

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 ІТ-проектів
розробки інформаційних систем на стадії ініціації
(тема)

Виконала:

здобувачка 2 року навчання,
групи УПГІТм-24-1

Анастасія МАЩЕНКО
(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
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. каф. ІУС Наталія ВАСИЛЬЦОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. 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 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУздобувачі _____ Маценко Анастасії Романівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи _____ Дослідження методів оцінювання ІТ-проектів розробки
інформаційних систем на стадії ініціації _____

затверджена наказом по університету від « 23 » березня 2026 р. № 231Ст

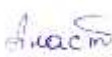
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії « 20 » травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____ науково-технічна література, інтернет-ресурси, публікації
відповідно до теми кваліфікаційної роботи, інформація про побудову бізнес-процесів
в мережі сервісних центрів _____4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____ аналіз особливостей управління
проектами, аналіз та опис управління ІТ-проектів, аналіз та опис оцінювання ІТ-проектів на
етапі ініціації, аналіз та опис стандартів з управління ІТ-проектами, опис та аналіз існуючих
методів оцінювання проектів на етапі ініціації, постановка задачі дослідження, розробка та
опис комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на етапі ініціації, опис використання
комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на етапі ініціації, експериментальна перевірка
(апробація) розробленого комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на етапі
ініціації _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз концептуальних підходів до етапу ініціації у міжнародних стандартах управління проектами	06.04.2026 – 08.04.2026	виконано
2	Аналіз методологічних напрямків та науково-метричного апарату оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації. Постановка задачі	09.04.2026 – 11.04.2026	виконано
3	Розробка комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації	12.04.2026 – 14.04.2026	виконано
4	Розробка та опис послідовності використання комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на етапі ініціації	15.04.2026 – 19.04.2026	виконано
5	Визначення та опис особливостей використання експертного оцінювання в межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів	20.04.2026 – 22.04.2026	виконано
6	Визначення та опис особливостей використання економіко-математичної моделі оцінювання ІТ-проекту	23.04.2026 – 24.04.2026	виконано
7	Визначення та опис особливостей використання імітаційного моделювання в межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту	25.04.2026 – 27.04.2026	виконано
8	Визначення та опис особливостей, що впливають на оцінку проекту	28.04.2026 – 29.04.2026	виконано
9	Експериментальна перевірка (апробація) комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації	30.04.2026 – 09.05.2026	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	10.05.2026 – 16.05.2026	виконано
11	Підготовка презентаційного матеріалу	17.05.2026 – 18.05.2026	виконано
12	Перевірка роботи на плагіат	16.05.2026	виконано
13	Попередній захист кваліфікаційної роботи	18.05.2026	виконано
14	Захист кваліфікаційної роботи	22.05.2026	виконано

Дата видачі завдання 06 квітня 2026 р.

Здобувачка 
(підпис)

Керівник роботи  проф. каф. ІУС Наталія ВАСИЛЬЦОВА
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 154 с., 51 рис., 43 табл., 2 дод., 71 джерело.

ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД, ОЦІНЮВАННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ, ПРОЄКТ, СТАДІЯ ІНІЦІАЦІЇ, УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ.

Об'єктом дослідження є процеси оцінювання, порівняння та виявлення найбільш ефективного варіанта ІТ-проєкту, призначеного для розробки та впровадження ІС.

Предметом дослідження є методи оцінювання ефективності альтернативних підходів до реалізації ІТ-проєкту з розробки та впровадження ІС на стадії ініціації проєкту.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка, наукове обґрунтування та практична апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту задля підвищення якості та об'єктивності прийняття управлінських рішень на стадії ініціації проєкту.

Дослідження спрямоване на розробку ефективного методу для проведення об'єктивного, комплексного оцінювання ІТ-проєктів на стадії ініціації з урахуванням їхніх особливостей, ризиків реалізації, невизначеності та мінливості вимог.

Розроблений комбінований метод апробований на прикладі альтернативних підходів до реалізації інформаційної системи обліку та аналізу даних про несправності технічних приладів для мережі сервісних центрів.

ABSTRACT

Master's thesis: 154 pages, 51 figures, 43 tables, 2 appendices, 71 references.

COMBINED METHOD, EXPERT EVALUATION, INFORMATION TECHNOLOGY, INFORMATION SYSTEM, INITIATION STAGE, IT-PROJECT EVALUATION, PROJECT, PROJECTS MANAGEMENT.

The object of the research is the processes of evaluating, comparing and identifying the most effective approach of the IT project intended for the development and implementation of the information system (IS).

The subject of the research is the methods for evaluating the efficiency of alternative approaches to executing the IT project for the development and implementation of the IS at the project initiation stage.

The purpose of this qualification is to develop, scientifically substantiate, and practically test a combined method for IT project evaluation in order to improve the quality and objectivity of managerial decision-making at the project initiation stage.

The research aims to develop an effective method for conducting an objective and comprehensive evaluation of IT projects at the initiation stage, considering their specific characteristics, implementation risks, uncertainties, and the volatility of requirements.

The developed combined method was practically tested utilizing the example of alternative approaches to implementing the IS designed for recording and analyzing data on technical equipment malfunctions produced and gathered for the network of service centers.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз існуючих методів оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації.....	11
1.1 Концептуальні підходи до виконання стадії ініціації у міжнародних стандартах з управління проектами.....	11
1.2 Аналіз методологічних напрямків та науково-метричного апарату оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації.....	17
1.3 Постановка задачі дослідження.....	29
2 Розробка комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації.....	33
3 Технологія розробки та використання комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації.....	39
3.1 Опис послідовності використання комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів з розробки та впровадження інформаційних систем	39
3.2 Особливості використання експертного оцінювання в межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів з розробки ІС на стадії ініціації.....	43
3.3 Особливості використання економіко-математичної моделі оцінювання ІТ-проектів.....	51
3.4 Особливості використання імітаційного моделювання в межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів.....	54
4 Апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту з розробки інформаційних систем на стадії ініціації.....	56
4.1 Опис особливостей, що впливають на оцінку проекту з розробки	

інформаційної системи в сервісних центрах.....	56
4.2 Аналіз підходів до реалізації ІТ-проєкту з розробки інформаційної системи сервісного центру з ремонту електронної техніки.....	59
4.3 Апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту на стадії ініціації (перший підхід до реалізації інформаційної системи).....	66
4.4 Апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту на стадії ініціації (другий підхід до реалізації інформаційної системи).....	95
Висновки.....	117
Перелік джерел посилання.....	119
Додаток А Програмна реалізація етапу імітаційного моделювання комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту.....	127
Додаток Б Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	135

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ІС – інформаційна система

ІТ – інформаційна технологія

ІУС – Інформаційні управляючі системи

ПЗ – програмне забезпечення

AHP – Analytic Hierarchy Process

ARR – Accounting Rate of Return

COCOMO II – Constructive Cost Model

DPP – Discounted Payback Period

FPA – Functional Point Analysis

IRR – Internal Rate of Return

ISO – International Organization for Standardization

MIRR – Modified Internal Rate of Return

NPV – Net Present Value

PERT – Project Evaluation and Review Technique

PI – Profitability Index

PID – Project initiation documentation

PMBOK – Project Management Body of Knowledge

PP – Payback Period

PRINCE2 – PRojects IN Controlled Environments

PV – Present Value

ROA – Return on Assets

TCO – Total Cost of Ownership

ВСТУП

У часи швидкого розвитку інформаційних технологій (ІТ) проєктна та операційна діяльність набуває критично важливого значення для функціонування організацій у всіх сферах життя. Проєктна діяльність є невід'ємною частиною бізнес-середовища, сфери державного управління, освіти, науки тощо [1]. Це зумовлює збільшення кількості вимог до ефективного процесу управління проєктами, особливо на ранніх етапах життєвого циклу.

Основним етапом життєвого циклу розробки ІТ-проєктів, незалежно від їхньої специфіки та масштабності, є стадія ініціації [2; 3]. Саме на цій стадії формуються базова концепція програмного продукту, визначається його бізнес-виправданість, узгоджуються основні вимоги та приймаються ключові управлінські рішення щодо початку проєкту. Оскільки сфера ІТ характеризується високим рівнем невизначеності, динамічністю змін вимог та складністю реалізації, одним з ключових процесів на етапі ініціації є оцінювання ІТ-проєкту.

Важливість проведення комплексного оцінювання ІТ-проєктів зумовлена тим, що на основі отриманої оцінки приймається рішення про рентабельність та майбутній успіх реалізації. У випадку поверхневого оцінювання наслідками можуть стати нераціональне використання ресурсів, порушення термінів виконання та, як результат, неуспішність проєкту.

За допомогою належного оцінювання визначається техніко-економічне обґрунтування ініціативи проєкту, його відповідність стратегічним цілям організації-замовника, очікувана ефективність, а також необхідний обсяг ресурсів, потенційні ризики та можливі обмеження проєкту.

Актуальність даного дослідження полягає в необхідності підвищити точність, обґрунтованість та всебічність оцінювання ІТ-проєктів ще до початку їхньої імплементації. Аналіз існуючих підходів та методів

оцінювання проєктів показує, що їхнє ізольоване використання створює суттєві обмеження, які виникають в результаті врахування лише окремих аспектів ІТ-проєктів. Це, в свою чергу, призводить до прийняття неефективних управлінських рішень стосовно подальшого розвитку та впровадження результатів проєкту [3; 4].

Об'єктом дослідження є процес оцінювання ІТ-проєктів на етапі ініціації. Предметом дослідження виступають методи та критерії комплексного оцінювання ІТ-проєктів, а також можливість розробки механізмів їхнього комбінованого використання.

Для підвищення рівня об'єктивності та якості управлінських рішень під час стадії ініціації ІТ-проєкту, метою даної роботи є розробка, наукове обґрунтування та подальша апробація комбінованого методу оцінювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд задач:

- провести огляд сучасних провідних стандартів управління проєктами;
- проаналізувати існуючі методи та підходи оцінювання ІТ-проєктів;
- дослідити особливості ІТ-проєктів, що впливають на процес їхнього оцінювання;
- розробити та описати алгоритм комбінованого методу оцінювання ІТ-проєктів на етапі ініціації;
- оцінити ефективність запропонованого методу за допомогою апробації на існуючому ІТ-проєкті.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ НА СТАДІЇ ІНІЦІАЦІЇ

1.1. Концептуальні підходи до виконання стадії ініціації у міжнародних стандартах з управління проєктами

Сучасна проєктна діяльність, яка здійснюється в будь-яких галузях (виробничій, науково-дослідній, будівельній, оборонній, міжнародного розвитку, надання послуг, розробки і впровадження ІС та ІТ тощо), базується на використанні загальних проєктних стандартів і методологій. Провідні міжнародні інституції розробили систему уніфікованих стандартів та керівних документів у сфері управління проєктами [2].

Кожна галузь діяльності, зокрема й галузь ІТ, яка розвивається зараз дуже швидко, доповнює цю систему стандартів специфічними стандартами та методологіями, які використовуються в кожній з цих галузей [4-6].

До найбільш авторитетних та широко застосовуваних у світовій практиці стандартів та методологій, що регламентують процеси управління проєктами, зокрема й в галузі ІТ, належать:

- настанова до зводу знань з управління проєктами PMBOK (Project Management Body of Knowledge) [4];
- методологія PRINCE2 (PRejects IN Controlled Environments) [5];
- стандарт ISO/IEC/IEEE 12207:2017 «Systems and software engineering – Software life cycle processes» [6].

Стандарти з різним ступенем загальності та запропонованою ними термінологією підходять до визначення фаз і стадій життєвого циклу проєкту, як специфічної форми діяльності, та до процесів управління такою діяльністю (проєктного менеджменту).

Відповідно до найпоширеніших підходів життєвий цикл можна розбити на такі великі стадії (фази): формулювання проєкту (вибір проєкту, його запуск), планування, здійснення, завершення [7], а процеси управління

проектом, за цілями, яким вони слугують, розподіляються на п'ять груп: процеси ініціації, процеси планування, процеси виконання, процеси моніторингу й управління, завершальні процеси. Перелічені процеси управління проектом пов'язані за цілями, які вони виконують. На рисунку 1.1 у вигляді часового графіка надається зв'язок між процесами та показаний рівень їх суміщення в різні періоди виконання проекту [8].

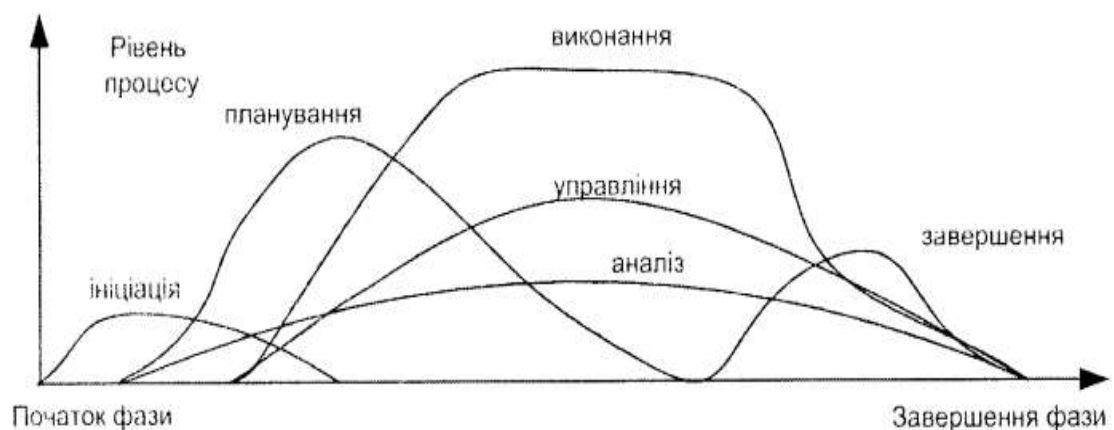


Рисунок 1.1 – Часовий графік зв'язку процесів (взаємодія груп процесів у проекті) [8]

Структура та зміст процесів управління проектами може відповідати як стандарту PMBOK, методології PRINCE2, так і стандартам ISO, а також будь-якому іншому стандарту з управління проектами або оригінальному баченню організацією (компанією) процесів управління проектами.

Структура та зміст цих процесів, у будь-якому випадку, повинні надаватися в методологічних документах організації і бути відомі всім співробітникам організації, що беруть участь в проектах [8].

