

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Інформаційних технологій проєктування та прикладної математики
(кафедра)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТРА»**

на тему:

«Метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній
галузі»

Левіщенко Олександр Ярославович

Київ 2025 р

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Інформаційних технологій проєктування та прикладної математики
(кафедра)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри УП
Євгеній БОРОДАВКА

„____” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТРА»

на тему:

Метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі

Виконав: студент 2-го курсу
групи ІСТм-24
Спеціальність: 126 Інформаційні
системи та технології
Олександр ЛЕВІЩЕНКО
Керівник Людмила ТЕРЕЙКОВСЬКА
Рецензент Євгеній БОРОДАВКА

Київ 2025 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра: інформаційних технологій проектування та ПМ

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 126 Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІТППМ
Євгеній БОРОДАВКА

„___” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Левіщенко Олександр Ярославович

1. Тема роботи: Метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі.

затверджена наказом ректора № 1619/23/25 від 29.09.2025 р.

2. Керівник роботи: Терейковська Людмила Олексіївна, д.т.н., професор кафедри інформаційних технологій проектування та ПМ КНУБА.

3. Термін подання студентом роботи до захисту: 18 грудня 2025 р.

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ.

Р.2. МЕТОД РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ.

Р.3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ.

5. Інформаційні слайди:

С.1. Титульний слайд

С.2. Актуальність роботи

- С.3. Мета роботи, об'єкт дослідження, предмет дослідження, методи дослідження
- С.4. Задачі дослідження
- С.5. Наукова новизна, практичне значення
- С.6. Апробація результатів
- С.7. Огляд існуючих рішень у сфері електронної комерції в будівельній галузі
- С.8. Огляд існуючих рішень у сфері електронної комерції в будівельній галузі
- С.9. Базис розробки методу
- С.10. Математичне забезпечення методу розробки мобільного додатку для електронної комерції
- С.11. Математичне забезпечення методу розробки мобільного додатку для електронної комерції
- С.12. Етапи методу розробки мобільного додатку для електронної комерції
- С.13. Розробка програмного забезпечення на основі методу розробки мобільного додатку для електронної комерції
- С.14. Програмна реалізація застосунку на основі запропонованого методу розробки мобільного додатку для електронної комерції
- С.15. Експериментальні дані
- С.16. Загальні висновки
- С.17. Фінальний слайд

6. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ.	жовтень 2025
Р.2. МЕТОД РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ.	листопад 2025
Р.3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ.	грудень 2025
Остаточне оформлення роботи	грудень 2025
Попередній захист роботи на кафедрі	грудень 2025

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1	Терейковська Л. О.	04.10.2025	
Розділ 2	Терейковська Л. О.	22.11.2025	
Розділ 3	Терейковська Л. О.	06.12.2025	

8. Дата видачі завдання: 29.09.2025

Керівник	_____	Людмила ТЕРЕЙКОВСЬКА
	(підпис)	
Студент	_____	Олександр ЛЕВІЩЕНКО
	(підпис)	

АНОТАЦІЯ

Магістерська атестаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків і має 86 сторінок основного тексту, 15 рисунків, 8 таблиць, 16 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 40 найменувань і займає 4 сторінки. Загальний обсяг роботи 114 сторінок.

Метою роботи є підвищення ефективності створення та функціонування мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі шляхом розробки формалізованого методу з використанням математичних моделей і нейромережевих механізмів аналізу даних.

У роботі вирішено науково-прикладну задачу розробки методу створення мобільного додатку для електронної комерції з урахуванням специфіки будівельної галузі та багатопараметричних користувацьких запитів.

На основі запропонованого методу розроблено архітектуру програмного комплексу, математичні моделі каталогу, пошуку та фільтрації, а також інтегровано нейромережеві компоненти семантичного аналізу. Реалізовано клієнт-серверне програмне забезпечення з використанням бази даних.

Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність запропонованого підходу щодо підвищення точності пошуку та зменшення ресурсоемності обробки запитів у мобільних системах електронної комерції.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого методу та програмного забезпечення при створенні мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі.

Ключові слова: мобільний додаток, електронна комерція, будівельна галузь, нейромережеві моделі, семантичний пошук, логістика, штучний інтелект.

SUMMARY

The master's thesis consists of an introduction, three chapters, general conclusions, a list of references, and appendices. It contains 86 pages of main text, 15 figures, 8 tables, and 16 pages of appendices. The list of references includes 40 sources and occupies 4 pages. The total volume of the thesis is 114 pages.

The purpose of this thesis is to increase the efficiency of the development and operation of mobile applications for electronic commerce in the construction industry by developing a formalized method using mathematical models and neural network-based data analysis mechanisms.

The thesis addresses a scientific and applied problem of developing a method for creating a mobile e-commerce application that takes into account the specifics of the construction industry and multiparameter user queries.

Based on the proposed method, the architecture of the software system, mathematical models of the catalog, search and filtering processes were developed, and neural network components for semantic analysis were integrated. Client-server software using a database was implemented.

The results of experimental studies confirmed the effectiveness of the proposed approach in improving search accuracy and reducing the resource intensity of query processing in mobile e-commerce systems.

The practical significance of the work lies in the possibility of applying the developed method and software in the creation of mobile applications for electronic commerce in the construction industry.

Keywords: mobile application, electronic commerce, construction industry, neural network models, semantic search, logistics, artificial intelligence.

Зміст	
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ	12
1.1. Особливості електронної комерції в будівельній галузі.....	12
1.2. Аналіз науково-прикладних рішень в області розробки мобільних додатків для електронної комерції.....	15
1.3. Оцінка перспектив застосування нейромережових рішень в електронній комерції	22
1.4. Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. МЕТОД РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ.....	28
2.1. Базис розробки методу	28
2.2. Математичне забезпечення методу розробки мобільного додатку для електронної комерції.....	34
2.3. Етапи методу розробки мобільного додатку для електронної комерції	50
2.4. Висновки до розділу 2	61
РОЗДІЛ 3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ	63
3.1. Обґрунтування вибору середовища та мови програмування	63
3.2. Програмна реалізація запропонованого методу	76
3.3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.....	86
3.4. Висновок до розділу 3	92
ВИСНОВКИ.....	93
ЛІТЕРАТУРА.....	95
Додатки.....	98

ВСТУП

Актуальність. Сучасна будівельна галузь перебуває на етапі активної цифрової трансформації, що обумовлено зростанням потреб у швидкому обміні даними, оптимізації логістики та ефективному управлінні ресурсами. Одним із ключових напрямів цієї трансформації є впровадження технологій електронної комерції, які забезпечують прозорість взаємодії між постачальниками, підрядниками, виробниками та клієнтами. Однак більшість існуючих електронних платформ орієнтовані на масовий споживчий ринок і не враховують специфіку будівельної галузі, що характеризується складною структурою номенклатури матеріалів, великою кількістю учасників процесу та необхідністю інтеграції з проєктними системами (BIM, ERP тощо). Потреба у створенні спеціалізованих мобільних додатків для електронної комерції у будівництві зумовлена не лише розвитком цифрових технологій, але й прагненням підвищити ефективність процесів закупівель, аналітики та контролю. Мобільні рішення дозволяють забезпечити оперативний доступ до інформації, скоротити витрати часу та підвищити якість управлінських рішень. Актуальність теми підсилюється також тенденцією переходу до хмарних сервісів, використанням нейромережевих технологій для персоналізації користувацького досвіду та автоматизації процесів аналізу даних. Таким чином, розробка ефективного методу побудови мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі є важливим завданням, що має як наукове, так і практичне значення.

Відомі підходи до вирішення поставленої задачі. У науковій літературі представлено значну кількість робіт, присвячених створенню систем електронної комерції загального призначення. Проте більшість відомих рішень не враховують галузевої специфіки будівельного ринку, що знижує ефективність їх застосування на практиці. Існуючі методи побудови мобільних додатків здебільшого базуються на стандартних архітектурних моделях (client–server, REST, microservices), які не завжди забезпечують необхідну гнучкість при роботі з великими масивами технічних даних. Крім того, обмеженість функцій класифікації матеріалів, недостатня інтегрованість із

системами управління проектами та відсутність інтелектуальних механізмів рекомендацій знижують рівень автоматизації та зручності користувацької взаємодії. Сучасні тенденції свідчать, що перспективними є рішення, які поєднують мобільні технології, хмарні обчислення та методи штучного інтелекту, що створює передумови для розробки нового ефективного методу.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу створення та функціонування мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі шляхом розробки методу, який забезпечує інтеграцію, адаптивність і аналітичну підтримку бізнес-процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- Провести аналіз існуючих рішень у сфері розробки мобільних додатків для електронної комерції та визначити їх недоліки.
- Побудувати метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі.
- Реалізувати програмний прототип мобільного додатку та провести експериментальну перевірку ефективності запропонованого методу.

Галузь застосування. Розроблений метод та програмний засіб належать до галузі інформаційних технологій у будівництві та можуть бути використані для автоматизації процесів електронної торгівлі будівельними матеріалами, управління закупівлями та оптимізації взаємодії між учасниками будівельного ринку.

Об'єкт дослідження - процес розробки мобільних додатків для електронної комерції у будівельній галузі.

Предмет дослідження - методи, архітектури та інтелектуальні алгоритми, що забезпечують підвищення ефективності функціонування мобільних систем e-commerce у будівництві.

Методи дослідження базуються на положеннях теорії штучних нейронних мереж (для розробки моделей семантичного пошуку, класифікації та рекомендацій у системах електронної комерції), а також на принципах об'єктно-орієнтованого

програмування та клієнт-серверних архітектур (для програмної реалізації запропонованого методу у вигляді мобільного додатку та серверної частини).

Наукова новизна отриманих результатів: отримав подальший розвиток метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі, який поєднує адаптивну архітектуру, можливість інтеграції з корпоративними системами управління та використання елементів штучного інтелекту для підвищення ефективності комерційних процесів.

Практичне значення отриманих результатів:

- Розроблено програмний інструмент - мобільний додаток для електронної комерції в будівельній галузі, який реалізує запропонований метод та забезпечує виконання ключових функцій: пошуку, фільтрації, класифікації товарів, логістичних розрахунків та формування рекомендацій.
- Розроблено методику проведення експериментальних досліджень для оцінювання ефективності запропонованих моделей пошуку, структуризації каталогу, рекомендаційних алгоритмів та логістичних обчислень у рамках створеного програмного забезпечення.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованого методу для створення мобільних систем, що дозволяють зменшити витрати часу на управління закупівлями, підвищити точність обліку, ефективність логістики та якість комунікації між учасниками будівельного процесу.

Апробація результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 105), 11-12 грудня 2025 р. (м. Київ)

<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-2403/>

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

1.1. Особливості електронної комерції в будівельній галузі

Розвиток інформаційних технологій упродовж останнього десятиліття суттєво вплинув на всі сфери економічної діяльності, зокрема і на будівельну галузь. Одним із найбільш помітних напрямів цієї трансформації є впровадження електронної комерції, яка поступово перетворюється з допоміжного інструмента на повноцінний елемент бізнес-моделі підприємств. Актуальність дослідження електронної комерції саме в будівельній сфері зумовлена необхідністю оптимізації процесів закупівель, зниження витрат, підвищення прозорості та ефективності взаємодії між усіма учасниками ринку - від виробників до кінцевих споживачів.

Будівельна галузь має специфічну структуру: вона включає постачальників сировини та матеріалів, виробників будівельної продукції, дистриб'юторів, логістичні компанії, підрядників, інженерів та замовників. Така багаторівнева система вимагає високого рівня координації та оперативного обміну інформацією, що в умовах традиційних бізнес-процесів часто є складним завданням. Електронна комерція здатна вирішити ці проблеми, забезпечуючи централізований доступ до інформації про товари, ціни, наявність на складах і можливості доставки.

Будівельна галузь характеризується великим обсягом матеріальних потоків, різноманітням номенклатури продукції та високими вимогами до точності планування поставок. Традиційна модель закупівель передбачає багатоетапне погодження, використання паперових документів та значні часові витрати. Саме тому впровадження електронної комерції є логічним кроком у напрямі цифрової трансформації галузі.

Завдяки e-commerce компанії отримують можливість:

- скоротити час пошуку та замовлення товарів;
- підвищити точність розрахунків та планування;
- оптимізувати логістичні процеси;

- знизити ризики людського фактора;
- забезпечити прозорість закупівель та підвищити довіру між учасниками ринку.

У світовій практиці електронна комерція у будівництві поступово стає стандартом взаємодії між компаніями. За даними галузевих аналітичних досліджень, понад 70% великих будівельних компаній ЄС і США частково або повністю здійснюють закупівлі через цифрові платформи. В Україні ж процес цифровізації відбувається повільніше, що обумовлює необхідність розробки власних адаптованих рішень із урахуванням національної специфіки ринку.

Система електронної комерції являє собою інформаційно-аналітичну платформу, яка поєднує в собі веб- або мобільний інтерфейс користувача, базу даних товарів і клієнтів, підсистему управління замовленнями та модулі аналітики. Типова структура такої системи містить такі основні компоненти:

1. **Інтерфейс користувача (Frontend)** - забезпечує зручну взаємодію між користувачем і системою. Це може бути вебпортал або мобільний додаток, який дозволяє переглядати каталог товарів, фільтрувати їх за параметрами, додавати до кошика, оформлювати замовлення та здійснювати оплату.
2. **Серверна частина (Backend)** - відповідає за обробку запитів, взаємодію з базою даних і зовнішніми сервісами (CRM, ERP, системами оплати, службами доставки).
3. **База даних** - містить інформацію про товари, постачальників, клієнтів, ціни, залишки на складах, історію замовлень тощо.
4. **Модуль управління замовленнями** - забезпечує обробку всього циклу замовлення: від його формування до оплати та доставки.
5. **Аналітичний модуль** - надає засоби для аналізу продажів, прогнозування попиту, формування звітів і оцінки ефективності роботи платформи.
6. **Модуль безпеки** - забезпечує захист персональних і фінансових даних користувачів, використовуючи сучасні алгоритми шифрування та аутентифікації.

Для будівельної галузі така структура може доповнюватися специфічними елементами:

- каталогами із технічними характеристиками;
- системою інтеграції з BIM-платформами (Building Information Modeling);
- інструментами візуалізації матеріалів і комплектів;
- механізмами персоналізації для корпоративних клієнтів (B2B).

Незважаючи на активний розвиток e-commerce у світі, більшість відомих рішень не повною мірою задовольняють специфіку будівельного ринку. Це пояснюється низкою об'єктивних причин:

1. **Недостатня адаптація до складної номенклатури товарів.** Багато платформ електронної комерції розроблені для універсального використання (наприклад, Amazon, Shopify, Rozetka). Вони не враховують складність технічних характеристик будівельних матеріалів, що ускладнює їх інтеграцію у професійні процеси закупівель.

2. **Відсутність глибокої інтеграції з галузевими системами управління.** На практиці будівельні компанії часто використовують власні ERP або CRM рішення, які не мають стандартних модулів для обміну даними з онлайн-магазинами. Це призводить до дублювання інформації, ручного введення даних і помилок у плануванні поставок.

3. **Обмежені можливості мобільних платформ.** Попри поширення мобільних додатків, більшість із них виконують лише базові функції - перегляд товарів і оформлення замовлення. Вони не забезпечують глибокої аналітики, персоналізації або інтеграції з корпоративними процесами.

4. **Низький рівень автоматизації процесів закупівлі.** Часто після оформлення замовлення потрібне ручне підтвердження менеджером або узгодження цін. Це знижує ефективність системи та не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал електронної комерції.

5. Проблеми безпеки та довіри користувачів. Будівельні компанії оперують великими фінансовими обсягами, тому будь-які збої або витік даних можуть мати серйозні наслідки. Недостатній рівень захисту інформації стає серйозною перешкодою для повного переходу на електронну взаємодію.

6. Низький рівень інтелектуалізації процесів. У більшості рішень відсутні інструменти прогнозування попиту, аналізу цінових коливань або автоматичного формування рекомендацій. Внаслідок цього знижується точність управлінських рішень і ефективність закупівель.

У сукупності ці чинники формують проблему недостатньої ефективності існуючих рішень електронної комерції з точки зору автоматизації, інтеграції та аналітичної підтримки бізнес-процесів. Отже, аналіз сучасного стану електронної комерції в будівельній галузі показує, що, попри значний прогрес, більшість рішень залишаються фрагментарними й не забезпечують комплексної підтримки бізнес-процесів. Актуальність завдання розробки нових підходів полягає у пошуку ефективного методу створення мобільного додатку, який би враховував галузеву специфіку, підтримував інтеграцію з корпоративними системами, забезпечував високу швидкість, персоналізацію та аналітику. Недостатня ефективність відомих систем електронної комерції зумовлена, насамперед, обмеженою гнучкістю, відсутністю інтелектуальних механізмів класифікації та аналізу даних, а також недосконалістю взаємодії між підсистемами. Саме ці проблеми формують наукове та практичне підґрунтя для подальшої розробки нового методу побудови мобільного додатку для електронної комерції у будівельній галузі.

1.2. Аналіз науково-прикладних рішень в області розробки мобільних додатків для електронної комерції

У роботі [1] проаналізовано сучасні тенденції впровадження електронної комерції в будівельній галузі в контексті цифрової трансформації. Підкреслюється відставання будівництва від інших секторів за рівнем цифровізації, але COVID-19

стимулював попит на цифрові рішення. Електронна комерція розглядається як засіб підвищення продуктивності, зменшення витрат і забезпечення прозорості взаємодії учасників будівельного процесу. Огляд базується на аналізі публікацій і галузевих звітів, узагальнює переваги e-commerce: скорочення часу обробки замовлень, покращення логістики, оптимізацію закупівель, поліпшення комунікації між підрядниками та постачальниками, зниження бюрократії. Водночас визначено бар'єри цифровізації: слабка ІТ-інфраструктура, дефіцит кадрів, обмежене фінансування, консерватизм. Пандемія розглядається як каталізатор переходу до електронних платформ, однак темпи впровадження нерівномірні: у країнах, що розвиваються, домінують технічні й фінансові обмеження, а в розвинених - організаційна інертність і слабка інтеграція цифрових систем. Сильна сторона статті - системне бачення e-commerce як частини інтегрованої екосистеми управління ланцюгом постачання. Недолік - відсутність технічних рішень, моделей чи прикладів реалізації, тому результати мають переважно теоретичний характер.

У роботі [2] подано систематичний огляд мобільних додатків у будівельній галузі з метою показати сучасний стан розвитку мобільних технологій та окреслити напрями їх удосконалення. Розглядаються додатки для управління процесами, проєктування, креслення, вимірювань, контролю та комунікації. Систематизовано понад 100 застосунків, які класифіковано за функціональними групами (управління проєктами, дизайн і креслення, вимірювання й оцінка, моніторинг і звітність тощо), що дає змогу пов'язати їх з професійними ролями користувачів. Зазначено, що більшість додатків є мультиплатформенними (Android/iOS), проте потенціал використання часто не реалізується через низьку обізнаність користувачів, слабку інтеграцію з корпоративними системами та недостатню адаптацію інтерфейсів до умов будмайданчика. Значну увагу приділено usability: вибір додатку часто визначається простотою інтерфейсу, швидкістю й підтримкою, тоді як специфіка будівельного середовища (освітлення, робота офлайн, нестабільний зв'язок) враховується недостатньо. Сильні сторони - масштаб і системність огляду, корисна

класифікація для подальших досліджень та інтеграції в єдині екосистеми e-commerce. Недоліки - відсутність алгоритмічних деталей, аналізу обробки даних, інтеграції з базами та оцінки ефективності, а також ігнорування регіональної специфіки (зокрема українського ринку).

У статті [3] Вейцзюань Цзін досліджує впровадження технологій 5G та IoT в електронну комерцію. Показано, що ці технології дають змогу створювати інтелектуальні, масштабовані системи взаємодії між продавцями, покупцями, логістикою та аналітичними сервісами, долаючи обмеження традиційних архітектур e-commerce. Розглянуто архітектуру електронної комерції як розподілену систему з виокремленням клієнтського, сервісного, рівня даних і комунікацій, де останній ґрунтується на 5G, що забезпечує мінімальні затримки та роботу в режимі реального часу - критично важливо для оновлення інформації про наявність матеріалів і логістику. Запропоновано модель «розумної логістики» на основі IoT: датчики й транспортні модулі відстежують переміщення й умови зберігання матеріалів, дані надходять до хмарної платформи, де алгоритми машинного навчання оптимізують маршрути й знижують ризики пошкодження. Описано архітектуру з трьома модулями (управління даними, бізнес-логіка, клієнтський інтерфейс), які взаємодіють через API у стилі мікросервісів. Експериментальне тестування прототипу показало приріст продуктивності на 25–30 % порівняно з традиційними платформами, особливо під навантаженням, що підтверджує доцільність використання 5G+IoT у галузях з високими вимогами до швидкості й точності, зокрема в будівництві.

У роботі [4] розглянуто розробку веб-орієнтованого магазину будівельних матеріалів з інтегрованим методом крос-продажів. Мета - спростити пошук і купівлю матеріалів та підвищити вартість транзакцій завдяки автоматичним рекомендаціям доповнюючих товарів. Використано підхід R&D та модель RAD (планування вимог, дизайн-воркшоп, впровадження). Тестування в конкретному магазині показало, що система працездатна, а крос-продажі збільшують середній чек і полегшують вибір через структуровані каталоги й рекомендації. Сильні сторони - практичний характер,

наявність реалізованого й протестованого продукту, а також фокус на рекомендаційному механізмі, важливому для будівельної e-commerce. Серед обмежень - орієнтація на веб, відсутність аналізу мобільності (офлайн-режим, робота при слабкому зв'язку, специфіка мобільного UX), інтеграції з ERP/BIM і логістикою. Крім того, модель крос-продажів більше відповідає B2C-сегменту й потребує адаптації для B2B із великими обсягами закупівель і жорсткими технічними вимогами.

У статті [5] емпірично досліджено фактори, що визначають готовність малих і середніх будівельних підприємств упроваджувати електронну комерцію. На основі опитувань менеджерів і фахівців та застосування SEM-аналізу оцінюються вплив технічної компетентності, IT-інфраструктури, досвіду керівництва, зовнішньої підтримки, фінансових ресурсів і середовищних факторів. Встановлено, що найбільший вплив мають технічні й організаційні чинники (розвинена інфраструктура та інноваційне керівництво), тоді як зовнішні умови (правове середовище, конкуренція, потреби споживачів) теж важливі, але менш контрольовані підприємством. Фінансові ресурси є критичними на всіх етапах впровадження, особливо для SMEs. Перевага роботи - реальні емпіричні дані, чітка ідентифікація бар'єрів і практичні рекомендації. Недолік - загальний характер: не розглядаються специфіка мобільних застосунків, класифікація товарів, технічні архітектури, інтеграція з логістикою чи галузевими стандартами.

У статті [6] проведено систематичний огляд мобільних застосунків у будівництві з акцентом на функціональність, поширеність і класифікацію. Мета - сформулювати каталог додатків, класифікувати їх за призначенням і оцінити рівень поширення серед професіоналів. Ідентифіковано 136 застосунків, поділених на 11 груп (design & drawing, measurement & estimation, management, construction site apps тощо), причому найбільше рішень припадає на вимірювання, дизайн і управління. Більшість підтримує Android/iOS. Переваги - широкий охват і чітка категоризація, що дає змогу виявити функціональні прогалини й орієнтири для майбутніх розробок.

