

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
(повна назва)

Кафедра _____ Інформаційних управляючих систем _____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Дослідження методів оцінювання вартості ІТ-проекту _____
розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації _____
(тема)

Виконав:
здобувач _____ 2 _____ року навчання,
групи _____ УПГІТм-24-1 _____
_____ Вадим ПОКУЛЬ _____
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність _____ 122 Комп'ютерні науки _____
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Управління проектами _____
_____ в галузі інформаційних технологій _____
Керівник _____ професор кафедри ІУС _____
_____ Ірина ПАНФЬОРОВА _____
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____ ІУС _____

_____  _____
(підпис)

_____ Костянтин ПЕТРОВ _____
(власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
 Кафедра _____ Інформаційних управляючих систем _____
 Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
 Спеціальність _____ 122 Комп'ютерні науки _____
 (код і повна назва)
 Тип програми _____ освітньо-наукова _____
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)
 Освітня програма _____ Управління проектами в галузі інформаційних технологій _____
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
 (підпис)
 « 06 » квітня 20 26 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Покулю Вадиму Володимировичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи _____ «Дослідження методів оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації»
 затверджена наказом університету від 23 березня 2026 р. № 231Ст
- Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 16 травня 2026 р.
- Вихідні дані до роботи: науково-технічна література, публікації та інтернет-ресурси, що стосуються теми кваліфікаційної роботи
- Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: опис методів оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем, стан впровадження інновацій, проблеми та обмеження ІТ-розробки, проблеми оцінки вартості ІТ-проєктів, порівняння методів оцінювання вартості, постановка задачі дослідження, розробка комбінованого методу оцінювання вартості, етапи розробки, налаштування даних і правил, програмні засоби реалізації, метрики точності оцінювання, апробація методу

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем	06.04.2026– 12.04.2026	виконано
2	Аналіз оцінювання вартості ІТ-проектів на різних стадіях життєвого циклу	12.04.2026– 18.04.2026	виконано
3	Огляд існуючих методів оцінювання вартості ІТ-проектів. Постановка задачі дослідження	18.04.2026– 23.04.2026	виконано
4	Аналіз факторів, що впливають на вартість ІТ-проекту розробки рекомендаційних систем	23.04.2026– 29.04.2026	виконано
5	Розробка комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проекту розробки рекомендаційних систем	29.04.2026– 06.05.2026	виконано
6	Опис технології використання розробленого методу	06.05.2026– 08.05.2026	виконано
7	Експериментальна перевірка ефективності розробленого методу. Порівняння з іншими методами	08.05.2026– 10.05.2026	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	10.05.2026– 11.05.2026	виконано
9	Підготовка презентаційного матеріалу	11.05.2026– 13.05.2026	виконано
10	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.05.2026	виконано
11	Захист кваліфікаційної роботи	22.05.2026	виконано

Дата видачі завдання 06 квітня 2026 р.

Здобувач


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

проф. каф. ІУС Ірина ПАНФЬОРОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 71 сторінка, 12 рисунків, 9 таблиць, 1 додаток, 42 джерела.

ВАРТІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ, ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ, ІНІЦІАЦІЯ, ІТ-ПРОЄКТ, МЕТОД АНАЛІТИЧНОЇ ІЄРАРХІЇ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ.

Об'єктом дослідження є процес вартісного оцінювання ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації.

Предметом дослідження є методи оцінювання вартості ІТ-проєкту, що базуються на поєднанні методу аналітичної ієрархії та апарату нечіткої логіки.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем, який забезпечує підвищення точності прогнозування вартості на ранніх етапах.

В результаті роботи було розроблено комбінований метод оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації, що поєднує метод аналізу ієрархій та апарат нечіткої логіки. Метод дозволяє враховувати кількісні та якісні критерії ІТ-проєкту в умовах невизначеності й неповноти даних.

Практичне значення роботи полягає у підвищенні точності прогнозування вартості ІТ-проєктів і зниженні ризику помилок під час планування бюджету на ранніх етапах реалізації ІТ-проєкту.

ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work: 71 pages, 12 figures, 9 tables, 1 appendix, 42 references.

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS, COST ESTIMATION, EXPERT EVALUATIONS, FUZZY LOGIC, INITIATION, IT PROJECT, RECOMMENDER SYSTEM.

The object of this study is the cost estimation process for an IT project involving the development of recommendation systems during the initiation phase.

The subject of this study is methods for estimating the cost of an IT project based on a combination of the Analytic Hierarchy Process and fuzzy logic.

This thesis aims to develop a combined method for estimating the cost of an IT project for developing recommendation systems, thereby improving cost forecasting at early stages.

As a result of the work, a combined method for estimating the cost of an IT project for developing recommendation systems at the initiation stage was developed, combining the analytic hierarchy process and fuzzy logic. The method allows consideration of quantitative and qualitative criteria of an IT project under conditions of uncertainty and incomplete data.

The practical significance of this work lies in improving the accuracy of IT project cost forecasting and reducing the risk of errors during budget planning in the early stages of IT project implementation.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	8
Вступ.....	9
1 Аналіз методів формування вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем	10
1.1 Характеристика та аналіз особливостей класу рекомендаційних систем	10
1.2 Характеристика та аналіз особливостей ІТ-проєктів розробки рекомендаційних систем електронної комерції	12
1.3 Огляд проблем при оцінюванні вартості ІТ-проєктів розробки рекомендаційних систем електронної комерції на етапі ініціації.....	14
1.4 Аналіз існуючих методів оцінювання вартості ІТ-проєктів розробки рекомендаційних систем.....	16
1.5 Постановка задачі дослідження	21
2 Розробка комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	23
2.1 Структура комбінованого методу оцінювання вартості ІТ- проєкту розробки рекомендаційних систем	23
2.2 Збір та підготовка даних для оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	26
2.3 Формалізація комбінованого методу для оцінювання вартості ІТ- проєкту розробки рекомендаційних систем	28
3 Дослідження особливостей реалізації методу оцінювання вартості ІТ- проєкту розробки рекомендаційних систем	33

3.1 Опис етапів практичної реалізації комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	33
3.2 Опис підготовки даних та нечітких правил з наступним налаштуванням комбінованого методу	35
3.3 Опис програмних засобів для реалізації комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	38
3.4 Визначення показників оцінки точності оцінювання вартості з використанням комбінованого методу ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	42
3.5 Результати дослідження особливостей реалізації комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту на етапі ініціації.....	44
4 Апробація комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	45
4.1 Реалізація проведення апробації запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем	45
4.2 Аналіз точності запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.....	49
Висновки	53
Перелік джерел посилення	55
Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	59

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ІС – інформаційні системи

MAI – метод аналізу ієрархій

ПЗ – програмне забезпечення

COCOMO – Constructive Cost Model

IT – Information Technology

MAE – Mean Absolute Error

MAPE – Mean Absolute Percentage Error

MR – Mean Error

PERT – Program Evaluation and Review Technique

ВСТУП

В останні роки у зв'язку зі стрімким розвитком цифрової економіки рекомендаційні системи стали невід'ємною частиною платформ електронної комерції, які не тільки забезпечують персоналізований користувацький досвід, а й сприяють підвищенню показників продажів. Попит на такі системи постійно зростає, що призводить до збільшення кількості ІТ-проектів з розробки та впровадження таких систем. Водночас успішна реалізація таких ІТ-проектів вимагає обґрунтованих управлінських рішень на якомога більш ранній стадії розробки ІТ-проекту, одним із ключових елементів яких є правильна оцінка витрат [1].

Оцінка витрат на ІТ-проекти розробки рекомендаційних систем є набагато складнішим завданням, ніж оцінка витрат на традиційні інформаційні системи (ІС). Це пов'язано зі специфікою таких ІТ-проектів, у яких значна частина витрат припадає на експериментальну роботу з даними, налагодження алгоритмів машинного навчання та ітеративне вдосконалення моделей, що на початковому етапі дуже важко оцінити. Неточна оцінка вартості може спричинити перевищення бюджету, затримки у реалізації ІТ-проекту або навіть його скасування через недооцінку складності та необхідних ресурсів [2].

Актуальність дослідження полягає в тому, що існуючі методи оцінки вартості ІТ-проектів (аналогові, параметричні та експертні) були розроблені переважно для традиційних програмних систем і не враховують специфіку систем рекомендацій: залежність витрат від якості та обсягу навчальних даних, невизначеність алгоритмічної складової, ітеративну розробку, а також необхідність у масштабованій хмарній інфраструктурі. Використання існуючих методів оцінювання вартості призводить до систематичного заниження або завищення очікуваних витрат, що негативно впливає на прийняття рішень щодо запуску ІТ-проекту [3].

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ВАРТОСТІ ІТ-ПРОЄКТУ РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

1.1 Характеристика та аналіз особливостей класу рекомендаційних систем

Рекомендаційні системи в електронній комерції є одним із ключових інструментів інтелектуального аналізу поведінки користувачів та автоматизованого формування персоналізованих товарних пропозицій [4]. Їхнє основне призначення полягає у виявленні прихованих закономірностей у діях покупців, прогнозуванні індивідуальних інтересів та підвищенні ефективності процесів продажу за рахунок надання релевантних рекомендацій, що дає змогу підвищити рівень задоволеності клієнтів, оптимізувати маркетингові стратегії та збільшити загальні показники прибутковості бізнесу.

Приклад структурної схеми рекомендаційної системи, що складається з восьми функціональних модулів, наведено на рисунку 1.1.

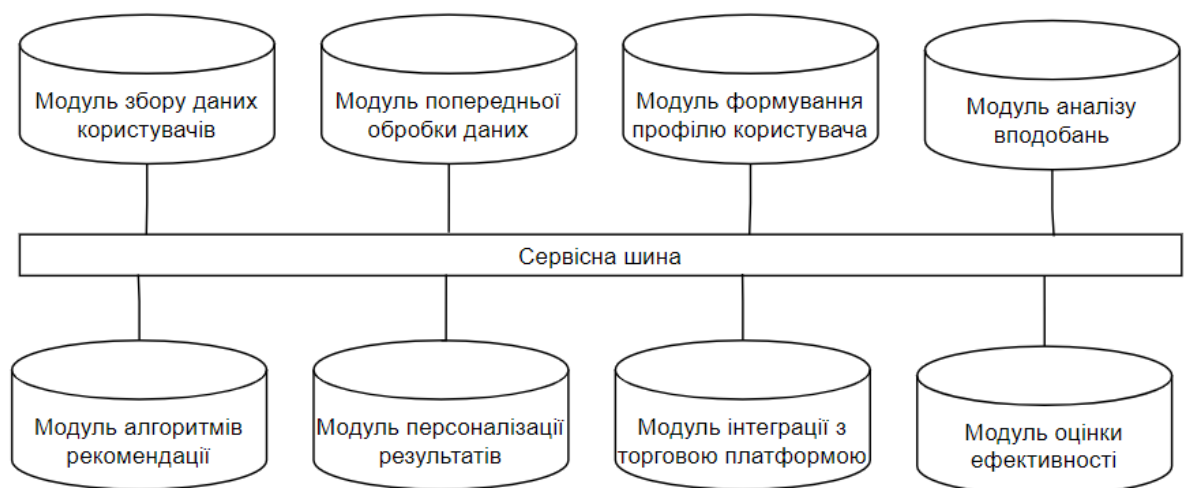


Рисунок 1.1 – Структурна схема рекомендаційної системи електронної комерції

Рекомендаційна система електронної комерції включає наступні модулі:

- модуль збору даних користувачів (фіксує історію покупок, перегляди товарів, пошукову активність, додавання позицій до кошика та взаємодію з платформою);
- модуль попередньої обробки даних (очищає, структурує та нормалізує отриману інформацію);
- модуль формування профілю користувача (створює поведінкову модель покупця);
- модуль аналізу вподобань (визначає категорії товарів та індивідуальні інтереси);
- модуль алгоритмів рекомендації (реалізує методи фільтрації та прогнозування);
- модуль персоналізації результатів (адаптує рекомендації під конкретного користувача);
- модуль інтеграції з торговою платформою (забезпечує взаємодію з базами товарів і замовлень);
- модуль оцінки ефективності (аналізує точність та результативність сформованих рекомендацій) [5].

