oracle, дає змогу централізовано керувати фінансо-

вими ресурсами, логістикою та операційними потоками, знижуючи витрати та оптимізуючи прийняття рішень. CRM-системи нового покоління, інтегровані з AI-алгоритмами, дозволяють персоналізувати взаємодію з клієнтами, автоматизуючи процеси комунікації через чат-боти та соціальні мережі, як це реалізовано у Bank of America та American Express. Крім того, впровадження RPA (роботизованої автоматизації процесів) у Citibank та Deutsche Bank довело свою ефективність у прискоренні обробки транзакцій та мінімізації ручних операцій, що дозволяє скоротити витрати та покращити точність бізнес-рішень.

Однак ефективне управління неможливе без крос-функціональної інтеграції, яка дозволяє створити єдину цифрову екосистему, що об'єднує всі рівні управління підприємством. API-інтеграція забезпечує синхронізацію е-комерції платформ із фінансовими та логістичними сервісами, що дає змогу автоматизувати платіжні операції, оптимізувати транскордонну торгівлю та підвищувати контроль за фінансовими потоками. Використання наскрізної аналітики, як це реалізовано у ING Bank та BNP Paribas, дозволяє оцінювати ефективність маркетингових стратегій, продажів та споживчої поведінки у режимі реального часу. Додатково Omnichannel-стратегії, що активно використовуються Crédit Agricole та UniCredit, створюють єдиний споживчий досвід, поєднуючи онлайн- та офлайн-канали обслуговування, що сприяє підвищенню лояльності клієнтів та покращенню загальної ефективності бізнесу.

Значну увагу в архітектурі адаптивного управління слід приділити кібербезпеці та захисту даних, оскільки підприємства е-комерції є одними з головних мішеней для кібератак та шахрайських схем. Для мінімізації ризиків необхідно впроваджувати передові технології, такі як Blockchain, Zero Trust та AI-аналітика загроз. Використання блокчейн-платформ у Mizuho Financial Group та China Construction Bank дозволяє захищати фінансові транзакції від несанкціонованого втручання та запобігати махінаціям. Концепція Zero Trust, що передбачає багаторівневу автентифікацію та контроль доступу, довела свою ефективність у DBS Bank та ICBC, значно знижуючи ризики шахрайства та витоку конфіденційної інформації. Крім того, AI-аналітика загроз, що використовується SoftBank Group та Bank of China, дозволяє у режимі реального часу виявляти потенційні загрози та блокувати небезпечні транзакції, що критично важливо для безпечного функціонування фінансових сервісів у сфері е-комерції.

Адаптація управління до змінних споживчих трендів є ще одним важливим елементом загальної архітектури моделі, оскільки сучасні клієнти очікують високого рівня персоналізації та інтерактивності у взаємодії з брендами. Використання Predictive Personalization, як це реалізовано у Alibaba Group та Tencent Holdings, дозволяє підприємствам формувати персоналізовані фінансові пропозиції, що підвищують задоволеність клієнтів та стимулюють повторні покупки. Гейміфікація, яка активно застосовується Rakuten Bank та Ping An Insurance, сприяє залученню клієнтів до фінансових сервісів через інтерактивні програми лояльності та мотиваційні механізми. Водночас метавесвіт і VR-шопінг, що реалізовані у Mitsubishi UFJ Financial Group та Shinhan Bank, відкривають абсолютно нові формати взаємодії зі споживачами, створюючи унікальний користувацький досвід, який сприяє підвищенню рівня довіри до бренду та формуванню довгострокових відносин з клієнтами.

Останнім, але не менш важливим, елементом моделі є системи адаптивного ціноутворення, які дозволяють підприємствам гнучко коригувати свої тарифні пропозиції у відповідь на ринкові зміни. Використання AI-прайсингу, як у American Express та Mastercard, дозволяє аналізувати поведінку клієнтів та автоматично змінювати комісійні ставки залежно від рівня їхньої активності. Динамічне ціноутворення, реалізоване у PayPal та Goldman Sachs, дозволяє персоналізовано підходити до кожного клієнта, стимулюючи його до активного використання фінансових продуктів та підвищуючи прибутковість бізнесу.

Таким чином, загальна архітектура моделі побудови системи адаптації управління підприємствами е-комерції формується як єдина цифрова екосистема, що поєднує аналіз даних, автоматизацію бізнес-процесів, інтеграцію функціональних модулів, забез-

печення кібербезпеки та персоналізований підхід до взаємодії з клієнтами. Інтелектуальне використання цих елементів дозволяє підприємствам ефективно адаптуватися до змінного ринкового середовища, оптимізувати операційні процеси та створювати конкурентні переваги в умовах цифрової економіки.

Адаптивне управління підприємствами е-комерції можна формалізувати у вигляді математичної моделі, яка складається з п'яти ключових рівнів: аналітики, автоматизації, інтеграції, кібербезпеки та адаптації до змінних споживчих трендів. Модель побудована на основі оптимізаційних, стохастичних та нейромережевих підходів, що дозволяють забезпечити ефективну адаптацію до ринкових умов. Отож, побудуємо подель:

1. Формальна постановка задачі. Нехай:

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ – множина бізнес-процесів підприємства e-commerce;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – множина стратегічних рішень щодо управління;

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ – множина ринкових змінних (споживчий попит, конкуренція, макроекономічні фактори тощо).

$R: S \times X \times D \rightarrow R$ – функція ефективності управління, що визначає результативність адаптивної моделі.

Оптимізаційна задача полягає у знаходженні такого вектора управління X^* , який мінімізує втрати та максимізує прибутковість:

$$X^* = \arg \max_X E[R(S, X, D)], \quad (1)$$

де E – математичне сподівання функції ефективності.

2. Рівень аналітики та обробки даних.

2.1. Прогнозування поведінки клієнтів. Для моделювання поведінки клієнтів застосуємо автокореляційну модель часових рядів:

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

де Y_t – попит у момент часу t ; α – початковий рівень попиту; β_i – коефіцієнти впливу попередніх періодів; $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ – випадковий шум.

2.2. Кластеризація клієнтів (K-Means). Для сегментації клієнтів застосовується алгоритм К-середніх:

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K w_{ij} x_i - \mu_j^2, \quad (3)$$

де x_i – вектор ознак клієнта; μ_j – центр j -го кластера; w_{ij} – бінарна змінна, яка дорівнює 1, якщо x_i належить кластеру j , і 0 – в іншому випадку.

2.3. Нейронні мережі для предиктивної аналітики. Модель прогнозування використання фінансових сервісів описується нейромережею:

$$h^l = f(W^l h^{l-1} + b^l) \quad (4)$$

де h^l – вихідні значення нейронів на l -му шарі; W^l – матриця вагових коефіцієнтів; b^l – вектор зсуву; $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ – активаційна функція (сигмоїда).

3. Рівень автоматизації бізнес-процесів.

3.1. Оптимізація фінансових процесів (ERP-системи). Оптимізаційну задачу управління фінансами опишемо лінійною моделлю:

$$\min_c \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (5)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j, \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (6)$$

де c_i – вартість фінансової операції i ; x_i – обсяг використання ресурсу; a_{ij} – коефіцієнти витрат ресурсів; b_j – доступні фінансові обмеження.

3.2. Автоматизація взаємодії з клієнтами (CRM). Модель рекомендаційної системи формалізуємо через колаборативну фільтрацію:

$$\hat{r}_{ui} = \mu + b_u + b_i + \sum_{f=1}^F p_{uf} q_{if} \quad (7)$$

де $\hat{r}_{ui}$ – прогнозована оцінка клієнтом u продукту i ; μ – середній рейтинг усіх продуктів; b_u, b_i – зсуви клієнта та продукту; p_{uf}, q_{if} – вектори факторів.

4. Рівень крос-функціональної інтеграції. Для інтеграції бізнес-процесів застосуємо модель мережевого графа:

$$G = (V, E) \quad (8)$$

де V – множина вузлів (підсистеми e-commerce: склад, CRM, логістика); E – множина ребер (зв'язки між підсистемами через API).