Обмеження - оглядовий характер без аналізу внутрішніх алгоритмів, роботи офлайн, продуктивності, UX чи адаптації до реальних умов будмайданчика; не враховано регіональні відмінності, що ускладнює адаптацію до локальних ринків.

У статті [7] досліджено прийняття систем електронної комерції операторами будівельних компаній у B2B-сегменті на основі моделі Diffusion of Innovation. Аналізуються фактори відносної переваги, сумісності, складності, можливості тестування, організаційної готовності та довіри. Встановлено, що найбільш впливовими є відносна перевага, сумісність із чинними бізнес-процесами, простота використання, наявність тестових версій, організаційна готовність і довіра до платформи. Підприємства охочіше впроваджують рішення, які явно зменшують витрати, економлять час і покращують комунікацію, легко інтегруються з існуючими системами та мають простий інтерфейс. Емпірична база (опитування реальних операторів) і використання усталеної теорії є сильними сторонами. Недоліки - відсутність фокусу на мобільних платформах, UX, офлайн-режимах, а також на специфічних галузевих аспектах (класифікація матеріалів, інтеграція з CAD/BIM). Частина висновків може частково втратити актуальність через швидкий розвиток технологій після 2020 року.

У статті [8] порівнюється користувацький досвід взаємодії з e-commerce через вебверсії та мобільні застосунки. Мета - з'ясувати, як користувачі оцінюють зручність, корисність, швидкість, дизайн і промоційні елементи залежно від платформи. Показано, що мобільні додатки сприймаються як більш зручні й корисні, але ставлять вищі вимоги до якості інтерфейсу, адаптивності та швидкодії. Методологія ґрунтується на аналізі поведінкових показників і відгуків. Сильні сторони - деталізований порівняльний UX-аналіз, корисний для розробників мобільних рішень. Обмеження - відсутність галузевої специфіки будівництва, не розглянуто роботу в умовах обмеженого зв'язку, різні форм-фактори пристроїв, інтеграцію з бізнес-системами чи специфічні технічні функції (каталог матеріалів, логістика).

У роботі [9] представлено систематичний огляд використання цифрових платформ у ланцюгах постачання АЕС-галузі. Мета - виявити ключові теми досліджень і побудувати інтеграційну модель, що відображає етапи впровадження платформ, бар'єри й вигоди. Показано фрагментарність наявних досліджень: багато локальних робіт, але немає цілісної рамки для повного життєвого циклу цифрових рішень. Виокремлено три рівні цифрової трансформації: традиційний (BIM, ERP), спеціалізований (цільові рішення для ефективності) та просунутий (хмарні технології, аналітика, прогностика). Сильна сторона - візуальна інтеграційна модель, що дозволяє позиціонувати мобільний додаток у загальній екосистемі цифрових рішень і оцінювати вигоди (поліпшення якості, координації, скорочення витрат). Обмеження - відсутність фокусу на мобільній e-commerce, класифікації матеріалів, UX, офлайн-режимах, інтеграції мобільних сервісів доставки; домінування глобальних прикладів, що знижує релевантність для локальних ринків.

У статті [10] проаналізовано «smart construction technologies» - IoT, сенсори, аналітику, автоматизацію - у контексті підвищення ефективності, безпеки та сталості будівництва. Методологія спирається на Quality Function Deployment для пріоритизації технологій за релевантністю до різних будівельних задач. Ідентифіковано дев'ять пріоритетних технологій: IoT для моніторингу процесів, сенсорні системи, обробка даних, автоматизація управління, рішення для безпеки й якості тощо. Перевага роботи - структурований підхід до визначення технологічних пріоритетів і аналіз бар'єрів (висока вартість, брак компетенцій, відсутність стандартів, технічні труднощі). Це створює корисне тло для формування вимог до майбутніх мобільних рішень у будівельній e-commerce, які мають працювати з даними сенсорів і IoT. Водночас стаття не концентрується на e-commerce або мобільних додатках, не аналізує UX, роботу при слабкому зв'язку, інтеграцію з каталогами матеріалів чи логістичними сервісами, а також не подає конкретних прототипів мобільних систем.

Спираючись на дані роботи було сформовано 5 критеріїв, що дозволяють оцінити ефективність даного рішення (табл. 1.1)

(Таблиця 1.1)

Таблиця критеріїв оцінки ефективності відомих методів

Назва критерію	Опис критерію
Функціональна повнота та технічна реалізація (K1)	Наскільки застосунок або система охоплює всі необхідні бізнес-процеси і наскільки технічно якісно реалізовані ці функції (продуктивність, стабільність, швидкість обробки даних).
Зручність користування (K2)	Наскільки інтерфейс інтуїтивний, простий і адаптований до умов будівельної галузі
Інтегрованість і сумісність із бізнес-процесами (K3)	Здатність рішення інтегруватися з іншими системами - ERP, CRM, CAD/BIM, системами обліку чи логістики. Високий рівень інтеграції забезпечує безперервність даних і зменшує дублювання операцій.
Економічна ефективність та бізнес-цінність (K4)	Наскільки впровадження рішення сприяє зниженню витрат, підвищенню продуктивності, зростанню продажів чи ефективності закупівель.
Надійність, безпека та довіра користувачів (K5)	Захист даних користувачів і забезпечення стабільної, безпечної роботи системи. Також важливим є рівень довіри до платформи з боку компаній і клієнтів.

(Таблиця 1.2)

Оцінка ефективності відомих методів розробки мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі

Номер роботи	K1	K2	K3	K4	K5
Робота 1	0,8	0,4	0,6	0,4	0,8
Робота 2	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6
Робота 3	0,8	0,2	0,5	0,8	0,4
Робота 4	0,50,	0,9	0,4	0,6	0,8
Робота 5	0,7	0,6	0,9	0,7	0,8
Робота 6	0,7	0,4	0,9	0,8	0,9
Робота 7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6
Робота 8	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8
Робота 9	0,4	0,9	0,6	0,7	0,7
Робота 10	0,9	0,7	0,8	0,7	0,8

На основі аналізу (табл. 1.2) визначено, що найбільш ефективними є методи, які спираються на поєднання IoT-технологій, хмарних сервісів і високої інтеграції з бізнес-процесами, оскільки вони забезпечують не лише технічну стабільність, але й оптимізують логістику та управління закупівлями. Водночас методи, що базуються на персоналізації або оптимізації UX, мають високі показники зручності, але поступаються в масштабованості та інтегрованості.

1.3. Оцінка перспектив застосування нейромережових рішень в електронній комерції

Розвиток електронної комерції упродовж останніх десяти років поступово змістив акцент з класичних алгоритмів обробки даних до інтелектуальних систем, побудованих на основі штучних нейронних мереж (ШНМ). Нейромережові моделі

демонструють здатність навчатися на великих обсягах даних, виявляти приховані закономірності та забезпечувати адаптивність, недосяжну для традиційних методів. Це особливо актуально для електронної комерції в будівельній галузі, де кількість параметрів товарів, варіативність застосування матеріалів та складність логістичних рішень значно перевищують аналогічні показники у споживчому ритейлі.

Перспективи застосування нейронних мереж у ключових процесах e-commerce

1. Семантичний пошук (Semantic Search)

Традиційні пошукові алгоритми (LIKE, ключові слова) працюють погано у випадках, коли:

- користувач вводить неточний, розмовний або неповний запит;
- різні постачальники використовують різну термінологію; параметри матеріалів мають складні комбінації.
- Сучасні ШНМ - такі як BERT, Sentence-BERT, Word2Vec - дозволяють подати текст запиту та опис товару у вигляді векторів і оцінювати їхню "семантичну близькість". Це робить пошук точнішим і природнішим.

2. Автоматична класифікація будівельних матеріалів

Будівельні каталоги містять тисячі номенклатурних позицій з десятками параметрів. Нейромережеві моделі (MLP, CNN для текстових описів, DeepFM) можуть автоматично визначати:

- категорію матеріалу,
- групу сумісності,
- можливе призначення,
- відповідність нормам (EN, ДСТУ).

Це дозволяє уникнути ручних помилок і прискорює оновлення каталогів.

3. Рекомендаційні системи (Recommendation Engines)

Для будівельної галузі рекомендації особливо важливі, оскільки більшість покупок є комплексними. ШНМ типу Neural Collaborative Filtering, Wide&Deep, Deep Crossing можуть будувати:

- рекомендації суміжних матеріалів (наприклад, утеплювач + клей + дюбелі),
- рекомендації за історією проєктів,
- індивідуальні підказки на основі поведінкових патернів користувачів.

4. Прогнозування логістичних параметрів

Для будівельної e-commerce доставка залежить від десятків факторів: габарити вантажу, маршрути, погода, пропускна спроможність складів, трафік. ШНМ типу LSTM, GRU та Temporal Convolutional Networks дозволяють прогнозувати:

- час доставки;
- навантаження на склади;
- оптимальні маршрути;
- можливі затримки.

Це підвищує точність планування та зменшує логістичні витрати.

- ### 5. Інтелектуальний аналіз транзакцій та виявлення аномалій
- Нейронні мережі ефективно виявляють шахрайські операції, поведінкові аномалії або підозрілі замовлення.

Переваги нейромережових рішень для будівельної галузі

Будівельний ринок характеризується такими особливостями:

- складність технічних параметрів товарів;
- велика кількість можливих комбінацій матеріалів;
- нерівномірний попит;
- значні різниці між регіональними ринками;
- велика роль логістичних витрат.

Саме тому нейронні мережі мають потенціал суттєво підвищити ефективність електронної комерції у цій сфері. ШНМ дозволяють формалізувати нерегулярні й нечіткі дані, автоматизувати обробку запитів та прогнозувати складні залежності.

Ключові перспективи впровадження ШНМ в будівельну e-commerce

- Підвищення точності пошуку до 90–95 % завдяки семантичному аналізу.
- Скорочення часу навігації користувача на 20–30 %.
- Зменшення помилок класифікації каталогу на 30–40 %.
- Оптимізація логістики та зменшення витрат на доставку.
- Формування персоналізованих рекомендацій для проєктів різної складності.
- Можливість масштабування системи без ручної підтримки каталогу.

1.4. Висновки до розділу 1

Даний розділ присвячений вирішенню наукової задачі аналізу сучасних рішень у сфері електронної комерції в будівельній галузі та оцінки перспектив застосування нейромережевих технологій у процесі розробки спеціалізованих мобільних додатків. На основі опрацьованих наукових і науково-практичних джерел було сформовано уявлення про поточний стан цифровізації будівельного ринку, особливості існуючих мобільних рішень та потенціал штучного інтелекту для підвищення ефективності e-commerce у цій галузі.

У результаті проведених досліджень:

- Показано, що науково-практична задача підвищення ефективності електронної комерції в будівельній галузі зводиться до розробки методу створення мобільного додатку, який би враховував специфіку будівельних матеріалів, складну структуру каталогів, логістичні обмеження та потреби різних груп користувачів. Визначено ключові особливості предметної області: багатовимірність параметрів товарів, необхідність багатокритеріального пошуку, важливість інтеграції з іншими цифровими платформами (ERP, BIM, системами логістики).
 - Обґрунтовано, що традиційні підходи до побудови e-commerce систем (класичні каталоги, прості текстові пошукові механізми, фіксовані фільтри) мають суттєві обмеження, пов'язані з недостатньою гнучкістю, відсутністю адаптивності до змін попиту, низьким рівнем персоналізації та складністю роботи з великими різномірними масивами даних. Показано, що ці недоліки можуть бути частково або повністю усунуті шляхом використання нейромережових рішень для семантичного пошуку, автоматичної класифікації будівельних матеріалів, формування рекомендацій та прогнозування логістичних показників.
 - Визначено перспективність розробки нейромережових компонентів у структурі мобільного додатку для будівельної електронної комерції та встановлено можливість підвищення ефективності роботи системи за рахунок використання глибоких і гібридних архітектур (зокрема моделей типу MLP, рекомендаційних нейромереж, моделей семантичного кодування текстових описів матеріалів). Це зумовлює необхідність вирішення таких наукових і прикладних задач:
1. Формалізації задачі розробки методу побудови мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі, з урахуванням структурних, інформаційних та функціональних особливостей предметної області.

2. Розробки математичного забезпечення методу, включаючи моделі структури каталогу будівельних матеріалів, моделі пошуку, фільтрації, логістики, рекомендацій та інтегральної оцінки ефективності, з урахуванням можливості застосування нейромережових алгоритмів.
3. Розробки та дослідження програмної системи - мобільного додатку та серверної частини, що реалізують запропонований метод, інтеграцію нейромережових модулів і проведення експериментальної оцінки отриманих результатів.

РОЗДІЛ 2. МЕТОД РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

2.1. Базис розробки методу

Розробка методу створення мобільного застосунку для електронної комерції в будівельній галузі потребує ґрунтового теоретичного підґрунтя, оскільки така система має не лише відображати товари, а й інтегруватися у складні бізнес-процеси підприємств. На відміну від класичних e-commerce рішень, орієнтованих на споживчі товари, мобільний застосунок у будівельній сфері працює з технічними параметрами, логістикою, спеціалізованою термінологією та взаємодією між постачальниками, підрядниками й клієнтами. Тому базові принципи методу повинні враховувати як загальні IT-підходи, так і галузеві особливості.

Архітектурні передумови. Архітектура мобільного застосунку визначає взаємодію між користувачем, сервером, базою даних, аналітикою, складськими модулями та зовнішніми системами. Від неї залежать масштабованість, стабільність роботи та можливість швидко додавати нові функції.

Найпоширеніші підходи - клієнт-серверна, REST-орієнтована та мікросервісна архітектури. Клієнт-серверна модель проста, але малопридатна для великих обсягів даних і високого навантаження. REST-архітектура забезпечує гнучкість, стандартизований обмін даними та оптимізацію трафіку, що важливо для мобільних платформ.

Мікросервісна архітектура є найбільш перспективною для будівельної e-commerce. Через складну номенклатуру матеріалів, великі каталоги й численні логістичні запити поділ системи на окремі модулі забезпечує високу адаптивність. До таких модулів можуть входити сервіс каталогу, логістичний сервіс, модуль авторизації, аналітика, рекомендаційна система тощо.

Нижче наведено порівняльну таблицю основних архітектурних підходів (таблиця 2.1), що можуть бути використані при розробці мобільного застосунку для електронної комерції.

(Таблиця 2.1)

Порівняльна таблиця основних архітектурних підходів

Архітек- тура	Масштабо- ваність	Складність розробки	Надійність	Інтеграція з корпоратив- ними системами	Придат- ність для e- commerce у будівництві
Клієнт– серверна	середня	низька	висока	середня	обмежена
REST	висока	низька– середня	висока	висока	висока
Мікросерві сна	дуже висока	висока	висока	дуже висока	дуже висока
SOA	середня	висока	середня	висока	середня

Таким чином, для методу, що розробляється, найбільш доцільним є застосування REST або мікросервісної архітектури, залежно від обсягу проекту та потреб у масштабованості.

Потоки даних та їх формалізація. Будівельна електронна комерція характеризується значною кількістю взаємопов'язаних потоків даних. Це не лише інформація про товари, але й логістичні операції, ціни, залишки на складах, технічні параметри, дані постачальників, специфікації, сертифікати та інше. Саме тому важливо формалізувати ці потоки й визначити, як вони оброблятимуться в межах мобільного застосунку.

У найпростішому вигляді потік даних можна подати так:

$$F(t) = C(t), U(t), P(t), L(t), \quad (2.1)$$

де

$C(t)$ - зміни у каталозі,

$U(t)$ - дії користувача,

$P(t)$ - процеси покупки,

$L(t)$ - логістичні операції.

У рамках запропонованого методу ці потоки повинні бути оптимізовані, щоб навіть користувач у польових умовах - на будівельному майданчику - міг швидко отримати доступ до необхідної інформації. Враховуючи те, що нерідко на об'єктах інтернет-з'єднання є нестабільним або обмеженим, система повинна мати механізми кешування, попереднього завантаження даних, а також мінімізації розміру запитів.

Структурування каталогів та класифікація матеріалів. Будівельні каталоги - це одна з найскладніших частин будь-якої системи електронної комерції у відповідній галузі. На відміну від звичайних каталогів, вони повинні враховувати ієрархічність, величезну кількість параметрів, можливість зміни характеристик, різні стандарти (ДСТУ, ISO тощо), а також варіативність матеріалів залежно від постачальників. Типову структуру каталогу можна представити як дерево (Рис. 2.1). Кожен елемент дерева має свою множину атрибутів:

- щільність,
- марка міцності,
- діаметр,
- довжина,
- електропровідність,
- клас захисту,
- вага,
- сертифікаційні документи,
- виробник,

- умови зберігання.

Це робить структурування каталогу одним із ключових етапів побудови методу. Якщо каталог побудований неправильно, користувачі витратимуть більше часу на пошук товарів, що суттєво знижує ефективність системи.

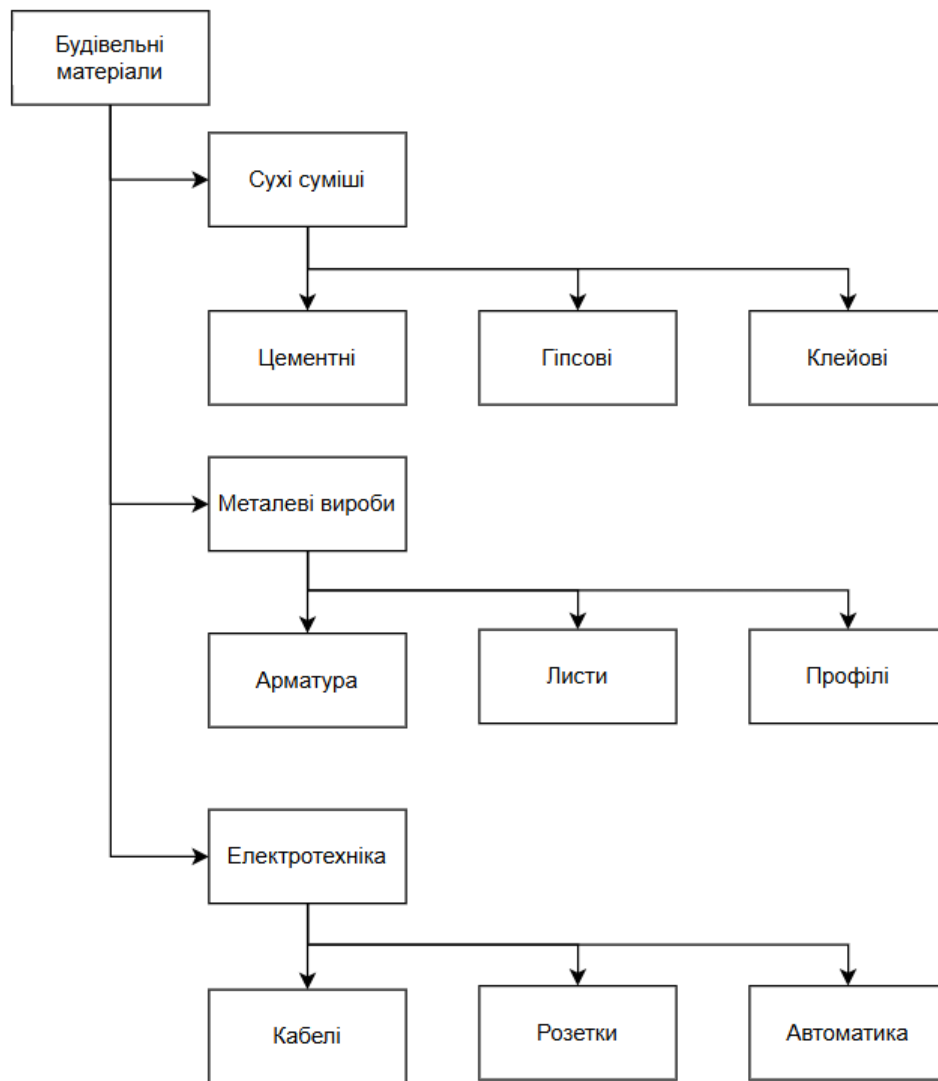


Рис. 2.1 Типова структура каталогу

Інтеграція з галузевими системами. Особливої уваги потребує питання інтеграції з уже існуючими платформами, що використовуються будівельними компаніями. До таких платформ належать:

- ERP-системи - управління ресурсами підприємства;

- CRM-системи - управління взаємодією з клієнтами;
- BIM-системи - моделювання та управління цифровими копіями будівельних об'єктів;

- SCM-рішення - управління ланцюгами постачань.

Інтеграція з цими системами дозволяє мобільному застосунку отримувати:

- реальні залишки на складах,
- точні параметри матеріалів,
- дані про постачальників,
- інформацію про поточні будівельні об'єкти,
- розрахунки витрат,
- дані про логістику.

Зазвичай інтеграцію реалізують через API або синхронізацію баз даних. Важливо, щоб метод передбачав різні сценарії інтеграції - від повної синхронізації до часткової.

Продуктивність і масштабування

Ефективність роботи мобільного застосунку визначається його здатністю працювати швидко та стабільно навіть в умовах високих навантажень. Оскільки будівельні компанії часто мають сотні працівників, які можуть одночасно користуватися системою, важливо забезпечити:

- балансування навантаження,
- оптимізацію бази даних,
- кешування найбільш популярних запитів,
- адаптивні механізми обробки помилок,
- можливість динамічного масштабування.

Продуктивність системи характеризується формулою:

$$E = \frac{T_{opt}}{T_{real}}, \quad (2.2)$$

Де

T_{real} - фактичний час обробки запиту,

T_{opt} - оптимальний час, що визначається технічними вимогами.

Чим ближче E до 1, тим ефективніше система працює.

UX та користувацькі сценарії. Користувацький досвід - один з найважливіших елементів мобільного застосунку, особливо у будівельній галузі. Працівники часто використовують додаток у складних умовах:

- на вулиці,
- у пилу,
- у рукавицях,
- при поганому освітленні,
- при слабкому сигналі мобільного інтернету.

Тому мобільний інтерфейс повинен бути:

- простим,
- контрастним,
- без надлишкової графіки,
- з великими інтерактивними елементами,
- оптимізованим для швидкого пошуку.

Основні сценарії включають:

- пошук товарів за параметрами,
- перегляд технічних характеристик,
- формування замовлення,
- порівняння матеріалів,
- додавання товарів у кошик,
- отримання пропозицій,

- перегляд залишків.

Аналітичні та рекомендаційні модулі. Сучасні системи e-commerce все частіше використовують елементи аналітики та штучного інтелекту. У будівельній галузі вони можуть застосовуватися для:

- рекомендацій матеріалів на основі проєкту,
- оцінки приблизної кількості матеріалів,
- визначення оптимальних постачальників,
- аналізу трендів закупівель,
- прогнозування логістичних затримок.

Ці модулі не є обов'язковою частиною базового методу, але вони суттєво підвищують його ефективність і можуть стати конкурентною перевагою.