Особливості рекомендаційних систем у сфері електронної комерції:

- орієнтація на поведінковий аналіз користувачів;
- адаптивність до змін інтересів покупців;
- використання алгоритмів машинного та глибинного навчання;
- робота з великими обсягами даних у реальному часі;
- автоматичне оновлення моделей на основі нових взаємодій.

Використання рекомендаційної системи дозволяє досягти:

- підвищення релевантності товарних пропозицій;
- зростання конверсії продажів;
- збільшення середньої вартості замовлень;

- утримання користувачів за рахунок персоналізованого досвіду;
- оптимізацію процесів просування товарів [6].

Отже, рекомендаційна система – це розумний інструмент, який аналізує і передбачає поведінку покупців в інтернет-магазинах. Вона допомагає працювати торговельній платформі краще і робить взаємодію з користувачами зручнішою.

1.2 Характеристика та аналіз особливостей ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем електронної комерції

Створення систем рекомендацій у сфері електронної комерції вважається складним аналітичним ІТ-проектом, що поєднує в собі завдання зі збору та аналізу величезних обсягів даних, розробки моделей глибокого та машинного навчання, а також інтеграції отриманих результатів в інфраструктуру цифрової комерції. Головною метою таких ІТ-проектів є автоматичне формування персоналізованих рекомендацій щодо товарів на основі аналізу поведінки користувачів, що сприяє підвищенню зацікавленості клієнтів, ефективності продажів та релевантності контенту [7].

ІТ-проекти створення рекомендаційних систем мають специфічні особливості, що відрізняють їх від класичних проектів розробки інформаційних систем [8]. Ключовою характеристикою є орієнтація на дані як основний ресурс, від якого залежить якість кінцевого результату. На відміну від транзакційних систем, де основна увага приділяється бізнес-логіці та стабільності операцій, у рекомендаційних ІТ-проектах критичними є формування коректної архітектури обробки даних, вибір алгоритмів та їх адаптація до поведінкових характеристик користувачів.

Першим етапом реалізації такого IT-проєкту є аналіз джерел даних та визначення структури інформаційних потоків. В електронній комерції основними даними виступають історії покупок, перегляди товарів, кліки, пошукові запити, рейтинги, час взаємодії з платформою та інші поведінкові сигнали. Від повноти, узгодженості та якості цих даних безпосередньо залежить точність рекомендаційних моделей [9]. На цьому етапі формується вимога до централізованого сховища даних та визначається стратегія їх подальшої аналітичної обробки.

Наступною особливістю IT-проєктів рекомендаційних систем є складність алгоритмічної складової. Розробка передбачає вибір та поєднання методів колаборативної фільтрації, контент-орієнтованих підходів, гібридних моделей та алгоритмів глибинного навчання. IT-проєкт повинен враховувати проблему розрідженості даних, холодного старту для нових користувачів і товарів, масштабованості обчислень та необхідність постійного оновлення моделей у динамічному середовищі [10].

Головною перешкодою є інтеграція механізму рекомендацій із платформою електронної комерції. Щоб забезпечити оперативне формування персоналізованих пропозицій під час взаємодії користувача з інтернет-магазином, система повинна працювати практично в режимі реального часу. Модуль аналітики, бази даних товарів, системи відстеження замовлень та веб-інтерфейс платформи повинні мати ефективну архітектуру обміну даними.

Окрему складність становить забезпечення безпеки даних користувачів. Рекомендаційні системи оперують великими масивами персоналізованої інформації, що вимагає впровадження механізмів захисту даних, контролю доступу, шифрування та дотримання нормативних вимог щодо конфіденційності інформації. Порушення цілісності або витік даних може призвести до значних репутаційних та фінансових втрат [11].

Фінансова складова IT-проєктів рекомендаційних систем визначається високою часткою витрат на аналітику даних, обчислювальні

ресурси та розробку алгоритмів. Значні витрати пов'язані з організацією інфраструктури для обробки великих даних, навчанням моделей та їх постійною підтримкою [12]. Крім первинних витрат на реалізацію, необхідно враховувати витрати на масштабування системи, її супровід та регулярне оновлення моделей відповідно до змін поведінки користувачів.

Таким чином, ІТ-проекти розробки рекомендаційних систем електронної комерції характеризуються високою складністю, значною залежністю від якості даних, потребою у складних алгоритмічних рішеннях та необхідністю інтеграції з цифровою торговою інфраструктурою. Їхня успішна реалізація забезпечує підвищення ефективності продажів, оптимізацію взаємодії з користувачами та формування конкурентних переваг у середовищі електронної комерції.

1.3 Огляд проблем при оцінюванні вартості ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем електронної комерції на етапі ініціації

Оцінювання вартості ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем є складним аналітичним завданням, що характеризується високим рівнем невизначеності, значною залежністю від якості даних та складністю прогнозування обсягів робіт на ранніх стадіях. На етапі ініціації ІТ-проекту формується попередня бюджетна оцінка, яка визначає доцільність подальшої реалізації, однак саме на цьому етапі спостерігається найбільша кількість факторів, що знижують точність розрахунків [14].

Особливістю рекомендаційних систем є їхня орієнтація не лише на програмну реалізацію, а й на побудову складних аналітичних моделей, що ускладнює прогнозування витрат у порівнянні з традиційними інформаційними системами. Значна частина вартості формується за

рахунок робіт із підготовки даних, експериментального моделювання та оптимізації алгоритмів.

На етапі ініціації використовуються консолідовані методи оцінки, що ґрунтуються на попередньому досвіді, аналогічних ІТ-проектах та приблизних припущеннях щодо складності майбутньої системи [15]. Такий підхід дозволяє швидко сформувати орієнтовний бюджет, однак він не враховує специфіку структури даних, складність алгоритмічної частини та можливі ризики масштабування.

Основні проблеми оцінювання вартості ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем: висока невизначеність структури даних, складність прогнозування алгоритмічної частини, проблема ітеративності розробки, ризики масштабованості обчислень, складність інтеграції з торговою платформою, неточність оцінювання трудовитрат фахівців з аналітики та машинного навчання; наявність прихованих витрат, складність оцінки майбутньої ефективності системи [16].

На початковому етапі зазвичай відсутня повна інформація про обсяг, якість та придатність історичних даних користувачів. Недооцінка складності очищення, нормалізації та підготовки даних призводить до суттєвого заниження витрат. Вибір методів рекомендації часто здійснюється експериментально, а ефективність різних моделей може значно відрізнятись. Неможливість заздалегідь визначити найкращий підхід ускладнює точну оцінку трудовитрат. Створення рекомендаційної системи передбачає численні цикли тестування, навчання та налаштування моделей, кількість яких неможливо точно спрогнозувати на етапі ініціації. Початкові оцінки часто не враховують майбутнє зростання обсягів даних та потребу у додаткових обчислювальних ресурсах. Необхідність забезпечення швидкої обробки запитів у реальному часі може потребувати суттєвого доопрацювання архітектури, що збільшує витрати. Обсяг робіт залежить від кількості експериментів, складності моделей та якості отриманих результатів. До прихованих витрат належать витрати на

зберігання великих масивів даних, навчання моделей, їх регулярне оновлення, тестування та підтримку після запуску. Оскільки рекомендаційні алгоритми впливають на поведінку користувачів непрямо, складно визначити економічний ефект ще до завершення розробки.

Оцінювання вартості ІТ-проектів створення рекомендаційних систем на етапі ініціації супроводжується значними труднощами через невизначеність даних, експериментальний характер розробки алгоритмів, складність інтеграції та ризики прихованих витрат. Для підвищення точності бюджетних прогнозів необхідним є застосування комплексних підходів до оцінювання, що враховують варіативність сценаріїв реалізації, можливість зміни алгоритмічної складової та потребу у масштабуванні інфраструктури.

1.4 Аналіз існуючих методів оцінювання вартості ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем

Розробка рекомендаційної системи для електронної комерції являє собою складний ІТ-проект, що охоплює проектування алгоритмічної логіки персоналізації, підготовку та обробку користувацьких даних, реалізацію програмних компонентів, тестування, а також подальше вдосконалення моделей рекомендацій [17]. Така багатокomпонентність обумовлює необхідність застосування методів оцінювання вартості, здатних враховувати як технічну складність розробки, так і рівень невизначеності початкових вимог.

Одним із базових підходів до оцінювання вартості ІТ-проекту є метод експертного оцінювання, що ґрунтується на аналізі досвіду фахівців у сфері створення рекомендаційних систем. У межах цього методу вартість розробки визначається з урахуванням таких факторів, як обсяг і структура

даних для навчання моделей, кількість користувачів, складність алгоритмів рекомендацій, вимоги до продуктивності та масштабованості, а також очікуваний рівень адаптивності системи. Формалізація експертної оцінки здійснюється шляхом зваженого агрегування індивідуальних суджень [18]:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

де C – прогнозована вартість ІТ-проєкту розробки рекомендаційної системи;

C_i – оцінка вартості, надана i -м експертом;

w_i – коефіцієнт значущості i -го експерта;

n – кількість експертів.

Недоліком методу є залежність результату від суб'єктивних суджень і складність відтворення оцінки за іншого складу експертної групи.

Іншим підходом є метод оцінювання за аналогією, який базується на використанні інформації про вже реалізовані ІТ-проєкти зі створення рекомендаційних систем із подібними характеристиками. У цьому випадку базова вартість формується на основі аналогічного ІТ-проєкту та коригується з урахуванням відмінностей у масштабі системи, складності рекомендаційних алгоритмів, обсязі даних і вимогах до інтеграції. Узагальнений вигляд розрахунку має форму [19]:

$$C = C_a + \sum_{j=1}^m k_j \cdot \Delta p_j,$$

де C_a – вартість реалізації аналогічного ІТ-проєкту;

k_j – коефіцієнт впливу j -го параметра;

Δp_j – відхилення параметра j від значення в ІТ-проєкті-аналозі;

m – кількість параметрів порівняння.

Перевагою методу є його оперативність, однак точність оцінки суттєво залежить від доступності релевантних аналогів.

Більш формалізований підхід реалізується за допомогою методу функціональних точок, який дозволяє кількісно оцінити функціональний обсяг програмного продукту незалежно від засобів реалізації. Для рекомендаційної системи функціональні точки відображають обсяг операцій обробки користувацьких подій, формування рекомендацій, управління моделями та надання результатів персоналізації. Після коригування базової оцінки з урахуванням нефункціональних характеристик (продуктивність, надійність, масштабованість) загальна вартість розробки визначається як [20]:

$$C = FP \cdot k,$$

де FP – скоригована кількість функціональних точок;

k – нормативна вартість одиниці функціональності.