Кожний стандарт засновано на сучасних методологіях, які пропонують структурований опис життєвого циклу проекту та процесів його управління, де критичне значення надається стадіям ініціації та початкового планування. Кожна з цих стадій характеризується специфічними концептуальними підходами до оцінювання проектів [3].

Стадія ініціації – це одна з найважливіших стадій в життєвому циклі ІТ-проєкту. Під час виконання процесів цієї стадії формуються і визначаються концепція проєкту, його цілі та завдання, в результаті чого отримуються вихідні результуючі документи, які є критичними і необхідними для початку фази розробки проєкту та подальшого планування [3].

Згідно з настановами PMBOK у фазі запуску (ініціації) розробляється загальний план виконання проєкту. Критерієм входу у фазу запуску є затвердження статуту проєкту, який офіційно санкціонує існування проєкту, а також надає керівнику проєкту повноваження на використання проєктних ресурсів. Вхідними даними для формування статуту проєкту виступають економічне обґрунтування, угоди, чинники середовища підприємства та активи організаційних процесів. Статут проєкту містить чітке формулювання мети проєкту, вимірювані цілі, критерії успіху, а також опис потенційних ризиків та обмежень [4].

В проєктах розробки та впровадження ІС та ІТ особлива увага на стадії запуску приділяється визначенню меж системи та її взаємодії з інфраструктурою організації-замовника. Окрім того, виконується аналіз як прямих користувачів, так і суміжних систем, з якими планується інтеграція.

Другим невід'ємним компонентом стадії ініціації є ідентифікація зацікавлених сторін.

Цей процес спрямований на виявлення стейкхолдерів – всіх осіб, груп або організацій, які можуть впливати на проєкт або перебувати під його впливом.

Результатом процесу є реєстр стейкхолдерів, який включає класифікацію та оцінку стейкхолдерів проєкту. Це дозволяє керівнику проєкту завчасно сформулювати стратегію комунікацій, що є критичним для управляючих систем, де коло стейкхолдерів охоплює як технічних спеціалістів, так і операційний менеджмент.

За методологією PRINCE2 мета стадії ініціації полягає у формуванні основи ІТ-проєкту. Ця стадія спрямована на узгодження обсягу робіт, витрат,

термінів, ризиків та очікуваних результатів між всіма стейкхолдерами проєкту. Відповідно до концепції безперервного бізнес-обґрунтування формується і затверджується бізнес-кейс, який містить обґрунтування доцільності інвестицій в проєкт. В подальшому цей документ має переглядатися на кожній стадії виконання проєкту задля перевірки відповідності розробки стратегічним цілям, визначеним на стадії ініціації [5].

Окрім того, під час виконання стадії ініціації розробляється стислий виклад проєкту, який пізніше трансформується у документацію з ініціації проєкту (Project initiation documentation – PID). Основна увага в PID приділяється перевірці життєздатності ідеї проєкту, оскільки розробка не може бути розпочата, якщо не доведено комерційну або стратегічну виправданість IT-проєкту. Окрім того, PID містить визначені критерії прийнятності розроблюваного продукту або послуги кінцевими користувачами.

Для проєктів, пов'язаних з розробкою, впровадженням і супроводженням ІС, на стадії ініціації важливими є визначення таких очікуваних вигод, як: відсоток скорочення часу на обробку даних, підвищення точності управлінських прогнозів тощо.

На стадії ініціації за методологією PRINCE2 виконується розробка таких підходів до управління проєктом [5]:

- підходу до управління якістю, який визначає стандарти та методи перевірки кінцевого продукту або послуги на відповідність критеріям прийнятності;
- підходу до управління змінами, що описує процедури обробки запитів на зміни та оцінку їхнього впливу на бізнес-обґрунтування;
- підходу до управління ризиками, що встановлює методи ідентифікації, кількісного оцінювання та контролю технічних та операційних загроз;
- підходу до управління даними, який визначає дані, що будуть збиратися, зберігатися і використовуватися в межах проєкту;

- підходу до управління комунікаціями, який регламентує потік інформації та отримувачів для забезпечення ефективної взаємодії між командою управління та стейкхолдерами;
- підходу до сталого розвитку, що визначає, як сприятиме проєкт цілям сталого розвитку (екологічним, соціальним, економічним) та яким чином відбуватиметься вимірювання показників.

Стадія ініціації в PRINCE2 завершується затвердженням документації з ініціації проєкту та ухвалення рішення щодо доцільності його подальшої реалізації. За умови, що прогнозовані вигоди від розробки продукту або послуги більше не виправдовують витрати або ризики стали надмірними, проєкт може бути закрито на самому початку. Такий підхід забезпечує високу економічну ефективність та наукову обґрунтованість кожного управлінського рішення в межах організації [5].

Стандарт ISO/IEC/IEEE 12207:2017 «Systems and software engineering – Software life cycle processes» представляє фундаментальний та технічно орієнтований підхід до структурування життєвого циклу програмного забезпечення (ПЗ). У межах цього стандарту стадія ініціації інтегрована в процеси придбання та визначення концепції. Стадія ініціації за цим стандартом є частиною групи процесів угоди та технічних процесів. Це дозволяє забезпечити високу ступінь детермінації вимог до продукту або послуги ще на стадії формування ідеї [6].

Основою стадії ініціації в межах стандарту ISO/IEC/IEEE 12207:2017 є процес аналізу бізнесу, метою якого є визначення проблеми або можливості бізнес-середовища та формування набору потенційних рішень [6]. Під час розробки проєкту на стадії ініціації виконується ідентифікація критичних параметрів управління, які мають бути автоматизовані за допомогою розроблюваного продукту або послуги. Основними результатами стадії виступають: визначення стратегічних цілей та аналіз операційних обмежень.

Важливим на стадії ініціації (згідно зі стандартом ISO/IEC/IEEE 12207:2017) є процес придбання, який ініціює проєкт з боку замовника.

Цей процес включає підготовку стратегії придбання та визначення критеріїв вибору постачальника (розробника).

Процес оцінювання проєкту базується на аналізі ризиків придбання та технічної спроможності виконавця реалізувати архітектуру розроблюваного продукту або послуги. Зі сторони розробника стадія ініціації завершується укладанням угоди після затвердження, що вимоги замовника є зрозумілими та досяжними за наявних ресурсів проєкту [3].

Для порівняння процесу ініціації, описаного в кожній з методологій, наведених вище, були визначені ключові параметри, за якими проводитиметься аналіз та зіставлення:

- мета стадії ініціації;
- ключові вихідні документи;
- критерії оцінювання проєкту;
- механізм взаємодії зі стейкхолдерами;
- підхід до управління ризиками та обмеженнями;
- специфіка виконання для ІТ-продукту.

Результати аналізу та порівняння стандартів з управління проєктами на стадії ініціації, проведених на основі запропонованих ключових параметрів, представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння стандартів з управління проєктами на основі ключових параметрів на стадії ініціації

Параметри порівняння	PMBOK (7 видання)	PRINCE2 (7 видання)	ISO/IEC/IEEE 12207:2017
1	2	3	4
Мета стадії ініціації	Офіційне санкціонування проєкту та надання повноважень керівнику	Формування основи проєкту та доведення його бізнес-виправданості	Визначення концепції, аналіз бізнес-проблем та підготовка до придбання
Ключові вихідні документи	Статут проєкту, реєстр стейкхолдерів	Бізнес-кейс, документація з ініціації проєкту (PID)	Стратегія придбання, угода (контракт), опис архітектури

Кінець таблиці 1.1

1	2	3	4
Критерії оцінювання проєкту	Відповідність стратегічним цілям, вимірювані цілі та критерії успіху	Безперервне бізнес-обґрунтування, очікувані вигоди	Технічна спроможність виконавця, аналіз ризиків придбання
Механізм взаємодії зі стейкхолдерами	Ідентифікація, класифікація та формування стратегії комунікацій	Узгодження обсягів, витрат та критеріїв прийнятності між усіма сторонами	Формалізація відносин «Замовник – Постачальник» через процеси угоди
Підхід до управління ризиками	Опис потенційних високорівневих ризиків та обмежень у статуті проєкту	Розробка детального підходу до управління технічними та операційними загрозами	Оцінка ризиків придбання та спроможності реалізації архітектури
Специфіка виконання для ІТ-проєкту	Визначення меж системи та її інтеграції з наявною інфраструктурою	Кількісне вимірювання вигод (точність прогнозів, швидкість обробки даних)	Автоматизація критичних параметрів управління та детермінація вимог до ПЗ

1.2. Аналіз методологічних напрямків та науково-метричного апарату оцінювання ІТ-проєктів на стадії ініціації

1.2.1 Оцінювання ІТ-проєкту на стадії ініціації – це дослідження, що охоплює економічні, технічні та операційні аспекти. Процес оцінювання дозволяє визначити доцільність інвестування ресурсів у проєкт та відповідність ініціативи проєкту цілям організації-замовника.

Проведений аналіз літературних та інтернет-джерел дозволив виділити такі групи методів оцінювання [3]:

- економіко-математичні методи [9; 10];
- методи імітаційного прогнозування [11];
- мережеві методи планування [12; 13];

- ігрові методи і моделі [14; 15];
- експертно-аналітичні методи [3; 16].

1.2.2 Економіко-математичні методи базуються на кількісному аналізі та використанні формалізованих підходів для розрахунку фінансових показників ефективності проєкту [9].

До цієї групи відносяться методи визначення економічної ефективності інвестицій, що використовуються для оцінювання доцільності інвестиційних проєктів. Методи цієї групи дозволяють визначити, чи вигідно вкладати кошти у певний проєкт, враховуючи майбутні доходи, витрати та фактор часу.

Міжнародна практика оцінювання ефективності інвестицій базується на концепції оцінювання вартості грошей у часі.

Порівняння деяких варіантів одного проєкту або порівняння різних проєктів пропонується проводити за допомогою таких основних показників ефективності проєкту [3]:

- приведений прибуток (Present Value – PV);
- чистий приведений інтегральний прибуток, тобто чиста приведена вартість (Net Present Value – NPV);
- індекс рентабельності інвестицій (Profitability Index – PI);
- внутрішня норма прибутковості (Internal Rate of Return – IRR);
- модифікована внутрішня норма прибутковості (Modified Internal Rate of Return – MIRR);
- термін (період) окупності (Payback Period – PP);
- дисконтований термін окупності (Discounted Payback Period – DPP);
- коефіцієнт ефективності інвестицій (Accounting Rate of Return – ARR).

Найбільш розповсюдженими з показників економічної ефективності є показник NPV, який дозволяє визначити дисконтовану різницю між прогнозованими грошовими потоками та обсягом інвестицій [17]. Його особливістю є врахування фактору часу, тобто зміни вартості грошей у часі,

що робить цей показник одним з найбільш обґрунтованих для оцінювання інвестицій.

Показник NPV визначається на основі показника приведенного прибутку. PV, який відображає сумарну поточну вартість усіх майбутніх грошових надходжень, які очікується отримати від реалізації проєкту з урахуванням вибраної ставки дисконтування. Розрахунок PV виконується за формулою:

$$PV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}, \quad (1.1)$$

де C_t – грошовий потік у період t ;

r – ставка дисконту (вартість капіталу або очікувана доходність);

t – номер періоду (рік, місяць, квартал);

n – кількість періодів інвестиційного проєкту,

Чистий приведений інтегральний прибуток NPV можна визначити, використовуючи модифіковану методику, за формулою [17]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (1.2)$$

де C_t – грошовий потік у період t (дохід мінус витрати);

r – ставка дисконту (вартість капіталу або очікувана доходність);

t – номер періоду (рік, місяць, квартал);

n – кількість періодів інвестиційного проєкту,

I_0 – первісні інвестиційні витрати (витрачені дисконтовані інвестиції).

Якщо значення NPV за заданої норми дисконту є додатним ($NPV > 0$), то проєкт можна вважати економічно доцільним [3].

Для оцінювання економічної ефективності проєкту також використовується показник внутрішньої норми прибутковості IRR, що

відображає таку ставку дисконтування, за якої проєкт стає беззбитковим. Показник IRR характеризує максимально можливу дохідність інвестиційного проєкту, дозволяє порівнювати її з вартістю залученого капіталу та визначається за формулою:

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} = 0, \quad (1.3)$$

де C_t – чистий грошовий потік у період t ;

t – номер періоду;

n – загальна кількість періодів;

IRR – внутрішня норма прибутковості.

Показник IRR визначається методом послідовних наближень і порівнюється з необхідною інвестору нормою прибутку на вкладений капітал. Якщо IRR перевищує мінімально прийнятну норму прибутковості або вартість капіталу, проєкт доцільно реалізовувати. В протилежному випадку проєкт необхідно відхилити [18].

Індекс рентабельності PI показує відносну ефективність кожної одиниці інвестованого капіталу та розраховується за формулою:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}}{I_0}, \quad (1.4)$$

де C_t – чистий грошовий потік у період t ;

r – ставка дисконту (вартість капіталу або очікувана доходність);

t – номер періоду (рік, місяць, квартал);

n – кількість періодів інвестиційного проєкту;

I_0 – первісні інвестиційні витрати.

Особливістю використання показника РІ є можливість порівняння різних проєктів за ефективністю вкладення однієї грошової одиниці, що особливо важливо в умовах обмеженого інвестиційного бюджету. Якщо значення РІ перевищує одиницю ($PI > 1$), інвестиційний проєкт вважається ефективним [19].

Окрім того, як показник ефективності проєкту, може використовуватись показник, за яким проводиться розрахунок періоду окупності РР. Цей показник визначає час, необхідний для повного повернення початкових інвестицій за рахунок отриманих грошових потоків.

Показник РР розраховується за формулою:

$$PP = \sum_t \frac{I_0}{C'_t}, \quad (1.5)$$

де I_0 – первісні інвестиційні витрати;

C'_t – щорічний прибуток від капіталу.

Основною перевагою використання показника РР є простота розрахунків та наочність результатів, що робить цей показник зручним для попереднього аналізу інвестиційних рішень та оцінки ризику. Однак цей показник не враховує фактор часу та грошові надходження після моменту окупності [20].

Для усунення цього недоліку періоду окупності застосовується дисконтований термін окупності. Цей показник визначає момент часу, коли сума дисконтованих грошових потоків зрівнюється з початковими інвестиціями.

