

# РОЗРОБКА LLM-АГЕНТІВ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ НА ОСНОВІ GOOGLE ADK

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Дослідження присвячене розробці мультиагентної системи на основі великих мовних моделей (LLM) для автоматизації прийняття рішень у сфері електронної комерції з використанням фреймворку Google Agent Development Kit (ADK). Запропоновано архітектуру, що включає спеціалізованих агентів ціноутворення та управління асортиментом, які взаємодіють через агента-оркестратора.

**Ключові слова:** великі мовні моделі, LLM-агенти, електронна комерція, Google ADK, підтримка прийняття рішень, мультиагентна система, ціноутворення, управління асортиментом.

## Abstract

The research is devoted to the development of a multi-agent system based on large language models (LLM) for automating decision-making in e-commerce using the Google Agent Development Kit (ADK) framework. An architecture is proposed that includes specialized pricing and assortment management agents interacting through an orchestrator agent.

**Keywords:** large language models, LLM agents, e-commerce, Google ADK, decision support, multi-agent system, pricing, assortment management.

## Вступ

Глобальний ринок електронної комерції у 2024 році досяг обсягу 6,3 трильйона доларів США, а кількість товарних позицій у великих маркетплейсах перевищує десятки мільйонів [1]. В таких умовах менеджери e-commerce стикаються із задачами, що вимагають аналізу великих обсягів даних: оптимізація цін з урахуванням конкурентного середовища, управління асортиментом на основі трендів попиту та прогнозування поведінки покупців. Традиційні rule-based системи підтримки прийняття рішень, хоча й забезпечують передбачуваність, не здатні адаптуватися до динамічних змін ринку без ручного перенастроювання правил [2].

Останні досягнення у сфері великих мовних моделей (LLM) відкривають нові можливості для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Зокрема, концепція LLM-агентів — автономних систем, що поєднують можливості мовних моделей з доступом до зовнішніх інструментів та даних — дозволяє створювати адаптивні рішення, здатні обґрунтовувати свої рекомендації природною мовою [3]. Фреймворк Google Agent Development Kit (ADK) надає стандартизований інструментарій для розробки мультиагентних систем з підтримкою оркестрації, інструментів та інтеграції з моделями Gemini [4].

Метою роботи є розробка мультиагентної системи на основі Google ADK для підтримки прийняття рішень у сфері електронної комерції, зокрема в задачах ціноутворення та управління асортиментом.

## Результати дослідження

Запропонована система побудована на мультиагентній архітектурі з використанням фреймворку Google ADK та моделі Gemini 2.5 Flash. Архітектура включає три рівні: рівень взаємодії з користувачем (агент-оркестратор), рівень спеціалізованих агентів та рівень інструментів доступу до даних (рис. 1).