Метод забезпечує можливість порівняння різних ІТ-проектів, однак його застосування ускладнюється на початкових етапах, коли вимоги до функціоналу системи ще не деталізовані.

За умов високої невизначеності початкових вимог доцільним є використання методу оцінювання і перегляду плану (PERT), який ґрунтується на аналізі декількох сценаріїв вартості розробки. Для цього формуються оптимістична C_o , найбільш імовірна C_m та песимістична C_p оцінки, на основі яких обчислюється очікувана вартість ІТ-проекту [21]:

$$C = \frac{C_o + 4 \cdot C_m + C_p}{6}.$$

Метод PERT дозволяє врахувати ризики, пов'язані зі зміною вимог і складністю реалізації рекомендаційних алгоритмів, проте значною мірою залежить від експертних припущень.

Для оцінювання трудомісткості програмної реалізації рекомендаційної системи використовуються моделі COSOMO та COSOMO II, які базуються на емпіричних залежностях між розміром програмного продукту та обсягом зусиль, необхідних для його створення. Базова модель COSOMO описується співвідношенням [22]:

$$E = \alpha \cdot S^b \cdot \prod_{i=1}^k EM_i,$$

де E – трудомісткість розробки;

S – розмір програмного продукту;

a, b – емпіричні коефіцієнти;

EM_i – множники зусиль, що враховують специфіку ІТ-проєкту.

Модель COSOMO II є подальшим розвитком цього підходу та дозволяє враховувати сучасні практики розробки, проте на етапі ініціації ІТ-проєкту її застосування обмежене через відсутність достовірної інформації щодо архітектури й очікуваного обсягу програмної реалізації.

Таким чином, аналіз існуючих методів показує, що жоден із них не забезпечує повністю достовірної оцінки вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем електронної комерції на початкових етапах. Це обґрунтовує необхідність застосування комбінованих або адаптивних підходів для поєднання експертних знань із формалізованими моделями та зниження невизначеності оцінювання.

Таблиця порівняння методів оцінки вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем електронної комерції наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Опис розглянутих методів оцінки вартості ІТ-проекту розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації

Метод	Переваги	Недоліки
Експертне оцінювання	Оперативність формування оцінки, можливість урахування складності алгоритмів персоналізації, специфіки даних користувачів і вимог електронної комерції	Суб'єктивність результатів, залежність від кваліфікації експертів, відсутність формалізованої математичної основи
Метод аналогій	Використання досвіду реалізованих рекомендаційних систем, простота застосування на початковому етапі проекту	Обмежена точність через унікальність бізнес-процесів, датасетів і моделей рекомендацій
Метод функціональних точок	Незалежність від мови програмування, можливість оцінювання складності функціональних модулів (аналіз поведінки користувачів, формування рекомендацій, інтерфейси взаємодії)	Потребує детального опису функціональних вимог, складність адаптації до компонентів глибокого навчання
Метод PERT	Урахування невизначеності тривалості робіт, придатність для етапів дослідження та експериментального налаштування рекомендаційних моделей	Залежність від експертних оцінок сценаріїв, обмежена деталізація структури витрат
Модель СОСОМО	Емпірична база, можливість автоматизованого розрахунку трудомісткості та вартості	Складність оцінювання обсягу коду для алгоритмів рекомендацій, низька точність на етапі ініціації
Модель СОСОМО II	Адаптація до сучасних підходів розробки, урахування повторного використання компонентів та складності архітектури системи	Висока кількість параметрів, потреба в калібруванні

1.5 Постановка задачі дослідження

Аналіз сучасних методів оцінювання вартості ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем електронної комерції показав, що більшість наявних підходів не повною мірою враховує специфіку таких рішень, зокрема складність інтеграції з існуючими платформами, варіативність архітектурних підходів, динамічність зміни вимог до алгоритмів персоналізації, а також обмежену доступність репрезентативних історичних даних на етапі ініціації ІТ-проекту. Застосування узагальнених моделей оцінювання вартості в таких умовах часто призводить до істотних відхилень між попередніми прогнозами та фактичними витратами в процесі реалізації ІТ-проекту.

На етапі ініціації ІТ-проекту розробки рекомендаційних систем електронної комерції оцінювання вартості є критично важливим для обґрунтування обсягу фінансових ресурсів і прийняття управлінських рішень щодо доцільності подальшої реалізації ІТ-проекту [23]. З математичної точки зору ця задача належить до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень в умовах невизначеності та неповноти інформації. Для її розв'язання доцільним є поєднання методів нечіткої логіки та методу аналізу ієрархій (MAI), що дозволяє одночасно врахувати як кількісні, так і якісні критерії ІТ-проекту.

Нечітка логіка забезпечує формалізацію невизначених та суб'єктивних вхідних критеріїв, пов'язаних зі складністю рекомендаційних моделей, якістю та обсягом даних, рівнем готовності технічної інфраструктури й ризиками масштабування системи. MAI дозволяє структурувати задачу оцінювання вартості у вигляді ієрархічної моделі критеріїв і підкритеріїв, виконати їх попарне порівняння та визначити вагові коефіцієнти впливу кожного критерія на загальну вартість ІТ-проекту [24].

Процес оцінювання вартості на етапі ініціації ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем електронної комерції є багатокритеріальним і потребує врахування технічних, організаційних та комерційних аспектів. Особливістю таких ІТ-проєктів є необхідність оцінювання складності процесів збору та обробки поведінкових даних користувачів, вибору та налаштування алгоритмів рекомендацій, а також забезпечення масштабованості й надійності системи [25]. Застосування апарату нечіткої логіки у поєднанні з МАІ дає змогу підвищити обґрунтованість і стабільність оцінок вартості.

Для досягнення мети дослідження в роботі поставлено такі завдання:

- аналіз існуючих методів оцінювання вартості в ІТ-проєктах;
- розробка комбінованого методу, що інтегрує нечітку логіку та адаптивні компоненти для роботи з неповними даними;
- практична реалізація запропонованого методу на прикладі ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем;
- експериментальна перевірка ефективності розробленого методу.

2 РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ВАРТОСТІ ІТ-ПРОЄКТУ РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1 Структура комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації характеризується високим рівнем невизначеності, зумовленим відсутністю детально сформованих вимог, нестачею історичних даних щодо аналогічних розробок та складністю формалізації якісних критеріїв майбутньої системи. Зокрема, на початковій стадії складно точно визначити трудомісткість підготовки даних, рівень складності алгоритмічної реалізації, вимоги до обчислювальної інфраструктури, а також ризики, пов'язані з інтеграцією методу у цільове середовище [26].

У таких умовах доцільним є застосування комбінованого методу, що базується на використанні лінгвістичних змінних та МАІ. Даний підхід дозволяє поєднати формалізовану процедуру багатокритеріального вибору з можливістю врахування якісних, нечітко визначених критеріїв ІТ-проєкту .

Лінгвістичні змінні використовуються для опису критеріїв, які складно задати у вигляді точних числових значень. У межах ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем такими критеріями є:

- складність алгоритмічної частини (низька, середня, висока);
- рівень підготовленості та структурованості даних (незадовільний, прийнятний, високий);
- масштаб інтеграції з наявними інформаційними системами (обмежений, помірний, значний);

- рівень вимог до точності рекомендацій (базовий, підвищений, критичний);
- рівень ризику технічної реалізації (низький, середній, високий).

Кожна лінгвістична змінна описується відповідними терм-множинами та функціями належності, що дозволяє перейти від експертних оцінок якісних критеріїв до формалізованого представлення. Це забезпечує можливість кількісної інтерпретації нечітких суджень без потреби у великому масиві статистичних даних.

МАІ використовується для структуризації задачі оцінювання вартості та визначення вагомості окремих критеріїв, що впливають на кінцевий результат [27]. Ієрархічна модель у межах оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем формується як багаторівнева структура, в основі якої знаходиться цільовий рівень, спрямований на визначення інтегральної оцінки вартості ІТ-проєкту. Саме цей рівень відображає загальну мету дослідження та об'єднує всі подальші елементи методу.

На наступному критеріальному рівні розміщуються ключові групи критеріїв, що безпосередньо впливають на формування вартості. До них належать витрати на розробку алгоритмічного ядра рекомендаційної системи, витрати на підготовку, очищення та обробку даних, витрати на обчислювальні ресурси й інфраструктурне забезпечення, витрати на тестування та валідацію моделей, а також витрати, пов'язані з інтеграцією системи у цільове середовище та її подальшим супроводом. Кожна із зазначених груп критеріїв відображає окремий аспект ресурсомісткості ІТ-проєкту та формує самостійну складову загальної вартості.

Третій рівень ієрархії передбачає деталізацію кожного з визначених критеріїв через систему підкритеріїв. Зокрема, у межах алгоритмічної складової можуть розглядатися вибір типу моделі, складність архітектури, необхідність оптимізації гіперпараметрів та реалізація механізмів масштабування. Аналогічна деталізація здійснюється й для інших

критеріїв, що дозволяє більш точно відобразити структуру витрат і врахувати специфіку IT-проєкту. Така побудова ієрархії забезпечує логічну послідовність аналізу та створює основу для подальшого визначення вагових коефіцієнтів за допомогою процедури попарних порівнянь.

У межах МАІ здійснюються попарні порівняння критеріїв за ступенем їхнього впливу на загальну вартість. Експертні оцінки можуть задаватися як у числовій формі, так і через лінгвістичні шкали інтенсивності впливу (наприклад, «незначно важливіший», «суттєво важливіший», «значно важливіший»), які надалі трансформуються у відповідні числові значення згідно з класичною шкалою Сааті [28].

Поєднання лінгвістичних змінних і МАІ дозволяє реалізувати таку послідовність оцінювання:

- формування ієрархічної структури критеріїв вартості;
- визначення ваг критеріїв за допомогою попарних порівнянь;
- експертна оцінка значень критеріїв IT-проєкту у вигляді лінгвістичних термів;
- перетворення лінгвістичних оцінок у кількісні значення через механізм нечіткої інтерпретації;
- агрегування результатів з урахуванням ваг критеріїв для отримання інтегральної оцінки вартості.

Застосування такого підходу забезпечує низку переваг в умовах обмеженої інформації:

- можливість врахування якісних критеріїв розробки рекомендаційної системи, зокрема складності алгоритмів машинного навчання, специфіки даних та рівня інтеграції;
- структурованість процесу прийняття рішення завдяки ієрархічній моделі;
- зменшення суб'єктивності оцінювання через формалізацію експертних суджень;

– підвищення обґрунтованості прогнозової оцінки вартості на ранніх етапах життєвого циклу ІТ-проєкту.

Використання лінгвістичних змінних у поєднанні з МАІ формує цілісну методологічну основу для оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем за умов високої невизначеності та нестачі історичних даних. Запропонований підхід дозволяє інтегрувати якісні та кількісні критерії ІТ-проєкту в єдиний метод прийняття рішень, що є особливо важливим на етапі ініціації.

2.2 Збір та підготовка даних для оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Процес збору та підготовки даних для оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем має ключове значення, особливо на етапі ініціації, коли відсутня повна специфікація вимог і бракує статистично узагальнених історичних даних щодо аналогічних реалізацій. У зв'язку з цим доцільним є використання підходу, що поєднує використання лінгвістичних змінних із МАІ, що дозволяє формалізувати експертні судження, структурувати фактори впливу та забезпечити обґрунтоване багатокритеріальне оцінювання в умовах невизначеності.