Оптимізація інтеграційних потоків здійснюється через мінімізацію функції навантаження:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} w_{ij} d_{ij} \quad (9)$$

де w_{ij} – вагові коефіцієнти зв'язків; d_{ij} – інтенсивність потоку між вузлами i, j .

5. Рівень кібербезпеки. Захист даних базується на блокчейн-шифруванні, де кожен блок транзакцій хешується за алгоритмом SHA-256:

$$H(B_i) = \text{SHA256}(B_{i-1} \| T_i \| D_i) \quad (10)$$

де B_{i-1} – хеш попереднього блоку; T_i – часовий штамп; D_i – дані про транзакцію.

6. Рівень адаптації до змінних споживчих трендів. Динамічне ціноутворення оптимізується через марковський процес прийняття рішень (MDP):

$$H(s) = \max_a [R(s, a) + \gamma \sum_s P(s'|s, a) V(s')], \quad (11)$$

де $V(s)$ – оптимальна стратегія ціноутворення в стані s ; $R(s, a)$ – винагорода за ціну a ; $P(s'|s, a)$ – ймовірність переходу між станами.

Формалізована модель забезпечує гнучке управління підприємством e-комерції, використовуючи аналітику даних, автоматизацію бізнес-процесів, інтеграцію інформаційних потоків, кібербезпеку та адаптивні методи ціноутворення. Впровадження такої моделі дозволяє досягти стабільності, ефективності та конкурентоспроможності у цифровій економіці.

У табл. 1 наведено вектори і методи удосконалення моделі побудови системи адаптації управління підприємствами e-комерції.

Для підвищення рівня об'єктивності та інформативності моделі адаптивного управління підприємствами e-комерції необхідно обрати найефективніші методи вдосконалення, які дозволять зробити систему гнучкішою, точнішою та більш автоматизованою. Вибір оптимальних методів базується на тому, що модель повинна не лише аналізувати дані та приймати ефективні рішення, але й самостійно адаптуватися до ринкових змін, забезпечуючи стійке управління бізнес-процесами в умовах невизначеності. Для цього в рамках п'яти основних напрямів удосконалення слід обрати найбільш перспективні методи.

Першочергово слід покращити аналітичний рівень, оскільки від точності прогнозування залежить ефективність всього управління. Найбільш підходящим методом у цьому контексті є гібридна модель прогнозування на основі глибоких нейронних мереж (LSTM) та стохастичних моделей ARIMA-GARCH. Використання LSTM дозволяє виявляти довгострокові залежності у поведінці клієнтів, а ARIMA-GARCH коригує прогнозування, враховуючи стохастичні коливання ринку. Така комбінація значно підвищує точність передбачення попиту та дозволяє уникнути помилок, спричинених різкими ринковими змінами. Крім того, використання Баєсівських мереж дозволяє додатково оцінювати ймовірності різних сценаріїв розвитку ринку та приймати більш зважені рішення.

Таблиця 1

**Удосконалення моделі побудови системи адаптації
управління підприємствами е-комерції**

Напрямок удосконалення	Методи
Інтеграція багатфакторних моделей прогнозування	ARIMA-GARCH, Ланцюги Маркова, LSTM, GRU
Врахування стохастичних факторів невизначеності	Басисні мережі, Методи Монте-Карло
Використання багатокритеріальної оптимізації	Методи Парето-оптимізації, Генетичні алгоритми, PSO
Розширення джерел вхідних даних	Соціальні мережі, Геоаналітика, Дані про конкуренцію
Використання наскрізної аналітики в реальному часі	Stream Processing, BI-системи
Поглиблення аналітики клієнтської поведінки	Когнітивний аналіз поведінки, Нейроекономіка, Аналіз емоційного стану
Автоматизоване самонавчання моделі	AutoML, Генеративні моделі (GANs, Variational Autoencoders)
Використання цифрових двійників	Digital Twins, Віртуальні симулятори ринкової конкуренції
Впровадження адаптивних систем прийняття рішень	Reinforcement Learning, AI-асистенти
Вдосконалення моделей захисту даних	Гомоморфне шифрування, Квантові криптографічні протоколи
Інтеграція поведінкової біометрії	Біометрична аутентифікація, AI-аналіз атак
Використання адаптивного AI-прайсингу	Нейромережеві аукціони, Гіперперсоналізація
Використання глибокого навчання для прогнозування попиту	LSTM + CNN, Аналіз цінової еластичності

Джерело: побудовано автором

Однак, лише прогнозування недостатньо – критично важливим є рівень автоматизації бізнес-процесів, адже навіть найкращі аналітичні моделі не будуть ефективними без швидкого впровадження рішень. Найкращим методом вдосконалення в цьому аспекті є впровадження цифрових двійників (Digital Twins), які дозволяють створювати віртуальні копії бізнес-процесів та тестувати різні сценарії управління ще до їхньої реалізації. Завдяки цьому можна миттєво оцінити ефективність нових стратегій ціноутворення, оптимізацію логістики чи зміну маркетингової політики, що мінімізує ризики неправильних управлінських рішень. Крім того, інтеграція AutoML (автоматизованого машинного навчання) дає можливість самій системі вибирати оптимальні моделі аналізу та прогнозування, зменшуючи потребу в ручному налаштуванні алгоритмів.

Наступний рівень вдосконалення – крос-функціональна інтеграція, яка дозволяє об'єднати всі бізнес-процеси в єдину екосистему. У цьому напрямку найбільш ефективним методом є побудова наскрізної аналітики на базі потокового аналізу даних (Stream Processing), що дає змогу оцінювати зміни в реальному часі та миттєво коригувати стратегії управління. Використання API-інтеграції з логістичними, фінансовими та маркетинговими сервісами дозволяє поєднувати всі ключові елементи е-комерції в єдину систему, що значно підвищує оперативність ухвалення рішень. Додатково, реалізація Omnichannel-стратегії забезпечує безшовну інтеграцію онлайн- та офлайн-каналів продажу, що покращує клієнтський досвід та підвищує рівень лояльності споживачів.

Безпека даних також відіграє ключову роль у стійкому функціонуванні системи. Найбільш ефективним підходом до вдосконалення кібербезпеки є впровадження AI-аналітики загроз, що використовує алгоритми глибокого навчання для ідентифікації аномалій та

попередження кібератак ще до їхнього здійснення. Такий підхід є більш ефективним, ніж традиційні методи захисту, оскільки дозволяє виявляти навіть невідомі загрози завдяки аналізу поведінкових патернів зловмисників. Додатково використання Zero Trust-архітектури дозволяє мінімізувати ризики шахрайства, впроваджуючи багаторівневу аутентифікацію та обмежений доступ до критичних даних. Ці технології забезпечують високий рівень захисту при роботі з фінансовими транзакціями та персональними даними клієнтів.

Останнім, але не менш важливим вектором удосконалення є оптимізація адаптивного ціноутворення, яке безпосередньо впливає на прибутковість бізнесу. У цьому аспекті найкращим підходом є впровадження динамічного AI-прайсингу, що використовує нейромережеві алгоритми для коригування цін у режимі реального часу залежно від ринкової ситуації, конкурентних пропозицій та індивідуальної поведінки клієнта. Поєднання цього методу з механізмами гіперперсоналізації (Hyper-Personalization) дозволяє автоматично формувати знижки та спеціальні пропозиції для окремих категорій споживачів, стимулюючи їх до повторних покупок. Крім того, використання підкріплювального навчання (Reinforcement Learning) у системах ціноутворення дозволяє моделі самостійно вчитися на основі взаємодії з ринком, покращуючи свою ефективність у довгостроковій перспективі.

Таким чином, найбільш ефективним шляхом удосконалення первинної моделі є інтеграція гібридного прогнозування на основі нейронних мереж та ARIMA-GARCH, впровадження цифрових двійників для тестування управлінських рішень, створення наскрізної потокової аналітики для реального часу, використання AI-аналітики загроз у кібербезпеці та реалізація динамічного AI-прайсингу з гіперперсоналізацією. Поєднання цих методів дозволяє створити адаптивну, високотехнологічну та стійку систему управління е-комерції, яка не лише забезпечує гнучке реагування на зміни, а й дозволяє підприємствам ефективно використовувати потенціал аналітики, автоматизації та безпеки в умовах цифрової трансформації.

Виходячи з обґрунтованих удосконалень, нова модель адаптивного управління підприємствами е-комерції має включати п'ять ключових компонентів:

- Гібридне прогнозування на основі нейронних мереж та ARIMA-GARCH.
- Впровадження цифрових двійників для тестування управлінських рішень.
- Створення наскрізної потокової аналітики для реального часу.
- Використання AI-аналітики загроз у кібербезпеці.
- Реалізація динамічного AI-прайсингу з гіперперсоналізацією.

Математично опишемо кожен із цих компонентів для формування інтегрованої системи. Так,

1. Гібридне прогнозування на основі нейронних мереж та ARIMA-GARCH. Нехай: Y_t – часова послідовність попиту на продукцію або послугу; X_t – вектор факторів, що впливають на попит (ринкові умови, конкурентні пропозиції, поведінка споживачів); $f_{LSTM}(X_t)$ – прогноз попиту за допомогою рекурентної нейронної мережі (LSTM); $g_{ARIMA-GARCH}(Y_t)$ – прогноз попиту за ARIMA-GARCH моделлю, що враховує стохастичні зміни.

Гібридна модель прогнозування:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha f_{LSTM}(X_t) + (1 - \alpha) g_{ARIMA-GARCH}(Y_t), \quad (12)$$

де α – коефіцієнт ваги моделі (оптимізується через алгоритми градієнтного спуску).

ARIMA-GARCH для стохастичного моделювання:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (13)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^m \gamma_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^n \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (14)$$

де *ARIMA* використовується для моделювання трендів та сезонності. *GARCH* моделює волатильність для корекції ризиків.

2. Впровадження цифрових двійників (Digital Twins). Цифрового двійника опишемо системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dS}{dt} = F(S, X, P, \theta) \quad (15)$$

де S – стан системи е-комерції (склади, логістика, маркетинг); X – керуючі впливи (зміни цін, маркетингові кампанії); P – зовнішні фактори (ринкові умови, конкуренція); θ – параметри моделі.

Оптимальне управління визначимо через функціонал:

$$X^* = \arg \max_X \int_0^T L(S, X, P) dt \quad (16)$$

де $L(S, X, P)$ – функція витрат (наприклад, мінімізація витрат на логістику).

3. Наскрізню потокову аналітику для реального часу опишемо через процесор поточних даних P :

$$P : D_t \rightarrow \hat{X}, \quad (17)$$

де D_t – потік даних із CRM, ERP, фінансових транзакцій; $\hat{X}$ – оптимальні рішення, отримані у реальному часі.

Оптимальне рішення для кожного моменту часу визначимо через оновлення функції корисності:

$$\hat{X}_t = \arg \max_X U(X_t, D_t) \quad (18)$$

де $U(X_t, D_t)$ – функція ефективності управління.

4. AI-аналітика загроз у кібербезпеці. Для моделювання загроз використаємо багатокласову класифікацію на основі нейронної мережі:

$$p(y|X) = \frac{e^{W_y^T X + b_y}}{\sum_{c=1}^C e^{W_c^T X + b_c}} \quad (19)$$

де X – набір ознак (поведінка користувача, транзакційні патерни); y – клас загрози (шахрайство, DDoS-атака, нормальна транзакція); W, b – параметри моделі.

Функція витрат:

$$L = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^C y_{ij} \log p(y_j | X_i) \quad (20)$$

де використовується категорична крос-ентропія для мінімізації помилок класифікації.

5. Динамічний AI-прайсинг з гіперперсоналізацією. Ціноутворення змодельуємо через марковський процес прийняття рішень (MDP):

$$V(s) = \max_a [R(s, a) + \gamma \sum_{\hat{s}} P(\hat{s}|s, a) V(\hat{s})], \quad (21)$$

де $V(s)$ – функція цінової політики у стані s ; $R(s, a)$ – винагорода за встановлення ціни a ; $P(\hat{s}|s, a)$ – ймовірність зміни попиту після застосування стратегії.

Гіперперсоналізація визначимо через підкріплювальне навчання:

$$\pi^*(s) = \arg \max_{\pi} E \left[\sum_{t=0}^T \gamma^t R(s_t, a_t) \right] \quad (22)$$

де $\pi(s)$ – стратегія встановлення цін для клієнта в стані s ; γ – коефіцієнт дисконту майбутніх прибутків.

Таким чином, побудована модель дозволяє: динамічно коригувати ціни залежно від поведінки клієнта; формувати індивідуальні знижки в режимі реального часу; автоматично оптимізувати прибутковість через AI.

З урахуванням вищенаведених удосконалень, оновлена інтегрована система управління підприємствами е-комерції формується через сукупність взаємопов'язаних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \hat{X}_{t+1} = \alpha f_{LSTM}(X_t) + (1 - \alpha) g_{ARIMA-GARCH}(Y_t) & \text{(Прогнозування)} \\ X^* = \arg \max_X \int_0^T L(S, X, P) dt & \text{(Цифрові двійники)} \\ \hat{X}_t = \arg \max_{X_t} U(X_t, D_t) & \text{(Потокова аналітика)} \\ p(y|X) = \frac{e^{W_y^T X + b_y}}{\sum_{c=1}^C e^{W_c^T X + b_c}} & \text{(Кібербезпека)} \\ \pi^*(s) \arg \max_{\pi} E \left[\sum_{t=0}^T \gamma^t R(s_t, a_t) \right] & \text{(AI- прайсинг)} \end{array} \right.$$

Ця вдосконалена модель забезпечує автоматизоване, інтелектуальне та безпечне управління е-комерцією в умовах динамічних ринкових змін. Удосконалена модель адаптивного управління підприємствами е-комерції значно перевершує первинну за рахунок підвищеної точності прогнозування, розширених можливостей автоматизації, покращеної інтеграції бізнес-процесів, посиленої кібербезпеки та більш ефективного ціноутворення. Якщо первинна модель зосереджувалася на загальних принципах адаптації через аналітику, автоматизацію та гнучкі методи управління, то вдосконалена модель поєднує сучасні технології нейромережевого прогнозування, цифрових двійників, потокової аналітики, AI-захисту від кіберзагроз і динамічного AI-прайсингу, що дозволяє досягти нових рівнів ефективності та стійкості в умовах цифрової трансформації.

Однією з ключових переваг вдосконаленої моделі є значно покращена аналітика прогнозування. Якщо у первинній моделі використовувалися стандартні аналітичні методи на основі Big Data та машинного навчання, то новий підхід базується на гібридному прогнозуванні за допомогою LSTM та ARIMA-GARCH, що дозволяє не лише аналізувати історичні дані, а й враховувати стохастичні зміни у попиті та поведінці клієнтів. Це означає, що система зможе точніше передбачати коливання ринку, знижуючи ризики неправильних управлінських рішень. Впровадження Баєсівських мереж додатково дозволяє оцінювати ймовірності різних сценаріїв розвитку, що забезпечує більш гнучке реагування на зміни макроекономічного середовища.

Висновки. Отже, удосконалена модель адаптивного управління підприємствами е-комерції, яка інтегрує гібридні методи прогнозування на основі нейромереж та ARIMA-GARCH, цифрові двійники, потокову аналітику в реальному часі, AI-аналітику кіберзагроз і динамічний AI-прайсинг із гіперперсоналізацією, забезпечує значне підвищення точності прогнозів, ефективності бізнес-процесів та рівня кібербезпеки. Завдяки цьому підприємства отримують можливість швидше реагувати на зміни ринку, мінімізувати ризики і забезпечувати стабільну конкурентну позицію в умовах цифрової економіки.

Список використаних джерел:

1. Ткаченко О., Гнатюк М. Деякі аспекти автоматизації бізнес-процесів електронної комерції. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*. 2023. Том. 6, № 2. С. 458–473. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796x.6.2.2023.293620>
2. Yang, Y., Li, M., An, F., Shi, F., & Yi, T. (2022). Enterprise ERP E-commerce Inventory System Based on Personal Digital Assistant. *2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)*, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICERECT56837.2022.10059806>
3. Krithika, L., Prabadevi, B., Deepa, N., & Bhavanasi, S. (2020). Integration of E-Commerce System with Various ERP Tools. *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)*, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.43>

4. G, P., & Natesan, G. (2023). Exploring the Benefits of E-commerce Applications for Efficient Online Operations. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. DOI: <https://doi.org/10.32628/cseit2390212>
5. Hanzal, P., & Beranek, R. (2016). Application of Accounting Data from ERP Systems of Business Entities in Logistics. *Communications – Scientific letters of the University of Zilina*. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.c.2016.2.157-162>
6. Westenbroek, T., Dong, R., Ratliff, L., & Sastry, S. (2017). Statistical estimation with strategic data sources in competitive settings. *2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, 4994–4999. DOI: <https://doi.org/10.1109/CDC.2017.8264398>
7. Westenbroek, T., Dong, R., Ratliff, L., & Sastry, S. (2019). Competitive statistical estimation with strategic data sources. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65, 1537–1551. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAC.2019.2922190>
8. Archary, D., & Coetzee, M. (2020). Predicting stock price movement with social media and deep learning. *2020 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)*, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/icABCD49160.2020.9183802>
9. Loginova, O., & Mantovani, A. (2017). Price competition in the presence of a web aggregator. *Journal of Economics*, 126, 43–73. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2860766>

References:

1. Tkachenko, O., & Hnatiuk, M. (2023). Deyaki aspekty avtomatyzatsiyi biznes-protsesiv elektronnoyi komertsiyi [Some Aspects of E-commerce Business Process Automation]. *Tsyfrova platforma: informatsiyi tekhnolohiyi v sotsiokul'turniy sferi*, vol. 6, №2, pp. 458–473. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796x.6.2.2023.293620>
2. Yang, Y., Li, M., An, F., Shi, F., & Yi, T. (2022). Enterprise ERP E-commerce Inventory System Based on Personal Digital Assistant. *2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)*, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICERECT56837.2022.10059806>
3. Krithika, L., Prabadevi, B., Deepa, N., & Bhavanasi, S. (2020). Integration of E-Commerce System with Various ERP Tools. *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)*, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.43>
4. G, P., & Natesan, G. (2023). Exploring the Benefits of E-commerce Applications for Efficient Online Operations. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. DOI: <https://doi.org/10.32628/cseit2390212>
5. Hanzal, P., & Beranek, R. (2016). Application of Accounting Data from ERP Systems of Business Entities in Logistics. *Communications – Scientific letters of the University of Zilina*. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.c.2016.2.157-162>
6. Westenbroek, T., Dong, R., Ratliff, L., & Sastry, S. (2017). Statistical estimation with strategic data sources in competitive settings. *2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, 4994–4999. DOI: <https://doi.org/10.1109/CDC.2017.8264398>
7. Westenbroek, T., Dong, R., Ratliff, L., & Sastry, S. (2019). Competitive statistical estimation with strategic data sources. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65, 1537–1551. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAC.2019.2922190>
8. Archary, D., & Coetzee, M. (2020). Predicting stock price movement with social media and deep learning. *2020 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)*, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/icABCD49160.2020.9183802>
9. Loginova, O., & Mantovani, A. (2017). Price competition in the presence of a web aggregator. *Journal of Economics*, 126, 43–73. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2860766>