1.2.3 Методи імітаційного прогнозування – це методи моделювання поведінки системи за допомогою комп'ютерних моделей. Найчастіше ці методи використовуються за умови неможливості або великої складності аналітичних розрахунків [21].

До цієї групи відноситься метод Монте-Карло, що полягає в багаторазовому випадковому моделюванні ключових параметрів проєкту [22]. Здебільшого метод Монте-Карло використовується з метою визначення фінансових ризиків у інвестиційних проєктах, а також для прогнозування термінів реалізації, ймовірного бюджету та очікуваного економічного результату проєкту, враховуючи наявні невизначеності. Його перевагою є висока гнучкість і можливість врахування великої кількості випадкових факторів, однак він потребує значних обчислювальних ресурсів і наявності достовірної інформації про ймовірнісні розподіли параметрів.

Окрім цього, застосовується метод системної динаміки [23]. За допомогою цього методу можна проаналізувати проєкт задля прогнозування того, як зміна стейкхолдерів, перерозподіл ресурсів або плинність кадрів вплине на загальну продуктивність реалізації проєкту та кінцеві строки його виконання в довгостроковій перспективі.

Також для розглядання проєкту як послідовності подій використовується дискретно-подієве моделювання [24]. Цей метод дозволяє оптимізувати бізнес-процеси, покращити управління проєктом та виявити ризикові місця під час розподілу обмежених ресурсів, зокрема на стадії ініціації.

1.2.4 У сучасному управлінні IT-проєктами на стадії ініціації також використовуються мережеві методи планування.

Використання мережевих методів планування зумовлюється необхідністю попереднього структурованого моделювання стадій (фаз) проєкту, раннього виявлення залежностей між ними та ідентифікації потенційних ризиків і необхідних ресурсів ще на початку ініціації проєкту.

Основною метою використання мережевих методів планування є формування базового календарного графіка проєкту задля подальшого розрахунку інвестиційних показників та обґрунтування економічної доцільності його реалізації [12].

Процес побудови графіків та аналізу часових параметрів проєкту на сьогодні є автоматизованим і на ринку існує ПЗ, що дозволяє генерувати мережеві моделі, розраховувати критичний шлях, динамічно оновлювати дані в умовах мінливості вимог тощо.

Одним з мережевих методів планування є метод PERT (Program Evaluation and Review Technique), який застосовується для оцінювання та прогнозування використання ресурсів за умов невизначеності [13].

Цей метод полягає у використанні трьох різних оцінок часу виконання робіт: оптимістичної, найбільш ймовірної та песимістичної. Оптимістична оцінка характеризує найкоротший можливий час виконання задачі за сприятливих умов. Найбільш ймовірна оцінка відображає найбільш реалістичний час, а песимістична – максимально можливу тривалість у випадку виникнення труднощів або затримок.

Перевагами методу PERT є наочність структури проєкту, можливість аналізу взаємозв'язків між роботами та відносна простота використання.

Застосування методу PERT на стадії ініціації дозволяє сформулювати ймовірний базовий розклад проєкту, врахувати закладений додатковий час і більш точно визначити загальну тривалість інвестиційного процесу.

Однак цей метод використовує спрощені припущення щодо розподілу тривалості робіт і має відносно обмежені можливості врахування складних ризиків. На основі трьох оцінок розраховується очікувана середня тривалість виконання кожного етапу та задачі проєкту за формулою:

$$T_e = \frac{O + 4M + P}{6}, \quad (1.6)$$

де O – оптимістична оцінка використання ресурсів ІТ-проєкту;

M – найбільш ймовірна оцінка використання ресурсів ІТ-проєкту;

P – песимістична оцінка використання ресурсів ІТ-проєкту.

1.2.5 Ігрові методи та моделі – це методи, що базуються на положеннях теорії ігор і застосовуються для аналізу ситуацій (варіантів ІТ-проектів), у яких результат діяльності залежить від взаємодії декількох учасників (гравців), кожен з яких діє, виходячи зі своїх власних інтересів і цілей, використовуючи стратегії поведінки [14].

Основною метою використання цієї групи методів під час оцінювання ІТ-проектів є полегшення та покращення процесу прийняття стратегічних рішень щодо доцільності запуску проекту, вибору моделі реалізації продукту або послуги, партнерів, джерел фінансування та конкурентної стратегії [15].

В умовах високої невизначеності на стадії ініціації використання підходів теорії ігор дозволяє формалізувати взаємодію між учасниками проекту, змодельовати можливі сценарії їхньої поведінки та обрати оптимальну стратегію розвитку проекту. Однак їх використання потребує спрощення реальних умов, чіткої формалізації стратегій і наявності інформації про можливі дії учасників.

1.2.6 Експертно-аналітичні методи оцінювання спрямовані на визначення якісних характеристик проекту та залучення інтелектуальних ресурсів для оцінювання неясних факторів (слабких сторін), оскільки на ранніх стадіях розробки ІТ-проекту часто відсутні точні кількісні дані.

Ця група методів дозволяє оцінити перспективність ідеї, ризики реалізації та стратегічну доцільність запуску проекту. До найбільш поширених методів експертно-аналітичної групи відносяться [3; 16]:

- метод бальних оцінок [16];
- метод ранжування [25];
- метод Делфі [26; 27];
- метод аналізу ієрархій (АНР) [27; 28];
- SWOT-аналіз [29].

Сутність методу бальних оцінок полягає у формуванні переліку ключових критеріїв або факторів впливу, яким кожен із експертів присвоює певну кількість балів за заздалегідь фіксованою шкалою. Загальна оцінка

визначається як сума виставлених балів усіма членами експертної групи. Цей метод дозволяє перейти від якісних характеристик розроблюваного продукту до кількісних. Суттєвим недоліком цього методу є високий ступінь суб'єктивності [16].

Метод ранжування застосовується у випадках, коли необхідно впорядкувати ідентифіковані ризики за їхньою значущістю. Експертам пропонується розташувати ризики у порядку їхньої важливості, привласнюючи відповідний ранг відповідно до кількості ризиків. В результаті формується оцінка шляхом підсумовування рангів, виставлених усіма експертами.

Для математичної перевірки узгодженості думок експертів використовується коефіцієнт конкордації Кендела [25].

Метод Делфі забезпечує анонімне опитування експертів у декілька етапів з метою досягнення консенсусу та мінімізації впливу суб'єктивних факторів та авторитетів [26].

У контексті ініціації проєкту цей метод застосовується для оцінки майбутнього попиту на продукт або послугу, визначення технологічних тенденцій, прогнозування ризиків розробки або оцінки доцільності інвестування.

Недоліками методу Делфі є значні витрати часу на проведення кількох раундів опитування, а також залежність результатів від правильного добору експертів [27].

Окрім того, використовується метод аналізу ієрархій (АНР), який дозволяє декомпонувати проблему вибору проєкту на складники, виконати їх попарне порівняння та визначити вагові коефіцієнти кожного критерію [27].

У процесі ініціації метод аналізу ієрархій дозволяє порівняти альтернативні напрямки розвитку проєкту з урахуванням таких критеріїв, як очікувана прибутковість, технічна складність, ризик реалізації тощо.

Однак розрахунки при великій кількості критеріїв і альтернатив можуть бути доволі трудомісткими [28].

Як один з методів експертно-аналітичної групи застосовується метод SWOT-аналізу, що дозволяє комплексно оцінити сильні та слабкі сторони проєкту, а також зовнішні можливості та загрози [29].

Результати SWOT-аналізу зазвичай оформлюються у вигляді матриці, що дозволяє систематизувати отриману інформацію та сформулювати стратегічні рекомендації щодо розвитку ІТ-проєкту. Проте існує проблема виділення чітких кількісних критеріїв для вимірювання факторів.

У сфері ІТ виділяють окрему групу параметричних та функціональних методів оцінювання, які дозволяють врахувати інженерну та архітектурну особливості розробки ІТ-продуктів.

В рамках цієї групи методів використовуються:

- аналіз сукупної вартості володіння (TCO) [30];
- аналіз функціональних точок (FPA) [31];
- модифіковані моделі типу COCOMO II (Constructive Cost Model) [32].

TCO дозволяє вийти за межі оцінювання тільки первинних інвестицій та врахувати також приховані витрати на подальшу підтримку, ліцензування та модернізацію специфічного обладнання та інфраструктури [30].

Окрім того, FPA дозволяє об'єктивно та кількісно оцінити розмір майбутньої системи на основі логічних описів функцій, незалежно від обраних мови програмування та стека технологій [31].

Для розроблюваних продуктів з високою алгоритмічною складністю доцільно використати модифіковані моделі типу COCOMO II, які на ранніх етапах проєкту дозволяють, виходячи з технічних параметрів та очікуваного обсягу коду, оцінити загальні трудовитрати у людино-місяцях з урахуванням кваліфікації ІТ-команди та наявних ризиків [32].

Специфіка застосування наведених методів суттєво змінюється залежно від типу та тривалості проєкту [33]. У короткострокових проєктах (менше 1 року) доцільніше використати методи швидкої оцінки, такі як Story Points або

Agile Estimation [34], де пріоритетом є швидкість випуску на ринок, а показник РР має вирішальне значення.

У довгострокових та масштабних проєктах (3 роки і більше) ключову роль відіграють дисконтовані показники, такі як NPV та IRR, а також методи глибокого аналізу TCO, оскільки витрати на експлуатацію протягом 5-10 років можуть у кілька разів перевищувати вартість самої розробки.

Також може використовуватись метод реальних опціонів (ROA), що дозволяє оцінити вартість управлінської гнучкості: можливості масштабування, призупинення або зміни вектора розвитку технології залежно від ринкових умов [35].

Для середньострокових проєктів (2-3 роки) доцільним буде використання методів з розрахунком параметру NPV (див. формулу (1.1)) та параметру IRR (див. формулу (1.2)) для забезпечення фінансової стійкості та технічної реалізованості. Ці методи дозволяють нівелювати вплив інфляційних процесів та вартості капіталу, оскільки основні інвестиції припадають на перші квартали, а позитивний грошовий потік очікується ближче до завершення розробки.

Методи Делфі і SWOT-аналіз дозволять ідентифікувати ризики, що будуть безпосередньо впливати на фінансовий результат, але які не завжди можливо вирахувати кількісно.

Наведені методи та моделі базуються на використанні статистичних показників, що дозволяють узагальнювати, систематизувати та інтерпретувати емпіричні дані. До таких показників належать [36]: середнє арифметичне; медіана; мода; діапазон значень.

Одним з найпростіших статистичних показників є використання середнього арифметичного [37]. Його мета полягає у визначенні середнього значення показника на основі даних попередніх проєктів, якщо такі були, або експертних оцінок. Якщо відомі значення тривалості або вартості, то середнє арифметичне обчислюється за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.7)$$

де x_i – відомі значення;

n – кількість спостережень або подібних ІТ-проектів.

Медіана – це значення, яке розташоване посередині впорядкованої вибірки незалежно від екстремальних значень та визначається за формулою:

$$Me = x_{Me} + \frac{h \left(\frac{\sum m_x}{2} - m_x^{\max} \right)}{m_m}, \quad (1.8)$$

де x_{Me} – початок медіанного інтервалу;

h – ширина інтервалу;

m_x – середина вибірки;

$m_x^{\max}$ – частота, накопичена на початок медіанного класу;

m_m – об'єм медіанного інтервалу.

Визначення моди – це пошук значення, яке найчастіше зустрічається у вибірці [37].

Також для оцінювання ІТ-проекту використовується розрахунок діапазону, який дозволяє оцінити варіацію значень у вибірці [38]. Для попереднього аналізу невизначеності цей метод дозволяє визначити межі тривалості або вартості проекту та використовує формулу:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (1.9)$$

де $x_{\max}$, $x_{\min}$ – найбільше та найменше значення у вибірці відповідно.

З метою визначення особливостей застосування економіко-математичних та експертно-аналітичних методів під час оцінювання

ІТ-проектів на етапі ініціації було проведено аналіз та порівняння цих груп методів. Для виконання порівняльного аналізу було виділено такі параметри:

- мета застосування;
- джерело вихідних даних;
- рівень формалізації методу;
- вимоги до обсягу статистичних даних;
- можливість використання в умовах невизначеності;
- адаптивність до специфіки ІТ-проєкту;
- складність застосування.

Результати порівняльного аналізу груп методів оцінювання ІТ-проєкту на етапі ініціації за визначеними параметрами представлені в таблиці 1.2.

1.3 Постановка задачі дослідження

Метою даного дослідження є аналіз та вдосконалення методів оцінювання та вибору альтернатив під час ініціації складних ІТ-проєктів, спрямованих на розробку та впровадження ІС, основною задачею яких є збір, облік, інтеграція та аналіз даних. Середовищем, яке взято як приклад для проведення апробації отриманих результатів, виступає мережа сервісних центрів з ремонту технічних приладів, для якої розробляється ІС обліку та аналізу даних про несправності електронної техніки.

Однак проблематика даного дослідження є ширшою, подібні ІС використовуються в багатьох сферах бізнесу та промисловості, де генеруються великі потоки інформаційних даних, що потребують обробки. До таких предметних областей відносяться сервісні служби технічної підтримки, центри обслуговування клієнтів телекомунікаційних компаній, транспортно-логічних систем, відділи контролю підприємств тощо.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз груп методів оцінювання ІТ-проєкту на стадії ініціації за визначеними параметрами

Параметр порівняння	Економіко-математична група методів	Методи імітаційного прогнозування	Мережеві методи прогнозування	Ігрові методи і моделі	Експертно-аналітична група методів
1	2	3	4	5	6
Мета застосування	Розрахунок кількісних показників фінансової ефективності та термінів проєкту	Моделювання різних сценаріїв розвитку проєкту	Планування структури проєкту, визначення послідовності виконання робіт і прогнозування строків виконання	Аналіз стратегічних взаємодій між учасниками ринку або проєкту та вибір оптимальної стратегії поведінки	Якісна оцінка стратегічних переваг, ризиків та пріоритетності проєкту
Джерело вихідних даних	Статистичні дані, історичні показники попередніх проєктів або ринкові ціни/тривалість	Ймовірнісні розподіли параметрів, статистичні дані або припущення	Дані про тривалість робіт, ресурси, технологічні залежності між етапами	Інформація про стратегії учасників, їхні можливі дії, виграші та втрати	Знання, досвід та судження експертів
Рівень формалізації методу	Високий рівень формалізації, використання математичних формул і моделей	Високий рівень, використання математичних моделей та комп'ютерного моделювання	Середній або високий рівень, застосування графічних мережевих моделей і алгоритмів розрахунку	Високий рівень, застосування математичних моделей стратегічної взаємодії	Низький або середній рівень, часто використовуються якісні оцінки, існує ризик упередженості та суб'єктивізму
Вимоги до обсягу статистичних даних	Потребують достатнього обсягу достовірних даних	Необхідно мати статистичні дані для визначення розподілів змінних	Потребують інформації про тривалість і взаємозалежності робіт	Потребують інформації про можливі стратегії та результати взаємодії учасників	Можуть бути застосовані за відсутності статистичної інформації

Кінець таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6
Можливість використання в умовах невизначеності	Обмежене використання у випадку відсутності достовірних даних	Висока ефективність у ситуаціях ризику та невизначеності, оскільки дозволяють аналізувати різні сценарії	Дозволяють врахувати варіативність тривалості робіт, але менш ефективні для складних ризикових сценаріїв	Дозволяють аналізувати поведінку суб'єктів у конкурентному або конфліктному середовищі	Ефективні на ранніх етапах проєкту, коли інформація є неповною
Адаптивність до специфіки ІТ-проєкту	Обмеженість у адаптивності до специфічних факторів, таких як масштабованість архітектури, рівень користувацького досвіду тощо	Дозволяють моделювати продуктивність системи, навантаження, ризику затримок і зміни вимог	Ефективні для планування етапів розробки програмного забезпечення та управління строками спринтів або релізів	Дозволяють аналізувати конкурентні стратегії ІТ-компаній, поведінку користувачів або взаємодію учасників ринку	Дозволяють доволі точно оцінити технологічну новизну, життєздатність системної архітектури та потенційну інтеграційну здатність продукту
Складність застосування	Середній або високий рівень складності, потребують знання економіко-математичних методів і фінансових розрахунків	Високий рівень складності, потребують спеціалізованого ПЗ та навичок статистичного моделювання	Середній рівень складності, потребують побудови мережесхем і розрахунку критичного шляху	Високий рівень складності, потребують математичного апарату теорії ігор та моделювання стратегій	Низький або середній рівень складності, основне – організувати експертне опитування та інтерпретувати результати

Проведений аналіз існуючих методів оцінювання ІТ-проектів показав, що вони орієнтовані на оцінку лише окремих аспектів ІТ-проекту. Отже, жоден із досліджених методів не дає повної та об'єктивної оцінки проекту.

Це зумовлює необхідність розробки комбінованого методу, спрямованого на оцінювання ІТ-проекту для визначення його ефективності та релевантності реалізації.

Об'єктом дослідження виступають процеси оцінювання, порівняння та виявлення найбільш ефективного варіанта ІТ-проекту, призначеного для розробки та впровадження ІС. Процеси розглядаються на стадії ініціації життєвого циклу проекту. Предметом дослідження є методи оцінювання ефективності альтернативних підходів до реалізації ІТ-проекту з розробки та впровадження ІС на стадії ініціації проекту.

Метою даної роботи є розробка, наукове обґрунтування та практична апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту задля підвищення якості та об'єктивності прийняття управлінських рішень на стадії ініціації проекту.

Для дослідження й розв'язання визначеної проблеми було виділено такі задачі для вирішення:

- провести аналіз теоретичних та методологічних основ управління проектами, існуючих стандартів та методів проектного оцінювання на стадії ініціації ІТ-проектів;
- розробити комбінований метод оцінювання ІТ-проекту на стадії ініціації проекту;
- визначити особливості застосування розробленого комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту на стадії ініціації проекту;
- провести експериментальну перевірку (апробацію) розробленого методу, аналіз отриманих результатів, інтерпретацію даних та формування рекомендацій щодо вибору ефективного підходу до реалізації методу оцінювання ІТ-проекту на стадії ініціації.

2 РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ НА СТАДІЇ ІНІЦІАЦІЇ

Для управління ІТ-проєктом з розробки та впровадження ІС, використовуючи результати аналізу, які наведені в таблиці 1.1 «Порівняння стандартів управління проєктами на основі ключових параметрів на стадії ініціації», запропоновано використовувати положення стандарту PMBOK7 [4] при вирішенні задачі розробки методу оцінювання ІТ-проєктів на стадії ініціації.

Цей стандарт представляє такі ключові принципи та вимоги до ефективного управління проєктами на стадії ініціації:

- постійне фокусування на створенні цінності в довгостроковому періоді;
- взаємодія зі стейкхолдерами;
- здатність ефективно управляти проєктом в умовах складності та невизначеності вимог.

Застосування описаних принципів є релевантним для класу ІТ-проєктів, які характеризуються динамічністю вимог, складністю реалізації та можуть мати тривалий життєвий цикл. Такі проєкти повинні мати довгострокову цінність розроблюваного продукту та можливість адаптації до постійного розвитку сфери застосування результату проєкту.

Для забезпечення виконання наведених вище принципів PMBOK та гарантованої окупності інвестицій важливим є проведення багатостороннього та ефективного оцінювання ІТ-проєкту на самому початку реалізації проєкту – стадії ініціації. Згідно з положеннями стандарту PMBOK, процес оцінювання полягає у кількісному вимірюванні ключових змінних проєкту [4], а саме: вартості, необхідних ресурсів; трудовитрат; загальної тривалості.

На стадії ініціації через брак вихідної інформації, необхідної для реалізації проєкту, початкові оцінки є найбільш неточними, однак вони можуть змінюватись в процесі реалізації проєкту.

Визначені на стадії ініціації оцінки характеризуються широким діапазоном, нижчою влучністю та впевненістю. Діапазон оцінок зменшується із часом виконання проєкту завдяки наданню детальнішої інформації про обсяг проєкту, стейкхолдерів, уточнення вимог тощо.

Влучність характеризується точністю оцінки, значення влучності корелює із значенням діапазону таким чином, що чим менший діапазон, тим більша влучність. Приклад залежності діапазону оцінок від часу наведений на рисунку 2.1 [4].

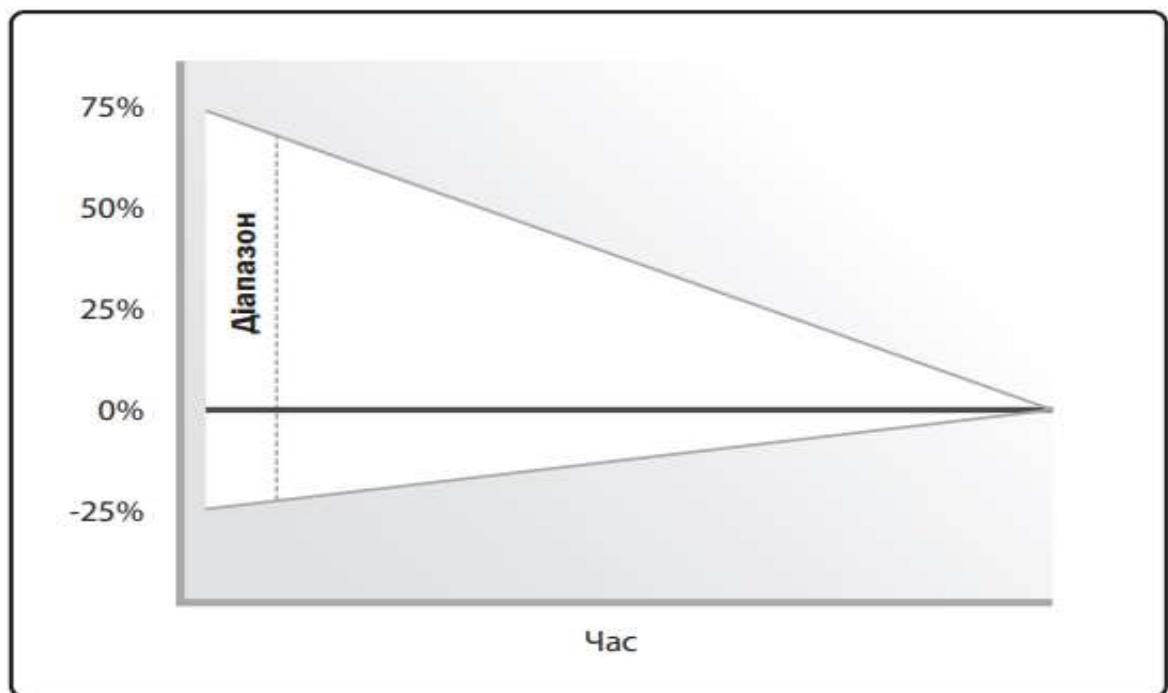


Рисунок 2.1 – Залежність діапазону оцінок від часу [4]

Для ефективного управління проєктом в умовах високої невизначеності доцільно спиратись не тільки на детерміновані (точкові) оцінки, а використовувати ймовірнісні. Формування ймовірнісних оцінок потребує

застосування імітаційних методів, які дозволяють математично моделювати різні сценарії розвитку подій та визначати ймовірність досягнення конкретних показників ефективності проєкту.

Окрім того, необхідно обов'язково проводити коригування оцінок на невизначеність, адже попередньо розраховані оцінки є невизначеними, і це призводить до виникнення проєктних ризиків. Коригування оцінок проводиться задля мінімізації таких ризиків, як: недосягнення очікуваних результатів у визначені дати, перевитрати бюджету тощо

Початкові показники необхідно переглядати упродовж виконання проєкту.

Оскільки проаналізовані в першому розділі методи окремо виявились недостатніми для повного, всебічного оцінювання проєкту, було запропоновано об'єднати і комбінувати деякі з розглянутих методів для:

- оцінювання вимог стейкхолдерів,
- оцінювання технологічної складності продукту, який розробляється;
- оцінювання та врахування ризиків.

Таким чином, формується комбінований метод оцінювання, який базується на поетапній інтеграції декількох груп методів, кожний з яких доповнює попередні.

Перша група методів об'єднує експертно-аналітичні методи, зокрема метод бальних оцінок [16] і метод ранжування, а також, метод Делфі та ієрархічний аналіз [26-28].

Ця група методів використовується для визначення ключових факторів впливу та оцінювання їх відносної вагомості.

Під факторами впливу розглядається сукупність організаційних чинників, технічних параметрів та чинників, що впливають на успішність та вартість проєкту.

Залучені для проведення досліджень експерти є представниками організації-замовника та фахівцями ІТ-сфери (ІТ-архітектори, аналітики

даних тощо). Такий склад експертної групи дозволяє врахувати вимоги, надані від розробників та всіх майбутніх користувачів.

Основним результатом застосування першої групи методів є така структурована ієрархічна система критеріїв оцінювання та їх вагових коефіцієнтів:

- технічна складність інтеграції;
- якість даних;
- рівень невизначеності вимог;
- ризики безпеки;
- масштабованість тощо.

Експертні оцінки дозволяють врахувати неформалізовані знання та досвід, які складно отримати з формальних моделей, однак вони є доволі суб'єктивними та залежать від складу експертної групи.

Друга група методів включає економіко-математичні методи для кількісного оцінювання проєкту на попередній стадії проєкту. В цю групу об'єднуються такі методи, які засновані на розрахункових моделях:

- приведеної вартості NPV (формула (1.2));
- внутрішньої норми прибутковості IRR (формула (1.3));
- періоду окупності PP для оцінювання вартості життєвого циклу проєкту (формула (1.5)) [17-20].

Однак використання виключно економіко-математичних методів є обмеженим через складність точного прогнозування витрат на інтеграцію розподілених даних, оцінювання якості даних та визначення майбутніх вигод від отриманих аналітичних результатів.

Для максимального уникнення наведених вище обмежень пропонується інтегрувати третю групу методів – методи імітаційного моделювання, зокрема метод Монте-Карло, що дозволяє врахувати невизначеність ключових параметрів проєкту [21; 22]. Цей метод дозволяє сформувати ймовірнісні розподіли для таких змінних:

- тривалість інтеграційних робіт;
- рівень якості даних;
- обсяг необхідних доопрацювань;
- витрати на підтримку та розвиток системи.

Завдяки моделюванню сценаріїв може бути отримана інтервальна оцінка вартості, термінів та ризиків проєкту, що значно підвищує обґрунтованість рішень на стадії ініціації. Окрім того, імітаційні моделі можуть враховувати залежність між параметрами, що є критично важливим у складних системах з розподіленими даними.

У таблиці 2.1 наведено основні групи методів, інтегрованих у комбінований метод оцінювання проєкту на стадії ініціації.

Таблиця 2.1 – Основні групи методів, інтегрованих у комбінований метод оцінювання проєкту на стадії ініціації

Група методів	Основні методи та показники, інтегровані у комбінований метод	Результати використання методів
Експертно-аналітичні методи	Метод бальних оцінок	Множина ключових факторів впливу (організаційних, технічних, операційних) з розрахованою відносною вагомістю
	Метод ранжування	
	Метод Делфі	
	Ієрархічний аналіз	
Економіко-математичні методи	Чиста приведена вартість NPV	Кількісна оцінка вартості життєвого циклу ІТ-проєкту та прогнозована оцінка економічної ефективності
	Внутрішня норма прибутковості IRR	
	Період окупності PP	
Методи імітаційного моделювання	Метод Монте-Карло	Розрахована інтервальна оцінка вартості, термінів та ризиків ІТ-проєкту з врахуванням невизначеності

Комбінування зазначених груп методів дозволяє поєднати результати експертно-аналітичного оцінювання, що використовується для формування структури моделі та визначення вагових коефіцієнтів, з економіко-математичними методами, що забезпечують базову кількісну оцінку ефективності, а також з імітаційним моделюванням, яке дозволяє інтегрувати

різні показники (економічні, технічні, організаційні) в єдину узагальнену оцінку проєкту.

На рисунку 2.2 представлена схема взаємодії груп методів за комбінованим методом оцінювання ІТ-проєктів.



Рисунок 2.2 – Схема взаємодії груп методів за комбінованим методом оцінювання ІТ-проєктів

Таким чином, запропонований комбінований метод оцінювання ІТ-проєкту на етапі ініціації повинен забезпечувати комплексне врахування особливостей проєкту з розробки та впровадження ІС.

Запропонований комбінований метод оцінювання ІТ-проєкту поєднує якісні та кількісні підходи, а також дозволяє працювати в умовах невизначеності та багатокритеріальності вимог. Це, в свою чергу, дозволяє значно підвищити точність оцінювання складних інтеграційних ІТ-проєктів.

3 ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ІТ-ПРОЄКТІВ НА СТАДІЇ ІНІЦІАЦІЇ

3.1 Опис послідовності використання комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів з розробки та впровадження інформаційних систем

Комбінований метод оцінювання ІТ-проекту з розробки та впровадження ІС, запропонований в другому розділі, доцільно застосовувати відповідно до запропонованої послідовності етапів, що забезпечує системне врахування технічних та економічних факторів.

На рисунку 3.1 наведена послідовність виконання комбінованого методу, яка відображає логічне поєднання експертно-аналітичних, економіко-математичних та імітаційних підходів, а також передбачає поетапний перехід від якісних метрик до кількісних, дозволяючи сформулювати обґрунтування управлінських рішень, прийнятих в умовах невизначеності.

Реалізація методу відбувається за наступними етапами:

- використання експертного оцінювання для формування початкового бачення проекту та ідентифікації ключових факторів впливу (етап 1);
- визначення та структуризація критеріїв оцінювання з урахуванням специфіки інтеграції розподілених даних (етап 2);
- застосування методів ієрархічного аналізу та методу Делфі для встановлення вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання проекту (етап 3);
- побудова економіко-математичної моделі оцінювання проекту (етап 4);
- формування імовірнісних характеристик ключових параметрів оцінювання проекту (етап 5);
- проведення імітаційного моделювання для отримання інтервальних оцінок ефективності реалізації проекту (етап 6);



Рисунок 3.1 – Послідовність виконання етапів комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту з розробки та впровадження ІС

- інтеграція результатів, отриманих на попередніх етапах (етап 7);
- визначення узагальненої оцінки проєкту на стадії ініціації та підготовка рекомендацій щодо його реалізації (етап 8).

Перший етап передбачає використання експертного оцінювання для формування початкового бачення проєкту та ідентифікації ключових факторів впливу на успішність проєкту. На цьому етапі здійснюється збір та узагальнення знань фахівців з різних предметних областей, таких як: представники організації-замовника, ІТ-архітектори, аналітики даних тощо.

Основною метою етапу є виявлення критичних факторів, що визначають складність і специфіку проєкту, наприклад:

- неоднорідність джерел даних;
- проблеми інтеграції даних;
- рівень автоматизації процесів обробки інформації;
- вимоги до безпеки та масштабованості.

Результатом цього етапу є перелік факторів впливу, на базі яких формується основа проєкту для подальшого оцінювання.

Другий етап полягає у визначенні та структуризації критеріїв оцінювання з урахуванням специфіки проєкту. Ідентифіковані фактори впливу перетворюються у формалізовану систему критеріїв, яка може мати ієрархічну структуру. Критерії групуються за основними напрямками, такими як: технічні (складність інтеграції), архітектурні рішення, ризикові (невизначеність вимог), якість даних.

Така структуризація забезпечує системність подальшого аналізу та дозволяє врахувати багатокритеріальний характер оцінювання.

На третьому етапі застосовуються методи ієрархічного аналізу.

Експерти здійснюють порівняння критеріїв, що дозволяє визначити їх відносну важливість у загальній оцінці проєкту. Метод Делфі забезпечує узгодження думок експертів шляхом проведення декількох раундів

оцінювання з наданням зворотного зв'язку [26]. У результаті формується узгоджена система ваг, яка відображає пріоритетність різних сторін проєкту.

Четвертий етап передбачає побудову економіко-математичної моделі оцінювання проєкту. На цьому етапі здійснюється кількісне оцінювання витрат і вигод, пов'язаних з реалізацією проєкту. Для кількісного оцінювання використовуються такі показники інвестиційного аналізу [17]-[20]:

- чиста приведена вартість NPV (формула (1.2));
- внутрішня норма прибутковості IRR (формула (1.3));
- строк (період) окупності PP (формула (1.5)).

Також оцінюється вартість життєвого циклу проєкту. Додатково враховується можливість гнучко управляти проєктом, що дозволяє адаптувати проєкт до зовнішніх змін середовища.

На основі експертних оцінок визначаються потенційні ризики, що можуть впливати на досягнення цілей проєкту. До потенційних ризиків належать такі ризики, що пов'язані з:

- якістю даних;
- складністю інтеграції;
- змінами вимог;
- технічними обмеженнями;
- організаційними факторами.

Кожний ризик оцінюється за ймовірністю його настання та величиною впливу на проєкт, що дозволяє визначити їх пріоритетність.

П'ятий етап передбачає формування імовірнісних характеристик ключових параметрів проєкту. Для змінних, значення яких не можуть бути визначені точно, задаються розподіли ймовірностей. Наприклад, тривалість виконання етапів робіт, витрати на інтеграцію даних, обсяг необхідних доопрацювань, рівень якості даних.

Шостим етапом є проведення імітаційного моделювання з використанням методу Монте-Карло [21; 22]. На основі сформованих

ймовірнісних параметрів здійснюється багаторазове моделювання можливих сценаріїв розвитку проєкту.

Це, в свою чергу, дозволяє отримати розподіли значень ключових показників, таких як вартість тривалості реалізації та рівень ризику. Такий підхід формує інтервальну оцінку ключових параметрів з урахуванням невизначеності.

Сьомий етап передбачає інтеграцію результатів за допомогою методів багатокритеріального прийняття рішень, тобто здійснюється узагальнення отриманих показників з урахуванням їх вагових коефіцієнтів.

Восьмий етап включає аналіз отриманих результатів. На цьому етапі здійснюється інтерпретація результатів моделювання, визначаються найбільш ймовірні сценарії реалізації проєкту, а також виявляються критичні фактори, що мають найбільший вплив на результати. Особлива увага приділяється аналізу, який дозволяє оцінити, як зміна окремих параметрів впливає на загальну ефективність проєкту.

На основі отриманих оцінок обґрунтовується доцільність реалізації проєкту, визначається оптимальний сценарій його впровадження, а також розробляються заходи з управління ризиками.

Результати цього етапу використовуються для прийняття стратегічних рішень щодо запуску, модифікації або відхилення проєкту.

3.2 Особливості використання експертного оцінювання в межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проєктів з розробки ІС на стадії ініціації

На початковому етапі оцінювання ІТ-проєктів одним з найважливіших інструментів є використання експертного оцінювання. На цьому етапі

формується концептуальне бачення проєкту, визначаються його ключові характеристики та закладається основа для подальшого кількісного аналізу.

Оскільки сучасні підходи до експертного оцінювання ґрунтуються на методах структурного збору знань, серед яких метод Делфі та ієрархічний аналіз, які дозволяють інтегрувати суб'єктивні судження у формалізовані моделі прийняття рішень, саме вони і використовуються в даному методі [26-28].

На першому кроці цього етапу необхідно знайти та відібрати експертів. Експерт повинен володіти знаннями у предметній області, а також формалізувати власні судження в умовах невизначеності.

Відбір експертів відбувається за формалізованою процедурою з використанням коефіцієнту компетентності, що визначається за формулою:

$$k_i = \frac{1}{2} (k_{зн,i} + k_{обгр,i}), \quad (3.1)$$

де k_i – коефіцієнту компетентності i -го експерта;

$k_{зн,i}$ – коефіцієнт рівня знань (самооцінка за шкалою від 0 до 1);

$k_{обгр,i}$ – коефіцієнт обґрунтованості суджень.

Коефіцієнт рівня знань $k_{зн,i}$ – це самооцінка експерта (за шкалою від 0 до 1), яка визначається самим експертом, базуючись на обізнаності в предметній області.

Кожний експерт визначає оцінку за шкалою, наведеною в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Шкала для оцінювання особистого рівня знань експерта

Рівень знань	Оцінка рівня знань (інтервальна)
Дуже низький	0-0,2
Низький	0,2-0,4
Середній	0,4-0,6
Високий	0,6-0,8
Дуже високий	0,8-1,0

Оскільки коефіцієнт рівня знань $k_{зн,i}$ є доволі суб'єктивним, додатково проводиться анкетування кожного експерта для оцінювання рівня знань з конкретної предметної області.

Коефіцієнт обґрунтованості суджень $k_{обгр,i}$ визначається з урахуванням досвіду експерта та рівня його професійної підготовки (освіта, сертифікації, проходження спеціалізованих тренінгів тощо).

Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$k_{обгр,i} = a_1 \times k_{досв,i} + a_2 \times k_{проф,i}, \quad (3.2)$$

де $k_{обгр,i}$ – коефіцієнту обґрунтованості суджень і-го експерта;

$k_{досв,i}$ – оцінка досвіду і-го експерта;

$k_{проф,i}$ – оцінка професійної підготовки і-го експерта;

a_1, a_2 – ваги кожної оцінки за значущістю, які в сумі дають 1.

Оцінка досвіду кожного експерта визначається відповідно до його стажу у відповідній предметній області за шкалою, яка надається в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Шкала оцінювання стажу роботи експерта

Стаж роботи	$k_{досв}$
< 1 року	0,1
1-3 роки	0,3
3-5 років	0,5
5-10 років	0,7
> 10 років	0,9-1,0

Оцінка професійної підготовки визначається за бальною системою, яка наведена в таблиці 3.3, та враховує рівень освіти, наявність сертифікацій і проходження спеціалізованих курсів або тренінгів.

Після визначення балів їхня сума ділиться на 10.

Таблиця 3.3 – Бальна система оцінювання професійної підготовки експерта

Рівень підготовки експерта	Бали
Профільна освіта	0-3
Сертифікати	0-3
Курси або тренінги	0-2

Інтерпретувати результати пропонується за таблицею 3.4.

Таблиця 3.4 – Визначення рівня компетентності експерта відповідно до коефіцієнту компетентності

Значення коефіцієнту компетентності i -го експерта (k_i)	Рівень компетентності
$< 0,5$	Низький
$0,5-0,7$	Середній
$0,7-0,9$	Високий
$> 0,9$	Дуже високий

До експертної групи включатимуться особи, які мають високий рівень компетентності ($k_i \geq 0,7$).

При виконанні розробки та впровадження ІС група експертів може складатися з деяких визначених категорій експертів, наведених в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Склад групи експертів для ІТ-проєкту з розробки ІС

Категорія експерта	Кількість експертів	Роль
ІТ-архітектор	2-3	Оцінювання інтеграції системи
Аналітик даних	2	Оцінювання якості та структури даних
Працівник (фахівець організації-замовника)	3-5	Приведення інформації про реальні процеси роботи організації-замовника, висунення вимог до ІС
Представник стейкхолдерів	5-7	Висунення вимог до ІС
Фахівець з безпеки	1	Аналіз ризиків доступу до інформації в ІС

Після формування експертної групи наступним кроком є організація процесу взаємодії між експертами при проведенні оцінювання.

Наразі виділяють три підходи для організації процесу взаємодії:

- індивідуальне оцінювання;
- групове обговорення;
- комбінований підхід.

Найбільш ефективним вважається комбінований підхід, який поєднує індивідуальні оцінки з подальшим узгодженням у групі, що дозволяє мінімізувати вплив окремих учасників і досягти консенсусу [39].

Метод Делфі є одним з найбільш поширених інструментів реалізації комбінованого підходу, оскільки він забезпечує анонімність відповідей, ітеративність опитування та контрольований зворотний зв'язок, що сприяє підвищенню об'єктивності результатів [26].

На наступному кроці визначається інструментарій опитування, зокрема проводиться формування переліку запитань. Запитання повинні бути спрямовані на виявлення ключових характеристик проєкту та факторів, що впливають на його реалізацію.

Можуть бути використані напівструктуровані анкети, які поєднують відкриті та закриті запитання [40]. Пропонується виділити такі загальні групи запитань:

- запитання щодо технічної складності (рівень неоднорідності даних, складність інтеграції, необхідність трансформації даних);
- запитання щодо організаційних аспектів (кількість стейкхолдерів, рівень узгодженості вимог);
- запитання щодо якості даних (повнота, достовірність, стандартизація);
- запитання щодо ризиків (технічні, фінансові, безпекові);
- запитання щодо масштабованості та гнучкості системи.

Анкети є адаптованими до специфіки ІТ-проєкту. В процесі розробки та впровадження ІС запитання можуть бути змінені або додані особою, відповідальною за вибір і формування експертної групи.

Запропоновані запитання мають бути однозначними, з відсутньою двозначністю та можливістю кількісної інтерпретації відповідей, що дозволить в подальшому використати математичні методи для аналізу відповідей.

Анкета складається з трьох блоків:

- блок 1 (відкриті запитання);
- блок 2 (закриті запитання з можливістю обрати оцінку за шкалою Лайкерта);
- блок 3 (оцінка ймовірності впливу для ризиків).

Варіанти оцінок закритих запитань з можливістю обрати оцінку за шкалою Лайкерта наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Варіанти оцінок закритих запитань за шкалою Лайкерта [41]

Оцінка	Значення
1	Категорично не згоден
2	Не згоден
3	Нейтрально
4	Згоден
5	Повністю згоден

Опитування може бути реалізоване з використанням таких цифрових інструментів:

- Google Forms (для збору відповідей [42]);
- Excel або Python (для обробки відповідей [43; 44]);
- Power BI або Tableau (для візуалізації результатів [45; 46]).

Наступним кроком є безпосереднє проведення експертного опитування та обробка результатів.

На цьому кроці може бути використаний метод Делфі, за яким процес відбувається за декілька раундів:

- первинний збір думок;
- аналіз результатів;

- надання узагальненого зворотного зв'язку експертам;
- повторне оцінювання для досягнення консенсусу.

Для проведення подальшого ранжування та агрегування експертних оцінок можна застосувати прості (універсальні) статистичні методи або провести попарне порівняння критеріїв.

Такий підхід дозволяє визначити відносну важливість факторів, а також перевірити узгодженість суджень експертів, розраховуючи коефіцієнт конкордації Кендела W за формулою [47]:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (3.3)$$

де n – кількість факторів;

m – кількість експертів;

d_j – відхилення суми рангів від середньої суми;

T_i – результат проміжних розрахунків.

Відхилення суми рангів d_j від середньої суми можна розрахувати за формулою:

$$d_j = S_j - \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n}, \quad (3.4)$$

де S_j – сума рангів.

В свою чергу, сума рангів (загальна сума балів) факторів S_j розраховується за формулою:

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}, \quad (3.5)$$

де m – кількість факторів впливу;

R_{ij} – оцінка (ранг), яку виставив i -й експерт j -му фактору впливу.

Результат проміжних розрахунків T_i визначається за формулою:

$$T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l), \quad (3.6)$$

де L – кількість груп зв'язаних (однакових) рангів;

t_l – кількість зв'язаних рангів в кожній групі.

Якщо значення коефіцієнту конкордації Кендела дорівнює $W < 0,5$, то проводиться другий раунд опитування.

Таким чином, у результаті проведення експертного оцінювання формується система ключових факторів впливу, яка відображає специфіку досліджуваного ІТ-проєкту.

До цих факторів відносяться:

- складність інтеграції розподілених ІС;
- рівень якості та структурованості вихідних даних;
- ступінь невизначеності вимог;
- кількість стейкхолдерів;
- вимоги до інформаційної безпеки;
- масштабованість та адаптивність ІС;
- рівень технологічної новизни;
- доступність ресурсів та компетенцій.

Дані фактори, в свою чергу, впливають на визначення формалізованих критеріїв оцінювання та використовуються в наступних кроках комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту з розробки та впровадження ІС.

3.3 Особливості використання економіко-математичної моделі оцінювання ІТ-проектів

У межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту розробки та впровадження ІС економіко-математична модель виконує функцію формалізації витрат та вигод, а також забезпечує кількісне обґрунтування доцільності реалізації проекту. Економіко-математична модель формується на основі результатів попереднього етапу комбінованого методу – експертного оцінювання, на визначених факторах впливу та їх вагових коефіцієнтів.

Це дозволяє врахувати фінансові, технічні та організаційні параметри ІТ-проекту, а також отримати кількісне обґрунтування ефективності проекту на основі експертних оцінок.

Економіко-математична модель базується на концепції грошових потоків, яка визначає:

- початкові інвестиції I_0 ;
- операційні витрати C_t ;
- вигоди від впровадження ІС, а саме B_t ;
- ставки дисконту r .

Визначення грошового потоку CF_i представлено формулою:

$$CF_i = B_t - C_t. \quad (3.7)$$

Формування початкових інвестицій I_0 включає витрати на основні компоненти проекту, до яких відносяться розробка ПЗ, інтеграція з ІС, підготовка та очищення даних, навчання персоналу та створення інфраструктури (формула (3.7)).

Основними джерелами даних про витрати виступають:

- історичні дані аналогічних ІТ-проектів;

- внутрішні бюджети організації-замовника;
- експертні оцінки.

Початкові інвестиції I_0 розраховуються за формулою:

$$I_0 = C_{\text{ПЗ}} + C_{\text{інтегр}} + C_{\text{дані}} + C_{\text{навч}} + C_{\text{інфра}}, \quad (3.8)$$

де $C_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку ПЗ;

$C_{\text{інтегр}}$ – витрати на інтеграцію;

$C_{\text{дані}}$ – витрати на підготовку даних;

$C_{\text{навч}}$ – навчання персоналу;

$C_{\text{інфра}}$ – витрати на інфраструктуру.

Операційні витрати C_t , що виникають на етапі експлуатації системи, формуються як сукупність витрат на підтримку, супровід, ліцензування та оплату праці персоналу (формула (3.8)). Визначення операційних витрат базується на аналізі фінансової звітності організації-замовника, а також внутрішніх нормативних документах.

Операційні витрати C_t розраховуються за формулою:

$$C_t = C_{\text{підтр}} + C_{\text{супр}} + C_{\text{ліценз}} + C_{\text{праця}}, \quad (3.9)$$

де $C_{\text{підтр}}$ – витрати на підтримку;

$C_{\text{супр}}$ – витрати на супровід;

$C_{\text{ліценз}}$ – витрати на ліцензування;

$C_{\text{праця}}$ – оплата праці персоналу.

Оцінювання вигод V_t корелює з поставленими вимогами до ІС, вони можуть бути матеріального та нематеріального характеру (формула (3.10)). Джерелами даних для оцінювання виступають показники ефективності

бізнес-процесів, статистика роботи організації-замовника та результати тестових впроваджень.

Очікувані вигоди можуть включати: зниження витрат на ремонт технічних приладів $V_{\text{витати}}$; економія часу при виконанні ремонтів $V_{\text{час}}$; підвищення якості процесів $V_{\text{якість}}$; отримання аналітичної цінності $V_{\text{цінність}}$.

Вигоди від провадження ІС розраховуються за формулою:

$$V_t = V_{\text{витрати}} + V_{\text{час}} + V_{\text{якість}} + V_{\text{цінність}}. \quad (3.10)$$

Для приведення грошових потоків використовується значення ставки дисконту r , яке визначається на основі середньозваженої вартості капіталу (формула (3.10)) [48]. Вихідні параметри формуються на основі фінансової звітності організації-замовника, ринкових ставок кредитування та макроекономічних показників.

Значення ставки дисконту r визначається за формулою:

$$r = r_f + \sum_{n=1} r_n, \quad (3.11)$$

де r_f – безризикова ставка доходу;

r_n – ризикові премії відповідно до факторів ризику;

n – номер фактору ризику.

Для підготовки до імітаційного моделювання ключові параметри моделі розглядаються як величини з відповідними розподілами. Джерелами визначення параметрів розподілів виступають статистичні дані попередніх проєктів та експертні оцінки.

Це забезпечує підвищення достовірності оцінювання та дозволяє адаптувати модель враховуючи особливості ІТ-проєкту.

3.4 Особливості використання імітаційного моделювання в межах комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту

Імітаційне моделювання виконує основну функцію врахування невизначеності та варіативності параметрів проєкту. Найбільш поширеним методом імітаційного моделювання є метод Монте-Карло, який дозволяє моделювання випадкових сценаріїв на основі заданих ймовірнісних розподілів вхідних параметрів [49]. Оскільки ІТ-проєкт з розробки та впровадження ІС характеризується високою невизначеністю витрат на інтеграцію розподілених джерел даних, рівень якості даних, обсяг доопрацювань та складність адаптації бізнес-процесів, імітаційне моделювання дозволить змодельовати інтервальні оцінки параметрів NPV, тривалості реалізації та сукупні витрати. Окрім того, дозволить визначити ймовірності досягнення заданих цільових значень. Основним етапом імітаційного моделювання є визначення ймовірнісних розподілів вхідних параметрів. У межах ІТ-проєкту значення параметрів визначаються на попередніх етапах комбінованого методу оцінювання (експертному оцінюванні та економіко-математичному моделюванні).

Для витрат на інтеграцію даних доцільно використовувати нормальний розподіл, параметри якого визначаються на основі історичних даних аналогічних проєктів. Тривалість робіт виконання може бути змодельована трикутним розподілом, який представлений формулою:

$$f(x, a, m, b) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)(m-a)}, a < x \leq m \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-m)}, m < x \leq b \\ 1, x > b \end{cases}, \quad (3.12)$$

де a – мінімально можливе значення економічного ефекту;

m – найбільш ймовірне значення економічного ефекту;

b – максимально можливе значення економічного ефекту.

Імітаційне моделювання включає такі кроки:

- формування набору випадкових значень вихідних параметрів відповідно до заданих розподілів;
- обчислення грошових потоків і показників ефективності для кожної ітерації;
- збір результатів та побудова емпіричних розподілів;
- статистичний аналіз отриманих результатів.

Практично метод Монте-Карло може бути реалізований із застосуванням:

- Python (бібліотек NumPy, SciPy) [50];
- R мова програмування [51];
- спеціалізованого інструменту Crystal Ball [52].

Однією з переваг імітаційного моделювання є можливість проведення аналізу чутливості, що дозволяє визначити фактори, які мали найбільший вплив на результати проекту.

Окрім того, методи імітаційного моделювання дозволяє використати розподіли ймовірностей, що, в свою чергу, забезпечує більш реалістичне уявлення про можливі результати реалізації ІТ-проекту.

4 АПРОБАЦІЯ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ІТ-ПРОЄКТУ З РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА СТАДІЇ ІНІЦІАЦІЇ

4.1 Опис особливостей, що впливають на оцінку проєкту з розробки інформаційної системи в сервісних центрах

ІТ-проєкт, метою якого є розробка і подальше впровадження ІС аналізу та обліку несправностей технічних пристроїв у сервісні центри, орієнтований на обробку великих обсягів розподілених даних, а також підтримку прийняття рішень у сервісних центрах.

Основною метою даного проєкту є збір даних про відмови, дефекти та експлуатаційні характеристики технічних приладів з подальшою аналітичною обробкою.

Результати функціонування ІС планується використовувати сервісними центрами для оптимізації процесів ремонту та обслуговування, а також фірмами-виробниками технічних пристроїв для аналізу життєвого циклу продукції та оцінювання ринкових тенденцій, планування модернізацій та вдосконалення електронних приладів.

На основі проведеного аналізу вимог та цілей розроблюваної системи, можна виділити такі ключові особливості даного ІТ-проєкту:

- наявність на об'єктах, для яких розробляється ІС, розподілених джерел даних та потреба в їхній інтеграції;
- складність узгодження вимог через наявність різних груп стейкхолдерів;
- динамічний характер предметної області, що вимагає високої гнучкості та масштабованості системи;
- необхідність забезпечення якості даних;

– високі вимоги до інформаційної безпеки та розмежування прав доступу.

Дослідження особливості проєкту з розробки та впровадження ІС показали, що інформація про несправності, яка формується у різних сервісних центрах, може відрізнятися за структурою даних, форматами збереження, рівнем деталізації та якістю даних.

Це зумовлює необхідність аналізувати розподілені джерела даних, реалізувати механізми інтеграції, трансформування та очищення даних, а також створення узгодженої моделі даних у централізованому сховищі.

Водночас при функціонуванні сервісних центрів можуть виникати проблеми дублювання записів, неоднорідності даних, відсутності стандартів кодування дефектів і різного трактування одних і тих самих даних. Це безпосередньо ускладнює оцінювання проєкту на початкових етапах життєвого циклу і подальшу його технічну реалізацію.

В ролі стейкхолдерів в такого виду проєктів також виступають фірми-виробники технічних пристроїв. Їхні експертні оцінки можуть бути використані під час оцінювання проєкту на етапі ініціації. Адже виробники техніки зацікавлені у виявленні системних дефектів, аналізі причин відмов технічних приладів, оцінці надійності компонентів, а також функціональності аналітичних інструментів ІС. Однак, в свою чергу, зростає складність узгодження вимог між різними групами майбутніх користувачів, які можуть мати різні цілі, критерії ефективності та рівень доступу до інформації.

Також однією з особливостей проєктів, які досліджуються, є динамічний характер предметної області, оскільки ринок технічних пристроїв постійно та стрімко змінюється: з'являються нові модифікації, змінюються конструкції, впроваджуються нові технології та матеріали.

Це призводить до постійних змін структури даних про несправності, що також потребує гнучкості ІС та можливості її масштабування та модифікації (за потреби) без значних витрат.

У свою чергу, це ускладнює довгострокове планування архітектури системи та оцінювання її життєвого циклу, особливо на стадії ініціації проєкту.

Окремо, як особливість, можна виділити необхідність забезпечення якості даних, оскільки дані, що надходять із сервісних центрів, можуть містити помилки (логічні або зумовлені людським фактором), бути неповними або вводитися без дотримання уніфікованих стандартів. Це безпосередньо впливатиме на результати аналітичних розрахунків параметрів ІС і, відповідно, на управлінські рішення, що приймаються на основі отриманих результатів.

Отже в ІТ-проєкті необхідно передбачити механізм перевірки, нормалізації та контролю якості даних, що збільшує його складність і впливає на оцінку.

Крім того, важливим є питання забезпечення інформаційної безпеки та розмежування доступів. Дані про несправності можуть містити комерційну, конфіденційну інформацію з боку сервісних центрів, а також фірм-виробників техніки. Це потребує врахування нормативних вимог щодо обробки та захисту інформації й відповідного узгодження архітектурних рішень ІС, що також створює додаткові ризики для визначення точної оцінки на ранніх етапах проєкту.

Таким чином, усі зазначені особливості безпосередньо впливають на процес оцінювання ІТ-проєкту на етапі ініціації.

Адже традиційні методи оцінювання проєкту, що базуються на чітко визначених вимогах, стабільному середовищі та однорідних даних, виявляються недостатньо ефективними в умовах високої невизначеності, багатофакторності та динамічності проєкту.

Пропонується використовувати комбінований метод оцінювання ІТ-проєктів розробки і впровадження ІС для врахування всіх аспектів розроблюваного продукту та проєкту в цілому.

4.2 Аналіз підходів до реалізації IT-проєкту розробки інформаційної системи сервісного центру з ремонту електронної техніки

4.2.1 Під час проведенні дослідження особливостей розробки та впровадження ІС аналізу та обліку несправностей технічних приладів у сервісні центри були розглянуті альтернативні підходи.

Через розподіленість джерел даних, необхідність забезпечення якості аналітичної обробки інформації в умовах постійного розвитку технічних засобів, а також велику кількість різнорідних вимог до ІС від стейкхолдерів різні варіанти реалізації IT-проєкту можуть суттєво відрізнятися за архітектурним рішенням, підходами до обробки, класифікації та оновлення даних.

В даному розділі розглядається два підходи до реалізації ІС, що відрізняються за рівнем автоматизації процесів обробки даних про несправності, зокрема процесів виявлення нових аномалій та формування кластерів та класифікаційних структур.

Перший підхід пропонує попередню кластеризацію та класифікацію даних з подальшим неавтоматизованим (ручним) опрацюванням нових або нетипових випадків (аномалій) отримання даних в системі.

Другий підхід передбачає впровадження механізмів автоматизованого виявлення аномалій і динамічного формування нових кластерів даних.

Для того, щоб оцінити кожний підхід, виділити переваги та недоліки, а також оцінити проєкт з використанням кожного підходу було проведено детальний розгляд та аналіз кожного варіанту реалізації ІС.

4.2.2 Перший підхід до реалізації ІС аналізу та обліку несправностей технічних приладів потребує побудови централізованої аналітичної платформи, яка дозволить виконувати інтеграцію даних з розподілених джерел, використовуючи методи кластеризації та класифікації. В свою чергу,

подальше виявлення нових типів несправностей і усунення аномалій має виконуватись переважно вручну.

На початковому етапі реалізації проєкту за першим підходом основною є інтеграція розподілених даних, що надходять з різних сервісних центрів. Оскільки дані є неоднорідними за форматами, структурою та рівнем деталізації даних, доцільно буде використати підхід ETL (Extract-Transform-Load). Цей підхід дозволить спочатку завантажити дані з локальних баз сервісних центрів, потім трансформувати дані, виконавши нормалізацію, очищення, уніфікацію форматів, після чого завантажити дані до централізованого сховища даних. Окрім того, одночасно будуть вирішені проблеми дублювання записів та різного трактування однакових подій.

В першому підході до реалізації ІС особлива увага приділяється побудові системи класифікації несправностей.

Для цього можуть бути застосовані методи кластерного аналізу, які дозволяють згрупувати подібні випадки несправностей на основі їхніх характеристик [53; 54]. Після виконання кластеризації необхідно виконати класифікацію несправностей з використанням методів машинного навчання, таких як:

- дерево рішень [55];
- метод опорних векторів [55];
- наївний класифікатор Байєса [56].

Використання цих методів дозволять виявити, до якого з вже існуючих класів несправностей можна віднести нові записи. Однак, даний варіант реалізації ІС не передбачає розширення множини класів у випадку нових типів несправностей техніки.

Усі випадки, для яких не буде знайдено відповідний клас, будуть визначатись як аномалії та передаватись для проведення неавтоматизованого аналізу.

Неавтоматизований аналіз аномалій передбачає залучити:

- фахівця з сервісного центру, який проаналізує нові або нетипові записи про несправності, визначить їхню причину, прийме рішення щодо створення нових кластерів несправностей або коригування існуючих;
- IT-фахівця для оновлення довідників та правил класифікації.

Цей підхід передбачає побудову ІС, орієнтовану на знання, де експертні знання використовуються для підтримки стабільної роботи системи [57].

Перший підхід до реалізації передбачає використання класичного сховища даних, побудованого за зіркоподібною або сніжинковою схемою [58; 59], центральним елементом якої є таблиця несправностей техніки, що містить інформацію про безпосередньо несправності (дефекти), а також супутню інформацію: тип пристрою; номер пристрою; виробник; дата; сервісний центр; категорія несправності тощо.

Однією з найважливіших вимог до ІС є забезпечення якості даних для отримання більш достовірних аналітичних результатів. Для першого підходу до реалізації ІС забезпечення якості даних можна здійснювати за рахунок впровадження правил перевірки, очищення даних та контролю їхньої узгодженості на етапі трансформації. Для цього використовуються методи виявлення пропущених значень, перевірка діапазонів, узгодження довідників та стандартизації кодів (видів) несправностей.

Окремо також слід зазначити вимогу до інформаційної безпеки та розмежування доступу.

У межах централізованого сховища даних реалізуються механізми аутентифікації, авторизації та шифрування даних, що дозволить обмежити доступ до конфіденційної інформації відповідно до ролей користувачів [59]. Дана вимога є критичною, оскільки дані мають відношення до фірм-виробників техніки, клієнтів сервісних центрів та безпосередньо сервісних центрів.

З огляду на оцінювання IT-проєкту на стадії ініціації перший підхід до реалізації має відносно низькі витрати на початку проєкту, що пояснюється

тим, що система потребує менше розробки складних алгоритмів автоматичного виділення класів несправностей техніки та самонавчання. Основні витрати пов'язані з побудовою ETL-процесів, створення консолідованого сховища даних та розробкою початкової моделі класифікації [59].

Однак у довгостроковій перспективі витрати на підтримку ІС значно зростуть. Це пов'язано з необхідністю постійного залучення спеціалістів для аналізу нових типів несправностей, оновлення довідників даних, коригування моделей та забезпечення актуальності даних.

Можна виділити ряд переваг першого підходу до реалізації ІС:

- відносно низькі витрати на початковій стадії реалізації системи;
- можливість експертного контролю якості даних та рішень;
- простіша архітектура системи;
- зниження ризиків помилок автоматичних алгоритмів у критичних бізнес-процесах.

Однак у даного підходу є певні недоліки:

- висока залежність від людського фактору та експертних оцінок;
- значні витрати на підтримку та супровід системи у довгостроковій перспективі;
- низька масштабованість у разі стрімкого зростання обсягів даних та кількості нових типів несправностей техніки;
- повільна реакція системи на появу нових аномалій;
- обмежена адаптивність до змін у предметній області.

Отже, перший підхід до реалізації ІС краще використовувати у випадках, коли важливі контрольованість, зрозумілість рішень та обмежені початкові ресурси. Однак цей підхід є складним для виконання вимог масштабованості та автоматизації.

4.2.3 Другий підхід до реалізації ІС аналізу та обліку несправностей технічних приладів пропонує побудувати більш складну архітектуру, яка буде

виконувати автоматизоване видалення аномалій та динамічне формування нових кластерів.

Початковим етапом реалізації ІС є інтеграція даних з розподілених джерел, наступним етапом – обробка початкових даних за допомогою потокової обробки, що дозволить оновлювати аналітичні дані одразу після їх додавання до бази [60].

Особливість другого підходу до реалізації ІС полягає в проведенні процесу класифікації несправностей техніки. Спочатку виконується первинна кластеризація та побудова базової моделі класифікації системи, після цього додаються модулі автоматичного виявлення аномалій. Виконуватись це може за допомогою статистичних методів та алгоритмів машинного навчання, що дозволить виявляти нетипові дані у великих та складних наборах даних.

Процес виявлення аномалій ініціює процес формування нових кластерів несправностей техніки. Для цього можуть використовуватись повторна кластеризація підмножин аномальних даних або інкрементальні алгоритми кластеризації, які оновлюють модель без повного її перенавчання [61].

Важливою вимогою до даної реалізації ІС є наявність механізму зворотного зв'язку з експертами та ІТ-спеціалістами, які в перші місяці експлуатації відповідають за підтвердження виділення нових кластерів та коригування моделей відповідно.

Архітектурне рішення передбачає використання гнучкої інфраструктури, яка включатиме елементи для зберігання вихідних, необроблених даних, та аналітичної платформи для виконання складних аналітичних обчислень. Окрім того, система, яка розроблюється, має бути масштабована за допомогою використання розподілених обчислюваних платформ, що дозволяє обробляти великі обсяги даних та забезпечує високу продуктивність при значному зростанні кількості сервісних центрів та записів про несправності техніки [60].

Задля забезпечення якості даних пропонується використання методів виявлення аномалій у функціонуванні ІС, які дозволять ідентифікувати некоректні записи та збої в роботі сервісних центрів. Для якісної інформаційної безпеки даних мають бути впроваджені такі підходи: шифрування даних, контроль доступу, а також аудит дій користувачів і системних компонентів.

Використання другого підходу до реалізації ІС потребує більших витрат на початковому етапі, оскільки необхідно розробити та інтегрувати складні алгоритми машинного навчання, створення інфраструктури для обробки великих даних та залучення висококваліфікованих фахівців. Окрім того, даний підхід збільшує складність проєктування архітектури системи та її подальшого тестування.

Однак, в довгостроковій перспективі витрати на підтримку ІС знижуються, оскільки виконується автоматизація процесів виявлення нових типів несправностей та формування класифікаційних структур, що зменшує потребу в постійному залученні експертів.

З основних переваг другого підходу до реалізації ІС можна виділити:

- високий рівень автоматизації процесів аналізу та класифікації несправностей техніки, що знижує ризик людських помилок;
- здатність системи до самонавчання та адаптації, до розширення та додавання нових даних;
- підвищена масштабованість та продуктивність при роботі з великими обсягами даних;
- швидке виявлення нових типів несправностей та скорочення часу реакції;
- зниження витрат на підтримку у довгостроковій перспективі.

Однак при використанні другого підходу до реалізації ІС існують певні недоліки:

- значні початкові витрати на розробку та впровадження ІС;

- висока складність архітектури та необхідність використання спеціалізованих технологій;
- потреба у висококваліфікованих кадрах;
- потенційні ризики, пов'язані з некоректною роботою алгоритмів;
- підвищені вимоги до забезпечення інформаційної безпеки.

Таким чином, другий підхід до реалізації ІС підходить для довгострокового використання, забезпечує високу адаптивність та ефективність в умовах динамічного середовища. Однак, використання другого підходу потребує значних ресурсів на впровадження та ретельне планування, що ускладнює процес оцінювання проєкту на ранніх стадіях, але забезпечує суттєві переваги в майбутньому. Порівняльна характеристика двох підходів до реалізації ІС аналізу та обліку несправностей технічних пристроїв наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльна характеристика двох підходів до реалізації ІС аналізу та обліку несправностей технічних пристроїв

Критерій	Перший підхід (неавтоматизоване опрацювання аномалій)	Другий підхід (автоматизоване виявлення аномалій)
1	2	3
Основна ідея	Попередня кластеризація та класифікація з неавтоматизованим оновленням	Класифікація з автоматичним виявленням аномалій і формуванням нових кластерів
Рівень автоматизації	Середній	Високий
Обробка нових несправностей техніки	Виконується експертами неавтоматизованим (ручним) способом	Автоматично виявляються та групуються з подальшою перевіркою
Роль експертів	Ключова, постійна участь	Контрольна, переважно перевірка результатів
Архітектура системи	Класичне (Data Warehouse)	Data Lake та аналітичні платформи
Тип обробки даних	Пакетна	Потокова
Гнучкість системи	Обмежена	Висока
Масштабованість	Середня	Висока
Адаптивність до змін	Низька	Висока
Швидкість реакції на нові типи несправностей	Низька	Висока

Кінець таблиці 4.1

1	2	3
Якість даних	Контролюється переважно на етапі ETL	Контролюється на етапі ETL та під час аналітики
Технологічна складність	Відносно невисока	Висока
Початкові витрати	Середні	Високі
Витрати на підтримку	Високі	Середні
Залежність від людського фактору	Висока	Помірна
Ризик помилок алгоритмів	Низький	Вищий (через автоматизацію)
Інтерпретованість результатів	Висока	Середня
Вимоги до кваліфікації персоналу	Середні	Високі
Інформаційна безпека	Стандартні підходи	Підвищені вимоги через складність інфраструктури
Використання в динамічному середовищі	Обмежене	Високе

4.3 Апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту на стадії ініціації (перший підхід до реалізації інформаційної системи)

Перший етап комбінованого методу оцінювання ІТ-проекту створення та впровадження ІС аналізу та обліку несправностей технічних пристроїв передбачає використання експертного оцінювання з метою формування початкової мети проекту та визначення ключових факторів впливу.

При використанні першого підходу до реалізації ІС з неавтоматизованим опрацюванням аномалій формування експертної групи здійснювалось з урахуванням необхідності комплексного аналізу функціонування ІС, яка розробляється.

До складу групи було включено 14 експертів з різних сфер. Склад експертної групи наведений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Склад експертної групи

Категорія експертів	Кількість	Роль
ІТ-архітектори	2	Оцінка інтеграції системи та архітектурних рішень
Аналітики даних	2	Оцінка якості, структури та обробки даних
Працівники сервісних центрів	4	Аналіз реальних процесів та формування вимог
Представники виробників техніки	5	Оцінка надійності, дефектів та вимог до ІС
Фахівець з безпеки	1	Аналіз ризиків інформаційної безпеки

Відбір експертів здійснювався на основі коефіцієнта компетентності відповідно до формули (3.1). Коефіцієнт обґрунтованості розраховувався за формулою (3.2) з прийняттям ваг кожної оцінки як 0,5.

Аналіз показав, що згідно з умовою $k_i \geq 0,7$ експерти Е4 та Е8 (див. рисунок 4.1) не відповідають критерію, тому їх було виключено з розгляду.

Результат розрахунку коефіцієнтів компетентності експертів наведено на рисунку 4.1.

Експерт	Категорія	$k_{зн}$	Стаж	$k_{досв}$	$k_{проф}$	$k_{обг}$	k_i
Е1	ІТ-архітектор	0,9	>10	0,9	0,9	0,9	0,90
Е2	ІТ-архітектор	0,8	7 років	0,7	0,8	0,75	0,775
Е3	Аналітик даних	0,8	5 років	0,7	0,9	0,8	0,80
Е4	Аналітик даних	0,7	4 роки	0,5	0,8	0,65	0,675
Е5	Сервісний центр	0,7	10 років	0,9	0,7	0,8	0,75
Е6	Сервісний центр	0,8	8 років	0,7	0,8	0,75	0,775
Е7	Сервісний центр	0,7	6 років	0,7	0,7	0,7	0,70
Е8	Сервісний центр	0,6	5 років	0,7	0,6	0,65	0,625
Е9	Виробник	0,9	>10	0,9	0,9	0,9	0,90
Е10	Виробник	0,8	9 років	0,7	0,8	0,75	0,775
Е11	Виробник	0,8	6 років	0,7	0,8	0,75	0,775
Е12	Виробник	0,7	5 років	0,7	0,7	0,7	0,70
Е13	Виробник	0,9	>10	0,9	0,9	0,9	0,90
Е14	Безпека	0,8	7 років	0,7	0,9	0,8	0,80

Рисунок 4.1 – Розрахунок коефіцієнтів компетентності експертів

Організація експертного опитування при проведенні дослідження здійснюється з використанням комбінованого підходу, який поєднує індивідуальне оцінювання та метод Делфі [26].

Проведено експертне анкетування з використанням анкети, яка складається з трьох блоків:

- відкритих запитань;
- закритих запитань за шкалою Лайкерта [41];
- оцінювання ризиків.

Приклад анкети наведений на рисунку 4.2. За результатами першого раунду опитування було виділено фактори впливу на оцінювання проєкту та отримано їхні оцінки, які визначили експерти.

Усереднені результати першого раунду опитування експертів наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Усереднені результати першого раунду опитування експертів

Визначений фактор	Середня оцінка
Неоднорідність даних (F1)	4,7
Складність інтеграції (F2)	4,5
Якість даних (F3)	4,2
Невизначеність вимог (F4)	3,8
Кількість стейкхолдерів (F5)	4,3
Безпека (F6)	4,0
Масштабованість (F7)	4,6

Отримані значення свідчать про високий рівень впливу більшості факторів, особливо неоднорідності даних (F1), масштабованості (F7) та складності інтеграції (F2).

Наступним кроком оцінювання проєкту експерти визначали ранги для кожного з факторів впливу.