Основними джерелами даних для побудови методу оцінювання вартості виступають експертні оцінки фахівців з розробки систем машинного навчання, результати реалізації попередніх ІТ-проєктів зі створення рекомендаційних або аналітичних систем, аналітичні матеріали з відкритих джерел щодо вартості розробки програмних продуктів відповідного класу, а також внутрішня проєктна документація, що містить інформацію про вимоги, обмеження та очікувані функціональні характеристики системи. Сукупність цих даних формує інформаційну

основу для побудови ієрархічної моделі та подальшого визначення ваг критеріїв [28].

Формування подання даних передбачає врахування як кількісних, так і якісних критеріїв ІТ-проєкту. До кількісних критеріїв належать орієнтовна тривалість розробки, прогнозована кількість розробників, обсяг даних для навчання моделі, витрати на обчислювальні ресурси, потреба у хмарній інфраструктурі, витрати на ліцензійне програмне забезпечення та тестування [29]. Ці критерії мають числовий характер і безпосередньо використовуються у процесі розрахунку інтегральної вартості після приведення до зіставного масштабу.

Якісні критерії відображають складноформалізовані аспекти ІТ-проєкту, зокрема рівень складності алгоритмічної реалізації, ступінь новизни використовуваних підходів, рівень структурованості та підготовленості даних, складність інтеграції рекомендаційної системи з наявними інформаційними сервісами, а також рівень технічного ризику. Оскільки такі критерії не можуть бути задані точними числовими значеннями, вони описуються за допомогою лінгвістичних змінних, що приймають терми типу «низький», «середній», «високий» або «базовий», «підвищений», «критичний». Кожному терму відповідає певна функція належності, що забезпечує перехід від якісного експертного судження до формалізованого представлення [30].

Нормалізація кількісних даних здійснюється з метою забезпечення їх порівнюваності в межах ієрархічної моделі. Залежно від діапазону та розподілу критеріїв можуть застосовуватися методи мін-макс масштабування або стандартизації, що дозволяють уникнути домінування критеріїв із великими числовими значеннями. Якісні критерії, представлені у вигляді лінгвістичних змінних, трансформуються у відповідні числові інтерпретації через процедуру дефазифікації або шляхом використання узагальнених оцінок інтенсивності впливу [31].

Після формалізації показників здійснюється побудова ієрархічної структури критеріїв вартості відповідно до МАІ. Для кожного рівня ієрархії формуються матриці попарних порівнянь, у яких експерти визначають відносну важливість критеріїв щодо досягнення цільового показника – інтегральної оцінки вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем. У випадку використання лінгвістичних шкал переваги («незначно важливіший», «суттєво важливіший», «значно важливіший») вони перетворюються у відповідні числові значення згідно з прийнятою шкалою інтенсивності.

Узгоджені вагові коефіцієнти критеріїв, отримані за результатами аналізу ієрархії, поєднуються з оцінками конкретного ІТ-проєкту за кожним критерієм. Це дозволяє обчислити інтегральний показник вартості як зважену суму часткових оцінок, що враховує як об'єктивні кількісні критерії, так і суб'єктивні експертні судження щодо складності та ризиковості реалізації [32].

Збір і підготовка даних у межах даного підходу передбачають не лише акумулювання інформації, а й її структуризацію, нормалізацію та формалізацію через механізм лінгвістичних змінних і МАІ. Це створює методичну основу для обґрунтованого оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем в умовах обмеженої визначеності, забезпечуючи підвищення якості управлінських рішень на ранніх етапах життєвого циклу ІТ-проєкту.

2.3 Формалізація комбінованого методу для оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Розробка комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем спрямована на формалізацію процесу

прогнозування витрат у ситуації високої невизначеності, обмеженості початкових даних та значної ролі експертних суджень. Запропонований метод ґрунтується на поєднанні МАІ та нечіткої логіки, що дозволяє інтегрувати кількісні та якісні критерії ІТ-проєкту в єдину систему підтримки прийняття рішень.

Рекомендаційні системи належать до складних інтелектуальних програмних продуктів, у яких вартість значною мірою залежить від складності алгоритмів машинного навчання, обсягу та якості даних, вимог до точності результатів, а також рівня інтеграції з інформаційною інфраструктурою організації [33].

У межах комбінованого методу формується ієрархічна структура критеріїв оцінювання вартості. На верхньому рівні розташовується цільовий показник – інтегральна оцінка вартості ІТ-проєкту. Другий рівень ієрархії включає основні групи критеріїв витрат, а саме: витрати на алгоритмічну розробку, витрати на підготовку даних, витрати на обчислювальні ресурси, витрати на тестування та валідацію, а також витрати на інтеграцію та супровід системи. Третій рівень деталізує ці групи через систему підкритеріїв, що відображають специфічні аспекти рекомендаційної системи, зокрема тип використовуваної моделі, складність архітектури, необхідність оптимізації гіперпараметрів, вимоги до масштабування та експлуатаційні ризики.

Така структура дозволяє декомпонувати складну задачу оцінювання вартості на окремі складові елементи та забезпечує формалізований підхід до визначення їх внеску у загальний результат.

Для визначення відносної важливості критеріїв використовується МАІ [34]. Експерти здійснюють попарні порівняння критеріїв, визначаючи ступінь їхнього впливу на формування вартості ІТ-проєкту. На основі матриці попарних порівнянь формується вектор вагових коефіцієнтів критеріїв, що характеризує їхній внесок у загальну оцінку.

Основна формула агрегування ваг критеріїв має вигляд [35]:

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

де w_i – ваговий коефіцієнт i -го критерію;

n – кількість критеріїв.

Перевірка узгодженості експертних суджень дозволяє зменшити суб'єктивність оцінювання та підвищити достовірність отриманих ваг.

Якісні критерії IT-проєкту описуються за допомогою системи лінгвістичних змінних, що відображають складноформалізовані аспекти рекомендаційної системи. У межах методу пропонується використовувати такі лінгвістичні змінні:

- L_1 (складність алгоритмічної реалізації, а саме низька, середня, висока, критична);
- L_2 (рівень підготовленості та структурованості даних, а саме незадовільний, прийнятний, високий);
- L_3 (масштаб інтеграції з існуючими інформаційними системами, а саме обмежений, помірний, значний);
- L_4 (рівень вимог до точності рекомендацій, а саме базовий, підвищений, критичний);
- L_5 (рівень технічного ризику реалізації, а саме низький, середній, високий);
- L_6 (рівень новизни використовуваних методів машинного навчання (традиційний, адаптивний, інноваційний)).

Кожна лінгвістична змінна характеризується терм-множиною та відповідними функціями належності, що дозволяють відобразити ступінь відповідності конкретного IT-проєкту певному терму. Це забезпечує можливість переходу від експертних якісних оцінок до формалізованого числового представлення.

Для кількісної інтерпретації лінгвістичних оцінок використовується механізм нечіткого моделювання. Функції належності дозволяють визначити ступінь належності конкретного значення критерія до відповідного терму. Для переходу до числових значень застосовується процедура дефазифікації, наприклад, метод центру ваги, що дозволяє отримати агреговану оцінку критерію.

У загальному вигляді дефазифіковане значення критерія може бути використане у подальших розрахунках як кількісний показник впливу на вартість ІТ-проєкту [36].

Після формалізації кількісних і якісних критеріїв здійснюється їх агрегування з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв. Інтегральна оцінка ресурсомісткості ІТ-проєкту визначається як зважена сума часткових оцінок критеріїв [37]:

$$V = \sum_{i=1}^n w_i \cdot S_i,$$

де S_i – агрегована оцінка i -го критерію, що включає кількісні та дефазифіковані якісні критерії.

Отриманий інтегральний показник є безрозмірною величиною, яка відображає відносну складність та ресурсомісткість ІТ-проєкту.

Для отримання прогнозової вартості ІТ-проєкту інтегральний показник масштабується до грошового еквіваленту за допомогою калібрувальної моделі, що може базуватися на історичних даних аналогічних ІТ-проєктів або експертних оцінках. Узагальнено це може бути представлено лінійною залежністю [38]:

$$Cost = \alpha V + \beta,$$

де α, β – параметри калібрування моделі.

Параметри калібрування моделі визначаються на основі аналізу даних аналогічних ІТ-проектів або шляхом експертного оцінювання. Параметр α є вартістю одиниці інтегрального показника складності: він показує, на скільки грошових одиниць зростають прогнозовані витрати на ІТ-проект, коли оцінка V збільшується на одиницю. Параметр β є базовою складовою витрат, яка не залежить від рівня складності системи та складається з фіксованих організаційних, управлінських та інфраструктурних витрат, властивих будь-якому ІТ-проекту з розробки рекомендаційних систем.

Такий підхід дозволяє адаптувати метод до специфіки організації, технологічної платформи або галузі застосування рекомендаційної системи.

Алгоритм реалізації комбінованого методу передбачає такі етапи: формування ієрархічної структури критеріїв, визначення вагових коефіцієнтів МАІ, збір експертних лінгвістичних оцінок, побудову функцій належності, дефазифікацію нечітких критеріїв, нормалізацію кількісних критеріїв, агрегування критеріїв у межах інтегральної моделі та формування прогнозованої грошової оцінки вартості ІТ-проекту.

Запропонований комбінований метод має низку переваг: можливість врахування нечітких і якісних критеріїв, структурованість процесу оцінювання завдяки ієрархічній декомпозиції, зменшення суб'єктивності експертних оцінок та підвищення точності прогнозування вартості ІТ-проекту. Метод є гнучким та може бути адаптований до різних типів рекомендаційних систем, що забезпечує його практичну значущість.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ВАРТОСТІ ІТ-ПРОЄКТУ РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

3.1 Опис етапів практичної реалізації комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Практична реалізація комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем передбачає послідовне застосування розробленого у розділі 2 математичного підходу, що базується на поєднанні МАІ та механізмів нечіткого моделювання. Такий підхід дозволяє організувати процес оцінювання у вигляді чітко структурованої процедури, яка забезпечує формалізацію експертних суджень, обробку якісних критеріїв ІТ-проєкту та інтеграцію різнорідних критеріїв у єдину систему розрахунку прогнозованої вартості.

Першим етапом практичної реалізації є формування ієрархічної структури критеріїв оцінювання вартості ІТ-проєкту. На цьому етапі здійснюється побудова багаторівневої моделі критеріїв, що впливають на ресурсомісткість розробки рекомендаційних систем. Верхній рівень ієрархії визначає основну мету – отримання інтегральної оцінки вартості ІТ-проєкту. На другому рівні розміщуються основні групи витрат, зокрема витрати на алгоритмічну розробку системи, підготовку та обробку даних, використання обчислювальних ресурсів, тестування та валідацію моделей, а також інтеграцію системи у цільове інформаційне середовище. Подальший рівень деталізації передбачає визначення підкритеріїв, що характеризують конкретні аспекти реалізації ІТ-проєкту, такі як складність архітектури моделі, необхідність оптимізації гіперпараметрів, масштаб оброблюваних даних, рівень автоматизації процесів навчання та вимоги до масштабованості системи.

Другий етап передбачає визначення вагових коефіцієнтів критеріїв за допомогою МАІ. У межах цього етапу експерти здійснюють попарні порівняння критеріїв відповідно до їхнього впливу на формування загальної вартості ІТ-проєкту. Для цього формується матриця попарних порівнянь, у якій відображається відносна важливість кожного критерію. Оцінювання може здійснюватися як у числовій формі, так і за допомогою лінгвістичних шкал важливості, які надалі трансформуються у числові значення відповідно до прийнятої шкали. На основі отриманих матриць визначається вектор вагових коефіцієнтів критеріїв, що характеризує ступінь їхнього впливу на інтегральну оцінку вартості. Додатково проводиться перевірка узгодженості експертних оцінок, що дозволяє оцінити надійність отриманих результатів та зменшити вплив суб'єктивних факторів.

Третій етап пов'язаний із збором та формалізацією вхідних критеріїв конкретного ІТ-проєкту. У межах цього етапу здійснюється визначення значень кількісних та якісних критеріїв, що характеризують ІТ-проєкт розробки рекомендаційних систем. Кількісні критерії включають орієнтовну тривалість розробки, кількість задіяних фахівців, обсяг навчальних даних, потребу у хмарній інфраструктурі, витрати на ПЗ та інші ресурсні критерії. Якісні критерії, які складно формалізувати у вигляді точних числових значень, описуються за допомогою системи лінгвістичних змінних. До таких критеріїв належать складність алгоритмічної реалізації, рівень підготовленості даних, масштаб інтеграції системи з іншими інформаційними сервісами, вимоги до точності рекомендацій та рівень технічних ризиків.

Четвертий етап полягає у побудові функцій належності та нечіткому представленні якісних критеріїв. Для кожної лінгвістичної змінної визначаються відповідна терм-множина та функції належності, що дозволяють відобразити ступінь відповідності конкретного значення критерію певному лінгвістичному терму. Така процедура забезпечує

можливість переходу від експертних оцінок якісних критеріїв до формалізованого числового представлення. У подальшому застосовується процедура дефазифікації, яка дозволяє отримати узагальнене числове значення кожного якісного критерію.

П'ятий етап передбачає нормалізацію та агрегування критеріїв. На цьому етапі кількісні критерії приводяться до порівнюваного масштабу за допомогою методів нормалізації або стандартизації. Дефазифіковані значення якісних критеріїв поєднуються з кількісними критеріями та використовуються для обчислення часткових оцінок критеріїв. Після цього здійснюється агрегування отриманих результатів з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів. У результаті формується інтегральний показник ресурсомісткості ІТ-проєкту, який відображає сумарний вплив усіх критеріїв на складність реалізації рекомендаційної системи.

Заключним етапом є перетворення інтегрального показника у прогнозну грошову оцінку вартості ІТ-проєкту. Для цього використовується калібрувальна модель, що встановлює залежність між інтегральним показником складності та фактичною вартістю розробки. Параметри такої моделі визначаються на основі історичних даних аналогічних ІТ-проєктів або шляхом експертного оцінювання. У результаті отримується прогнозна оцінка вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем, яка може бути використана під час прийняття управлінських рішень на етапі ініціації.

3.2 Опис підготовки даних та нечітких правил з наступним налаштуванням комбінованого методу

У процесі підготовки даних для функціонування нечіткої моделі важливим етапом є формування системи лінгвістичних змінних, що

характеризують ключові критерії ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем. Використання лінгвістичних змінних дозволяє формалізувати експертні оцінки та представити якісні критерії ІТ-проєкту у вигляді структурованих категорій, які надалі використовуються у процесі нечіткого виведення.

Кожна лінгвістична змінна описується відповідною множиною термів, що відображають різні рівні прояву критерія. Для подальшої обробки ці категорії пов'язуються з числовими інтервалами, які використовуються під час побудови функцій належності та процедури дефазифікації. Узагальнену категоризацію лінгвістичних змінних, що застосовуються у межах розробленого методу, наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Категоризація лінгвістичних змінних

Назва лінгвістичної змінної	Критерії оцінки	Категорії значень
1	2	3
Складність алгоритмічної реалізації	Рівень складності алгоритмів рекомендаційної системи, складність архітектури моделей та необхідність оптимізації гіперпараметрів	низька (0–0,25), середня (0,25–0,5), висока (0,5–0,75), критична (0,75–1,0)
Рівень підготовленості та структурованості даних	Повнота, якість та ступінь попередньої обробки даних, їх придатність до навчання моделей	незадовільний (0–0,33), прийнятний (0,33–0,66), високий (0,66–1,0)
Масштаб інтеграції з інформаційними системами	Кількість інформаційних сервісів, баз даних та програмних модулів, з якими необхідна інтеграція	обмежений (0–0,33), помірний (0,33–0,66), значний (0,66–1,0)
Рівень вимог до точності рекомендацій	Очікуваний рівень точності та якості рекомендаційної моделі	базовий (0–0,33), підвищений (0,33–0,66), критичний (0,66–1,0)
Рівень технічного ризику реалізації	Імовірність виникнення технічних складнощів у процесі розробки та впровадження системи	низький (0–0,33), середній (0,33–0,66), високий (0,66–1,0)

Кінець таблиці 3.1

1	2	3
Рівень новизни застосованих методів машинного навчання	Ступінь використання нових або експериментальних алгоритмів машинного навчання	традиційний (0–0,33), адаптивний (0,33–0,66), інноваційний (0,66–1,0)

Після формування системи лінгвістичних змінних та визначення функцій належності наступним етапом підготовки даних є встановлення шкали інтерпретації інтегрального показника складності ІТ-проєкту у грошовому еквіваленті. Така шкала необхідна для того, щоб результати нечіткого виведення могли бути безпосередньо використані для прогнозування вартості реалізації ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.

Інтегральний показник, отриманий у результаті агрегування значень критеріїв, має безрозмірний характер та знаходиться у діапазоні від 0 до 1. Для практичного використання методу даний показник інтерпретується через відповідні рівні складності ІТ-проєкту, кожному з яких відповідає певний діапазон вартості реалізації. Узагальнену шкалу відповідності інтегрального показника та орієнтовної вартості ІТ-проєкту наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Категоризація рівнів вартості ІТ-проєкту

Рівень складності ІТ-проєкту	Інтегральний показник	Орієнтовна вартість ІТ-проєкту
Низький	0 – 0,25	\$30 000 – \$60 000
Середній	0,25 – 0,5	\$60 000 – \$125 000
Високий	0,5 – 0,75	\$125 000 – \$220 000
Критичний	0,75 – 1,0	\$220 000 – \$400 000

Наведена шкала використовується для перетворення інтегрального показника складності, отриманого у результаті нечіткого виведення, у грошову оцінку вартості ІТ-проєкту. Такий підхід дозволяє встановити

зв'язок між результатами методу та реальними економічними показниками реалізації рекомендаційних систем.

Застосування даної шкали також дозволяє виконати калібрування методу, що полягає у встановленні відповідності між рівнем ресурсомісткості ІТ-проєкту та очікуваними витратами на його реалізацію. Визначені діапазони вартості відображають типові витрати на розробку рекомендаційних систем, включаючи витрати на розробку алгоритмів, підготовку даних, використання обчислювальних ресурсів, тестування та інтеграцію системи у цільове середовище.

Отриманий у результаті нечіткого виведення інтегральний показник дозволяє визначити відповідний рівень складності ІТ-проєкту та, використовуючи наведені діапазони, отримати прогностну оцінку вартості розробки рекомендаційних систем. Це створює можливість використання розробленого методу як інструменту підтримки прийняття управлінських рішень на етапі ініціації ІТ-проєкту.

3.3 Опис програмних засобів для реалізації комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Реалізація комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем здійснюється із використанням програмних засобів, що забезпечують підтримку етапів формалізації експертних оцінок, побудови нечіткої моделі, агрегування критеріїв та обчислення інтегрального показника складності з подальшим перетворенням його у прогностну вартість ІТ-проєкту. ПЗ створено на основі мови програмування Python, яка надає широкий набір бібліотек для роботи з числовими даними, нечіткою логікою та реалізації математичного моделювання.

Загальний процес програмної реалізації передбачає послідовне виконання етапів, що відповідають запропонованому у розділі 3.1 комбінованому методу. На першому етапі здійснюється введення вхідних даних, які характеризують критерії IT-проєкту. Ці дані надходять як у вигляді кількісних критеріїв (обсяг даних, тривалість розробки, кількість розробників), так і у вигляді лінгвістичних оцінок експертів (рівень складності алгоритмів, рівень ризику, ступінь інтеграції тощо).

Для роботи з нечіткими змінними застосовуються інструменти побудови функцій належності, які реалізують відображення лінгвістичних термів у числові значення. У програмній реалізації використовуються трикутні та трапецієподібні функції належності, що дозволяють формалізувати категорії, наведені у таблиці 3.1. Наприклад, кожній лінгвістичній змінній відповідає набір функцій належності для термів «низький», «середній», «високий» та інших, залежно від конкретного критерію. Це забезпечує можливість переходу від якісного опису критеріїв до їхнього числового представлення.

Наступним компонентом програмної реалізації є модуль нечіткого виведення, який виконує обробку вхідних даних відповідно до сформованої бази нечітких правил. База правил формується на основі експертних знань та відображає залежності між вхідними критеріями та інтегральним рівнем складності IT-проєкту. Правила мають вигляд продукцій типу «ЯКЩО–ТО», наприклад: якщо складність алгоритмічної реалізації висока та рівень якості даних низький, то загальна складність IT-проєкту є критичною.

Для реалізації механізму нечіткого виведення використовується інференційна система, що включає етапи фазифікації, застосування правил, агрегації результатів та дефазифікації. На етапі фазифікації числові значення вхідних критеріїв перетворюються у ступені належності до відповідних лінгвістичних термів. Далі виконується застосування нечітких правил із використанням операторів логічного об'єднання та перетину.

Отримані результати агрегуються, після чого здійснюється дефазифікація, що дозволяє отримати чітке числове значення інтегрального показника складності.

Окремий програмний модуль відповідає за агрегування критеріїв із урахуванням вагових коефіцієнтів, визначених на основі МАІ. Вагові коефіцієнти зберігаються у вигляді масиву або матриці та використовуються для зваженого підсумовування часткових оцінок критеріїв. Такий підхід забезпечує врахування відносної важливості кожного критерію при формуванні інтегрального показника.

Після отримання інтегрального показника складності здійснюється його інтерпретація у грошовий еквівалент відповідно до шкали, наведеної у таблиці 3.2. Програмна реалізація цього етапу передбачає використання умовних операторів або функцій відображення, які співвідносять діапазон значень інтегрального показника з відповідним рівнем вартості ІТ-проєкту. У результаті визначається прогнозована вартість ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем.

Таблиця 3.3 – Характеристика інструментів, використаних у комбінованому методі оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Інструмент и та програмні пакети	Опис	Компоненти, що використовувались
1	2	3
scikit-fuzzy	Реалізація нечіткої логіки	Використано control.Antecedent і control.Consequent для задання нечітких змінних, control.Rule для формування правил, control.ControlSystemSimulation для виконання нечіткого виведення

Кінець таблиці 3.3

1	2	3
DEAP	Реалізація еволюційних алгоритмів	Застосовано <code>creator.Individual</code> та <code>tools.toolbox</code> для створення хромосом і налаштування генетичних операторів; алгоритм <code>eaSimple</code> використано для оптимізації параметрів
Pandas	Обробка табличних даних	Використано <code>DataFrame</code> для представлення експертних оцінок, збереження результатів та проведення аналізу
NumPy	Робота з числовими масивами та генерація випадкових значень	Модуль <code>random</code> застосовано для ініціалізації популяції, <code>numpy.clip</code> — для обмеження значень у допустимому діапазоні
Matplotlib/Seaborn	Візуалізація результатів	Використано функції <code>plot</code> та <code>heatmap</code> для побудови графіків змін показників і аналізу розподілу рішень

При застосуванні методу вхідні критерії IT-проєкту, зокрема рівень складності алгоритмічної реалізації, якість та підготовленість даних, масштаб інтеграції з іншими системами, рівень технічного ризику та вимоги до точності, подаються у вигляді кількісних числових значень і лінгвістичних змінних. Для якісних критеріїв застосовуються функції належності, які дозволяють відобразити ступінь їх відповідності визначеним лінгвістичним термам.