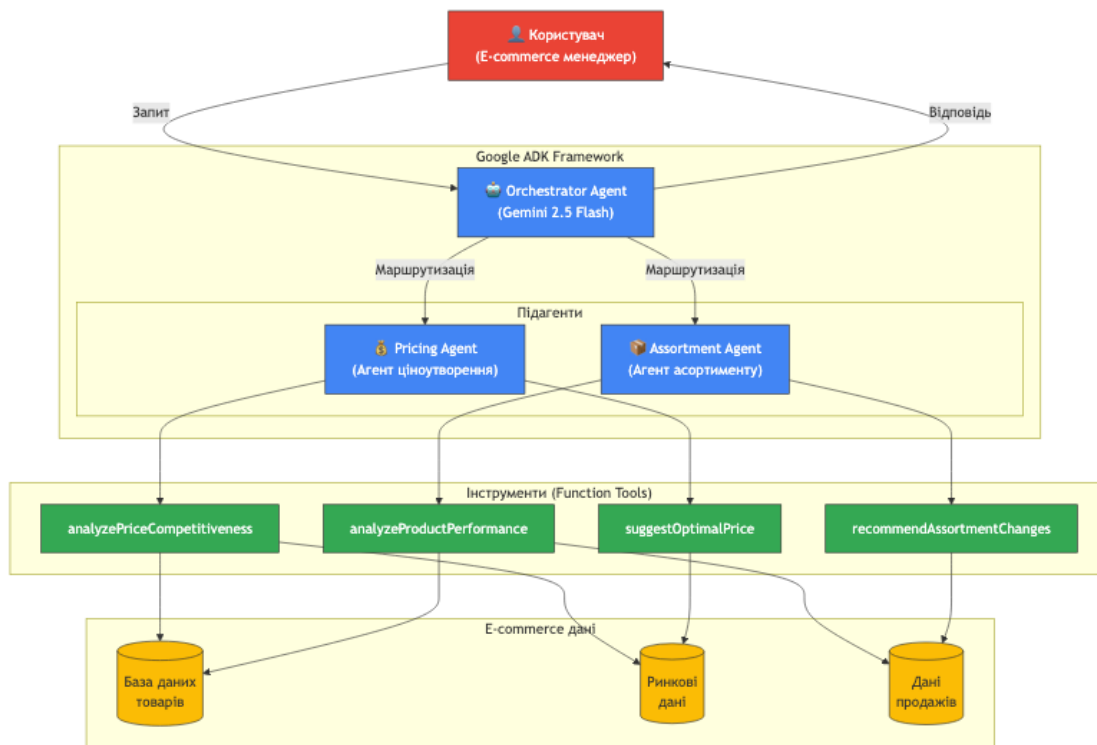


Рис. 1. Архітектура мультиагентної системи на основі Google ADK

Систему складають три агенти. Orchestrator Agent виконує роль головного агента, який аналізує запит користувача та маршрутизує його до відповідного спеціалізованого підагента, використовуючи опис кожного підагента для прийняття рішення про делегування. Pricing Agent — агент ціноутворення, оснащений інструментами `analyze\_price\_competitiveness` (аналіз конкурентоспроможності ціни) та `suggest\_optimal\_price` (рекомендація оптимальної ціни), що аналізує позицію товару на ринку відносно конкурентів та формує цінову стратегію. Assortment Agent — агент управління асортиментом з інструментами `analyze\_product\_performance` (аналіз продуктивності товару) та `recommend\_assortment\_changes` (рекомендації змін в асортименті), який класифікує товари за матрицею BCG та враховує ринкові тренди.

Для обґрунтування вибору LLM-агентного підходу проведено порівняльний аналіз з існуючими методами (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняння підходів до підтримки прийняття рішень в e-commerce

| Критерій                          | Rule-based системи               | ML-моделі                       | LLM-агенти (ADK)                   |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Адаптивність                      | Низька (ручне оновлення правил)  | Середня (потребує перенавчання) | Висока (адаптація через промпти)   |
| Пояснюваність                     | Висока (детерміновані правила)   | Низька                          | Висока (відповідь природною мовою) |
| Час відповіді                     | < 0,1 с                          | 0,5–2 с                         | 1–5 с                              |
| Складність впровадження           | Низька                           | Висока (збір даних, навчання)   | Середня (API + промпт-інжиніринг)  |
| Робота з неструктурованими даними | Не підтримується                 | Обмежена                        | Повна підтримка                    |
| Мультизадачність                  | Окрема система для кожної задачі | Окрема модель для кожної задачі | Єдина система з підагентами        |

Як видно з таблиці 1, LLM-агентний підхід поступається rule-based системам лише у швидкості відповіді, проте суттєво перевершує їх за адаптивністю, здатністю працювати з неструктурованими

даними та мультизадачністю. На відміну від ML-моделей, LLM-агенти забезпечують високу пояснюваність рішень, формуючи відповіді природною мовою з обґрунтуванням.

Процес обробки запиту мультиагентною системою складається з послідовних етапів: аналіз запиту оркестратором, вибір підагента, виклик відповідних інструментів, отримання та аналіз даних, формування обґрунтованої рекомендації.