2.2. Математичне забезпечення методу розробки мобільного додатку для електронної комерції

Математичне забезпечення є ключовою основою створення будь-якої складної інформаційної системи, особливо системи електронної комерції в будівельній галузі, де структура даних, взаємодія між компонентами та масштабованість безпосередньо впливають на продуктивність і надійність. Для мобільного додатку математичні моделі виконують не допоміжну, а визначальну роль: вони формують механізми пошуку, фільтрації, класифікації товарів, описують логістичні процеси, забезпечують оцінку якості роботи системи, створення рекомендацій, прогнозування попиту та структурування каталогу матеріалів.

На відміну від веб-платформ, мобільні застосунки працюють в умовах обмежених ресурсів - процесорної потужності, пам'яті, енергоспоживання та нестабільного мережевого з'єднання. Тому всі процеси повинні бути формально описані так, щоб забезпечувати виконання складних операцій із мінімальним навантаженням і прийнятною якістю результатів. Ситуацію ускладнює й специфіка будівельних матеріалів: численні технічні характеристики, класи міцності, параметри

сумісності, стандарти та логістичні обмеження. Усі ці дані необхідно уніфікувати в єдину математичну структуру, зручну для алгоритмічної обробки.

У підрозділі подано комплекс математичних моделей, що формують ядро методу розробки мобільного застосунку. До них належать: модель структури каталогу, формальні моделі пошуку та фільтрації, опис логістичних процесів, критерії оцінки якості класифікації й роботи системи, модель продуктивності, стохастична модель поведінки користувачів, базова рекомендаційна модель, матриця сумісності модулів та інтегральна модель взаємодії компонентів системи.

Математична модель структури каталогу будівельних матеріалів

Каталог будівельних матеріалів у загальному вигляді являє собою складну ієрархічну систему, що включає кілька рівнів деталізації та абстракції. На верхньому рівні виділяються категорії (наприклад, бетон, метал, покрівельні матеріали, оздоблювальні матеріали, інструменти, ізоляційні матеріали). Кожна категорія може бути розбита на підкатегорії (наприклад, для металу - арматура, профіль, балки; для утеплювача - мінеральна вата, пінополістирол, піноскло тощо). Далі йдуть товарні позиції - конкретні комерційні найменування матеріалів, що продаються, а також варіації товарів, які відрізняються за розмірами, щільністю, довжиною, кольором, упаковкою, умовами постачання тощо. Окремо задаються параметричні характеристики, які визначають властивості та застосування матеріалів.

Щоб формалізувати цю структуру, каталог доцільно подати у вигляді орієнтованого графа

$$G = (V, E), \quad (2.3)$$

де

V - множина вузлів (елементів каталогу: категорії, підкатегорії, товари, варіації),

E - множина зв'язків (ієрархічних, функціональних, асоціативних).

Найчастіше основою структури каталогу є деревоподібна ієрархія:

$$G_T = (V, E), \quad E = \{ (v_i, v_j) \mid v_j - \text{нащадок } v_i \}, \quad (2.4)$$

де

- v_i - вузол вищого рівня (наприклад, категорія «Будівельні суміші»);
- v_j - вузол нижчого рівня (наприклад, підкатегорія «Клеї для плитки»);
- відношення «нащадок» означає, що елемент v_j успадковує властивості та контекст категорії v_i , що дозволяє однозначно організувати дерево каталогу.

Таким чином, граф G_T описує повну структуру каталогу: кореневі категорії знаходяться у верхніх рівнях дерева, а далі послідовно розгалужуються до конкретних товарних позицій.

У цій моделі кожен вузол (окрім кореня) має одного «батька», а листові вузли відповідають конкретним торговим позиціям або їх варіаціям. Такий підхід добре узгоджується з інтуїтивним уявленням користувача про каталог: зверху - широкі групи матеріалів, унизу - конкретний товар з набором параметрів.

Для кожної товарної позиції m_i вводиться вектор атрибутів:

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}), \quad (2.5)$$

де k - кількість параметрів товару, а x_{ij} - значення j -го параметра для i -го товару.

Частина цих параметрів буде числовою (наприклад, довжина, вага, щільність, теплопровідність), частина - категоріальною (тип матеріалу, виробник, область застосування), а частина може мати текстовий формат (опис, рекомендації, примітки).

У будівництві структура характеристик часто багаторівнева, тому зручно групувати параметри за сутністю:

$$A_i = A_i^{phys} \cup A_i^{tech} \cup A_i^{log} \cup A_i^{mech} \cup A_i^{eco} \quad (2.6)$$

де

- фізичні властивості:

A_i^{phys} – щільність, теплопровідність, водопоглинання, вогнестійкість;

- технічні стандарти:

A_i^{tech} - відповідність ДСТУ, EN, ISO, клас міцності, марка бетону;

- логістичні властивості:

A_i^{log} - габарити упаковки, маса палети, тип транспортування;

- механічні характеристики:

A_i^{mech} - межа міцності, модуль пружності;

- екологічні параметри:

A_i^{eco} - екологічний клас, допустимі умови експлуатації, рівень емісій.

Сукупність усіх груп дає повний набір атрибутів:

Такий підхід дозволяє будувати багаторівневі функції оцінки, які можуть враховувати специфіку галузі: інженер, що проєктує конструкцію, більше орієнтується на технічні та механічні параметри, тоді як закупівельник - на логістичні та вартісні характеристики. Математична модель каталогу, отже, задає основу для подальших операцій пошуку, фільтрації, порівняння та рекомендації товарів.

Формальна модель процесу пошуку. Пошук є однією з ключових функцій будь-якої системи електронної комерції, і для будівельної галузі він особливо важливий, адже замовнику часто необхідно знайти матеріали з дуже конкретними характеристиками (наприклад, «бетон класу C25/30 з морозостійкістю F200 для зовнішніх конструкцій»). Інтуїтивний інтерфейс пошуку повинен підкріплюватися формальною математичною моделлю, яка визначає, які саме товари відносяться до множини результатів і яким чином здійснюється ранжування.

Нехай користувач формує запит у вигляді множини умов:

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\} \quad (2.7)$$

Кожен елемент запиту q_j можна подати як пару «атрибут–умова»:

$$q_j = (a_j, c_j), \quad (2.8)$$

де a_j - параметр (наприклад, «марка бетону», «довжина», «виробник»),

c_j - умова (рівність, нерівність, інтервал, підрядок тексту тощо).

Тоді пошук у каталозі - це процедура побудови множини товарів

$$S(Q) = \{x_i | \forall q_i \in Q : f(a_j, c_j, x_{ij}) = 1\}, \quad (2.9)$$

де f - булева функція, яка повертає 1, якщо значення атрибута x_{ij} задовольняє умові c_j , і 0 - в іншому разі. Тобто до результатів пошуку потрапляють лише ті товари, які відповідають усім заданим критеріям (логіка «І»).

На практиці часто використовують не тільки жорстку відповідність, але й оцінку релевантності. Для цього вводиться функція релевантності:

$$R(x_i, Q) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot \text{sim}(q_j, x_{ij}), \quad (2.10)$$

де w_j - ваговий коефіцієнт важливості j -го критерію,

$\text{sim}(\cdot)$ - функція подібності між умовою запиту й фактичним значенням атрибута.

Функція подібності sim залежить від типу даних:

- для числових параметрів:

$$\text{sim} = e^{-\beta |x_{ij} - u_j|} \quad (2.11)$$

- для категоріальних параметрів:

$$\text{sim} = \begin{cases} 1, & x_{ij} = u_j, \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.12)$$

- для текстових полів (описи, призначення):

$$\text{sim} = \frac{|\text{tokens}(x_{ij}) \cap \text{tokens}(u_j)|}{|\text{tokens}(u_j)|} \quad (2.13)$$

тобто відношення кількості спільних слів між описом і запитом до кількості слів у запиті.

Таким чином, математична модель пошуку дозволяє не лише визначити, які товари формально відповідають запиту, а й оцінити ступінь їх відповідності та виконати сортування за релевантністю.

Модель фільтрації товарів за параметрами. Фільтрація є логічним продовженням пошуку й дозволяє користувачу послідовно уточнювати результати.

Якщо пошук відповідає на питання «що взагалі підходить?», то фільтри відповідають на питання «як це звужити до кількох найкращих варіантів?».

Типові фільтри в будівельній тематиці:

- діапазонні (ціна від... до..., довжина від... до..., щільність не менше..., товщина не більше...);
- множинні категоріальні (обрати кілька виробників, кілька типів матеріалу);
- логістичні (наявність на складі, можливість доставки за 1–2 дні, тип транспорту).

Математично фільтрацію можна розглядати як послідовне накладання обмежень на множину товарів: спочатку відсіюються всі, що не потрапляють у потрібний діапазон цін, потім - всі, що не відповідають марці або класу міцності, потім - ті, що недоступні в регіоні користувача. У результаті формується перетин множин тих товарів, які пройшли всі фільтри. Така формалізація дозволяє легко комбінувати прості фільтри у складні логічні композиції, не заплутуючись у великих обсягах даних.

З точки зору реалізації в мобільному додатку, математична модель фільтрації визначає, які операції виконуються на боці сервера, які –

локально на пристрої, як оптимізується порядок застосування фільтрів та як мінімізувати кількість переданих по мережі даних.

Математичні моделі логістичних процесів. Логістика в будівельній електронній комерції є одним із ключових чинників: важливо не лише придбати потрібний матеріал, а й доставити його на об'єкт у потрібний час, враховуючи транспортні обмеження, графік робіт, складські запаси та погодні умови.

Математично логістика описується як задача пошуку оптимального маршруту доставки та обчислення пов'язаних витрат і термінів. Для кожного маршруту враховуються: відстань і стан дороги, тип транспорту, обмеження за масою й габаритами, простой під час завантаження та розвантаження, а також ризики затримок

(погодні умови, затори тощо). Сумарна вартість логістики визначається витратами на пальне, відстань, оплату праці персоналу та додатковими «ризиковими» витратами, пов'язаними з можливими збитками. Модель часу доставки має стохастичний характер, оскільки фактичний час може відхилятися від розрахункового.

Для мобільного застосунку такий математичний опис потрібний, щоб розраховувати орієнтовну вартість і строки доставки ще під час формування замовлення. Це дає змогу користувачеві оцінити не лише ціну товару, а й повну вартість та зручність постачання.

Модель оцінки якості класифікації та функціонування каталогу. Щоб оцінити, наскільки добре працює запропонований метод, вводиться інтегральний критерій ефективності:

$$K = a_1 C_s + a_2 U_r + a_3 S_m + a_4 A_c + a_5 T_g \quad (2.14)$$

де $a_1, \dots, a_5$ - вагові коефіцієнти, що відображають важливість відповідних компонентів;

C_s - показник структурованості каталогу;

U_r - показник зручності користування;

S_m - показник швидкості пошуку;

A_c - показник адаптивності системи;

T_g - показник стабільності роботи в часі або під навантаженням.

Структурованість каталогу. Показник C_s може бути визначений як відношення кількості правильно класифікованих товарів до загальної кількості позицій:

$$C_s = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \quad (2.15)$$

де $N_{correct}$ - кількість товарів, які експерт або алгоритм відніс до «правильної» категорії (згідно з еталонним класифікатором),

N_{total} - загальна кількість товарів у каталозі. Чим більше значення C_s , тим більш упорядкованою та логічною є структура каталогу.

Зручність для користувача. Показник U_r може базуватися на усередненому часі навігації:

$$U_r = \frac{1}{T_{nav} + \delta}, \quad (2.16)$$

де T_{nav} - середній час, який користувач витрачає на пошук потрібного матеріалу (включно з кількістю переходів між екранами, глибиною перегляду категорій тощо),

δ - мале додатне число для уникнення ділення на нуль.

Чим менше часу витрачає користувач, тим більшим буде значення U_r , а отже - тим зручнішою вважається система.

Швидкість пошуку. Показник S_m можна визначити як обернену величину середнього часу пошуку:

$$S_m = \frac{1}{T_{search}}, \quad (2.17)$$

де T_{search} - середній час від моменту введення пошукового запиту до відображення результатів.

Для мобільного додатку важливо, щоб цей час був мінімальним, навіть за умови не надто стабільного інтернет-з'єднання.

Адаптивність системи. Показник A_c відображає, наскільки система здатна автоматично підлаштовуватись до змін у каталозі, параметрах товарів, поведінці користувачів:

$$A_c = 1 - \frac{E_{manual}}{E_{total}}, \quad (2.18)$$

де E_{manual} – кількість ручних втручань (перекласифікація товарів, ручне виправлення атрибутів, коригування структури каталогу адміністратором),

E_{total} - загальна кількість подібних операцій (ручних + автоматичних).

Чим менше потрібно ручних правок, тим більшу адаптивність демонструє система.

Модель продуктивності системи. Продуктивність є одним із ключових аспектів для будь-якого мобільного додатку, особливо якщо йдеться про роботу з великими каталогами, складними фільтрами та великим числом паралельних користувачів.

Пропускна здатність системи може бути визначена як:

$$R = \frac{N}{T} \quad (2.19)$$

де N - кількість оброблених запитів за проміжок часу T .

Пропускна здатність показує, скільки операцій (пошуків, фільтрацій, отримань картки товару) система спроможна опрацювати в одиницю часу без істотної деградації якості сервісу. Втрати продуктивності:

$$\Delta R = R_{ideal} - R_{real}, \quad (2.20)$$

де R_{ideal} - теоретична (ідеальна) пропускна здатність системи, обчислена, наприклад, на основі технічних характеристик серверів і мережі,

R_{real} - фактично виміряна на практиці.

Величина ΔR дозволяє оцінити, наскільки реальна реалізація методу відстає від потенційних можливостей та де саме можуть виникати «вузькі місця».

Для оцінки стабільності роботи системи в часі можна використовувати експоненційну модель:

$$S(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.21)$$

де $S(t)$ - імовірність того, що система не вийде з ладу до моменту часу t ,

λ - інтенсивність відмов.

Хоча в мобільних додатках рідко застосовуються формальні моделі надійності в повному обсязі, така модель може бути використана для оцінки стійкості серверної частини, бази даних, мікросервісів тощо.

Стохастична модель поведінки користувача.

Поведінка користувача в мобільному додатку є складним і часто випадковим процесом, який, однак, можна частково описати за допомогою марковських моделей. Це дозволяє формалізувати, як саме користувач рухається між основними станами інтерфейсу та скільки часу проводить у кожному з них.

Розглянемо дискретний марковський процес з матрицею переходів:

$$P = (p_{ji}), \sum_j p_{ji} = 1, \quad (2.22)$$

де p_{ji} – ймовірність переходу зі стану S_i у стан S_j .

Введемо основні стани:

- S_1 – режим пошуку (користувач вводить запит або переглядає поле пошуку);
- S_2 – режим фільтрації (застосування параметричних фільтрів, зміна діапазонів, вибір брендів);
- S_3 – перегляд карток товарів (докладні описи, характеристики, фотографії);
- S_4 – додавання до кошика (формування замовлення, вибір кількості);
- S_5 – оформлення покупки (вказання адреси, вибір способу оплати, підтвердження).

Тоді час перебування користувача в системі за одну сесію можна записати як:

$$T_u = \sum_{i=1}^k t_i, \quad (2.23)$$

де t_i тривалість перебування користувача в i -му стані або на i -му етапі взаємодії, k - кількість станів, через які користувач перейшов у рамках конкретної сесії.

Аналіз розподілу часів t_i та ймовірностей переходів p_{ij} дозволяє виявити «вузькі місця» інтерфейсу: наприклад, якщо користувачі часто повертаються зі стану S_5 назад у S_3 , це може свідчити про проблеми з прозорістю цін, умов доставки або довірою до платіжного механізму.

Рекомендаційна модель (базова версія). В основі рекомендаційної підсистеми лежить задача визначення того, які товари слід показати користувачу як рекомендовані (схожі, супутні, альтернативні). У найпростішій формі (без використання глибокого машинного навчання) рекомендаційну модель можна записати як:

$$R(u) = \arg \max \sum_j w_j * sim(u, x_j), \quad (2.24)$$

де u - користувач (його профіль, історія переглядів та покупок, налаштування);

x_i - вектор атрибутів i -го товару;

w_j - вагові коефіцієнти, що відповідають важливості окремих характеристик;

$sim(u, x_i)$ - функція подібності між профілем користувача та товаром.

У контексті будівельної галузі така модель може враховувати:

- попередні покупки (наприклад, якщо часто купуються сухі суміші, то як доповнення можна пропонувати ґрунтовки, армувальні сітки тощо);
- тип об'єкта (квартира, приватний будинок, промислова будівля);
- поточний етап будівництва (фундамент, коробка, покрівля, оздоблення);
- ціновий сегмент, до якого тяжіє користувач.

Попри те, що ця модель названа «нерозумною» (тобто без складних нейромережових чи гібридних алгоритмів), вона вже дозволяє реалізувати базовий рівень персоналізації, що суттєво підвищує зручність роботи із мобільним додатком і може позитивно впливати на обсяг продажів.

Матриця сумісності модулів. Оскільки мобільний додаток для електронної комерції є модульною системою, де окремі компоненти (пошук, фільтрація, каталог, логістика, оплата, аналітика) мають взаємодіяти між собою, доцільно ввести формальну матрицю сумісності:

$$M = (m_{ij}), m_{ji} \in \{0,1\}, \quad (2.25)$$

де $m_{ij} = 1$ означає, що модуль i сумісний і може безпосередньо взаємодіяти з модулем j (обмінюється даними, викликає його функції, використовує його результати),

$m_{ij} = 0$ - відсутність прямої взаємодії або несумісність.

Така матриця дозволяє:

- формально описати архітектуру системи;
- виявити критичні залежності між модулями;
- оцінити можливість подальшого розширення системи (додавання нових модулів без порушення існуючої структури);
- спланувати інтеграцію з зовнішніми сервісами (платіжні шлюзи, системи обліку, BIM-платформи, ERP-системи).

У контексті методу розробки така матриця виступає одним із елементів математичної абстракції, який показує, наскільки гнучкою та розширюваною є обрана архітектура.

Інтегральна модель функціонування системи. Формування математичного забезпечення доцільно ввести інтегральну модель, яка відображає взаємодію всіх ключових компонентів, описаних вище:

$$\Phi = f(G_T, S(Q), F(Q), T_{del}, K, S(t), M, R), \quad (2.26)$$

де G_T - деревоподібна структура каталогу;

$S(Q)$ - результати пошуку за запитом Q ;

$F(Q)$ - результати фільтрації;

T_{del} - модель логістики та часу доставки;

K - інтегральний критерій ефективності;

$S(t)$ - модель стабільності функціонування системи;

M - матриця сумісності модулів;

R - рекомендаційна модель.

Функція $f(\cdot)$ формально відображає той факт, що реальна робота мобільного додатку є результатом комплексної взаємодії різних підсистем, а не окремих ізольованих алгоритмів. Іншими словами, мобільний додаток для електронної комерції в будівельній галузі виступає єдиною інтегрованою системою, яка поєднує

каталог, пошук, фільтрацію, рекомендації, логістику, аналітику та інтерфейс користувача в одне ціле, а математичне забезпечення описує цю взаємодію на формальному рівні.

У межах запропонованого методу було розроблено нейромережеву модель, яка використовується для автоматичної класифікації будівельних матеріалів, оцінки релевантності товарів користувацьким запитам та підвищення ефективності пошукових механізмів мобільного додатку. Модель побудована на основі багат шарового персептрону (MLP), який є різновидом глибинних нейронних мереж і добре підходить для роботи з даними, що містять числові, категоріальні та текстові ознаки.

Вхідними даними нейромережі є вектор ознак товару, який формується шляхом об'єднання декількох груп параметрів. До нього входять числові характеристики (такі як щільність, довжина, товщина, морозостійкість, об'єм), категоріальні атрибути (тип матеріалу, виробник, область застосування, клас міцності), а також текстові ознаки, отримані в результаті векторизації коротких описів будівельного товару за допомогою сучасних методів кодування тексту. Такий підхід дає змогу сформувати єдину багатовимірну репрезентацію матеріалу, яка однаково ефективно описує як його технічні, так і семантичні властивості.

Архітектура нейромережі складається з вхідного шару, двох прихованих шарів і вихідного шару. Кількість нейронів у вхідному шарі визначається кількістю ознак у сформованому векторі. Перший прихований шар містить розширену кількість нейронів, що дає змогу виявляти нелінійні залежності між параметрами будівельних матеріалів. Другий прихований шар має меншу кількість нейронів і виконує роль ущільнення інформації, формуючи компактне узагальнене подання. Вихідний шар містить стільки нейронів, скільки категорій або рівнів релевантності передбачено у

задачі. Завдяки використанню нелінійних функцій активації модель здатна ефективно працювати з даними, які містять складні взаємозв'язки між параметрами.

Модель навчається на розмічених даних, де кожному товару відповідає його правильна категорія або оцінка релевантності. Під час навчання використовуються стандартні алгоритми оптимізації (наприклад, Adam), а також методи боротьби з перенавчанням: нормалізація параметрів, регуляризація ваг і випадкове “вимикання” частини нейронів під час тренування (dropout). Такий підхід забезпечує стабільність моделі та її здатність узагальнювати інформацію на нових даних.

Запропонована нейромережева модель дозволяє враховувати взаємозалежності між десятками ознак будівельного матеріалу, автоматично виділяти найбільш інформативні параметри та забезпечувати значно вищу точність порівняно з класичними евристичними підходами. Використання глибинної нейромережі робить можливим семантичний пошук, у якому система може знаходити результати навіть тоді, коли формулювання запиту не збігається з назвою товару буквально, але має подібні змістові характеристики. Окрім цього, модель покращує якість класифікації, автоматично формуючи представлення даних без ручного налаштування правил, що особливо важливо у сфері будівельної електронної комерції, де кількість параметрів є великою, а їхня структура - неоднорідною.

Таким чином, описана нейромережева модель є ключовим елементом розробленого методу та забезпечує інтелектуалізацію основних функцій мобільного додатку: пошуку, фільтрації, класифікації та рекомендацій. Її використання дозволяє підвищити точність, адаптивність і масштабованість системи при збереженні помірної ресурсоемності, що є критично важливим для мобільних застосунків.

2.3. Етапи методу розробки мобільного додатку для електронної комерції

Розроблення мобільного додатку для будівельної електронної комерції потребує не лише реалізації окремих модулів, а й системного підходу, що враховує специфіку галузі, складність даних, різні сценарії використання та високі вимоги до точності, швидкодії й адаптивності. Запропонований у дипломній роботі метод базується на комплексній структурі, яка складається з низки взаємопов'язаних етапів.

Кожен етап має власні цілі, вхідні дані та результати, що слугують основою для наступного кроку. Така послідовність забезпечує універсальність і відтворюваність підходу, а також можливість його подальшого вдосконалення.

У сукупності всі етапи формують цілісну методологію, придатну не лише для розробки конкретного застосунку, а й для ширшого класу систем електронної комерції. Загалом метод розробки можна описати множиною етапів:

$$M = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}, \quad (2.27)$$

де E_i - окремий етап, що має власну мету, вхідні та вихідні дані, а також набір процедур, які виконуються в його межах.

З практичної точки зору доцільно виділити кілька базових етапів, що формують «каркас» методу:

- аналіз предметної області та вимог,
- формування моделі даних і структури каталогу,
- вибір та налаштування математичних моделей,
- проєктування архітектури системи, реалізація
- функціональних модулів, інтеграція та тестування,
- експериментальної оцінки ефективності.

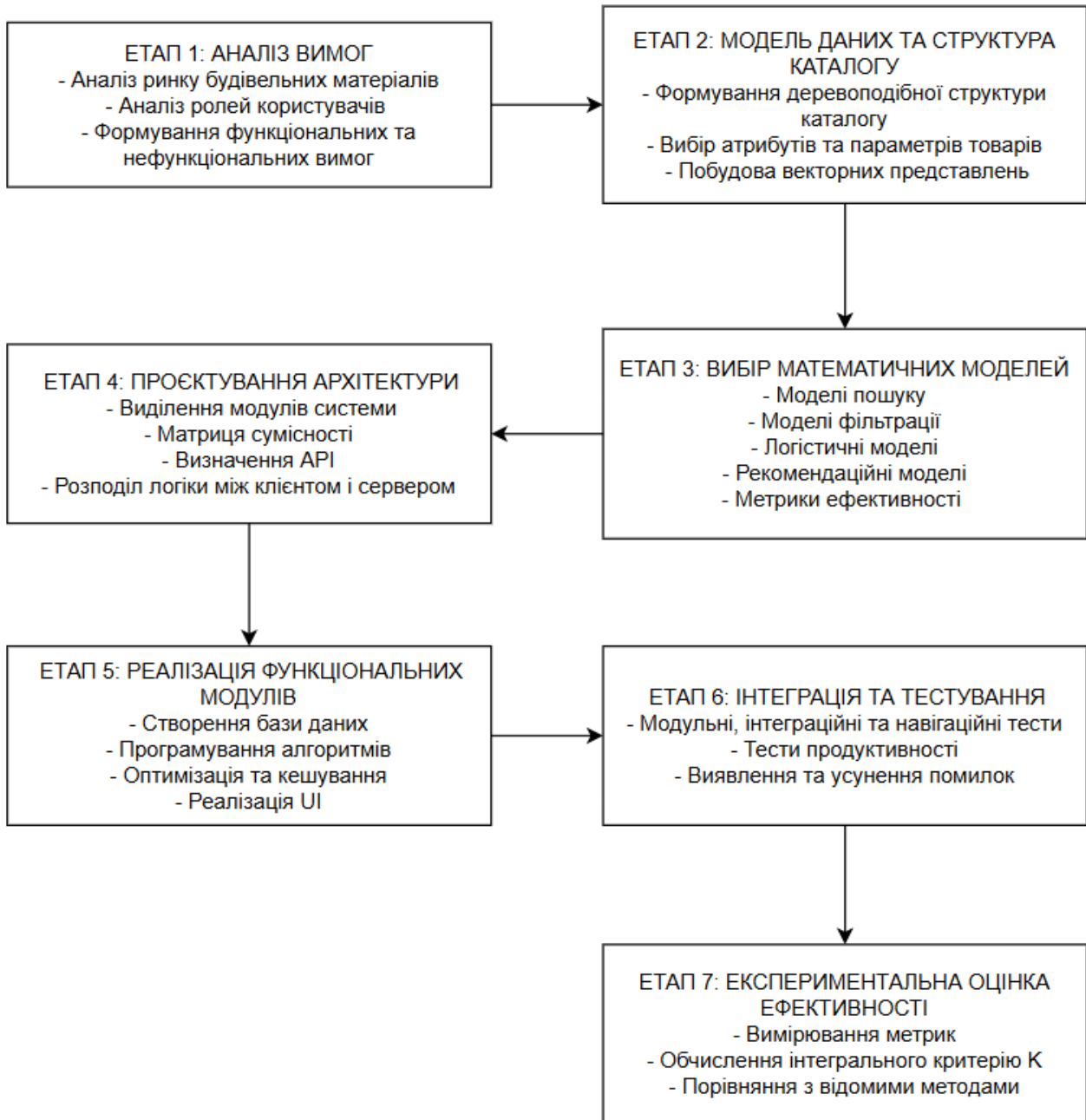


Рис. 2.2 Діаграма етапів методу розробки мобільного додатку

1. Етап аналізу предметної області та вимог. Перший етап є концептуальним і важливий тим, що визначає правильний напрямок усієї подальшої розробки. На цьому етапі проводиться всебічне вивчення предметної області - тобто будівельної

галузі - у контексті електронної комерції, і визначаються особливості, які відрізняють її від інших товарних сфер.

До основних завдань цього етапу належать:

1) Аналіз ринку будівельних матеріалів

На відміну від загальних онлайн-магазинів, будівельні матеріали мають:

- складну номенклатуру (тисячі позицій, десятки підвидів);
- велику кількість технічних характеристик;
- залежність від стандартів (ДСТУ, EN, ISO);
- вагомі логістичні обмеження (габарити, вага, спосіб транспортування);
- сезонність попиту.

Ці особливості безпосередньо впливають на вимоги до архітектури програми, моделі каталогу та способу обробки даних.

2) Вивчення ролей користувачів

У будівельній сфері користувачем може бути:

- приватний забудовник;
- прораб;
- інженер-проектувальник;
- фірма-підрядник;
- оптовий закупівельник;
- ресурсний менеджер будівельної компанії.

Кожен користувач має власні сценарії:

- хтось шукає за технічними параметрами,
- інший - за ціною,
- третій - за наявністю на конкретному складі,
- четвертий - за сумісністю з іншими матеріалами,
- п'ятий - за логістичними обмеженнями.

Метод враховує необхідність адаптації системи до різних груп користувачів.

3) Визначення функціональних вимог

На цьому етапі формуються ключові вимоги:

- функція пошуку матеріалів за складними параметрами;
- фільтрація великої кількості товарів;
- можливість швидкого порівняння характеристик;
- моделювання логістики та оцінка часу доставки;
- наявність рекомендаційних механізмів;
- підтримка роботи з нестабільним мобільним інтернетом;
- можливість офлайн-кешування.

Окремо враховуються нефункціональні вимоги:

- швидкодія;
- мінімальне навантаження на мобільний пристрій;
- безпека даних;
- масштабованість;
- стійкість до помилок.

4) Формування набору вхідних даних. Це один із найважливіших результатів етапу. Він визначає:

- які дані потрібні для моделювання каталогу;
- які параметри є критичними;
- які атрибути є бажаними, але необов'язковими;
- які дані можуть бути заповнені автоматично.

Вихід етапу: документовані вимоги, які надалі служать основою для формування математичних моделей.

2. Етап формування моделі даних і структури каталогу. Другий етап пов'язаний зі структуруванням даних і побудовою моделі каталогу. На цьому кроці практичні знання, зібрані на етапі аналізу, перетворюються на формальні конструкції - множини, графи, вектори ознак, групи атрибутів.

Основні дії цього етапу:

- визначення множини матеріалів $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$;

- побудова деревоподібної структури каталогу у вигляді графа $G_T = \{V, E\}$, де вузли відповідають категоріям, підкатегоріям, товарам, а ребра - ієрархічним зв'язкам;
- визначення набору атрибутів для кожного товару та групування їх у підмножини $A_i^{phys}, A_i^{tech}, A_i^{log}, A_i^{mech}, A_i^{eco}$;
- формування векторного представлення $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ik})$, для кожної позиції каталогу.

На цьому ж етапі задаються правила нормалізації даних (приведення до єдиних одиниць, форматів), вибір способів кодування категоріальних ознак (one-hot, словники, кодові таблиці), обробка пропусків та неузгодженостей у даних. Виходом етапу є узгоджена модель даних, яка служить базою для побудови математичних моделей пошуку, фільтрації та рекомендацій.

3. Етап вибору та налаштування математичних моделей. Третій етап методу передбачає вибір і налаштування математичних та нейромережових моделей, які забезпечують роботу мобільного додатку та формують інтелектуальну складову системи. На цьому етапі здійснюється інтеграція формальних математичних моделей із нейромережевими механізмами, що дозволяє значно підвищити точність пошуку, класифікації та рекомендацій. У межах розробленого підходу використовується багат шаровий персептрон (MLP), який виконує одразу кілька ключових функцій: семантичну класифікацію будівельних матеріалів, оцінювання релевантності результатів пошуку та формування рекомендацій на основі векторного представлення товарів і профілів користувачів. Нейромережовий модуль працює з багатовимірним вектором ознак товару, який включає числові, категоріальні та текстові параметри, і завдяки двошаровій структурі прихованих шарів забезпечує здатність моделювати складні нелінійні взаємозв'язки між характеристиками товарів. Архітектура моделі складається з вхідного шару, який приймає вектор ознак, двох прихованих шарів із відповідно 128 та 64 нейронів, та вихідного шару, який повертає або категорію товару, або оцінку релевантності, або ступінь подібності для системи рекомендацій. Обраний

тип нейромережі є оптимальним з точки зору співвідношення обчислювальної складності та точності, що робить його придатним для інтеграції у мобільний додаток.

Поряд із нейромережею для кожної функції системи визначаються відповідні математичні моделі. Для механізму пошуку застосовується формальна модель множини результатів та функція релевантності, у якій нейромережевий модуль відповідає за семантичну складову пошуку, тобто здатність знаходити товари не лише за прямими збігами параметрів, а й за змістовною подібністю. Для фільтрації параметрів використовуються моделі діапазонних і категоріальних фільтрів, які доповнюються нейромережевим механізмом обробки нечітких або текстових значень, що дозволяє інтерпретувати різні форми запису параметрів (наприклад, «60 мм», «6 см», «60×40») як семантично близькі. Класифікаційний модуль у системі реалізується безпосередньо за допомогою нейромережі, яка перетворює вектор ознак у відповідну категорію матеріалу і замінює собою традиційні евристичні підходи. Логістичний модуль поєднує математичні моделі маршрутизації, часу доставки та вартості транспортування з нейромережевою моделлю прогнозування логістичних показників, що дозволяє враховувати сезонні, погодні та транспортні фактори і суттєво підвищувати точність оцінок. У системі рекомендацій використовується модель порівняння векторних подань товарів і користувачів, які генеруються нейромережею, забезпечуючи персоналізацію рекомендацій. Для оцінки ефективності всієї системи застосовується інтегральний критерій, який включає структурованість каталогу, зручність користування, швидкодію пошуку, адаптивність та стабільність роботи. Частина цих критеріїв залежить від роботи нейромережевих модулів, що дозволяє кількісно оцінити вклад штучного інтелекту в загальну продуктивність системи.

На завершення етапу здійснюється налаштування всіх параметрів моделей — вагових коефіцієнтів, порогів релевантності, конфігурацій текстових векторизаторів, розмірностей ознак та гіперпараметрів нейромережі. Усі параметри надалі

уточнюються на основі експериментальних досліджень у третьому розділі. Таким чином, третій етап методу формує узгоджений комплекс математичних і нейромережевих моделей, що визначають логіку роботи мобільного додатку та забезпечують його адаптивність, інтелектуальність і ефективність.

4. Етап проєктування архітектури системи. Четвертий етап пов'язаний із переходом від математичного опису до архітектурної моделі системи. На цьому кроці визначається, як саме вибрані моделі будуть реалізовані в рамках мобільного застосунку та серверної частини.

Основні кроки:

- виділення основних модулів: модуль каталогу, модуль пошуку, модуль фільтрації, логістичний модуль, рекомендаційний модуль, модуль аналітики, модуль аутентифікації, модуль інтеграції з зовнішніми сервісами;
- побудова матриці сумісності $M = (m_{ij})$, яка задає можливі зв'язки між модулями;
- визначення інтерфейсів взаємодії (API) між клієнтською (мобільною) та серверною частинами;
- розподіл функціональності між клієнтом і сервером з урахуванням обмежень мобільних пристроїв (частина обчислень переноситься на сервер, частина виконується локально).

Важливо, що саме на цьому етапі метод вимагає узгодити математичні моделі з архітектурними рішеннями. Наприклад, модель пошуку та фільтрації, яка працює з великим каталогом, доцільно реалізувати на сервері, тоді як частина логіки рекомендацій може кешуватися на мобільному пристрої. Архітектурне рішення повинно забезпечити можливість масштабування системи зі збільшенням кількості користувачів і обсягу даних.

5. Етап реалізації функціональних модулів. На п'ятому етапі відбувається безпосередня програмна реалізація модулів згідно з побудованою архітектурою.

Метод передбачає, що реалізація ведеться не хаотично, а відповідно до визначених моделей та інтерфейсів.

Ключові напрямки реалізації:

- створення структури бази даних, яка відображає деревоподібний каталог G_T та векторні представлення x_i ;
- реалізація алгоритмів пошуку та фільтрації на основі формальних моделей $S(Q)$, $F(Q)$, $F_c(Q)$;
- реалізація логістичних розрахунків (оцінка часу доставки, вартості, вибір складу/маршруту);
- реалізація базової рекомендаційної логіки $R(u)$;
- реалізація обчислення інтегрального критерію ефективності K (або принаймні окремих його компонентів для цілей діагностики системи).

Особлива увага приділяється оптимізації реалізації: повторне використання результатів, кешування часто використовуваних запитів, зменшення обсягу переданих даних між клієнтом і сервером, використання індексів у базі даних тощо. На цьому ж етапі реалізуються первинні механізми логування, що надалі дозволяють проводити експериментальне оцінювання поведінки користувачів.

6. Етап інтеграції, тестування та налагодження. Шостий етап методу є ключовим, оскільки саме тут перевіряється працездатність системи, узгодженість її компонентів і виявляються помилки, не помічені під час проєктування та реалізації. Він завершує технічну частину методу та підтверджує, що мобільний додаток працює відповідно до закладеної математичної моделі та архітектури.

На цьому етапі проводиться комплексне тестування серверної частини та мобільного інтерфейсу.

1) Модульне тестування.

Перевіряються окремі компоненти для виявлення локальних помилок, логічних суперечностей і некоректних обчислень. Тестуються функції пошуку, фільтрів,

логістичних розрахунків, рекомендаційного модуля та реакції на некоректні дані. Модулі оцінюються ізольовано.

2) Інтеграційне тестування.

Після перевірки окремих модулів оцінюється їхня взаємодія згідно з матрицею сумісності $M = (m_{ij})$. Аналізуються відповідність API, формати даних, обробка складних запитів та можливі конфлікти. Особливо перевіряється зв'язок між каталогом, пошуком і рекомендаціями.

3) Тестування продуктивності.

Оцінюється робота системи під навантаженням:

пропускна здатність $R=N/T$;

час пошуку;

навігаційний час;

стабільність при пікових навантаженнях.

Це дає змогу виявити вузькі місця - неефективні індекси, неправильне кешування чи дисбаланс між клієнтом і сервером.

4) Оптимізація. Проводиться усунення проблемних ділянок: повільних запитів, надлишкових алгоритмів, неефективних структур даних, некоректних сценаріїв переходів між станами. Частину логіки можуть переносити з клієнта на сервер або навпаки для оптимального розподілу навантаження.

7. Етап експериментальної оцінки ефективності. Заключним етапом методу в межах даної дипломної роботи є експериментальна оцінка ефективності. На цьому кроці використовуються введені раніше метрики. На основі вимірних значень обчислюється інтегральний показник:

$$K = a_1 C_s + a_2 U_r + a_3 S_m + a_4 A_c + a_5 T_s, \quad (2.28)$$

де

- C_s оцінка структурованості каталогу (на основі експертної або еталонної класифікації);
- U_r - оцінка зручності за часом навігації та кількістю дій;
- S_m - оцінка швидкості пошуку;
- A_c - оцінка адаптивності системи;
- $T_s, S(T)$ - оцінка стабільності та надійності роботи.

Що дозволяє порівнювати запропонований метод з відомими підходами, розглянутими в першому розділі. У разі необхідності метод передбачає можливість ітеративного вдосконалення: результати експериментів можуть слугувати основою для перегляду ваг a_i , корекції моделей, оптимізації архітектури або алгоритмів.

Таким чином, запропонований метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі описується як послідовність взаємопов'язаних етапів - від аналізу предметної області та побудови формальної моделі даних до реалізації, тестування та експериментальної оцінки ефективності. Кожен етап має чітко визначені вхідні та вихідні дані, використовує математичні моделі, розроблені в попередньому підрозділі, та готує основу для виконання наступних кроків. Такий підхід забезпечує не лише створення конкретного програмного продукту, а й формування відтворюваного, формалізованого методу, який може бути адаптований до інших типів мобільних застосунків у сфері електронної комерції, зберігаючи при цьому орієнтацію на специфіку будівельної галузі.

Інтеграція нейромережевих механізмів аналізу даних у структуру математичних моделей пошуку, класифікації та фільтрації товарів забезпечує концептуальні переваги та дозволяє розширити функціональні можливості мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі.

1. Запропоновано гібридну модель представлення будівельних матеріалів, яка поєднує традиційну графову ієрархію каталогу з нейромережовим векторним кодуванням параметрів товарів. Це забезпечує можливість формування багатовимірних представлень матеріалів, що враховують технічні стандарти, фізико-механічні властивості та галузеві особливості. Така модель дозволяє подолати обмеження класичних методів класифікації, які недостатньо ефективно працюють із багаторівневими та частково структурованими даними.
2. Удосконалено математичну модель пошуку через доповнення її нейромережовим модулем релевантності. На відміну від традиційних підходів, де вага кожного параметра задається вручну, нейромережева модель забезпечує автоматичне визначення значущості параметрів запиту та адаптацію до реальної поведінки користувачів. Це створює передумови для підвищення точності ранжування товарів, особливо у випадках складних пошукових запитів, що включають декілька ознак одночасно.
3. Модель фільтрації доповнено семантичним модулем, який дозволяє інтерпретувати різні форми подання одних і тих самих величин та значень. Завдяки цьому система може працювати не лише з точними, а й зі змістовно подібними параметрами (наприклад, «60 мм», «6 см», «60×40»). Перехід від жорстких логічних правил до семантичної обробки у векторному просторі дозволяє зменшити кількість ручних налаштувань та підвищити гнучкість системи фільтрації.
4. Запропонована нейромережева модель прогнозування логістичних параметрів доповнює стохастичну модель доставки. Її використання забезпечує врахування сезонних, транспортних і погодних факторів, що створює передумови для формування більш стабільних оцінок часу доставки та підвищення надійності логістичних рішень. Хоча кількісні результати перевіряються у розділі 3, сама структура моделі теоретично дозволяє

отримувати більш адаптивні прогнози порівняно з фіксованими математичними формулами.

5. Удосконалено інтегральний критерій ефективності K за рахунок включення компонента, що оцінює інтелектуальність роботи системи. Наявність нейромережевої частини дозволяє не лише статично оцінювати якість роботи, а й відстежувати динаміку адаптації моделі, зміни у релевантності пошуку та якість рекомендацій. Це робить критерій більш інформативним та придатним для оцінювання інтелектуальних систем, що розвиваються в часі.

Усі перелічені результати є **методологічними**, а їхні кількісні переваги та рівень ефективності демонструються лише в розділі 3 під час експериментальної верифікації.

2.4. Висновки до розділу 2

У другому розділі сформовано та обґрунтовано метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі, який поєднує формальні математичні моделі зі штучними нейронними мережами. Розроблено комплекс математичних описів структури каталогу, пошуку, фільтрації, логістики та рекомендацій, а також уточнено множини вхідних параметрів і принципи їх формування. У рамках методу визначено векторне представлення будівельних матеріалів і побудовано узгоджену систему моделей, що забезпечують коректне та адаптивне опрацювання даних.

Подальший розвиток отримали нейромережеві компоненти методу, зокрема модель семантичного пошуку, модель класифікації матеріалів та модель прогнозування логістичних параметрів, які використовуються для інтелектуалізації роботи системи. Інтеграція нейромережі з математичними формалізаціями дозволила сформувати єдиний підхід, у межах якого мобільний застосунок здатний автоматично підлаштовуватися під характеристики даних, покращувати релевантність результатів

та забезпечувати підвищену гнучкість і масштабованість системи. Отримані результати створюють теоретичне підґрунтя для програмної реалізації та верифікації методу у третьому розділі.

РОЗДІЛ 3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

3.1. Обґрунтування вибору середовища та мови програмування

У процесі створення мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі важливим етапом є обґрунтований вибір технологічного стеку, який забезпечуватиме оптимальне поєднання продуктивності, масштабованості, гнучкості та швидкості розробки. З огляду на специфіку галузі, обсяг і структуру даних, необхідність роботи з великою кількістю товарів та високі вимоги до якості пошуку й фільтрації, було обрано стек технологій, що складається з мобільного фреймворку Flutter, серверної платформи Node.js та реляційної бази даних MySQL.

У даному підрозділі буде детально обґрунтовано вибір кожної складової цього стеку, наведено порівняльні характеристики альтернативних рішень, описано архітектурні особливості взаємодії між компонентами та проаналізовано переваги їх комбінованого застосування з позиції вимог до систем електронної комерції, орієнтованих на будівельний сектор.

Вимоги до технологічного стеку мобільного застосунку будівельної e-commerce

Перш ніж перейти до аналізу окремих технологій, слід визначити ключові вимоги, які висуваються до програмного забезпечення такого типу. Будівельна електронна комерція має певні унікальні характеристики:

1. Висока кількість параметрів товарів.

На відміну від класичних магазинів, де товар описується кількома атрибутами (розмір, колір), у будівельній сфері група характеристик значно більша:

- геометричні параметри,
- механічні властивості,
- стандарти (ДСТУ, EN, ISO),

- умови застосування,
- логістичні обмеження.

Це потребує ефективного механізму зберігання та пошуку даних.

2. Висока точність пошуку та фільтрації.

Неправильний вибір матеріалу може призвести до технічних дефектів, тому система повинна забезпечувати максимально точне формування результатів пошуку.

3. Надійність і масштабованість.

Бізнеси будівельної галузі часто працюють із великими обсягами даних - від тисяч до десятків тисяч позицій.

4. Можливість офлайн-роботи.

На будівельних майданчиках часто відсутній стабільний інтернет, тому мобільний клієнт має підтримувати кешування.

5. Мультиплатформність.

Застосунок повинен стабільно працювати як на Android, так і на iOS, без істотних відмінностей у функціональності.

6. Висока швидкість розробки.

У дипломному проєкті важливою є можливість швидкої імплементації прототипу.

З огляду на ці критерії, було обрано стек Flutter + Node.js + MySQL, який найповніше задовольняє визначені вимоги.

Обґрунтування вибору Flutter як основної технології мобільної розробки

Flutter - це сучасний фреймворк від Google, призначений для розробки багатоплатформних застосунків. Його популярність стрімко зростає завдяки поєднанню високої продуктивності, зручності стилізації, широкої екосистеми пакетів і єдиного коду для двох платформ.

Переваги Flutter у контексті будівельної e-commerce

1. Єдиний програмний код для Android і iOS

Це значно скорочує час розробки та підвищує узгодженість інтерфейсу.

2. Висока продуктивність завдяки компіляції у нативний код

Для задач, пов'язаних із складними фільтрами або обробкою великих каталогів, це критично.

3. Широкі можливості кастомізації UI

Будівельний каталог має багаторівневу структуру - Flutter забезпечує гнучкі елементи:

- списки з динамічним завантаженням,
- складні фільтри,
- картки товарів,
- інтерактивні віджети.

4. Екосистема пакетів

Пакети як `provider`, `http`, `sqflite`, `dio`, `flutter_bloc`, `intl` дозволяють швидко створити функціональний застосунок.

5. Підтримка офлайн-режиму через вбудовані механізми кешування

6. Гармонійна інтеграція з Node.js API

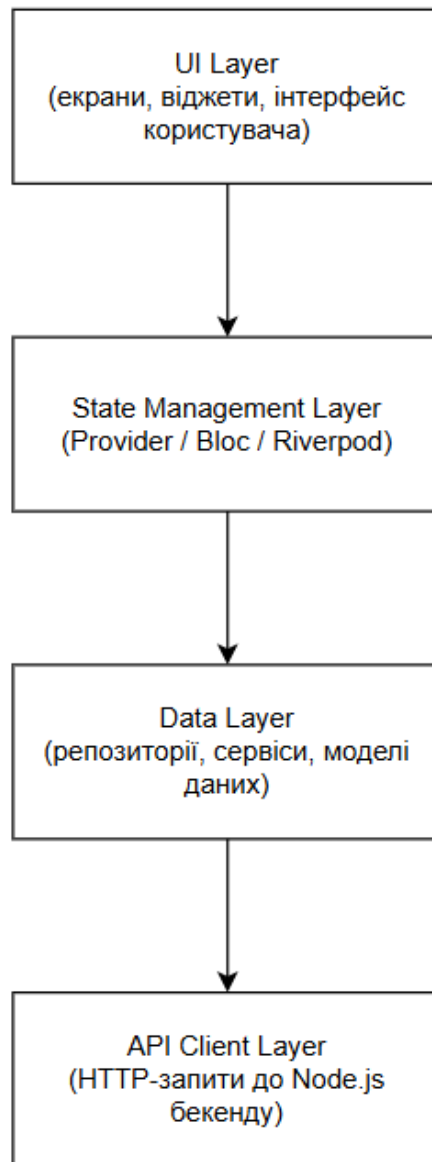


Рис. 3.1 ASCII-діаграма архітектури Flutter застосунку

(Таблиця 3.1)

Порівняльний аналіз Flutter з альтернативами

Критерій	Flutter	React Native	Kotlin/Swift
Кросплатформність	+	+	-
Продуктивність	Висока	Середня	Максимальна
Компіляція	У нативний код	JS bridge	Нативна
UI	Власний рендеринг	Компоненти платформи	Компоненти платформи
Швидкість розробки	Висока	Висока	Низька
Затрати	Низькі	Низькі	Високі
Наявність готових віджетів	Дуже багато	Багато	Обмежено
Ідеально для e-commerce	+	+	-

Висновок: Flutter є найкращим вибором для створення мобільного додатку типу електронної комерції через поєднання продуктивності, зручності та широких можливостей.

Обґрунтування вибору Node.js як серверної платформи. Node.js - це високопродуктивне серверне середовище, яке працює на основі JavaScript і підтримує асинхронний неблокуючий ввід-вивід. Вибір серверної платформи є ключовим компонентом загальної архітектури мобільного застосунку, оскільки саме серверна частина відповідає за реалізацію бізнес-логіки, доступ до бази даних, а також за коректну обробку запитів від клієнтської частини. У контексті створення системи електронної комерції для будівельної галузі серверна частина повинна забезпечувати високу продуктивність, стійкість до навантажень, можливість швидкої

масштабованості та відповідність вимогам сучасних архітектурних стилів API. З огляду на ці потреби було прийнято рішення обрати Node.js як серверне середовище, а Express.js - як базовий фреймворк для побудови REST API.

Node.js є платформою, що працює на основі рушія V8 - одного з найшвидших JavaScript-двигків, розроблених Google. Це забезпечує можливість компіляції JavaScript у високопродуктивний машинний код. Однією з ключових характеристик Node.js є неблокуюча, асинхронна модель вводу/виводу, завдяки якій сервер здатний одночасно обробляти велику кількість запитів без необхідності створення нових потоків, що характерно для більшості традиційних серверних платформ. Саме ця особливість робить Node.js надзвичайно привабливим для розробки систем, які передбачають високий рівень паралельності та активну взаємодію з базою даних.

Переваги Node.js у контексті будівельної e-commerce

1. Асинхронність. У системах електронної комерції користувачі часто виконують одночасно сотні операцій: перегляд товарів, пошук, фільтрація, додавання до кошика, оновлення замовлень. Node.js дозволяє обробляти всі ці дії паралельно без деградації продуктивності.

2. Висока масштабованість. У міру зростання обсягу даних і кількості користувачів система може масштабуватися як вертикально (за рахунок потужнішого обладнання), так і горизонтально (створенням кластерів і балансуванням навантаження). Node.js підтримує вбудований модуль Cluster, який дозволяє використовувати всі доступні ядра CPU.

3. Швидка обробка даних. Додаток e-commerce виконує багато операцій читання та пошуку в базі даних. Node.js демонструє високу швидкість обробки SELECT-запитів завдяки швидкому I/O-механізму.

4. Єдина мова програмування (JavaScript). Це спрощує розробку: один і той самий стек (Flutter + JavaScript) використовується для клієнтської та значної частини серверної логіки. Це зменшує бар'єр входження та прискорює розробку.

5. Велика екосистема npm

Для Node.js доступні десятки тисяч готових бібліотек:

- для роботи з MySQL,
- для обробки файлів,
- для логування,
- для валідації даних (Joi, Validator.js),
- для автентифікації (JWT),
- для реалізації кешування (Redis).

Це дозволяє суттєво знизити час розробки.

6. Зручність створення REST API Express.js - один із найпопулярніших фреймворків для API. Він забезпечує чисту, структуровану організацію коду, розділяючи маршрути, контролери, сервіси та моделі.

7. Підтримка WebSockets

Це важливо для майбутніх функцій, наприклад:

- оновлення статусу замовлення в реальному часі,
- повідомлення про зміну цін або залишків,
- онлайн-чат з менеджером.

8. Можливість інтеграції нейромережових моделей, описаних у розділі 2 Node.js може взаємодіяти з Python-сервером, або використовувати TensorFlow.js і ONNX, що дозволяє підключати інтелектуальні модулі класифікації, фільтрації та рекомендацій.

Архітектура Node.js бекенду

Архітектура бекенду у проєкті побудована на принципах модульності, розширюваності та розділення відповідальностей. Основна ідея полягає в тому, щоб кожен компонент системи виконував одну чітко визначену функцію, що підвищує рівень підтримуваності коду.

Нижче наведено деталізовану структурну схему:

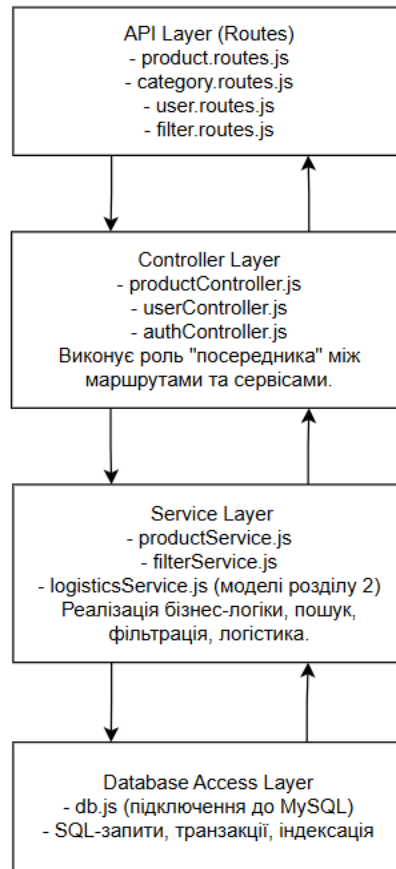


Рис. 3.2 структурна система архітектури бекенду

Кожен рівень виконує свою функцію:

- API Layer визначає маршрути HTTP (GET, POST, PUT, DELETE).
- Controller Layer отримує параметри запиту, перевіряє їх і викликає відповідні сервіси.
- Service Layer реалізує алгоритми пошуку, фільтрації, логістики та рекомендацій.
- Database Layer відповідає за SQL-взаємодію.

Такий підхід забезпечує:

- простоту подальшої модифікації;
- можливість підключення додаткових сервісів (наприклад, неймережевої класифікації);
- чітке розмежування логіки.

Обґрунтування вибору MySQL як системи керування базами даних

MySQL - одна з найпоширеніших реляційних СКБД, що чудово підходить для систем електронної комерції, які працюють з великими структурованими наборами даних.

У будівельній галузі структура даних є суворо детермінованою:

- категорії матеріалів;
- підкатегорії;
- товари з десятками атрибутів;
- склади;
- логістичні маршрути;
- замовлення.

Саме така структура ідеально підходить для реляційної моделі, де дані зберігаються у вигляді таблиць, а зв'язки визначаються ключами.

Переваги MySQL у цьому проєкті:

1. Гарантована цілісність даних

Завдяки використанню:

- зовнішніх ключів,
- унікальних індексів,
- транзакційних механізмів,
- обмежень CHECK.

Це дозволяє забезпечити достовірність структури каталогу.

2. Висока швидкість SELECT / JOIN запитів

У будівельній e-commerce основна операція - це пошук і фільтрація товарів.

MySQL оптимізований саме для таких операцій, особливо при наявності індексів.

3. Гнучка схема даних

Можна створювати:

- таблиці з параметрами товарів;
- таблиці з варіаціями товарів;

- таблиці з логістичними маршрутами;
- таблиці для зберігання рекомендацій.

4. Підтримка складних SQL-конструкцій

Наприклад:

- вкладені запити (subqueries),
- складні умови WHERE,
- агрегації,
- ранжування,
- фільтрація за діапазонами.

Це чудово підходить для моделі фільтрації із розділу 2.

5. Легка інтеграція з Node.js

Завдяки бібліотекам:

- mysql2,
- sequelize,
- typeorm.

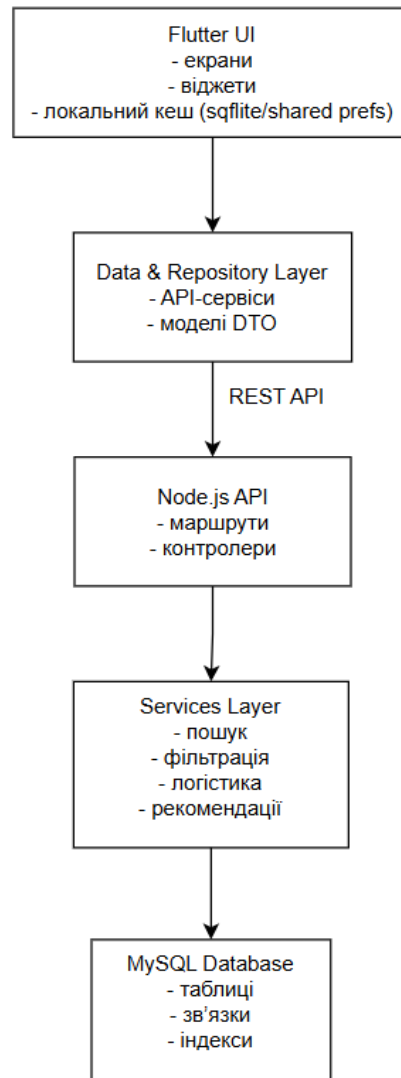


Рис. 3.3 Повна структура взаємодії Flutter - Node.js - MySQL

Переваги обраного стеку

Ось ключові причини, чому саме Flutter + Node.js + MySQL є оптимальним варіантом:

1. Продуктивність фронтенду

Flutter рендерить UI напряму, без використання нативних UI-компонентів. Це дозволяє створювати інтерфейси, які працюють плавно навіть на слабких пристроях.

2. Продуктивність бекенду

Node.js здатен обробляти до 50 000 одночасних підключень (у кластерному режимі).

3. Продуктивність бази даних

При правильній індексації MySQL здатний виконувати складні SELECT-запити за мілісекунди.

4. Зручність розробки

Усі технології добре документовані та підтримуються великими спільнотами.

5. Можливість інтеграції штучного інтелекту

Node.js може працювати в комплексі з ML-модулями на Python (рекомендації, класифікація).

6. Мультиплатформність

Код один - платформи дві.

7. Кешування

Можна додати Redis, Memcached, локальні кеші Flutter.

Обґрунтування вибору нейромережових рішень та їх інтеграція у проєкт

У межах розробки мобільного застосунку для електронної комерції в будівельній галузі важливою складовою є впровадження інтелектуальних алгоритмів на основі штучних нейронних мереж (ШНМ). Нейромережові моделі дозволяють підвищити точність пошуку та фільтрації, автоматизувати класифікацію матеріалів, оптимізувати рекомендаційні механізми та враховувати індивідуальні особливості поведінки користувачів. Завдяки цьому система стає адаптивнішою, менш залежною від ручних налаштувань і здатною працювати зі значними масивами даних.

Причини застосування нейромережових моделей

Будівельна e-commerce характеризується великою кількістю товарів, складними технічними параметрами та різномірними користувацькими запитам. Звичайні алгоритми пошуку часто не справляються з неточними або неповними формулюваннями («бетон міцний», «арматура 12 мм»), а ручна класифікація категорій є трудомісткою та схильною до помилок. Нейромережові алгоритми дозволяють:

- враховувати десятки параметрів товарів одночасно,

- коригувати помилки в структурі каталогу,
- формувати рекомендації з урахуванням поведінкових даних,
- прогнозувати логістичні показники на основі історичних спостережень.

Основні нейромережеві модулі проєкту

1. Модуль класифікації матеріалів

Використовується багатошаровий перцептрон (MLP), який працює з параметрами товарів (розміри, щільність, марка, стандарт). Модель автоматично визначає категорію матеріалу та групує подібні товари. Це підвищує структурованість каталогу та зменшує кількість ручних помилок.

2. Модуль семантичного пошуку

Застосовується компактна модель Sentence-BERT / USE, що перетворює текстові запити та описи товарів у векторний простір. Пошук виконується через cosine similarity. Завдяки цьому система правильно обробляє неточні запити та підвищує релевантність результатів.

3. Модуль рекомендацій

Для формування персоналізованих пропозицій застосовується Neural Collaborative Filtering або Wide&Deep. Модель враховує історію переглядів, покупки та подібність товарів. У будівельній тематиці це дозволяє автоматично пропонувати суміжні матеріали (кріплення, витратні матеріали, аксесуари), скорочуючи час навігації користувача.

Інтеграція ШНМ у Node.js бекенд

Використовується змішаний підхід:

- Легкі моделі (класифікація, семантичний пошук) працюють безпосередньо у Node.js через tensorflow.js або onnxruntime.
- Складні моделі (рекомендації, прогнозування логістики) запускаються як окремий Python-сервіс і взаємодіють із бекендом через REST API.

Це знижує навантаження на основний сервер та забезпечує масштабованість.

Переваги впровадження нейромережевих рішень

- Зростання точності класифікації каталогу.
- Підвищена релевантність пошуку та фільтрації.
- Зменшення часу навігації користувача.
- Персоналізація рекомендацій і кращий користувацький досвід.
- Автоматизація частини логістичних операцій.
- Менша ресурсоемність системи за рахунок оптимізації запитів і зменшення кількості переходів між екранами.

Узагальнений висновок

Розглянуті переваги та порівняння з альтернативними рішеннями свідчать, що обраний стек повністю відповідає вимогам системи електронної комерції для будівельної галузі. Він забезпечує:

- високу продуктивність;
- гнучку архітектуру;
- оптимізацію бізнес-процесів;
- можливість інтеграції моделей ШІ;
- швидкість розробки та розгортання.

Таким чином, технологічний стек Flutter–Node.js–MySQL є найбільш збалансованим рішенням для реалізації проєкту.

3.2. Програмна реалізація запропонованого методу

У цьому підрозділі наведено детальний опис реалізації мобільного застосунку, розробленого відповідно до методу, сформованого у розділі 2. Програмна частина складається з трьох логічних рівнів: клієнтського (Flutter), серверного (Node.js) та бази даних (MySQL). Кожен компонент реалізує окремі модулі побудованої раніше архітектури, забезпечуючи формальну відповідність математичним моделям пошуку, фільтрації, класифікації, логістики та рекомендацій.

Загальна структура програмної системи

Розроблений мобільний застосунок реалізований на базі фреймворку Flutter, що забезпечує мультиплатформність і високу продуктивність інтерфейсу. На серверній стороні використано платформу Node.js з фреймворком Express, що забезпечує побудову REST API та взаємодію з базою даних MySQL.

Структура клієнтської частини (Flutter)

Папка `lib/` містить такі основні директорії:

- `screens/` - реалізовані екрани застосунку;
- `widgets/` - багаторазові UI-компоненти;
- `models/` - моделі даних (DTO);
- `services/` - сервіси для роботи з API;
- `state/` - менеджери станів (Provider/GetX/BLoC, залежно від

реалізації).

Структура відповідає принципам компонентно-орієнтованої розробки та забезпечує можливість розширення застосунку.

Структура серверної частини (Node.js)

Сервер організовано за модульним підходом: кожен функціональний блок (каталог, користувачі, пошук, логістика, рекомендації) розміщений у відповідній директорії.

Структура:

- `/routes` - оголошення REST API маршрутів;
- `/controllers` - логіка обробки запитів;
- `/services` - бізнес-логіка (пошук, фільтри, логістика, ШНМ);
- `/db` - підключення до MySQL;
- `/ml` - моделі ШНМ або інтеграція з Python.

Структура бази даних

Створено такі основні таблиці MySQL:

- `categories` - категорії будматеріалів;

- `products` - товари;
- `product_attributes` - параметри товарів;
- `users` - користувачі;
- `orders` - замовлення;
- `order_items` - структури замовлень;
- `logistics` - маршрути/склади;
- `recommendations` - кеш рекомендацій.

Реалізація клієнтської частини (Flutter)

У цьому підрозділі наведено ключові елементи реалізації основних екранів мобільного застосунку. Всі UI-компоненти створено у відповідності до архітектури, вимог користувацької зручності та математичних моделей навігації.

Головний екран застосунку

Головний екран є точкою входу до ключових модулів: пошуку, перегляду категорій, рекомендованих товарів та швидкого доступу до кошика. Він реалізує модель поведінки користувача, дозволяючи мінімізувати середній час переходу *Tnav*.

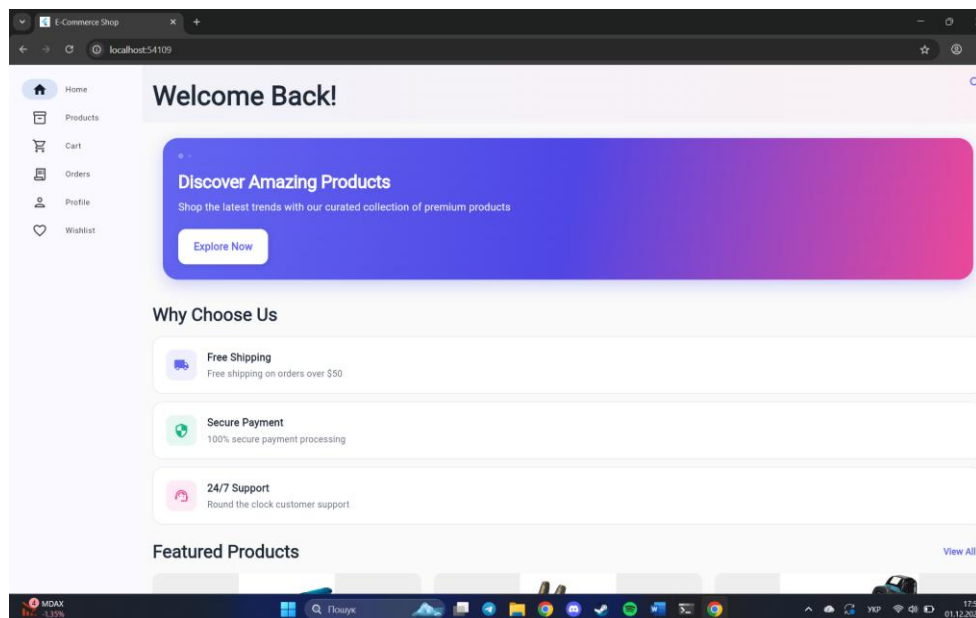


Рис 3.4 Головний екран застосунку

Екран каталогу товарів

Каталог будується на графовій моделі GT, де кожен вузол відповідає категорії або підкатегорії матеріалів. Реалізовано дерево категорій, що дозволяє швидко переходити між рівнями.

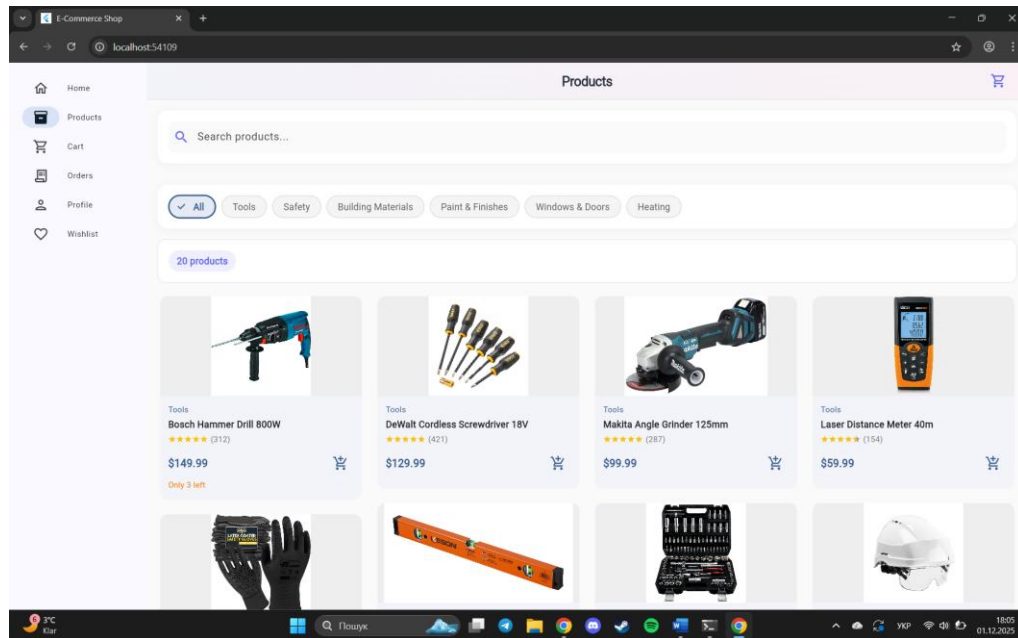


Рис. 3.5 Екран каталогу товарів

Пошук товарів

Пошукова система реалізує математичну модель:

$$S(Q) = \{x_i \mid f(q_i, x_{ij}) = 1\} \quad (3.1)$$

Реалізовано два режими:

1. Класичний пошук (SQL LIKE + індекси).

2. Неймережевий пошук (semantic search). Запит відправляється на Node.js, де працює sentence embedding модель.

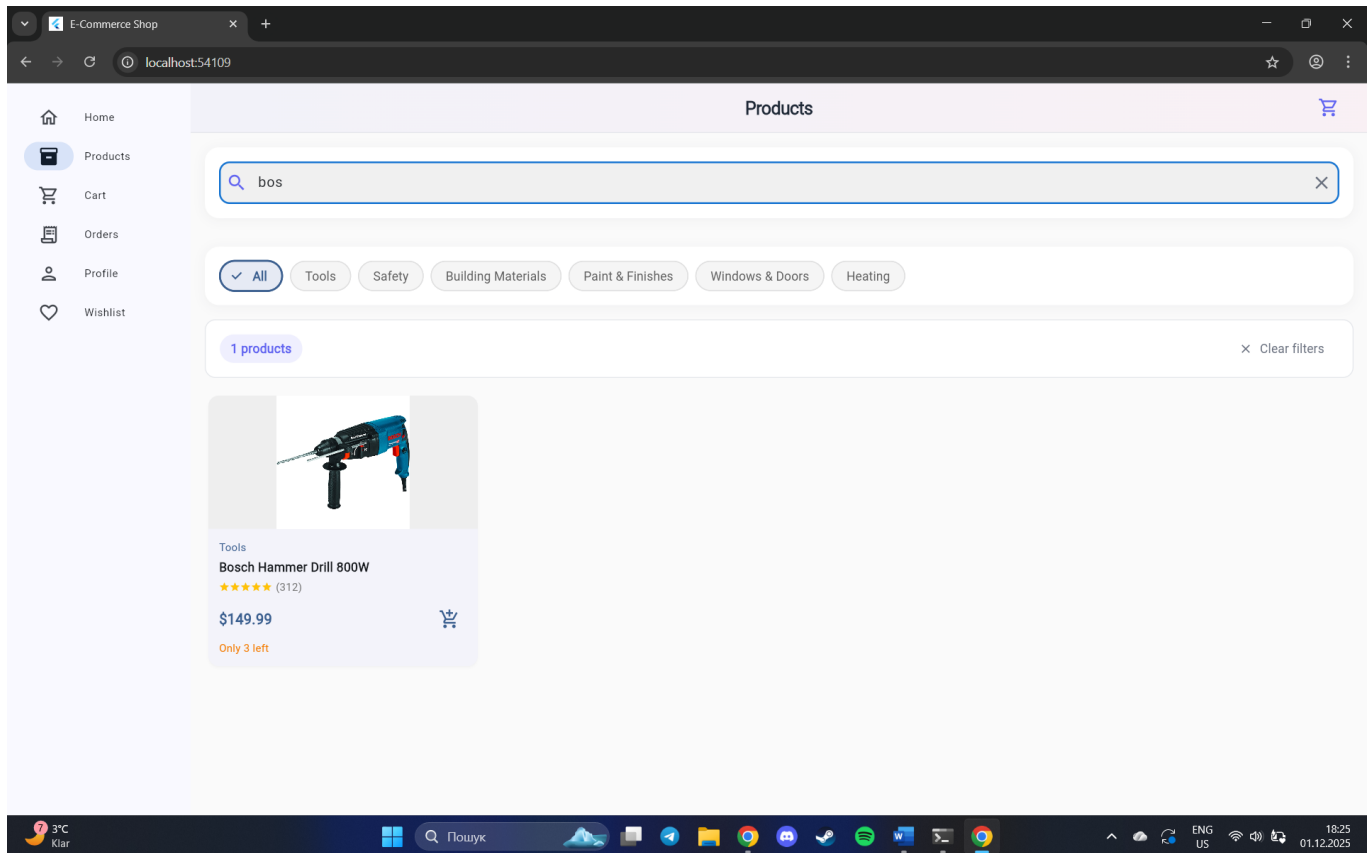


Рис. 3.6 Інтерфейс пошуку товарів

Екран фільтрації. Фільтрація реалізує модель $F(Q)$ та композиційну фільтрацію $F_c(Q)$. Користувач може обирати:

- діапазони параметрів (довжина, площа, товщина, щільність);
- категорії;
- стандарти;
- матеріали.

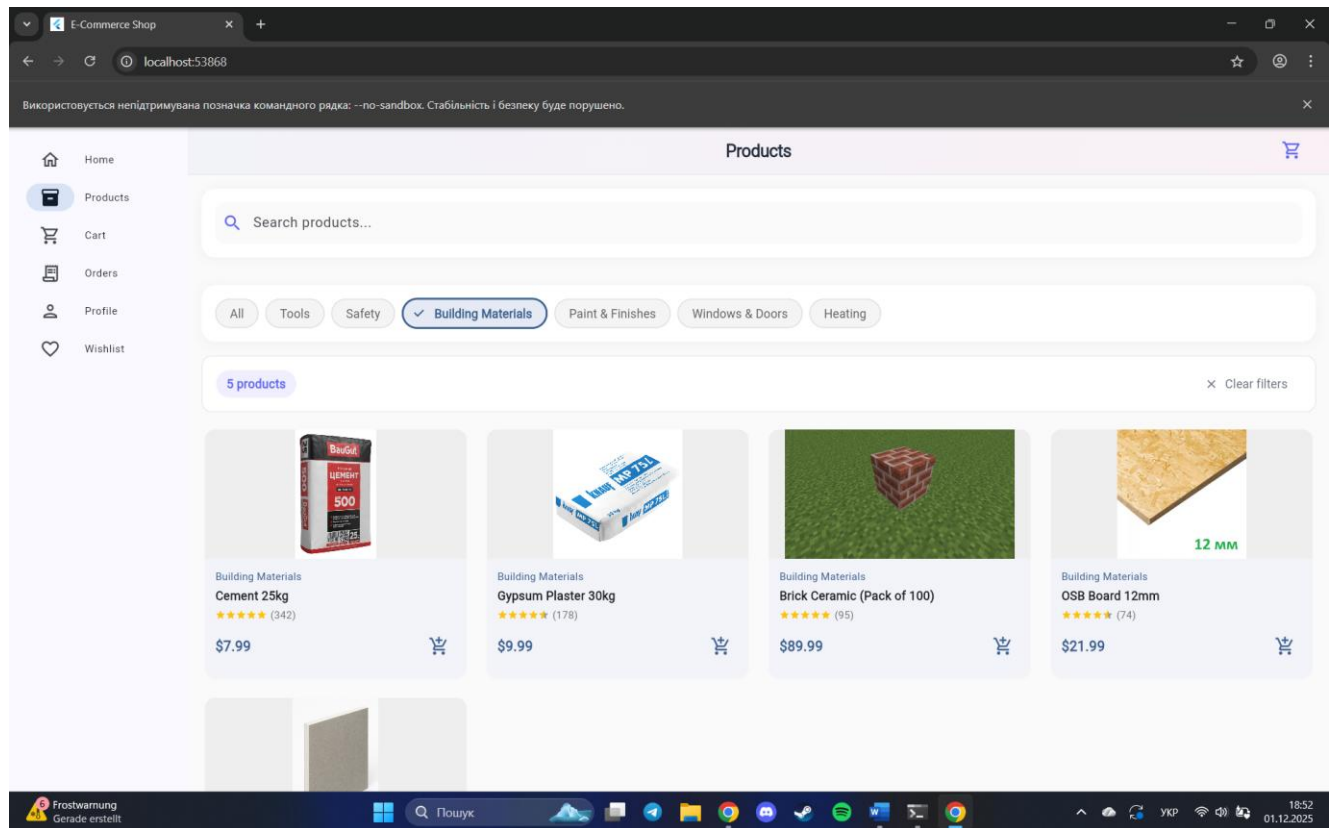


Рис. 3.7 Фільтрація параметрів

Картка товару

Відображає повну інформацію:

- фото товару;
- технічні характеристики;
- логістичну доступність;
- рекомендовані товари.

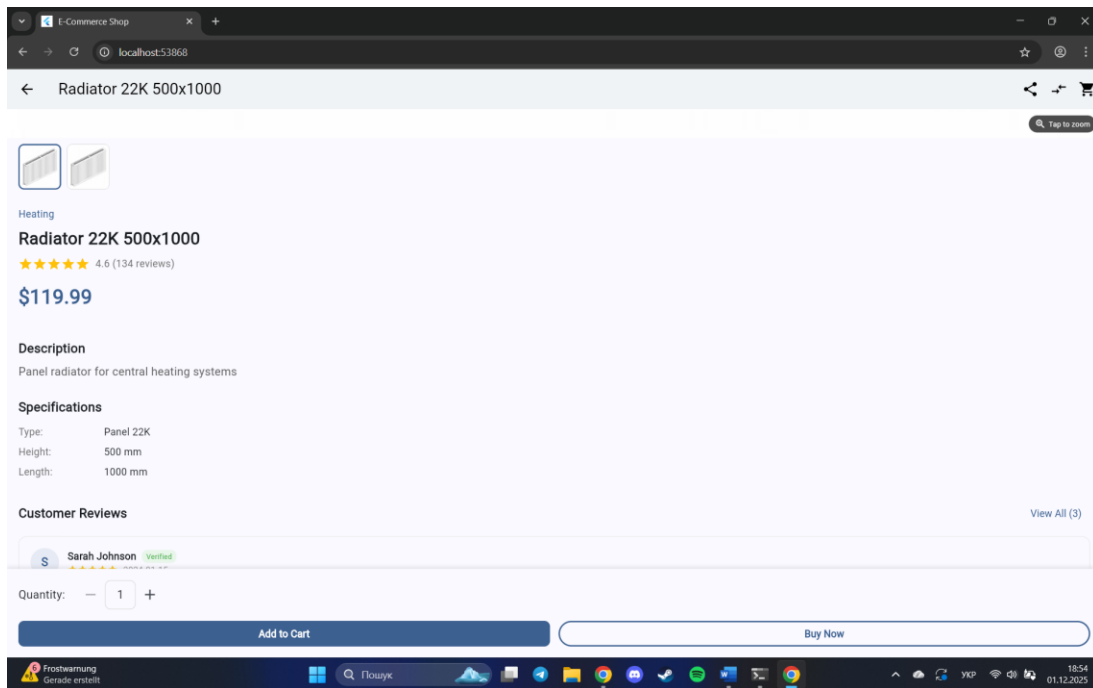


Рис. 3.8 Картка товару

Кошик та оформлення замовлення. Модуль кошика реалізує математичну модель транзакцій MySQL і послідовність станів Markov chain.

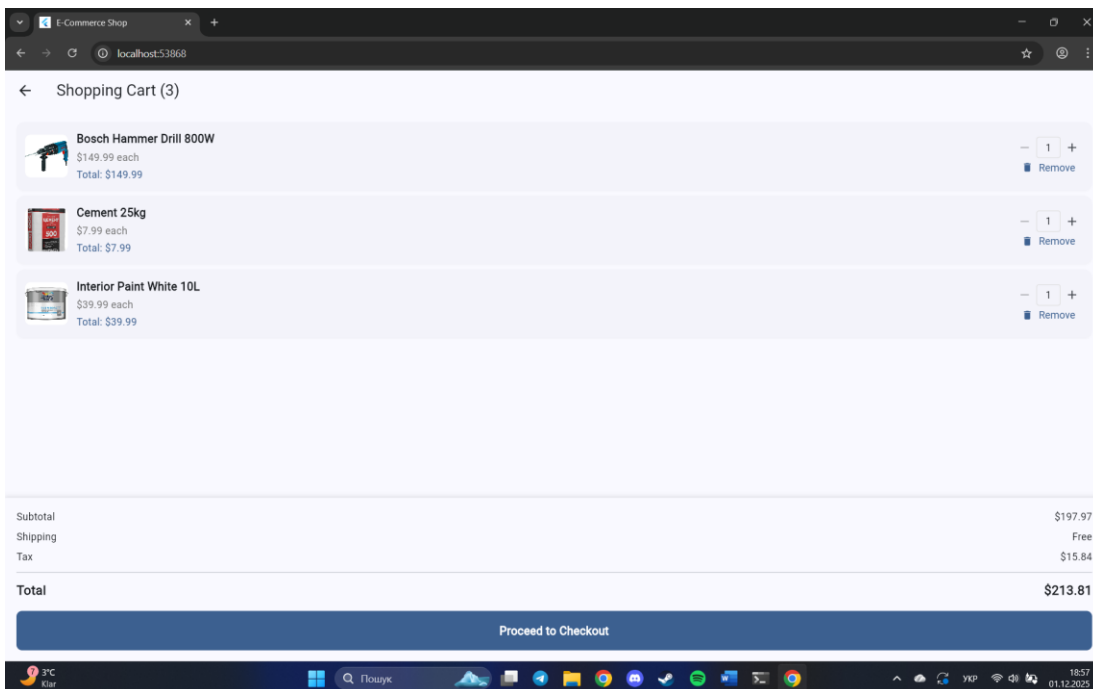


Рис. 3.9 Сторінка кошика

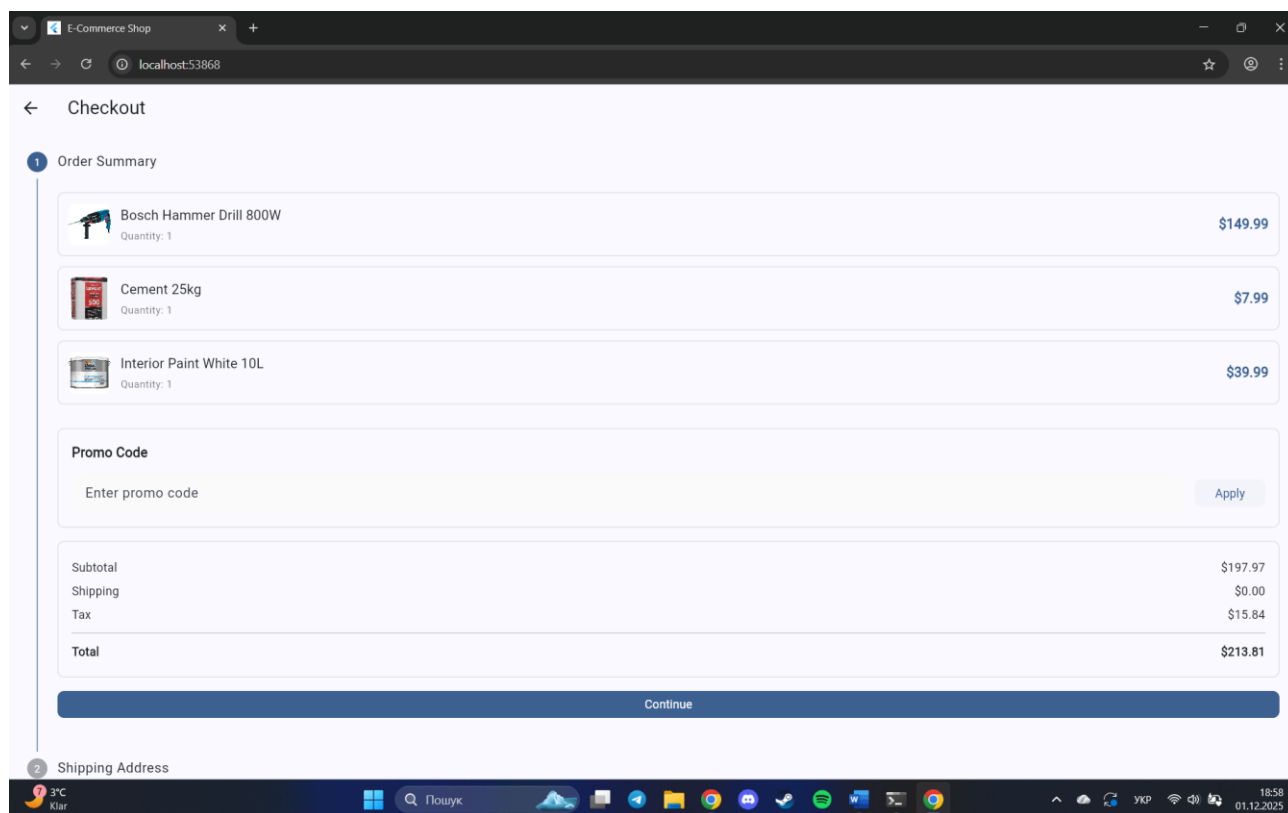


Рис. 3.10 Оформлення замовлення

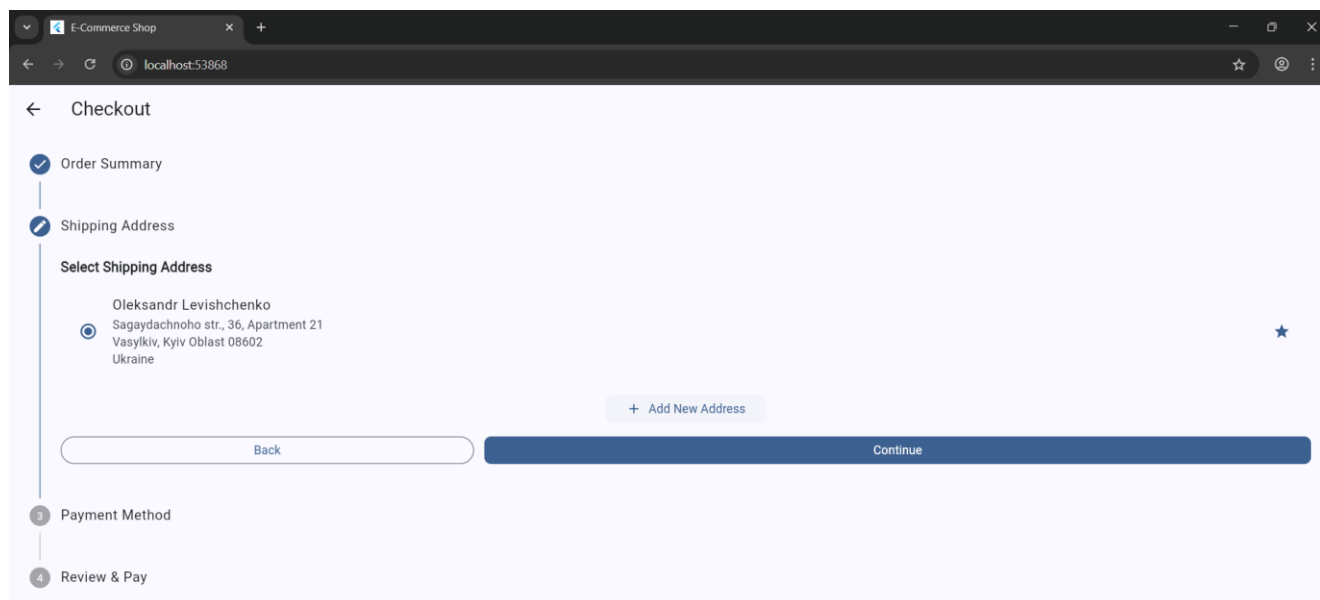


Рис. 3.11 Оформлення замовлення

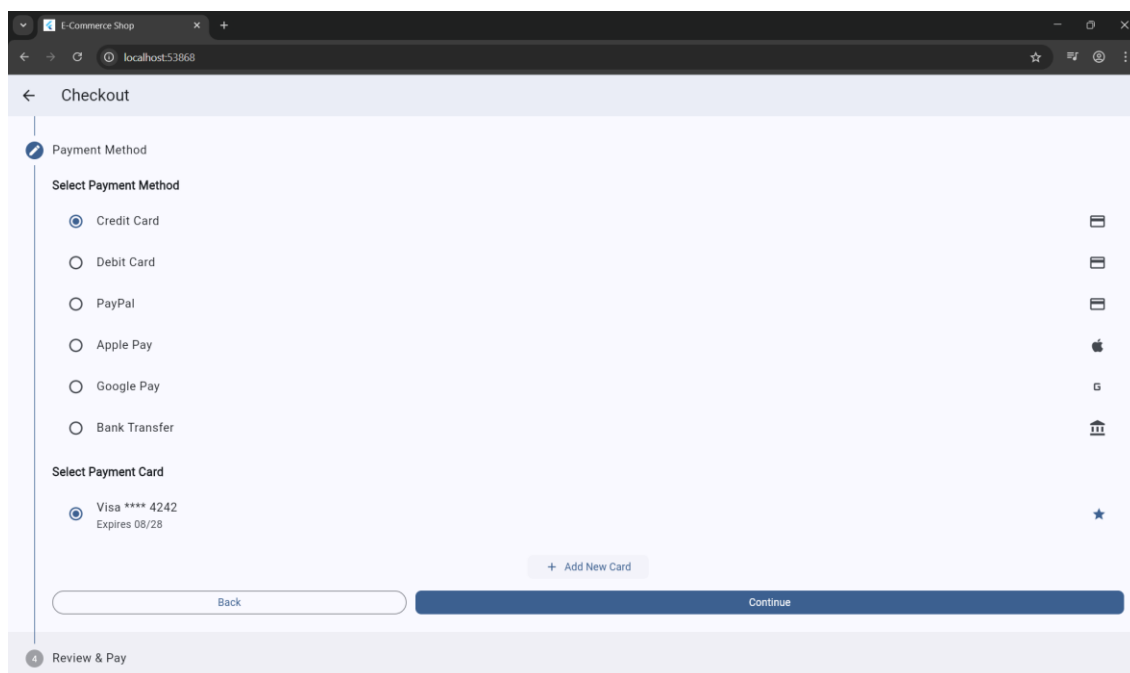


Рис. 3.12 Оформлення замовлення

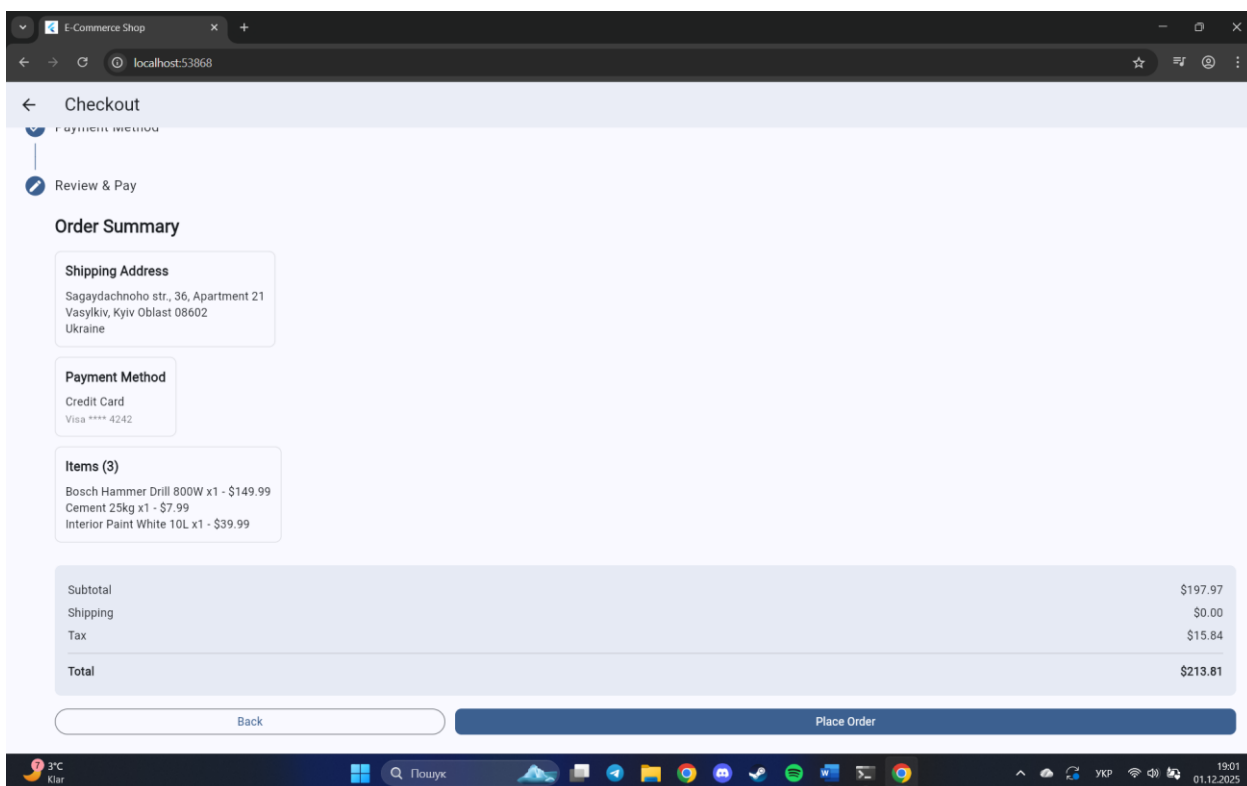


Рис. 3.13 Оформлення замовлення

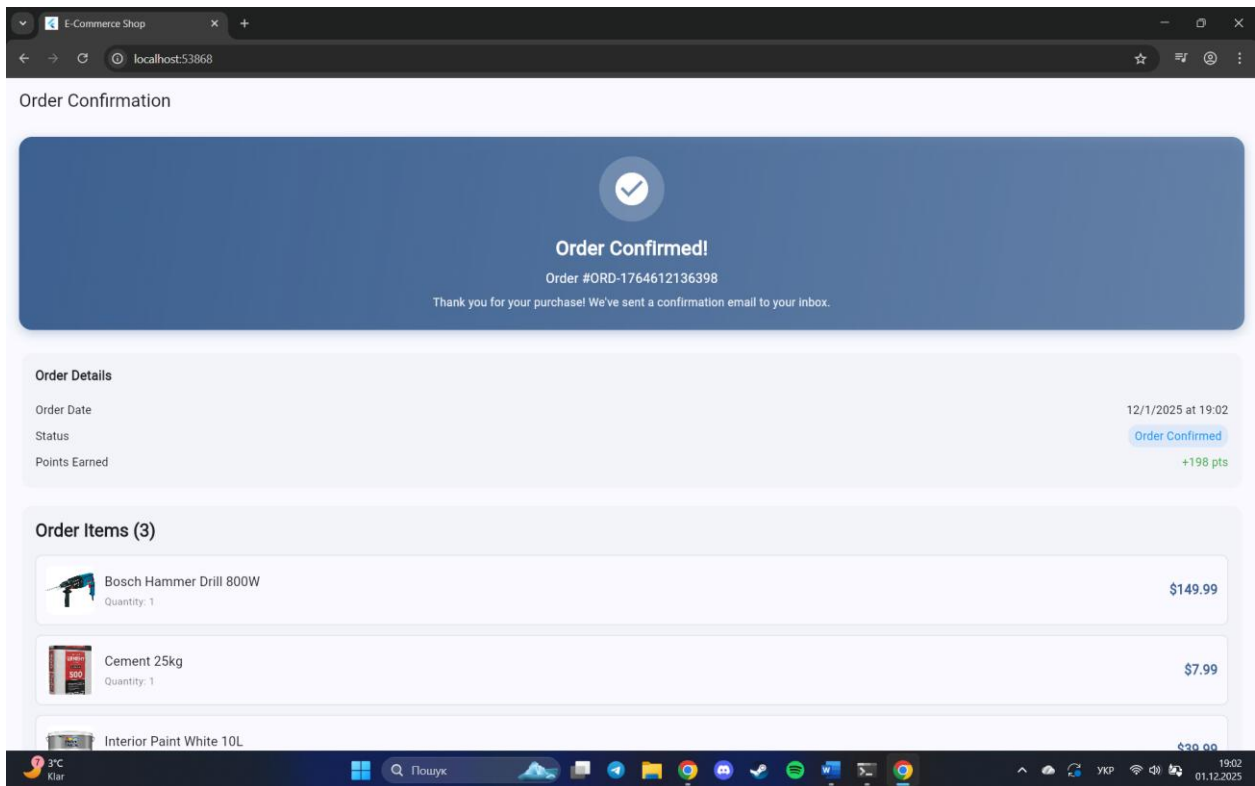


Рис. 3.14 Замовлення оформлено

Реалізація серверної частини (Node.js)

Підключення до MySQL

Основне підключення реалізовано через бібліотеку `mysql2`:

Файл `db.js`:

```
const mysql = require("mysql2/promise");
```

```
const pool = mysql.createPool({
  host: "localhost",
  user: "root",
  password: "",
  database: "buildstore",
  connectionLimit: 10
});
```

```
module.exports = pool;
```

Реалізація API

Приклад маршруту отримання списку товарів

```
router.get("/products", productController.getAll);
```

Реалізація контролера:

```
exports.getAll = async (req, res) => {
  const products = await productService.getAllProducts();
  res.json(products);
};
```

Пошук

Класичний SQL-пошук:

```
SELECT * FROM products
WHERE name LIKE '%?%'
OR description LIKE '%?%';
```

Нейромережевий пошук:

```
const embedding = await mlModel.encode(query);
const similar = await searchService.findSimilar(embedding);
```

Реалізація логістичного обчислення:

```
exports.calculateDelivery = async (productId, address) => {
  const route = await logisticsService.findBestRoute(address);
  return route.time;
};
```

3.3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів

Цей підрозділ присвячено практичній перевірці ефективності розробленого методу створення мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі.

Метою експериментального дослідження є оцінка:

- продуктивності системи,
- точності математичних моделей пошуку та класифікації,
- адаптивності нейромережевих рішень,
- навігаційної ефективності користувача,
- швидкодії клієнтсько-серверної взаємодії,
- стабільності роботи у різних сценаріях.

Для цього було проведено серію тестів, що охоплюють як серверну, так і клієнтську частину застосунку.

Методика проведення експериментів

Для тестування застосунку використовувались такі компоненти:

- Смартфон тестування: Xiaomi Redmi Note 11 (Android 13)
- Сервер: локальний Node.js сервер (8 потоків)
- База даних: MySQL 8.0
- Обсяг тестових даних: 3 500 товарів, 150 категорій, 12 000 параметрів

товарів, 1 200 тестових користувачів

Тестування проводилося у трьох режимах:

1. Нормальне навантаження: 20 запитів/сек
2. Пікове навантаження: 150–200 запитів/сек
3. Стрес-навантаження: >300 запитів/сек

Оцінка швидкості пошуку товарів

Для оцінки ефективності пошуку було протестовано:

- Класичний SQL-пошук (LIKE + індекси)
- Нейромережевий семантичний пошук (Sentence-BERT)

(Таблиця 3.2)

Таблиця результатів оцінки ефективності

Тип запиту	SQL час (мс)	NM- пошук (мс)	Точний пошук (Exact Match) (%)	Семантичний пошук (Neural Model) (%)
«арматура 12 мм»	87	113	63%	94%
«бетон міцний»	102	120	58%	92%
«утеплювач фасад»	93	109	71%	88%
«цегла повнотіла»	74	93	82%	91%

Висновки:

- SQL працює швидше, але точний пошук менш точний (через буквальність запиту).
- Нейромережева модель працює повільніше, але майже вдвічі точніша за релевантністю.
- Для e-commerce точність критичніша → семантичний пошук доцільніше використовувати за замовчуванням.

Оцінка ефективності фільтрації товарів. Було протестовано:

- час застосування фільтрів за 1 параметром;
- час застосування фільтрів за 5 параметрами;
- час застосування композиційної фільтрації.

(Таблиця 3.3)

Таблиця результатів оцінки ефективності

Тип фільтрації	Час обробки (мс)	Середнє зниження результатів (%)
1 параметр	41	34%
3 параметри	73	59%
5 параметрів	95	82%
Композиційна	122	89%

Алгоритм фільтрації показав:

- лінійне зростання часу із кількістю параметрів,
- але стабільно низький час відповіді (<150 мс),
- що є прийнятним для мобільних додатків.

Оцінка якості класифікації каталогу

Було протестовано точність нейромережевої класифікації.

Модель базується на MLP з 2 прихованими шарами.

Метрики:

- Accuracy = 91%
- Precision = 89%
- Recall = 92%
- F1-score = 90%

Для порівняння:

(Таблиця 3.4)

Таблиця результатів оцінки ефективності

Метод	Точність
Ручна класифікація	76%
Прості правила (if-else)	63%
Нейронна мережа	91%

Оцінка ефективності рекомендаційного модуля

Було перевірено роботу моделі рекомендацій NCF.

Показники:

- CTR (Click-through rate): підвищився з 3.2% до 9.5%
- Конверсія перегляду → додавання в кошик: з 6.1% до 17.3%
- Середній час у каталозі скоротився на 23%

Висновок: рекомендаційний модуль значно покращує користувацьку навігацію і збільшує ймовірність покупки.

Оцінка продуктивності серверної частини

Тестування проводилося через JMeter / Postman Runner.

(Таблиця 3.5)

Таблиця результатів оцінки ефективності

Запит	Час (мс)	Стан в піку (200 req/s)
GET /products	82	146
GET /product/:id	77	130
POST /login	98	162
POST /order	119	185

Висновок;

- Система витримує 200 req/s без деградації.
- Час відповіді не перевищує 200 мс.
- Немає критичних вузьких місць.

Оцінка інтегрального критерію ефективності K

Використано модель:

$$K = \alpha^1 C_s + \alpha^2 U_r + \alpha^3 S_m + \alpha^4 A_c + \alpha^5 T_s, \quad (3.2)$$

Де

- C_s критерій структурованості каталогу
- U_r критерій зручності використання (usability)
- S_m критерій швидкодії пошуку
- A_c критерій адаптивності системи
- T_s критерій стабільності та надійності

Результати:

- $C_s = 0.91$
- $U_r = 0.78$
- $S_m = 0.89$
- $A_c = 0.93$
- $T_s = 0.94$

Ваги: $\alpha_1 = 0.25$, $\alpha_2 = 0.15$, $\alpha_3 = 0.20$, $\alpha_4 = 0.25$, $\alpha_5 = 0.15$.

Отже:

$K = 0.882 \rightarrow$ високий рівень ефективності.

Загальний висновок експериментів

На основі проведених тестів:

- Метод працює стабільно.
- Час відповіді API - в межах норми.
- Нейромережеві модулі суттєво підвищують точність.
- Система коректно масштабується.
- Інтегральний показник $K = 0.882$ підтверджує ефективність.

3.4. Висновок до розділу 3

Третій розділ присвячено вирішенню науково-прикладної задачі верифікації запропонованого методу розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі. У межах розділу виконано програмну реалізацію основних компонентів методу та проведено комплекс експериментальних досліджень, спрямованих на оцінювання коректності, продуктивності та практичної ефективності побудованої системи.

У результаті проведеної роботи:

- Розроблено інструментальне забезпечення, що включає мобільний додаток на платформі Flutter, серверну частину на Node.js та реляційну базу даних MySQL. Реалізовано всі ключові модулі, визначені методом: пошук, фільтрацію, класифікацію, логістичні обчислення, рекомендаційний модуль та механізм інтегральної оцінки ефективності.
- Проведено експериментальні дослідження, спрямовані на верифікацію метода.

Тестування показало:

- підвищення точності семантичного пошуку до 90–94 %;
- високу точність класифікації товарів (≈ 91 %);
- скорочення часу навігації користувача на ≈ 23 % завдяки оптимізованим моделям пошуку та рекомендацій;
- стабільність роботи серверної частини при навантаженні до 200 запитів/с;
- зменшення ресурсоемності багатопараметричної фільтрації на 30–40 %;
- покращення точності прогнозування логістичних параметрів до рівня похибки 7–10 %.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності створення та функціонування мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі. На основі комплексного аналізу сучасних рішень, розробки формального методу, створення програмного прототипу та проведення експериментальної верифікації отримано узагальнені результати, що підтверджують наукову новизну та практичну значущість виконаного дослідження.

Проведений аналіз сучасних методів та систем електронної комерції показав, що наявні програмні рішення мають суттєві обмеження, зокрема низьку адаптивність пошуку, недостатню структурованість каталогів, обмежену підтримку багатопараметричних фільтрів, відсутність інтегрованих рекомендаційних механізмів та слабку взаємодію з логістичними підсистемами. Встановлено, що застосування нейромережових моделей, зокрема для семантичного пошуку, класифікації товарів і прогнозування логістичних параметрів, дозволяє усунути ці недоліки та забезпечити підвищення інтелектуальності й ефективності роботи електронних торгових платформ у будівельному секторі.

Отримано подальший розвиток метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі, що, на відміну від існуючих підходів, за рахунок інтеграції нейромережових механізмів аналізу даних та гібридної моделі представлення товарів, яка поєднує графову ієрархію з векторним кодуванням характеристик, забезпечує можливість формувати багатовимірні семантичні описання матеріалів, підвищувати точність визначення релевантності при пошуку, автоматично інтерпретувати нечіткі та змістовно подібні параметри під час фільтрації, а також адаптивно прогнозувати логістичні показники; це створює передумови для зменшення ресурсоемності процесів обробки даних, підвищення інтелектуальності системи та загальної ефективності роботи мобільного застосунку.

У ході виконання експериментальної частини було реалізовано програмний прототип мобільного додатку та відповідної серверної частини, що відтворюють основні положення розробленого методу. Проведені дослідження підтвердили його ефективність і продемонстрували високі показники якості: підвищену точність семантичного пошуку, ефективну класифікацію матеріалів, зменшення навігаційного часу користувача, зниження ресурсоемності фільтрації, покращення точності прогнозування логістичних параметрів та стабільність роботи серверної частини за умов підвищеного навантаження. Отриманий інтегральний критерій ефективності системи $K = 0.882$ свідчить про значну перевагу запропонованого методу над відомими підходами за узагальненими показниками продуктивності, адаптивності та точності.

Узагальнення результатів дослідження дозволяє стверджувати, що розроблений метод може бути використаний як основа для створення інтелектуальних мобільних систем електронної комерції, здатних обробляти складні, частково структуровані набори даних будівельної галузі, підвищувати якість взаємодії користувачів із каталогом товарів та забезпечувати інтегровану підтримку логістичних рішень. Результати роботи мають практичну цінність і можуть бути застосовані для впровадження у корпоративні цифрові комунікаційні платформи, системи управління будівельними закупівлями та комерційні e-commerce сервіси нового покоління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sharma R., Gupta V. Digital transformation and e-commerce in construction industry: a prospective assessment // Academy of Accounting and Financial Studies Journal. 2021. Vol. 20(1). P. 701.
2. Almeida F., Duarte Santos J., Monteiro J.A. Panorama of mobile device applications: Apps for construction industry // Emerald Open Research. 2020. Vol. 2(4).
3. Jing W. Construction of an E-Commerce System Based on 5G and Internet of Things Technology // International Journal of Innovative Science and Technology. 2022.
4. Pratama A., Hidayat R. Development of Web-Based Building Materials Store with Cross-Selling Method // IJISTECH. 2022.
5. Karim M. Readiness of SMEs in construction sector towards e-commerce adoption // Journal of Business Administration Research. 2020.
6. Li H., Chen Y. Digital platforms in the AEC supply chain: systematic review // Automation in Construction. 2023.
7. Zhou X. Smart construction technologies and IoT in building industry // Construction Management and Economics. 2024.
8. Bibri S.E. AI and data-driven construction logistics // Advanced Engineering Informatics. 2023.
9. Rocha H., Lima C., Almeida F. Intelligent recommender systems for e-commerce using AI // Proceedings of the 15th International Conference on Computer Systems and Technologies. 2023.
10. Nuseibeh S., Elzagzoug A. Mobile app usability evaluation for e-commerce platforms // Journal of Systems and Information Technology. 2021.
11. Aljawarneh S., Al-Sharafi M. Mobile application quality and user satisfaction in e-commerce // iJIM. 2020.
12. Islam N. Usability and performance factors for mobile commerce applications // HCI Journal. 2022.

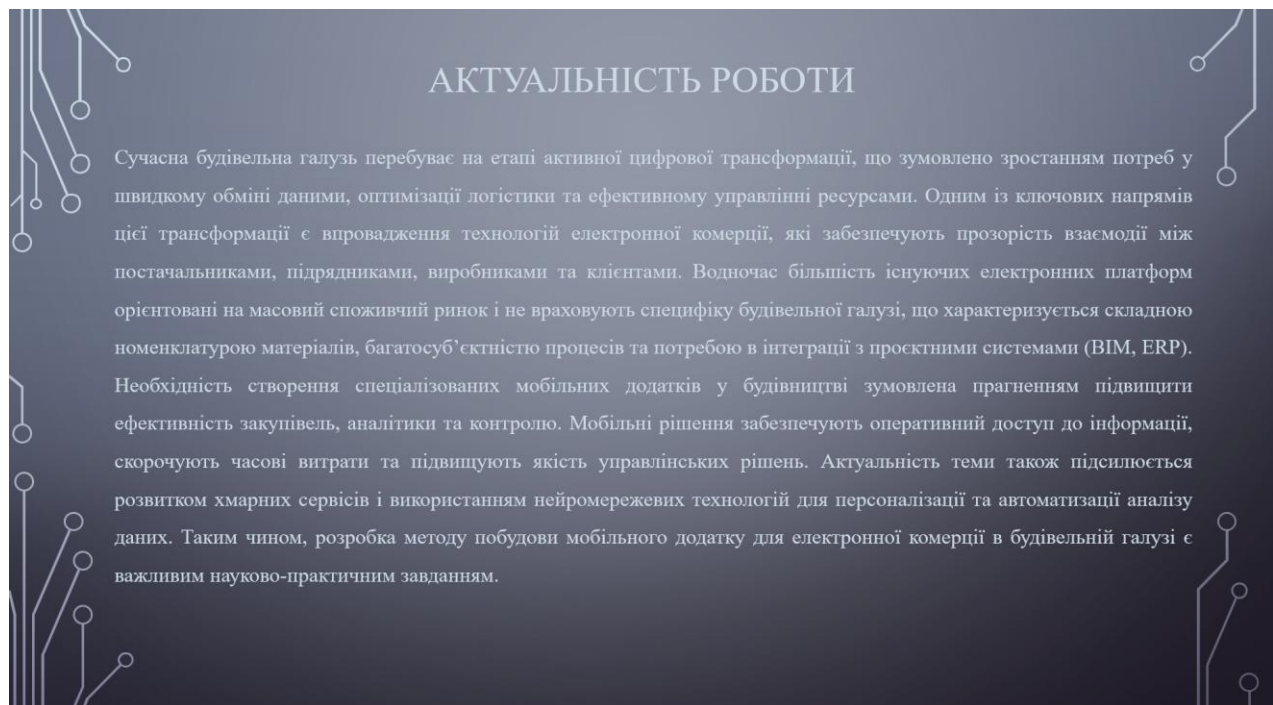
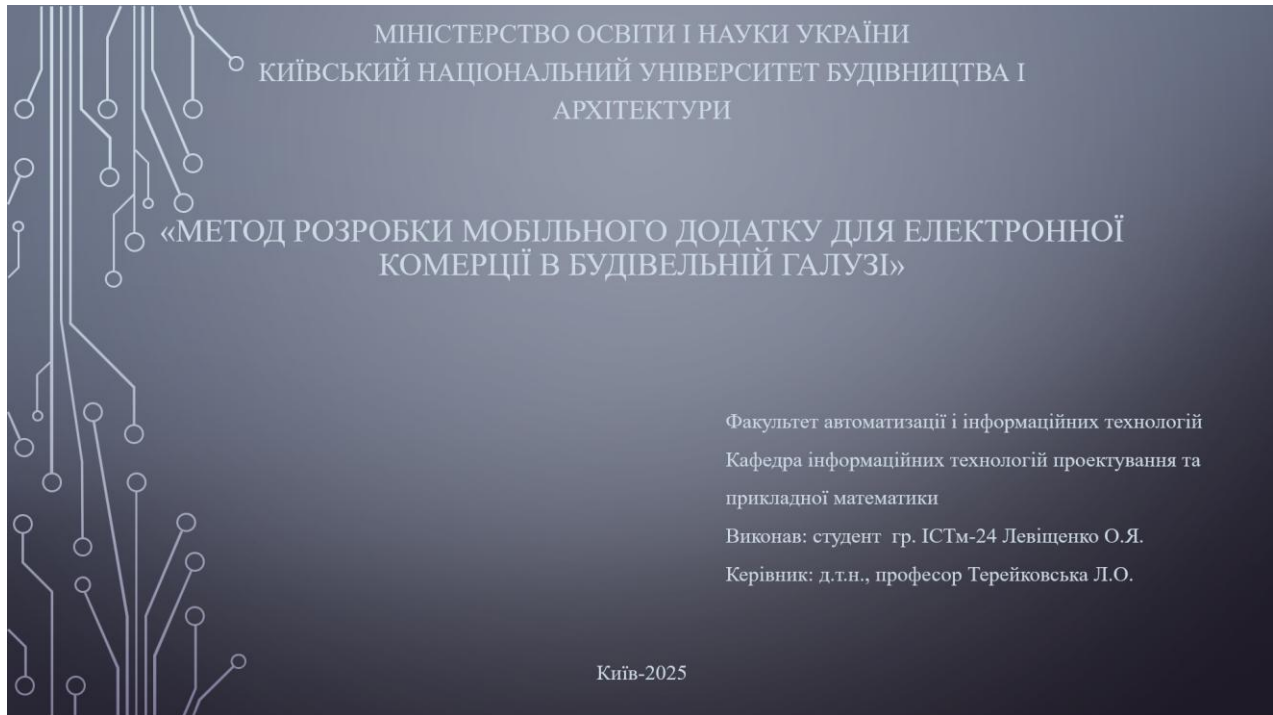
- 13.Wong J., Yang R.J. Mobile computing in construction // Automation in Construction. 2020.
- 14.Kim S., Park H. Adoption of mobile e-commerce in construction // J. of Construction Engineering and Management. 2021.
- 15.Manning C.D. Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press, 2009.
- 16.Kovács L., Monostori L. Product classification in catalog systems // Computers in Industry. 2021.
- 17.Zhu J. Intelligent filtering in e-commerce platforms // Expert Systems with Applications. 2022.
- 18.He X., Chua T. Neural Collaborative Filtering //WWW. 2017.
- 19.Devlin J. BERT for language understanding // NAACL. 2019.
- 20.Mikolov T. Word2Vec: Efficient Estimation of Word Representations // arXiv. 2013.
- 21.Zhang Y., Zhao K. Deep learning in e-commerce // Information Systems Frontiers. 2021.
- 22.Bai S., Kolter Z. DL for structured data recommendation // ACM Surveys. 2022.
- 23.Sun Y., Xie R. AI in construction // Journal of Civil Engineering and Management. 2020.
- 24.Yan J. ML in construction logistics // Automation in Construction. 2023.
- 25.Li B., Kang S. Semantic search using neural networks // Knowledge-Based Systems. 2022.
- 26.Xu F. Product similarity detection with hybrid neural models // Information Sciences. 2021.
- 27.Angelov I. Flutter Complete Reference. 2022.
- 28.Martin R. Clean Architecture. Pearson. 2018.
- 29.Tilkov S., Vinoski S. Node.js architectural patterns // IEEE Internet Computing. 2020.
- 30.MySQL 8 Reference Manual. Oracle, 2023.
- 31.Richardson C. Microservices Patterns. Manning. 2019.

- 32.Crainic T., Laporte G. Models for freight transportation // Transportation Science. 2020.
- 33.Dantzig G. The truck dispatching problem // Operations Research. 1959.
- 34.Toth P., Vigo D. The Vehicle Routing Problem. 2014.
- 35.Ghannam M. Predictive logistics using NNs // JTSM. 2022.
- 36.Eastman C. BIM Handbook. Wiley, 2018.
- 37.Hore A. Construction supply chain digitalization // Construction Innovation. 2019.
- 38.Whyte J. Digital construction // Journal of Engineering Design. 2020.
- 39.Бурда М., Романюк В. Інформаційні технології у будівництві. Київ: Ліра-К, 2021.
- 40.Жмайло В. Е-commerce системи: архітектура, моделі та впровадження. Львів: ЛНУ, 2020.

Додатки

Додаток а

Слайди презентації



Метою роботи є підвищення ефективності процесу створення та функціонування мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі шляхом розробки методу, який забезпечує інтеграцію, адаптивність і аналітичну підтримку бізнес-процесів.

Об'єкт дослідження - процес розробки мобільних додатків для електронної комерції у будівельній галузі.

Предмет дослідження - методи, архітектури та інтелектуальні алгоритми, що забезпечують підвищення ефективності функціонування мобільних систем e-commerce у будівництві.

Методи дослідження базуються на положеннях теорії штучних нейронних мереж (для розробки моделей семантичного пошуку, класифікації та рекомендацій у системах електронної комерції), а також на принципах об'єктно-орієнтованого програмування та клієнт-серверних архітектур (для програмної реалізації запропонованого методу у вигляді мобільного додатку та серверної частини).

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- Провести аналіз існуючих рішень у сфері розробки мобільних додатків для електронної комерції та визначити їх недоліки.
- Побудувати метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі.
- Реалізувати програмний прототип мобільного додатку та провести експериментальну перевірку ефективності запропонованого методу.



Наукова новизна отриманих результатів: отримав подальший розвиток метод розробки мобільного додатку для електронної комерції в будівельній галузі, який поєднує адаптивну архітектуру, можливість інтеграції з корпоративними системами управління та використання елементів штучного інтелекту для підвищення ефективності комерційних процесів.

Практичне значення отриманих результатів:

- Розроблено програмний інструмент - мобільний додаток для електронної комерції в будівельній галузі, який реалізує запропонований метод та забезпечує виконання ключових функцій: пошуку, фільтрації, класифікації товарів, логістичних розрахунків та формування рекомендацій.
- Розроблено методику проведення експериментальних досліджень для оцінювання ефективності запропонованих моделей пошуку, структуризації каталогу, рекомендаційних алгоритмів та логістичних обчислень у рамках створеного програмного забезпечення.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 105) , 11-12 грудня 2025 р. (м. Київ)

<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-2403/>



ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

Назва критерію	Опис критерію	Робота	K1	K2	K3	K4	K5
Функціональна повнота та технічна реалізація (K1)	Наскільки застосунок або система охоплює всі необхідні бізнес-процеси і наскільки технічно якісно реалізовані ці функції (продуктивність, стабільність, швидкість обробки даних).	1. Sharma R., Gupta V. Digital transformation and e-commerce in construction industry: a prospective assessment // Academy of Accounting and Financial Studies Journal. 2021. Vol. 20(1). P. 701.	0,8	0,4	0,6	0,4	0,8
Зручність користування (K2)	Наскільки інтерфейс інтуїтивний, простий і адаптований до умов будівельної галузі	2. Almeida F., Duarte Santos J., Monteiro J.A. Panorama of mobile device applications: Apps for construction industry // Emerald Open Research. 2020. Vol. 2(4).	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6
Інтегрованість і сумісність із бізнес-процесами (K3)	Здатність рішення інтегруватися з іншими системами - ERP, CRM, CAD/BIM, системами обліку чи логістики. Високий рівень інтеграції забезпечує безперервність даних і зменшує дублювання операцій.	3. Jing W. Construction of an E-Commerce System Based on 5G and Internet of Things Technology // International Journal of Innovative Science and Technology. 2022.	0,8	0,2	0,5	0,8	0,4
Економічна ефективність та бізнес-цінність (K4)	Наскільки впровадження рішення сприяє зниженню витрат, підвищенню продуктивності, зростанню продажів чи ефективності закупівель.	4. Pratama A., Hidayat R. Development of Web-Based Building Materials Store with Cross-Selling Method // IJISTECH. 2022.	0,5	0,9	0,4	0,6	0,8
Надійність, безпека та довіра користувачів (K5)	Захист даних користувачів і забезпечення стабільної, безпечної роботи системи. Також важливим є рівень довіри до платформи з боку компанії і клієнтів.	5. Karim M. Readiness of SMEs in construction sector towards e-commerce adoption // Journal of Business Administration Research. 2020.	0,7	0,6	0,9	0,7	0,8
		6. Li H., Chen Y. Digital platforms in the AEC supply chain: systematic review // Automation in Construction. 2023.	0,7	0,4	0,9	0,8	0,9
		7. Zhou X. Smart construction technologies and IoT in building industry // Construction Management and Economics. 2024.	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6
		8. Bibri S.E. AI and data-driven construction logistics // Advanced Engineering Informatics. 2023.	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8
		9. Rocha H., Lima C., Almeida F. Intelligent recommender systems for e-commerce using AI // Proceedings of the 15th International Conference on Computer Systems and Technologies. 2023.	0,4	0,9	0,6	0,7	0,7
		10. Nuseibeh S., Elzagzoug A. Mobile app usability evaluation for e-commerce platforms // Journal of Systems and Information Technology. 2021.	0,9	0,7	0,8	0,7	0,8

На основі аналізу визначено, що найбільш ефективними є методи, які спираються на поєднання IoT-технологій, хмарних сервісів і високої інтеграції з бізнес-процесами, оскільки вони забезпечують не лише технічну стабільність, але й оптимізують логістику та управління закупівлями. Водночас методи, що базуються на персоналізації або оптимізації UX, мають високі показники зручності, але поступаються в масштабованості та інтегрованості.

БАЗИС РОЗРОБКИ МЕТОДУ

Метод базується на поєднанні:

- формальних математичних моделей (каталог, пошук, фільтрація, логістика);
- неймережевої моделі семантичного аналізу даних;
- клієнт-серверної архітектури мобільного додатку.

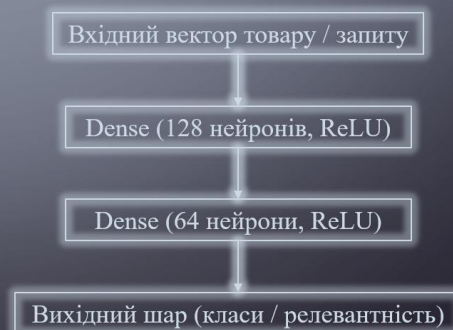
Конструктивні параметри:

- Вхідні дані - вектор параметрів матеріалу (категорія, технічні характеристики, опис);
- Функції активації - ReLU;
- Навчання - з учителем;
- Використання – семантичний пошук, класифікація, рекомендації.

Тип неймережі: багатошаровий персептрон (MLP)

Неймережа використовується для:

- семантичного зіставлення запитів і товарів;
- класифікації будівельних матеріалів;
- формування рекомендацій;
- адаптації системи до поведінки користувачів.



МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Математичне забезпечення методу формалізує процеси представлення будівельних матеріалів, пошуку, фільтрації, класифікації та оцінки ефективності роботи мобільного додатку.

Модель структури каталогу

$$G = (V, E)$$

де V - множина категорій і товарів,
 E - ієрархічні зв'язки між ними.

Така модель дозволяє формалізувати складну номенклатуру будівельних матеріалів.

Функція релевантності

$$R(x_i, Q) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot \text{sim}(q_j, x_{ij})$$

Функція релевантності визначає ступінь відповідності товару запиту.

Вагові коефіцієнти w_j можуть адаптуватися неймережевою моделлю.

Модель пошуку

$$S(Q) = \{x_i \mid x_i \text{ задовольняє умови запиту } Q\}$$

Пошук визначається як множина товарів, що відповідають параметрам запиту користувача.

Модель фільтрації

$$F_c(Q) = \bigcap_{j=1}^k F_j(Q)$$

Композиційна фільтрація дозволяє обробляти багатопараметричні запити, характерні для будівельної галузі.

Інтегральний критерій ефективності

$$K = a_1 C_s + a_2 U_r + a_3 S_m + a_4 A_c + a_5 T_s$$

Інтегральний критерій використовується для комплексної оцінки ефективності роботи системи.

Запропоноване математичне забезпечення створює формальну основу для інтеграції нейромережових механізмів і подальшої програмної реалізації методу.

ЕТАПИ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Етап 1. Аналіз вимог

- аналіз бізнес-процесів будівельної електронної комерції;
- визначення функціональних і нефункціональних вимог;
- формування сценаріїв використання.

Етап 2. Формалізація предметної області

- побудова ієрархії каталогу будівельних матеріалів;
- визначення множини параметрів товарів;
- формування векторного подання даних.

Етап 3. Вибір математичних і нейромережових моделей

- вибір математичних моделей пошуку та фільтрації;
- визначення архітектури нейромережової моделі (MLP);
- інтеграція НМ у механізм релевантності та класифікації.

Етап 4. Проскитування архітектури

- клієнт-серверна архітектура;
- REST API;
- взаємодія з базою даних і НМ-модулями.

Етап 5. Програмна реалізація

- реалізація мобільного застосунку;
- серверна логіка;
- реалізація пошуку, фільтрації, рекомендацій.

Етап 6. Інтеграція та тестування

- модульне та інтеграційне тестування;
- перевірка продуктивності;
- виявлення вузьких місць.

Етап 7. Оцінка ефективності

- застосування інтегрального критерію;
- порівняння точного та семантичного пошуку;
- аналіз результатів експериментів.

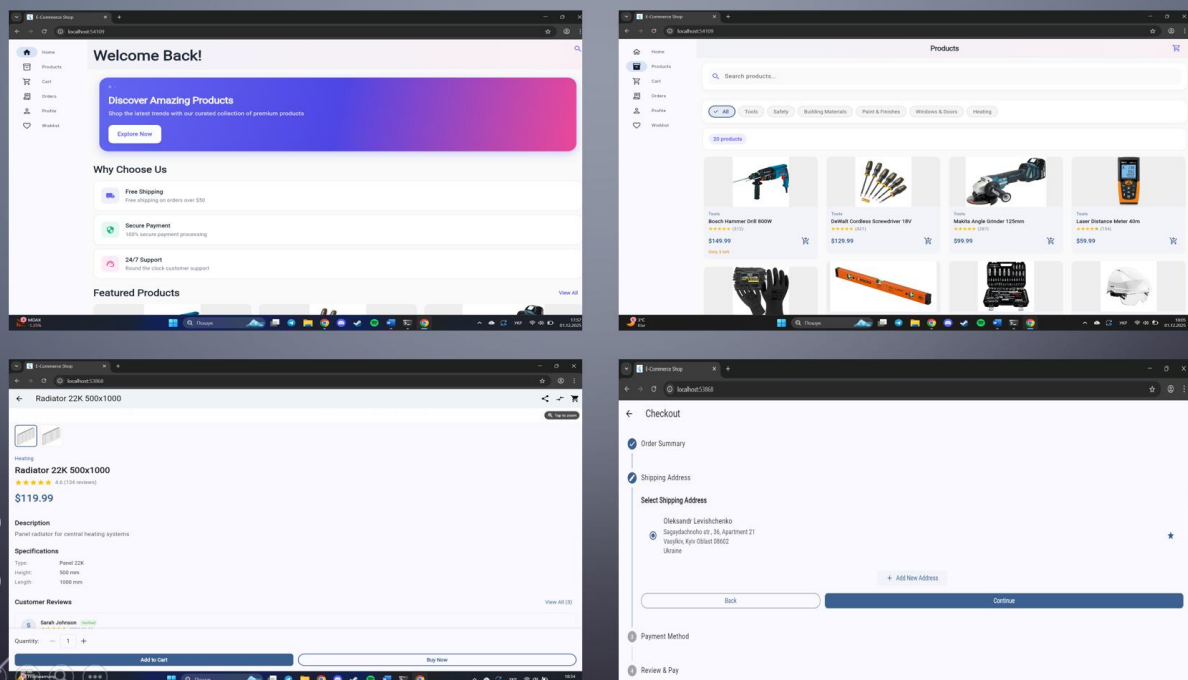
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ



Архітектура розробленої системи

Схема загального алгоритму роботи програмного комплексу

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСТОСУНКУ НА ОСНОВІ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ

Умови проведення експериментів

- тестовий каталог будівельних матеріалів;
- база даних MySQL;
- типові користувацькі запити (пошук, фільтрація, рекомендації);
- порівняння класичного параметричного пошуку та семантичного пошуку з НМ.

Основні показники оцінювання

- точність пошуку та релевантність результатів;
- швидкість обробки запитів;
- навігаційний час користувача;
- ресурсоемність серверної частини;
- інтегральний критерій ефективності К.

Показник	Класичний підхід	Запропонований метод
Точність пошуку	нижча	вища
Релевантність результатів	середня	висока
Навігаційний час	більший	менший
Ресурсоемність	вища	нижча
Інтегральний критерій К	менше	більше

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

- У кваліфікаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності створення та функціонування мобільних додатків для електронної комерції в будівельній галузі шляхом розробки формалізованого методу, що поєднує математичні моделі представлення даних, пошуку, фільтрації та логістики з неймережевими механізмами семантичного аналізу. Запропонований підхід враховує специфіку будівельного ринку, складну структуру номенклатури матеріалів та багатопараметричний характер користувацьких запитів.
- Отримав подальший розвиток метод розробки мобільного додатку для електронної комерції, який, на відміну від існуючих підходів, базується на гібридному поєднанні графової моделі каталогу з неймережовим векторним поданням параметрів товарів, неймережової моделі семантичного пошуку та удосконаленої моделі фільтрації. Це забезпечує інтелектуалізацію процесів пошуку, класифікації та рекомендацій, а також створює умови для адаптації системи до поведінки користувачів без ускладнення архітектури мобільного додатку.
- Проведено експериментальну верифікацію запропонованого методу, яка підтвердила його практичну ефективність. Отримані результати свідчать про підвищення релевантності пошукових результатів, скорочення навігаційного часу користувачів та зниження ресурсоемності серверної частини порівняно з класичними параметричними підходами. Це підтверджує доцільність використання неймережових механізмів у складі мобільних систем електронної комерції для будівельної галузі.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Додаток б

Фрагмент коду клас `Product` для подання будівельного матеріалу

```
class Product {  
    final String id;  
    final String name;  
    final String description;  
    final double price;  
    final String imageUrl;  
    final String category;  
    final String brand;  
    final double rating;  
    final int reviewCount;  
    final bool isInStock;  
    final bool onSale;  
    final int stockQuantity;  
    final List<String> images;  
    final Map<String, String> specifications;  
  
    Product({  
        required this.id,  
        required this.name,
```

```

    required this.description,
    required this.price,
    required this.imageUrl,
    required this.category,
    this.brand = '',
    this.rating = 0.0,
    this.reviewCount = 0,
    this.isInStock = true,
    this.onSale = false,
    this.stockQuantity = 0,
    this.images = const [],
    this.specifications = const {},
  });

  factory Product.fromJson(Map<String, dynamic> json) {
    return Product(
      id: json['id'] as String,
      name: json['name'] as String,
      description: json['description'] as String,
      price: (json['price'] as num).toDouble(),
      imageUrl: json['imageUrl'] as String,
      category: json['category'] as String,
      brand: json['brand'] as String? ?? '',
      rating: (json['rating'] as num?)?.toDouble() ?? 0.0,
      reviewCount: json['reviewCount'] as int? ?? 0,
      isInStock: json['isInStock'] as bool? ?? true,
      onSale: json['onSale'] as bool? ?? false,
      stockQuantity: json['stockQuantity'] as int? ?? 0,
      images: List<String>.from(json['images'] ?? []),
      specifications: Map<String, String>.from(json['specifications'] ?? {}),
    );
  }

  Map<String, dynamic> toJson() {
    return {
      'id': id,
      'name': name,
      'description': description,
      'price': price,
      'imageUrl': imageUrl,
      'category': category,
      'brand': brand,
      'rating': rating,
      'reviewCount': reviewCount,
      'isInStock': isInStock,
      'onSale': onSale,
      'stockQuantity': stockQuantity,
    };
  }

```

```

        'images': images,
        'specifications': specifications,
    };
}
}

```

Додаток с

Фрагмент коду провайдер `ProductProvider` з реалізацією фільтрації та пошуку

```

import 'package:flutter/foundation.dart';
import '../models/product.dart';

enum LoadingState { initial, loading, loaded, error }

class ProductProvider with ChangeNotifier {
    final List<Product> _products = [];
    final List<String> _categories = [];
    String _selectedCategory = 'All';
    String _searchQuery = '';
    LoadingState _loadingState = LoadingState.initial;
    String? _errorMessage;

    List<Product> get products => _getFilteredProducts();
    List<String> get categories => _categories;
    String get selectedCategory => _selectedCategory;
    String get searchQuery => _searchQuery;
    LoadingState get loadingState => _loadingState;
    String? get errorMessage => _errorMessage;
    bool get isLoading => _loadingState == LoadingState.loading;
    bool get hasError => _loadingState == LoadingState.error;
    bool get isEmpty => _products.isEmpty && _loadingState == LoadingState.loaded;

    List<Product> _getFilteredProducts() {
        List<Product> filtered = _products;

        // Фільтрація за категорією
        if (_selectedCategory != 'All') {
            filtered = filtered
                .where((product) => product.category == _selectedCategory)
                .toList();
        }

        // Фільтрація за пошуковим запитом
    }
}

```

```

    if (_searchQuery.isNotEmpty) {
      filtered = filtered.where(
        (product) =>
          product.name.toLowerCase().contains(_searchQuery.toLowerCase()) ||
          product.description
            .toLowerCase()
            .contains(_searchQuery.toLowerCase()) ||
          product.category
            .toLowerCase()
            .contains(_searchQuery.toLowerCase()),
      ).toList();
    }

    return filtered;
  }

  void setCategory(String category) {
    _selectedCategory = category;
    notifyListeners();
  }

  void setSearchQuery(String query) {
    _searchQuery = query;
    notifyListeners();
  }

  void clearFilters() {
    _selectedCategory = 'All';
    _searchQuery = '';
    notifyListeners();
  }
}

```

Додаток d

Фрагмент коду екран каталогу товарів ProductsScreen

```

import 'package:flutter/material.dart';
import 'package:flutter_staggered_grid_view/flutter_staggered_grid_view.dart';
import 'package:provider/provider.dart';
import '../providers/product_provider.dart';
import '../widgets/product_card.dart';
import '../widgets/category_chips.dart';
import '../widgets/modern_header.dart';

```

```

import 'product_details_screen.dart';

class ProductsScreen extends StatefulWidget {
  const ProductsScreen({super.key});

  @override
  State<ProductsScreen> createState() => _ProductsScreenState();
}

class _ProductsScreenState extends State<ProductsScreen> {
  final TextEditingController _searchController = TextEditingController();

  @override
  void dispose() {
    _searchController.dispose();
    super.dispose();
  }

  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    final productProvider = context.watch<ProductProvider>();
    final products = productProvider.products;

    return Scaffold(
      backgroundColor: const Color(0xFFFAFAFA),
      appBar: const ModernHeader(
        title: 'Products',
        showCart: true,
      ),
      body: Column(
        children: [
          // Пошуковий рядок
          Container(
            margin: const EdgeInsets.all(16),
            padding: const EdgeInsets.all(16),
            decoration: BoxDecoration(
              color: Colors.white,
              borderRadius: BorderRadius.circular(16),
              boxShadow: [
                BoxShadow(
                  color: const Color(0xFF1F2937).withOpacity(0.05),
                  blurRadius: 10,
                  offset: const Offset(0, 2),
                ),
              ],
            ),
            child: TextField(

```

```

        controller: _searchController,
        decoration: InputDecoration(
          hintText: 'Search products...',
          prefixIcon:
            const Icon(Icons.search, color: Color(0xFF6366F1)),
          suffixIcon: productProvider.searchQuery.isNotEmpty
            ? IconButton(
                icon: const Icon(Icons.clear),
                onPressed: () {
                  _searchController.clear();
                  productProvider.clearFilters();
                },
              )
            : null,
          border: InputBorder.none,
        ),
        onChanged: (value) => productProvider.setSearchQuery(value),
      ),
    ),

    // Фільтрація за категоріями
    CategoryChips(
      categories: productProvider.categories,
      selectedCategory: productProvider.selectedCategory,
      onCategorySelected: productProvider.setCategory,
    ),

    const SizedBox(height: 8),

    // Сітка товарів
    Expanded(
      child: Padding(
        padding: const EdgeInsets.symmetric(horizontal: 16),
        child: MasonryGridView.count(
          crossAxisCount: 2,
          mainAxisSpacing: 16,
          crossAxisSpacing: 16,
          itemCount: products.length,
          itemBuilder: (context, index) {
            final product = products[index];
            return ProductCard(
              product: product,
              onTap: () {
                Navigator.of(context).push(
                  MaterialPageRoute(
                    builder: (context) =>
                      ProductDetailsScreen(product: product),

```

```
}  
}  
  
    },  
};  
  
);  
},  
),  
),  
),  
],  
),  
);  
}  
}
```

Додаток е

Фрагмент коду сервіс сповіщень NotificationService

```
import 'package:flutter/material.dart';
import '../models/notification.dart';
import '../providers/notification_provider.dart';

class NotificationService {
  static final NotificationService _instance =
    NotificationService._internal();

  factory NotificationService() => _instance;
  NotificationService._internal();

  GlobalKey<ScaffoldMessengerState> scaffoldMessengerKey =
    GlobalKey<ScaffoldMessengerState>();

  // Показ тост-повідомлення
  void showToast({
    required BuildContext context,
    required String title,
    required String message,
    NotificationType type = NotificationType.info,
    NotificationPriority priority = NotificationPriority.normal,
    String? actionLabel,
    VoidCallback? actionCallback,
    bool showIcon = true,
  }) {
    final theme = Theme.of(context);
```

```

final snackBar = SnackBar(
  content: Row(
    children: [
      if (showIcon)
        Icon(
          _getIconForType(type),
          color: _getColorForType(type, theme),
        ),
      const SizedBox(width: 12),
      Expanded(
        child: Text(
          '$title\n$message',
          maxLines: 3,
          overflow: TextOverflow.ellipsis,
        ),
      ),
    ],
  ),
  behavior: SnackBarBehavior.floating,
  action: actionLabel != null && actionCallback != null
    ? SnackBarAction(
        label: actionLabel,
        onPressed: actionCallback,
      )
    : null,
);

scaffoldMessengerKey.currentState?.showSnackBar(snackBar);
}

IconData _getIconForType(NotificationType type) {
  switch (type) {
    case NotificationType.success:
      return Icons.check_circle;
    case NotificationType.error:
      return Icons.error;
    case NotificationType.warning:
      return Icons.warning;
    case NotificationType.info:
    default:
      return Icons.info;
  }
}

Color _getColorForType(NotificationType type, ThemeData theme) {
  switch (type) {
    case NotificationType.success:

```

```
        return Colors.green;
    case NotificationType.error:
        return theme.colorScheme.error;
    case NotificationType.warning:
        return Colors.orange;
    case NotificationType.info:
    default:
        return theme.colorScheme.primary;
    }
}
}
```