Агрегування критеріїв здійснюється з урахуванням вагових коефіцієнтів, отриманих за допомогою МАІ, що дозволяє врахувати важливість кожного з них. Подальша обробка виконується у межах нечіткої логічної системи, яка включає базу правил та механізм нечіткого виведення. Це забезпечує формування інтегрального показника складності IT-проєкту.

Отриманий інтегральний показник використовується для визначення прогнозованої вартості IT-проєкту відповідно до заданої шкали інтерпретації.

Запропонований підхід дозволяє обробляти як кількісні, так і якісні дані, враховувати експертні оцінки та забезпечувати більш обґрунтоване оцінювання вартості ІТ-проєкту на етапі ініціації.

3.4 Визначення показників оцінки точності оцінювання вартості з використанням комбінованого методу ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Для оцінювання точності розробленого методу до прогнозування вартості ІТ-проєкту застосовується система кількісних показників, які дають змогу порівнювати розрахункові значення з фактичними даними реалізованих ІТ-проєктів. Використання таких показників дозволяє об'єктивно оцінити точність запропонованого комбінованого методу та визначити ступінь його відповідності фактичним витратам на реалізовані ІТ-проєкти.

Одним із базових показників є середня абсолютна похибка. Вона характеризує середнє значення модулів відхилень між прогнозованими та фактичними значеннями вартості. Такий показник виражається у тих самих одиницях вимірювання, що й сама вартість ІТ-проєкту, що полегшує його практичну інтерпретацію, як показано в формулі:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|,$$

де y_i – фактичне значення вартості ІТ-проєкту;

$\hat{y}_i$ – оцінене значення вартості ІТ-проєкту;

n – кількість розглянутих ІТ-проєктів.

Додатково використовується середня абсолютна відносна похибка, яка відображає відхилення у відсотковому вигляді. Цей показник дозволяє оцінити точність комбінованого методу незалежно від масштабу ІТ-проектів та забезпечує можливість порівняння результатів для різних наборів вихідних даних та має вигляд як у формулі:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|.$$

Ще одним важливим показником є середнє відношення розрахункових значень до фактичних. Застосування цього показника дає змогу визначити наявність систематичного відхилення комбінованого методу та встановити тенденцію до переоцінювання або недооцінювання вартості. Обчислюється за наступною формулою:

$$MR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{y}_i}{y_i}.$$

Якщо $MR > 1$, то метод має тенденцію до переоцінки вартості; якщо $MR < 1$ – до недооцінки.

Також враховується середнє зміщення, яке визначає середню похибку з урахуванням її знака. Додатні значення вказують на перевищення прогнозованих значень над фактичними, тоді як від’ємні значення свідчать про заниження оцінок, що представлено у формулі:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i).$$

Застосування зазначених метрик дає змогу оцінити точність комбінованого методу та проаналізувати характер відхилень прогнозних значень. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення методики оцінювання вартості ІТ-проектів.

3.5 Результати дослідження особливостей реалізації комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту на етапі ініціації

У межах проведеного дослідження розглянуто особливості застосування комбінованого методу до оцінювання вартості ІТ-проєкту, який базується на використанні МАІ та апарату нечіткої логіки. Цей метод призначений для використання на початковому етапі, коли первинна інформація відсутня або є недостатньо достовірною.

Застосування МАІ дозволяє структурувати задачу оцінювання у вигляді системи критеріїв та підкритеріїв, а також визначити їхню важливість на основі експертних суджень. Це забезпечує формалізацію процесу прийняття рішень та підвищує узгодженість результатів оцінювання.

Нечітка логіка забезпечує можливість обробки якісних критеріїв, які складно формалізувати у вигляді точних числових значень. Використання функцій належності та системи нечітких правил дає змогу перевести лінгвістичні оцінки у числову форму та виконати подальші обчислення з урахуванням невизначеності вхідних даних.

Поєднання двох підходів дозволяє отримати інтегральний показник складності ІТ-проєкту, який враховує вплив усіх визначених критеріїв з урахуванням їхніх вагових коефіцієнтів. Отриманий інтегральний показник використовується для формування прогнозової оцінки вартості ІТ-проєкту.

4 АПРОБАЦІЯ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ВАРТОСТІ ІТ-ПРОЄКТУ РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

4.1 Реалізація проведення апробації запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Апробація розробленого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем здійснюється з метою перевірки його адекватності, точності та практичної придатності в умовах невизначеності, характерної для етапу ініціації. Базовою відправною точкою дослідження прийнято початкову вартість ІТ-проєкту на рівні \$75000, яка використовується як еталонне значення та основа для подальшого коригування з урахуванням факторів складності.

На першому етапі формується вхідний набір даних, що відображає критерії типового ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем. Для апробації обрано ІТ-проєкт розробки рекомендаційної системи для платформи електронної комерції SmartShop тривалістю 6 місяців із командою з 5 фахівців, середня заробітна плата яких становить \$2000 на місяць. Витрати на інфраструктуру прийнято на рівні \$7000, а обсяг оброблюваних даних складає близько 500 000 записів взаємодій користувачів. Якісні критерії було оцінено таким чином: складність алгоритмічної реалізації визначено як високу з нормалізованим значенням 0,8; рівень підготовленості даних – нижчий за середній (0,4); масштаб інтеграції – середній (0,6); вимоги до точності рекомендацій – високі (0,9); рівень технічних ризиків – підвищений (0,7). Всі критерії приведені до уніфікованої шкали, що забезпечує коректність подальшого оцінювання.

На другому етапі здійснюється побудова ієрархічної структури критеріїв та визначення їхніх вагових коефіцієнтів за МАІ. У результаті обробки попарних порівнянь встановлено, що найбільший вплив на

формування вартості мають складність алгоритмічної реалізації (0,28) та якість даних (0,22), тоді як вимоги до точності також мають вагоме значення (0,20). Масштаб інтеграції та технічні ризики отримали вагові коефіцієнти 0,18 та 0,12 відповідно. Отриманий вектор ваг є узгодженим і використовується для подальшого агрегування оцінок.

Для критеріїв із чотирирівневою шкалою (зокрема, складність алгоритмічної реалізації: низька, середня, висока, критична) відповідні функції належності наведені на рисунку 4.1. Вони відображають плавний перехід між рівнями та забезпечують адекватне моделювання невизначеності експертних оцінок.

На третьому етапі виконується фазифікація якісних критеріїв із використанням функцій належності. Значення складності алгоритмів на рівні 0,8 відповідає високому рівню з незначною часткою належності до середнього. Рівень підготовленості даних із значенням 0,4 одночасно належить до низького та середнього рівнів, що відображає невизначеність у якості вхідних даних. Масштаб інтеграції зі значенням 0,6 інтерпретується як середній, вимоги до точності (0,9) – як високі, а технічні ризики (0,7) – як високі. Таке представлення дозволяє коректно врахувати нечіткість експертних оцінок.

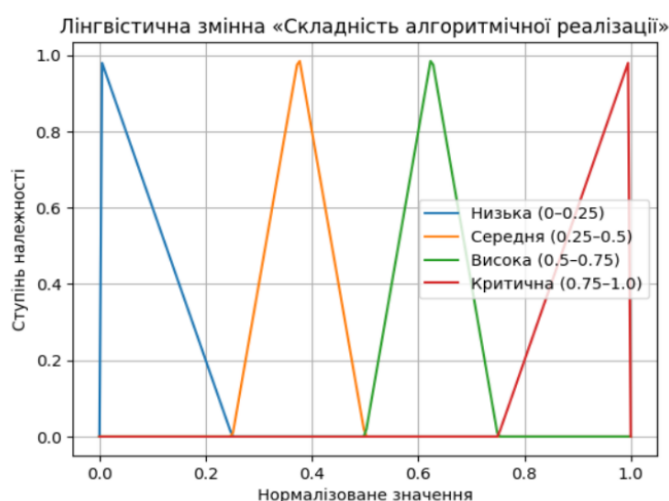


Рисунок 4.1 – Функція належності лінгвістичної змінної «Складність алгоритмічної реалізації»

Для критеріїв із трирівневою шкалою (рівень підготовленості даних, масштаб інтеграції, рівень вимог до точності, технічний ризик та рівень новизни методів) функції належності представлені на рисунку 4.2. Таке представлення дозволяє формалізувати основні градації критеріїв ІТ-проєкту та забезпечує достатній рівень деталізації при збереженні обчислювальної ефективності методу.

На четвертому етапі реалізується нечіткий висновок на основі сформованої бази правил. Зокрема, комбінація високої складності алгоритмів і низької підготовленості даних призводить до формування критичного рівня складності ІТ-проєкту. Високі вимоги до точності та підвищені ризики також підсилюють загальну складність. У результаті агрегації правил формується інтегральна оцінка складності, яка після дефазифікації становить приблизно 0,72, що відповідає високому рівню.

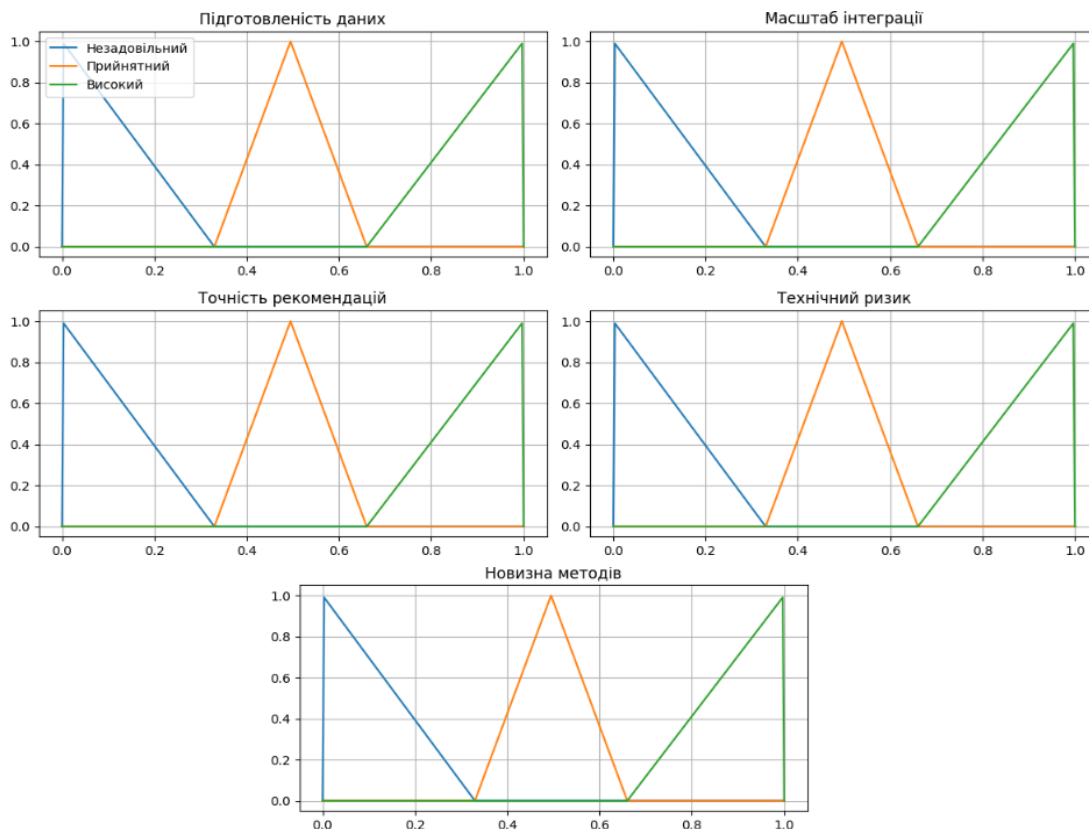


Рисунок 4.2 – Функції належності лінгвістичних змінних з трирівневою шкалою

На п'ятому етапі виконується агрегування часткових оцінок із урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв. Внесок складності алгоритмів становить 0,24, підготовленості даних – 0,08, масштабу інтеграції – 0,09, вимог до точності – 0,18, технічних ризиків – 0,105. Сумарне інтегральне значення становить приблизно 0,70, що узгоджується з результатами нечіткого виведення та підтверджує високий рівень ресурсомісткості ІТ-проєкту.

На шостому етапі інтегральний показник трансформується у грошовий еквівалент. Отримане значення 0,70 відповідає верхньому діапазону складності, що передбачає збільшення базової вартості. У результаті коригування початкової оцінки \$75000 отримано прогнозу вартість ІТ-проєкту на рівні \$100000.

На сьомому етапі як еталонне значення вартості приймається базова оцінка на рівні \$75000, яка відповідає початковому бюджетному обмеженню ІТ-проєкту та використовується як орієнтир для оцінювання точності методу.

На заключному, восьмому етапі здійснюється оцінювання точності отриманого результату. Порівняння прогнозової вартості \$100000 з еталонним значенням \$75000 показало абсолютне відхилення у розмірі \$25000. Відносна похибка становить приблизно 30 %, що свідчить про суттєвий вплив факторів складності, врахованих у методі. Отримане зміщення має позитивний характер, тобто комбінований метод схильний до збільшення оцінки вартості у випадку високої невизначеності та складності ІТ-проєкту, що є обґрунтованим з точки зору ризикоорієнтованого планування. Таким чином, результати апробації демонструють, що запропонований метод дозволяє виявляти приховані витрати та формувати більш реалістичну оцінку бюджету порівняно з базовим припущенням.

4.2 Аналіз точності запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

З метою обґрунтування ефективності запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем на етапі ініціації було проведено його апробацію та порівняльний аналіз із традиційними підходами до оцінювання вартості програмних ІТ-проєктів.

Для порівняльного аналізу ефективності запропонованого підходу було використано низку традиційних методів оцінювання вартості ІТ-проєктів, які широко застосовуються на різних етапах життєвого циклу програмних систем. Зокрема, до аналізу включено експертний метод, метод аналогій, регресійний підхід, метод функціональних точок, а також метод PERT, що дозволяють отримувати оцінки вартості на основі різних принципів формалізації вихідної інформації – від суб'єктивних експертних суджень до статистичних та параметричних моделей.

У межах дослідження прийнято початкову базову вартість розробки ІТ-проєкту рекомендаційних систем на рівні \$100000. Дана величина використовується як відправна точка для всіх подальших розрахунків та коригувань, що дозволяє забезпечити єдину основу для порівняння різних методів оцінювання.

Оцінювання ефективності здійснювалося за допомогою чотирьох основних метрик: середньої абсолютної похибки (MAE), середньої абсолютної відносної похибки (MAPE), середнього відхилення (MR) та систематичного зміщення (Bias). Результати порівняння наведено на рисунках 4.3 та 4.4.

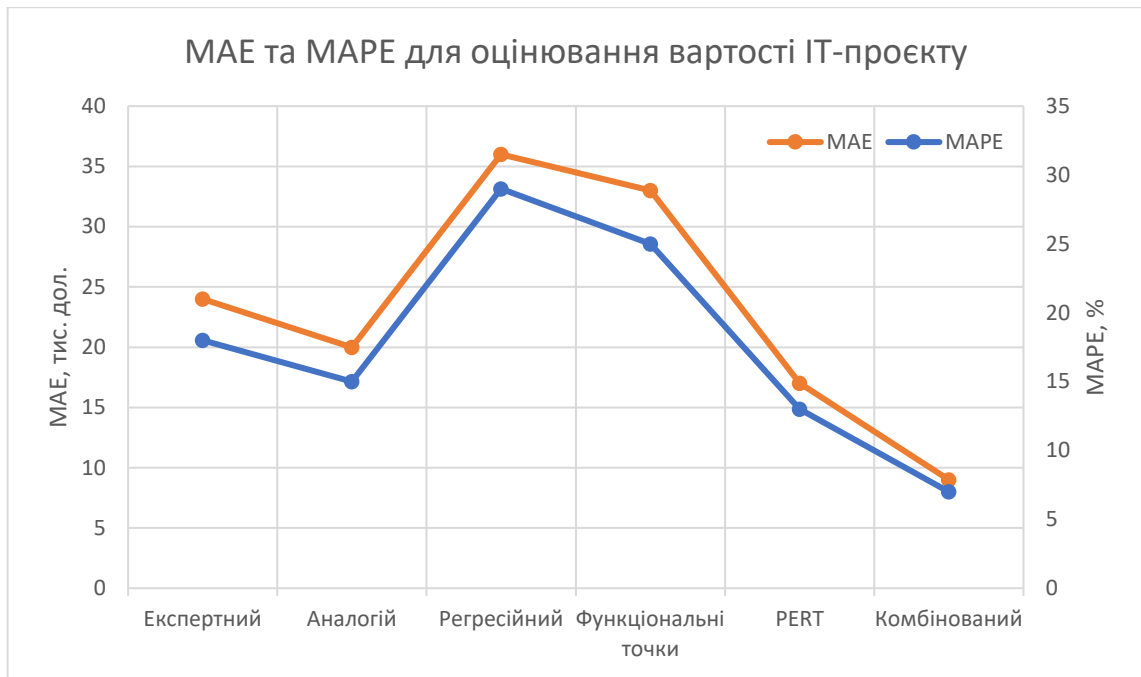


Рисунок 4.3 – Порівняння MAE та MAPE для традиційних методів та запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

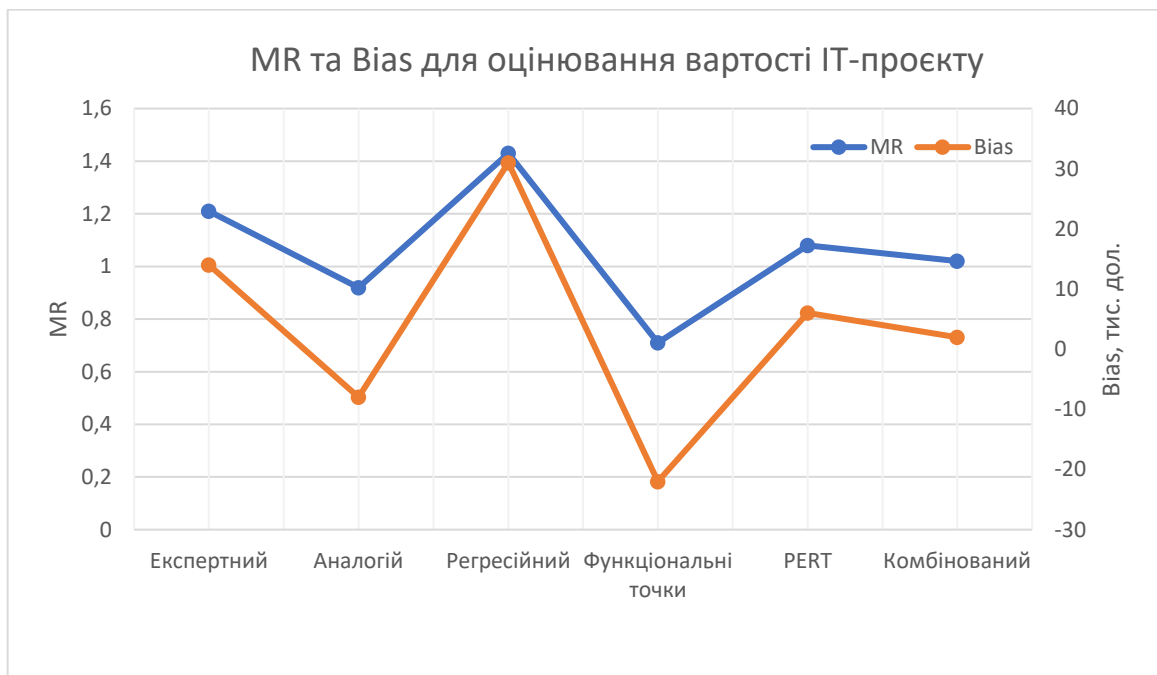


Рисунок 4.4 – Порівняння MR та Bias для традиційних методів та комбінованого методу оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем

Аналіз MAE показав, що найменше відхилення від базової вартості \$100000 забезпечує саме запропонований комбінований метод. Це свідчить про його здатність найбільш точно коригувати початкову оцінку витрат на розробку рекомендаційної системи з урахуванням невизначеності на етапі ініціації IT-проєкту.

Найбільші відхилення спостерігаються для регресійного підходу та методу функціональних точок. Це пояснюється тим, що зазначені методи недостатньо враховують якісні фактори складності розробки, зокрема особливості побудови рекомендаційних алгоритмів, інтеграцію з іншими модулями маркетингу та ризики реалізації.

Аналіз MAPE підтверджує отримані результати. Запропонований метод демонструє найнижчі відносні відхилення від базової вартості \$100000, що свідчить про його стабільність при зміні масштабу IT-проєкту та різних умовах вхідних даних.

Експертний метод та регресійний підхід, навпаки, характеризуються вищими значеннями похибки, що вказує на недостатню узгодженість їхніх оцінок із реальними витратами на розробку аналогічних систем.

Аналіз MR показує, що комбінований метод забезпечує найменші відхилення від базової вартості \$100000 серед усіх розглянутих підходів. Це означає зменшення загальної помилки оцінювання незалежно від напрямку відхилення – завищення або заниження вартості.

Щодо систематичного зміщення (Bias), встановлено, що запропонований комбінований метод має значення, близькі до нуля. Це свідчить про відсутність систематичної переоцінки або недооцінки базової вартості \$75000. Натомість регресійний метод та метод функціональних точок демонструють виражене зміщення, що може призводити до формування некоректного бюджету IT-проєкту на етапі планування.

Таким чином, результати порівняльного аналізу за всіма метриками підтверджують перевагу запропонованого комбінованого методу оцінювання вартості IT-проєкту розробки рекомендаційних систем, який

забезпечує найбільш точну корекцію базової вартості \$100000 в умовах невизначеності.

Для аналізу вагомості критеріїв у комбінованому методі було використано МАІ, що дозволив визначити пріоритетність критеріїв, які впливають на формування кінцевої вартості ІТ-проєкту.

Початкові вагові коефіцієнти критеріїв формувалися на основі експертних оцінок, що відображають вплив кожного критерію на зміну базової вартості \$75000. До таких критеріїв віднесено складність алгоритмічної реалізації, рівень підготовленості даних, масштаб інтеграції, вимоги до точності та рівень технічних ризиків.

Після обробки попарних порівнянь у межах МАІ було отримано узгоджений вектор вагових коефіцієнтів, який відображає відносний внесок кожного критерію у формування кінцевої вартості ІТ-проєкту.

Результати визначення ваг критеріїв у межах комбінованого методу представлено на рисунку 4.5.

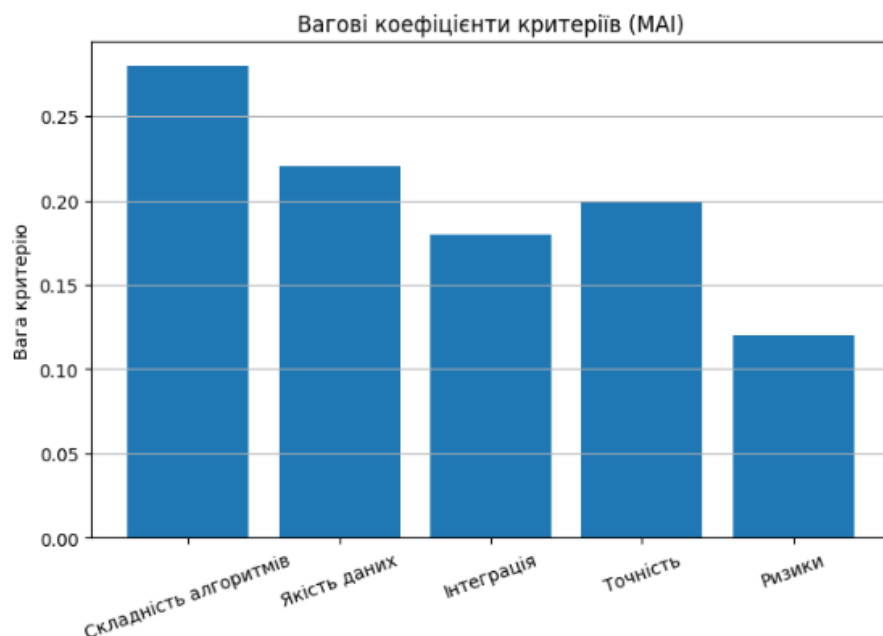


Рисунок 4.5 – Вагові коефіцієнти критеріїв оцінювання вартості ІТ-проєкту розробки рекомендаційних систем, отримані за допомогою МАІ

ВИСНОВКИ

У межах проведеного дослідження здійснено комплексний аналіз існуючих підходів до оцінювання вартості ІТ-проектів та розроблено комбінований метод оцінювання вартості ІТ-проекту розробки рекомендаційних систем, що базується на поєднанні МАІ та апарату нечіткої логіки з використанням лінгвістичних змінних. Розглянуто основні фактори, що впливають на формування вартості ІТ-проекту, зокрема складність алгоритмічної реалізації, якість та структурованість даних, масштаб інтеграції з інформаційними системами, рівень вимог до точності рекомендацій, технічні ризики та рівень новизни застосованих методів машинного навчання.

Проаналізовано існуючі методи оцінювання вартості ІТ-проектів, зокрема експертний підхід, метод аналогій, регресійні моделі, метод функціональних точок та метод PERT. Встановлено, що їхніми основними недоліками є висока залежність від суб'єктивних оцінок, обмежена здатність враховувати якісні критерії ІТ-проекту та недостатня точність в умовах невизначеності на етапі ініціації.

Обґрунтовано доцільність використання МАІ для формалізації експертних суджень та визначення вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання. Це забезпечує структурування задачі оцінювання та підвищує узгодженість прийняття рішень. Додатково використання нечіткої логіки з лінгвістичними змінними дозволяє формалізувати якісні критерії ІТ-проекту та описати невизначеність у вихідних даних без втрати інформаційної змістовності.

Розроблений комбінований метод забезпечує інтеграцію кількісних і якісних критеріїв у єдину структуру оцінювання, що дозволяє отримати інтегральний показник складності ІТ-проекту та перетворити його у прогнозну вартість розробки рекомендаційної системи. Це робить метод

особливо ефективним для використання на етапі ініціації, коли обсяг вихідної інформації є обмеженим.

Програмна реалізація та апробація розробленого підходу показали підвищення точності оцінювання вартості порівняно з традиційними методами. Зокрема, спостерігається зменшення середньої похибки прогнозування, а також зниження систематичних відхилень оцінок, що підтверджує стабільність та надійність методу.

Отримані результати експериментального дослідження підтверджують ефективність запропонованого комбінованого методу для оцінювання вартості ІТ-проектів розробки рекомендаційних систем. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення набору критеріїв оцінювання, удосконалення функцій належності та адаптацію підходу до інших класів ІТ-проектів, зокрема систем штучного інтелекту та аналітичних платформ.

За тематикою кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповідей на міжнародній науковій конференції [39].

Кваліфікаційна робота виконувалась згідно з вказівками щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи [40] та національним стандартом ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення» [41].

Перелік джерел посилання оформлено згідно з національним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [42].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Коваленко О. В. Управління вартістю IT-проєктів: сучасні підходи та методи. Київ: Техніка, 2021. 320 с.
2. Семенов В. П. Методологія оцінки вартості IT-проєктів у сфері послуг. *Економічний простір*. 2022. № 158. С. 45–50.
3. ISO/IEC 12207:2022 Systems and Software Engineering – Software Life Cycle Processes. Geneva: International Organization for Standardization, 2022.
4. PMBOK Guide – 7th Edition: A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Newtown Square: Project Management Institute, 2021.
5. Горбаченко В. І. Управління IT-проєктами: від теорії до практики. Харків: Фоліо, 2019. 288 с.
6. Демків Л. Я., Кузьмін О. Є. Економіка та фінанси інформаційних технологій. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 350 с.
7. Захарченко В. М., Петренко Л. М. Бюджетування та контроль вартості в проєктному менеджменті. Київ: КНЕУ, 2020. 210 с.
8. Клименко С. М. Agile-управління проєктами: гнучкі методики для IT-сфери. Київ: Наукова думка, 2022. 275 с.
9. Мельник О. В., Савченко І. В. Фінансовий менеджмент у IT-компаніях. Вінниця: ВНТУ, 2021. 312 с.
10. Овсієнко В. В. Управління ризиками в IT-проєктах: моделі та інструменти. Київ: Алерта, 2023. 194 с.
11. Петришин Р. Р. Методи оцінки складності програмного забезпечення. Львів: Новий Світ – 2000, 2019. 168 с.
12. Сторожук Т. П., Ковальчук М. А. Проєктний аналіз: оцінка ефективності IT-інвестицій. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 180 с.

13. Тарасенко Н. В. Управління якістю в життєвому циклі програмного забезпечення. Дніпро: Герда, 2021. 260 с.
14. Шевченко А. О. Бізнес-аналіз для ІТ-проектів: вимоги, кошториси, результати. Київ: Соломонів Павло, 2022. 305 с.
15. Pirotti A., Rahim F. A. M., Zakaria N. Implementation of Project Management Standards and Project Success: The Mediating Role of the Project Management Office. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*. 2022. Vol. 12, No. 1. P. 39–46.
16. Бондарчук А. В., Лисенко О. В. Застосування штучного інтелекту для прогнозування вартості ІТ-проектів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі*. 2023. № 15. С. 112–120.
17. Кравченко М. О. Гібридні методології управління вартістю в умовах невизначеності ІТ-проектів. Одеса: Одеський національний технологічний університет, 2023. 198 с.
18. Гриценко Н. М., Ткаченко О. П. Фінансове планування та бюджетування в Agile-командах. *Економіка та управління підприємствами*. 2022. № 4 (88). С. 67–73.
19. Бойко В. С. Управління витратами в проєктах розробки програмного забезпечення з відкритим кодом. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 175 с.
20. Boehm B. W., Celik T. Software Cost Estimation with COCOMO II in the Age of Agile and DevOps. *Handbook of Software Engineering*. Cham : Springer, 2023. P. 345–370.
21. Jones C. Predicting Software Project Costs: The Deeper Causes of Overruns. New York : McGraw-Hill, 2022. 400 p.
22. McConnell S. Software Estimation: The Art and Science of Accurate Predictions. 2nd ed. Redmond : Microsoft Press, 2023. 352 p.
23. Project Management Institute. Process Groups: A Practice Guide. Newtown Square : Project Management Institute, 2022. 190 p.

24. Шевчук І. П., Романюк А. В. Моделювання ризиків перевищення бюджету в ІТ-проєктах. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2023. № 1 (314). С. 210–217.
25. Савченко Л. І. Cost-benefit аналіз інвестиційних ІТ-проєктів: сучасні підходи. Дніпро: Університет митної справи та фінансів, 2024. 220 с.
26. Wainwright M. High-Dimensional Statistics: A Non-Asymptotic Viewpoint. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 400 p.
27. Hand D. J., Mannila H., Smyth P. Principles of Data Mining. Cambridge: MIT Press, 2021. 546 p.
28. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. New York: Springer, 2021. 618 p.
29. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. New York: Springer, 2021. 745 p.
30. Kerzner H. Project Management Metrics, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance. New York: Wiley, 2021. 480 p.
31. Alalwan A. A., Dwivedi Y. K., Rana N. P. Digital Transformation and Customer Relationship Management: Framework and Research Agenda. *Journal of Business Research*. 2020. Vol. 122. P. 883–897.
32. Мельник О. В. Управління ризиками в ІТ-проєктах у сфері рекомендаційних систем. Харків: ХНЕУ, 2022. 280 с.
33. Максименко Ю. М. CRM-системи як інструмент автоматизації в системах маркетплейсу. Харків: ХНУ, 2023. 220 с.
34. Коваленко О. С. Техніки оцінки витрат при впровадженні рекомендаційних систем. Львів: ЛНУ, 2022. 200 с.
35. Рибак А. В. Управління вартістю ІТ-проєктів у системах маркетплейсу: методи та інструменти. Харків: ХНЕУ, 2022. 270 с.

36. Шевченко О. Г. Методи функціонально-вартісного аналізу при проектуванні рекомендаційних систем. Київ: КІП, 2022. 230 с.
37. Білоус Н. В. Моделі оцінки вартості розробки гібридних рекомендаційних алгоритмів. Харків: ХНЕУ, 2023. 215 с.
38. Ткачук Р. П. Калькулювання витрат життєвого циклу рекомендаційних систем в e-commerce. Львів: ЛНУ, 2022. 240 с.
39. Покуль В. В., Розробка комбінованого методу оцінювання вартості IT-проєкту розробки рекомендаційної системи на основі методу аналізу ієрархій та нечіткої логіки. 30-й Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т-6., - Харків: ХНУРЕ. 2026. С. 216-217.
40. Методичні вказівки щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-науковою програмою «Управління проєктами в галузі інформаційних технологій» / упоряд.: Петров К. Е., Левикін В. М., Чалий С. Ф., Євланов М. В., Міхнов Д. К., Міхнова А. В., Чала О. В. Харків: ХНУРЕ, 2024. 24 с.
41. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання. Чинний від 01-07-2017. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
42. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 01-07-2016. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 16 с.