Програмну реалізацію системи виконано мовою TypeScript з використанням Google ADK. Кожен інструмент визначається як FunctionTool із валідацією вхідних параметрів через бібліотеку Zod, що забезпечує типобезпечність на етапі виконання. Агент-оркестратор створюється як LlmAgent із посиланням на підагентів через параметр subAgents, що забезпечує автоматичну маршрутизацію запитів на основі їхніх описів. Запуск системи здійснюється через ADK CLI командою 'npx adk web', яка надає веб-інтерфейс для інтерактивної взаємодії з агентами.

Для оцінки ефективності розробленої системи проведено серію тестових експериментів на вибірці з 40 типових запитів e-commerce менеджерів (20 запитів щодо ціноутворення, 20 — щодо асортименту). Кожну відповідь агента оцінено за критеріями релевантності, коректності та повноти. Точність рекомендацій обчислювалася за формулою:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (1)$$

де  $TP$  — кількість правильних позитивних рекомендацій,  $TN$  — правильних негативних,  $FP$  — хибних позитивних,  $FN$  — хибних негативних.

Агент ціноутворення продемонстрував точність рекомендацій 90,0% та релевантність відповідей 95,0% із середнім часом відповіді 2,1 секунди. Агент управління асортиментом показав точність 85,0%, релевантність 90,0% та середній час відповіді 2,5 секунди. Загалом система забезпечила точність на рівні 87,5%, релевантність 92,5% та середній час відповіді 2,3 секунди. Точність маршрутизації запитів оркестратором склала 97,5% — з 40 запитів лише один було направлено до нерелевантного підагента.

## Висновки

У результаті дослідження розроблено мультиагентну систему підтримки прийняття рішень для електронної комерції на основі фреймворку Google ADK та моделі Gemini 2.5 Flash. Система включає агента-оркестратора та два спеціалізовані підагенти — агент ціноутворення та агент управління асортиментом, кожен з яких оснащений відповідними інструментами доступу до даних.

Експериментальна оцінка на вибірці з 40 тестових запитів продемонструвала точність рекомендацій на рівні 87,5%, релевантність відповідей 92,5% та середній час відповіді 2,3 секунди. Порівняльний аналіз з rule-based та ML-підходами підтвердив переваги LLM-агентної архітектури у адаптивності, пояснюваності та мультизадачності.

Перспективами подальшого розвитку є інтеграція з реальними API маркетплейсів, додавання агентів для прогнозування попиту та аналізу відгуків покупців, а також дослідження ефективності fine-tuning моделі на доменних даних конкретного e-commerce бізнесу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Global ecommerce growth trends and statistics / Statista Research Department. *Statista* : сайт. URL: <https://www.statista.com/topics/871/online-shopping/> (дата звернення: 10.03.2026).
2. Wang L., Ma C., Feng X. та ін. A survey on large language model based autonomous agents. *Frontiers of Computer Science*. 2024. Vol. 18, No. 6. Article 186345. DOI: 10.1007/s11704-024-40231-1.
3. Xi Z., Chen W., Guo X. та ін. The rise and potential of large language model based agents: a survey. *arXiv*. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2309.07864.
4. Agent Development Kit : сайт. *Google for Developers*. 2025. URL: <https://google.github.io/adk-docs/> (дата звернення: 10.03.2026).
5. Guo J., Yang J., Chen X. та ін. E-commerce recommendation systems: a comprehensive survey. *ACM Computing Surveys*. 2024. Vol. 56, No. 7. P. 1–38. DOI: 10.1145/3637528.
6. Yao S., Zhao J., Yu D. та ін. ReAct: synergizing reasoning and acting in language models. *arXiv*. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2210.03629.

7. Московко С., Кветний Р. Метод структурованого перетворення діаграми активності бізнес-процесів у карту контексту предметно-орієнтованого проєктування. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2025. Т. 30, № 2. С. 33–43. DOI: 10.62660/bcstu/2.2025.33.

**Московко Сергій Геннадійович** – аспірант групи 126-23а, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: smoskovko@icloud.com

**Кветний Роман Наумович** – д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua

***Moskovko Serhii G.*** — Department of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: smoskovko@icloud.com

***Kvetny Roman N.*** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua