

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВЕБЗАСТОСУНКАХ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Кравченко К.А.

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, м. Київ

ВСТУП

Актуальність і постановка проблеми.

У сучасному світі цифрових технологій штучний інтелект (Artificial Intelligence, AI) є одним із ключових напрямів розвитку інформаційних систем [1,2]. У сфері електронної комерції використання AI-рекомендацій дозволяє підвищити конверсію продажів на 15–35% та формує значну частку доходу онлайн-платформ [3; 4].

Зростання обсягів даних і вимог до персоналізації зумовлює необхідність застосування інтелектуальних алгоритмів. Основною проблемою є забезпечення швидкого та релевантного пошуку товарів, оскільки класичні підходи не враховують семантику запитів користувачів, що знижує точність рекомендацій. Використання моделей машинного навчання дозволяє підвищити ефективність взаємодії з користувачем [5].

Мета дослідження.

Аналіз сучасних технологій штучного інтелекту та оцінка ефективності їх впровадження у вебзастосунки електронної комерції.

Аналіз сучасних досліджень та публікацій

Сучасні дослідження свідчать про активний розвиток технологій машинного навчання та їх широке застосування у рекомендаційних системах. Використання AI дозволяє підвищити точність аналізу даних, автоматизувати процеси та покращити користувацький досвід. Більшість сучасних платформ інтегрують AI для оптимізації сервісів, що підтверджує актуальність його використання у власних програмних рішеннях.

Таблиця 1

Порівняння платформ, що впровадили технології штучного інтелекту

Платформа	Основне призначення	Впроваджена AI-функція	Рік впровадження	Результат використання
Shopify	Електронна комерція	AI-рекомендації товарів	2023	Підвищення продажів і персоналізація сервісу
Amazon	Онлайн-маркетплейс	Генерація описів товарів і	2023	Оптимізація процесу

		рекомендації		створення контенту
Microsoft	Офісні сервіси	Інтеграція AI-асистента Copilot	2023	Автоматизація роботи з документами
Google	Пошукові сервіси	AI-пошук і генерація відповідей	2024	Покращення швидкості пошуку інформації
Meta	Соціальні мережі	AI-чат-боти та генерація контенту	2024	Підвищення взаємодії з користувачами

Крім того, інтеграція штучного інтелекту сприяє розвитку нових функцій вебзастосунків, таких як автоматичне формування рекомендацій, персоналізація інтерфейсу та аналіз поведінки користувачів. Це дозволяє створювати сучасні інформаційні системи, які відповідають вимогам цифрового суспільства.

Короткий опис дослідження, його методів і засобів.

Архітектура системи передбачає взаємодію двох основних компонентів: клієнтської частини (веб-інтерфейсу користувача) та зовнішнього оркестратора `n8n`. Користувацький запит передається на API `n8n` через `webhook`, де формується структурований промпт, що містить текст запити, параметри фільтрації товарів (категорія, ціна, рейтинг) та контекст попередніх взаємодій користувача. Далі виконується пошук релевантних товарів за допомогою векторної бази даних, після чого сформований контекст разом із параметрами запити надсилається до API мовної моделі ChatGPT 5 mini у форматі JSON.

Нижче (на рис. 1) наведено процес обробки запитів всередині середовища `n8n`.

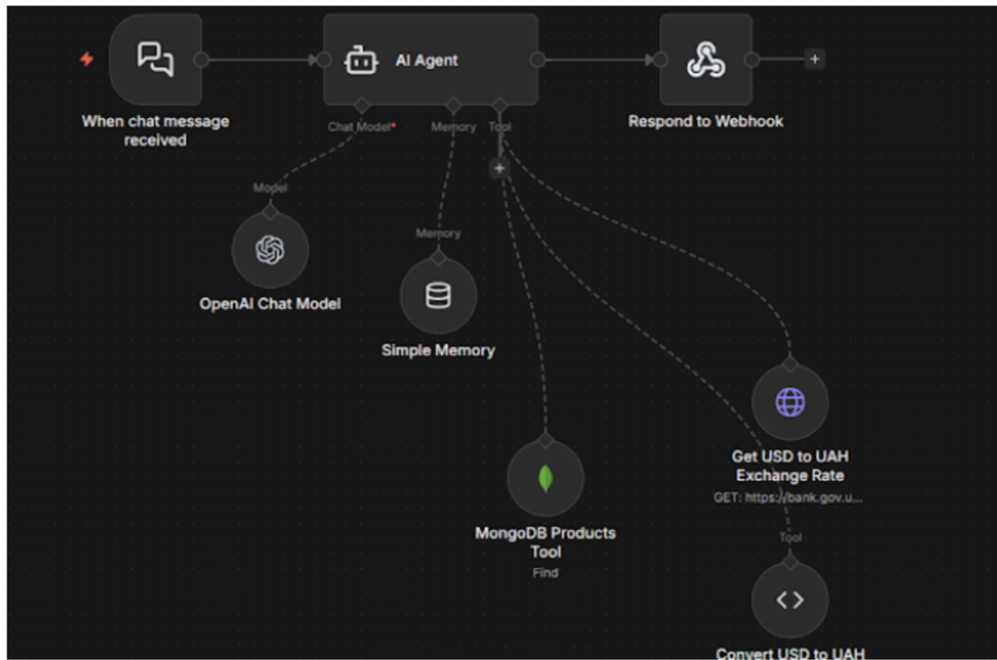


Рис. 1. pipeline обробки AI запиту

Після отримання відповіді від AI-модуля сервер n8n виконує постобробку даних. Далі - UML діаграма взаємодії з сервісом n8n поза межами середовища автоматизації, включаючи клієнтську частину WEB-додатка GreenCart (на рис. 2)

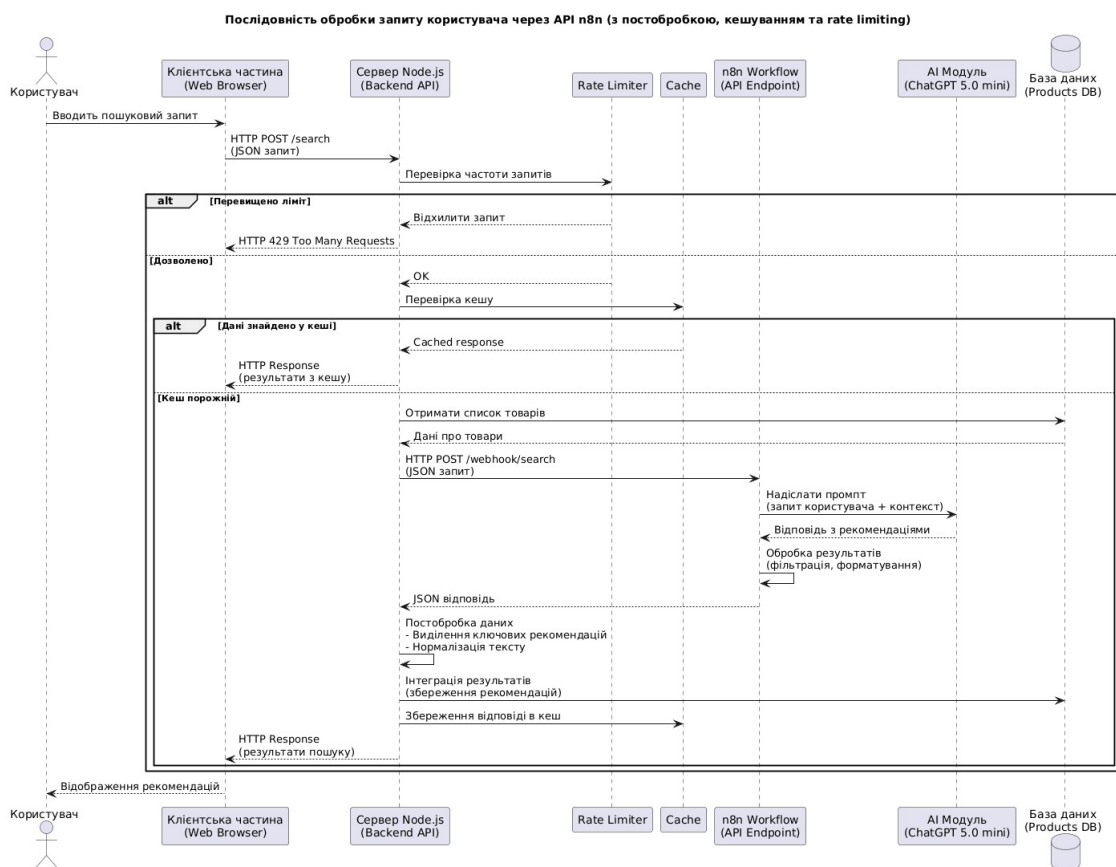


Рис.2. UML діаграма запиту клієнта до API n8n (Sequence Diagram)

Обґрунтування вибору інструментів:

1. Комбінація векторного пошуку та мовних моделей.

Використання лише мовної моделі для формування рекомендацій не гарантує достовірності результатів, оскільки можливе генерування некоректних або неіснуючих об'єктів. Для зменшення цього ефекту застосовано підхід retrieval-augmented generation (RAG), у межах якого здійснюється попередній відбір релевантних товарів за допомогою векторного пошуку у власній базі даних. Крім того, використання векторної бази даних дозволяє працювати з актуальними даними без необхідності донавчання моделі, що є важливим для динамічних предметних областей.

2. Вибір n8n як оркестратора системи

Гнучкість та швидкість ітерації є ключовими перевагами n8n які дозволяють візуально проектувати складні ланцюжки обробки (pipeline), що включають умови, цикли та інтеграцію з різними API (MongoDB, OpenAI, банківські сервіси для конвертації валют). Це значно прискорює розробку порівняно з написанням аналогічного коду на мовах програмування.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Практична реалізація підходу здійснена у вебзастосунку GreenCart. Для інтелектуального пошуку використано комбінований підхід (Vector Search + LLM): описи товарів і запити користувачів перетворюються у векторні представлення (embeddings), після чого виконується пошук найбільш релевантних результатів у базі даних. Отримані дані передаються до мовної моделі для формування структурованої відповіді.

Експериментальне дослідження включало типові сценарії пошуку та формування рекомендацій. Результати показали скорочення часу пошуку та підвищення точності підбору товарів.

Для оцінки продуктивності проведено навантажувальне тестування за допомогою Apache JMeter шляхом генерації HTTPS-запитів. Сценарій імітував поведінку користувача, а кількість одночасних користувачів змінювалася від 10 до 500, кожен виконував серію з 30 запитів (табл. 2).

Таблиця 2

Результати моделювання навантаження

Користувачі	Latency (мс)	Успішні (%)
10	420	100
50	610	100
100	890	99
200	1340	98
500	2480	95

Система демонструє стабільну роботу при навантаженні до 200 користувачів. Зниження продуктивності при перевищенні цього рівня зумовлене затримками на стороні API мовної моделі, обчислювальними витратами векторного пошуку та мережевими затримками. Як критерій допустимої якості обслуговування обрано граничне значення затримки 1500 мс. При навантаженні понад 200 користувачів час відгуку та точність відповідей починають погіршуватись.

Оцінка якості рекомендацій проводилась за метриками Precision, Recall та F1-score. Для розрахунків використовувались показники TP (коректно рекомендовані релевантні товари), FP (нерелевантні рекомендовані товари) та FN (релевантні товари, які не були рекомендовані). Метрики обчислювались як середні значення за всіма тестовими запитами.

За результатами експерименту отримано такі значення: Precision \approx 0.82, Recall \approx 0.76, F1-score \approx 0.79, що свідчить про достатній рівень релевантності рекомендацій для задач інтелектуального пошуку товарів.

Для підтвердження економічної доцільності проведено порівняльну оцінку вартості використання AI-модуля у сервісі n8n[6] та прямої інтеграції з API OpenAI [7](табл. 3).

Таблиця 3

Порівняльний аналіз витрат: n8n Cloud Starter vs Пряма інтеграція OpenAI API

Параметр порівняння	n8n Cloud (Starter)	OpenAI API (gpt-5-mini)
Модель оплати	Фіксована абонплата (Subscription)	Оплата за факт використання (Pay-as-you-go)
Ліміт запитів	2500 запитів воркфлоу / міс	Необмежено (в межах балансу)
Вартість інфраструктури	20.00€ (~\$21.00)	\$0.00
Вартість токенів (2500 зап.)	\$2.68	\$2.68
Додаткові можливості	AI Workflow Builder, No-code інтерфейс	Тільки програмна інтеграція
Загальна вартість за 2500 зап.	20.00€	\$2.68

Проведений аналіз демонструє що пряма інтеграція через API OpenAI є економічно вигіднішою для малих обсягів даних (\$2.68 за 2500 запитів), оскільки виключає витрати на інфраструктурну платформу. Проте вибір плану **n8n Starter (20.00€)** обґрунтовується не вартістю одиничного виклику, а наявністю додаткових інструментів автоматизації, таких як **AI Workflow Builder** та візуальне керування потоками даних. Це дозволяє скоротити витрати на розробку та підтримку коду (Software Maintenance), що в перспективі нівелює різницю в ціні за рахунок економії робочого часу технічного персоналу.

Отримані результати демонструють, що використання комбінованого підходу (Vector Search + LLM) дозволяє досягти високої точності рекомендацій (F1 = 0.79) при збереженні прийняттого рівня продуктивності системи. Інтеграція через платформу n8n забезпечує гнучкість реалізації бізнес-логіки та спрощує взаємодію між компонентами системи.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було розроблено та апробовано вебзастосунок GreenCart, який підтвердив ефективність інтеграції ШІ в інфраструктуру електронної комерції. За результатами роботи сформовано такі висновки:

1. **Технічна ефективність алгоритмів.** Використання комбінованого підходу (Vector Search + LLM) дозволило досягти високої точності персоналізації. Показник F1-score на рівні 0.79 підтверджує релевантність рекомендацій та здатність системи коректно інтерпретувати семантичний зміст запитів користувачів, уникаючи при цьому «галюцинацій» мовної моделі завдяки використанню власної бази даних.

2. **Економічна доцільність.** Аналіз витрат показав, що використання платформи n8n з тарифом Cloud Starter (~20.00€ за 2500 запитів) є оптимальним рішенням для MVP-стадії проекту.

3. **Вектор подальшого розвитку.** Перспективи подальших досліджень полягають у подоланні порогу навантаження у 200 користувачів через оптимізацію векторного пошуку. Також планується підвищення точності рекомендацій до F1-score > 0.85 шляхом проведення fine-tuning мовної моделі на специфічних наборах даних товарних категорій та впровадження поглибленої аналітики поведінкових патернів.

ДЖЕРЕЛА

1. Russell S. J., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* / S. J. Russell, P. Norvig. 4th ed. Hoboken : Pearson Education, 2021. 1166 p.
2. Davenport T. H., Ronanki R. *Artificial Intelligence for the Real World* // Harvard Business Review. **2018**. Vol. 96, No. 1. P. 108–116.
3. McKinsey & Company. AI in Retail: The next frontier for personalized shopping. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights> (дата звернення: 07.04.2026).

4. Barilliance. Research Report: The Impact of Product Recommendations on Ecommerce Revenue. URL: <https://www.barilliance.com/product-recommendations-statistics/> (дата звернення: 07.04.2026)
5. Covington P., Adams J., Sargin E. Deep Neural Networks for YouTube Recommendations // Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems. New York : ACM, 2016. P. 191–198. URL: <https://arxiv.org/abs/1606.07792> (дата звернення: 06.04.2026)
6. n8n.io. Pricing plans for workflow automation. 2026. URL: <https://n8n.io/pricing/> (дата звернення: 09.04.2026).
7. OpenAI API Pricing. Official documentation and rate cards. 2026. URL: <https://developers.openai.com/api/docs/pricing> (дата звернення: 09.04.2026)
8. Abramov, V., Astafieva, M., Boiko, M., Bodnenko, D., Bushma, A., Vember, V., Hlushak, O., Zhyltsov, O., Ilich, L., Kobets, N., Kovaliuk, T., Kuchakovska, H., Lytvyn, O., Lytvyn, P., Mashkina, I., Morze, N., Nosenko, T., Proshkin, V., Radchenko, S., & Yaskevych, V. (2021). Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science. <https://doi.org/10.28925/9720213284km>