Анкета експертного опитування

Блок 1 – Відкриті запитання

1. Які основні проблеми Ви спостерігаєте при обробці даних про несправності?
2. Які фактори найбільше ускладнюють інтеграцію даних із різних сервісних центрів?
3. Які вимоги до інформаційної системи є критично важливими?
4. Які ризики можуть виникнути при впровадженні системи?
5. Які функціональні можливості повинна обов'язково підтримувати система?

Блок 2 – Закриті запитання (оцінювання за шкалою Лайкерта 1-5)

Номер запитання	Запитання
Q1	Дані про несправності є неоднорідними
Q2	Формати даних суттєво відрізняються між сервісними центрами
Q3	Інтеграція даних є складною задачею
Q4	Дані містять значну кількість помилок
Q5	Дані є неповними
Q6	Відсутні єдині стандарти класифікації несправностей
Q7	Вимоги до системи є недостатньо визначеними
Q8	Кількість стейкхолдерів ускладнює розробку
Q9	Існують значні ризики інформаційної безпеки
Q10	Система повинна бути масштабованою
Q11	Необхідна висока гнучкість системи
Q12	Рівень технологічної складності є високим

Блок 3 – Оцінювання ризиків

Необхідно оцінити:

- ймовірність настання ризику (від 0 до 1);
- вплив (від 1 до 3).

Номер ризику	Ризик
R1	Низька якість даних
R2	Складність інтеграції
R3	Зміна вимог
R4	Технічні обмеження
R5	Ризики інформаційної безпеки
R6	Недостатність ресурсів

Рисунок 4.2 – Приклад опитувальної анкети для експертів

В таблиці 4.4 наведена матриця рангів, виставлених експертами (E_i) відповідно для найбільш впливових факторів впливу (F_j). Для оцінки узгодженості експертних суджень було використано коефіцієнт конкордації Кендела (див. формули (3.3), (3.6)).

Таблиця 4.4 – Матриця рангів факторів впливу, визначених експертами

Номер експерта	Неоднорідність даних (F1)	Складність інтеграції (F2)	Якість даних (F3)	Кількість стейкхолдерів (F5)	Масштабованість (F7)
E1	1	2	3	5	4
E2	1	2	4	5	3
E3	2	1	3	5	4
E4	1	3	2	5	4
E5	1	2	3	5	4
E6	2	1	3	5	4
E7	1	2	3	5	4
E8	1	2	4	5	3
E9	1	2	3	5	4
E10	2	1	3	5	4
E11	1	2	3	5	4
E12	1	2	4	5	3

Результати розрахунку значень факторів впливу (за матрицею рангів) для подальшого визначення коефіцієнта Кендела за формулою (3.2) наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунку значень факторів впливу (за матрицею рангів) для подальшого визначення коефіцієнта Кендела [47]

Фактор	S_i	d_i	d_i^2
Неоднорідність даних (F1)	15	- 21	441
Складність інтеграції (F2)	22	-14	196
Якість даних (F3)	38	2	4
Кількість стейкхолдерів (F5)	60	24	576
Масштабованість (F7)	45	9	81
Сума			1298

Оскільки під час визначення рангів для кожного з факторів жодний експерт не надав однакових рангів різним факторам, тобто відсутні зв'язані

ранги, значення для результату проміжних розрахунків для коефіцієнта Кендела T_i за формулою (3.5) дорівнює нулю.

Отже формула розрахунку коефіцієнта конкордації Кендела W буде спрощена до вигляду:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n)}, \quad (4.1)$$

де n – кількість факторів;

d_j – відхилення суми рангів від середньої суми;

m – кількість експертів.

Виходячи з результатів використання формули (4.1), отримуємо наступне:

$$W = \frac{12 \times 1298}{12^2(5^3 - 5)} = \frac{15576}{17280} = 0,9.$$

Наступним кроком виконувалось надання оцінок виділеним ризикам.

У таблиці 4.6 наведені узагальнені результати оцінювання ризиків експертною групою з визначеною зоною ризику.

Таблиця 4.6 – Узагальнені результати оцінювання ризиків експертною групою

Номер ризику	Ризик	Середня ймовірність $P [0;1]$	Середній вплив $I [1;3]$	Рівень ризику $P \times I$	Зона ризику
R1	Низька якість даних	0,82	2,75	2,26	Червона
R2	Складність інтеграції	0,61	2,50	1,53	Помаранчева
R3	Зміна вимог	0,70	1,50	1,05	Жовта
R4	Технічні обмеження	0,43	2,00	0,86	Жовта
R5	Ризики інформаційної безпеки	0,78	2,92	2,28	Червона
R6	Недостатність ресурсів	0,53	2,17	1,15	Жовта

Коефіцієнт конкордації $W=0,9$ свідчить про те, що досягнутий високий рівень узгодженості експертних оцінок.

В результаті цього, найбільш значущими факторами за експертною думкою є масштабованість (F7), інтеграція ІС (F2) та неоднорідність даних (F1), а найбільш критичним ризиком виступає якість даних (R1) та ризик інформаційної безпеки (R5).

На рисунку 4.3 представлена карта ризиків, яка заснована на результатах експертного оцінювання.

Другий етап комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту передбачає перетворення визначених на попередньому етапі факторів впливу у формалізовану систему критеріїв оцінювання.

		Вплив на цільові показники (Наслідки)				
		Можна знехтувати	Невеликий	Помірний	Значний	Суттєвий
Ймовірність реалізації	Дуже ймовірно				Низька якість даних	
	Ймовірно			Зміна вимог		Ризик інформаційної безпеки
	Можливо				Складність інтеграції	
	Малоймовірно				Технічна обмеженість	
	Дуже малоймовірно				Недостатність ресурсів	

Рисунок 4.3 – Карта ризиків, яка заснована на результатах експертного оцінювання

Особливістю даного етапу є необхідність врахувати специфіку першого підходу до реалізації ІС, який передбачає використання кластеризації та класифікації несправностей з подальшою неавтоматизованою обробкою

аномалій. Такий підхід має підвищену залежність ІС від людського фактору, а також значні витрати на підтримку та оновлення класифікаційних моделей.

За результатами, отриманими при проведенні експертного оцінювання, було виділено ключові фактори:

- неоднорідність джерел даних;
- складність інтеграції;
- якість та повнота даних;
- масштабованість системи;
- рівень невизначеності вимог;
- кількість стейкхолдерів;
- вимоги до інформаційної безпеки;
- рівень технологічної складності.

За результатами аналізу визначені фактори були згруповані у відповідні категорії критеріїв. Ієрархічна структура критеріїв оцінювання містить розподіл за групами, деталізацію кожної групи та подальшу формалізацію.

Були виділені такі групи розподілу критеріїв:

- технічні критерії (C1);
- організаційні критерії (C2);
- критерії якості даних (C3);
- ризикові критерії (C4);
- економіко-експлуатаційні критерії (C5).

Кожна визначена група та критерії, що до неї належать, наведені в таблицях 4.7 – 4.11.

Таблиця 4.7 – Технічні критерії (C1)

Позначення	Критерій	Опис
C1.1	Складність інтеграції	Рівень складності об'єднання розподілених БД
C1.2	Архітектурна складність	Складність побудови централізованого сховища
C1.3	Масштабованість	Здатність системи до розширення
C1.4	Гнучкість	Можливість адаптації до нових типів даних

Таблиця 4.8 – Організаційні критерії (C2)

Позначення	Критерій	Опис
C2.1	Кількість стейкхолдерів	Кількість зацікавлених сторін
C2.2	Узгодженість вимог	Ступінь узгодженості між учасниками
C2.3	Рівень автоматизації	Частка неавтоматизованих (ручних) процесів

Таблиця 4.9 – Критерії якості даних (C3)

Позначення	Критерій	Опис
C3.1	Повнота даних	Наявність необхідної інформації
C3.2	Достовірність	Відсутність помилок
C3.3	Стандартизація	Узгодженість форматів
C3.4	Однорідність	Сумісність даних

Таблиця 4.10 – Ризикові критерії (C4)

Позначення	Критерій	Опис
C4.1	Невизначеність вимог	Зміни вимог під час реалізації
C4.2	Ризик в інтеграції	Технічні труднощі
C4.3	Ризик в якості даних	Низька якість вхідних даних
C4.4	Ризик в безпеці	Несанкціонований доступ

Таблиця 4.11 – Економіко-експлуатаційні критерії (C5)

Позначення	Критерій	Опис
C5.1	Початкові витрати	Витрати на розробку
C5.2	Витрати на підтримку	Витрати на обслуговування
C5.3	Трудомісткість супроводу	Залучення персоналу
C5.4	Ефективність використання	Вигоди від використання системи

Графічна інтерпретація ієрархії критеріїв наведена на рисунку 4.4.

Для подальшого використання критеріїв в економіко-математичній моделі кожний критерій необхідно подати у вигляді нормалізованої функції, тобто привести оцінку критерію в діапазон $[0;1]$.

Нормалізована функція представлена формулою:

$$k_j = f(x_j), \quad (4.2)$$

де k_j – нормалізована оцінка критерію;

x_j – значення показника.

Таким чином, підвищена роль людського фактору при використанні першого підходу до реалізації ІС впливає на критерії:

- рівень автоматизації (C2.3);
- трудомісткість супроводу (C5.3).

Відсутність автоматизації виявлення аномалій впливає на групу критеріїв якості даних (C3) та ризикові критерії (C4), необхідність неавтоматизованого оновлення – на критерій масштабованості (C1.3).

Зростання витрат в довгостроковій перспективі впливає на групу економіко-експлуатаційних критеріїв (C5).

На третьому етапі комбінованого методу здійснюється визначення вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання із застосуванням методу аналізу ієрархій та методу Делфі [26]. Основною метою даного етапу є встановлення відносної важливості критеріїв у оцінюванні ІТ-проекту з урахуванням специфіки першого підходу до реалізації, який передбачає неавтоматизовану обробку аномалій.

Метод аналізу ієрархій дозволяє формалізувати процес прийняття рішень шляхом розбиття складної задачі на ієрархічну структуру та подальшого визначення відносної важливості критеріїв на основі їх попарного порівняння.

У свою чергу, метод Делфі забезпечує узгодження експертних суджень шляхом проведення опитування з наданням зворотного зв'язку, що дозволяє зменшити вплив суб'єктивних факторів і досягти консенсусу.

Визначення середніх значень оцінок (ваг) попарного порівняння груп критеріїв відбувається за такими кроками:

- формування матриць попарних порівнянь критеріїв;
- агрегування експертних оцінок (за методом Делфі);
- розрахунок локальних ваг;
- перевірка узгодженості суджень;
- формування глобальних ваг критеріїв.

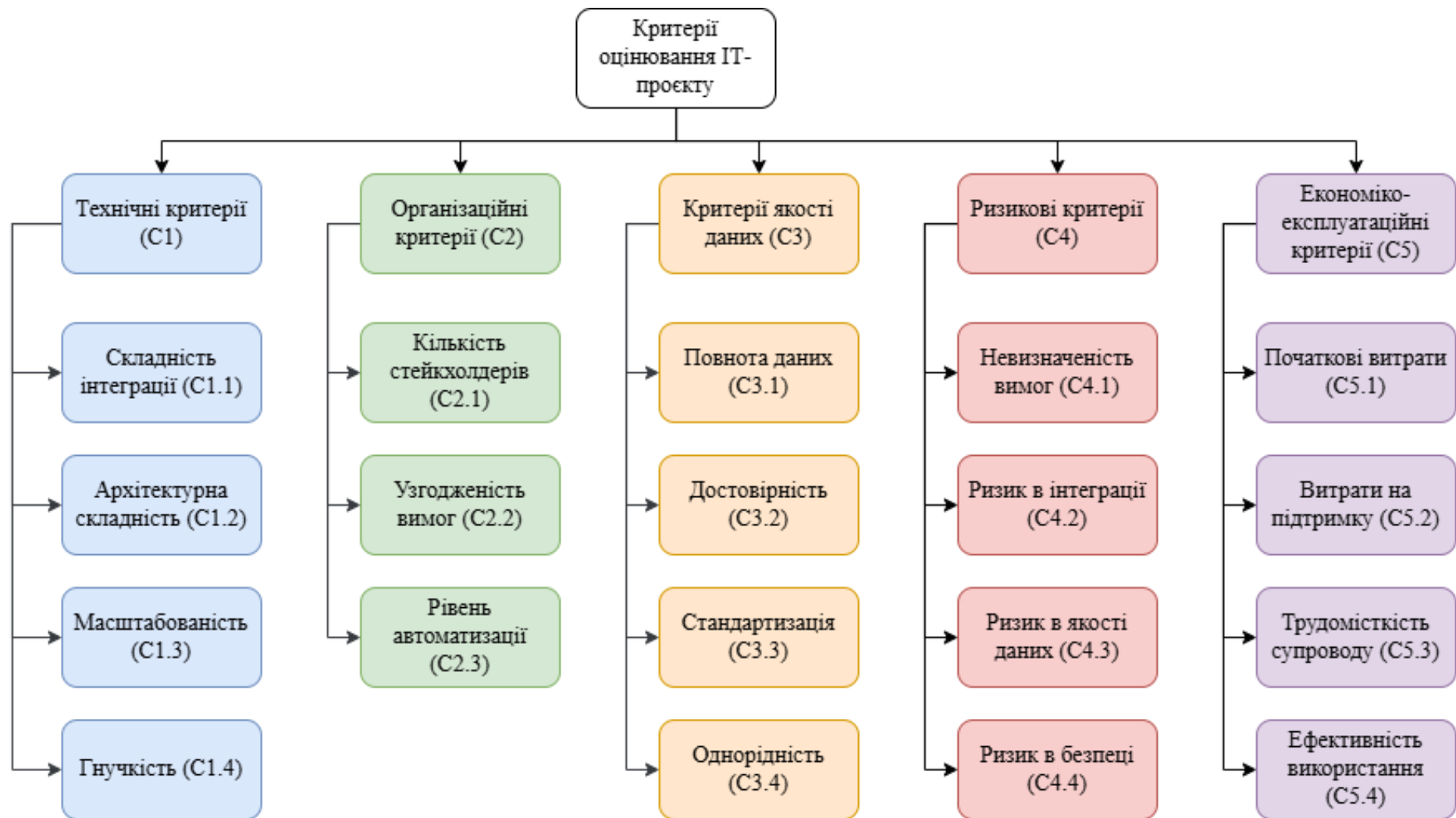


Рисунок 4.4 – Ієрархія критеріїв оцінювання IT-проекту

На цьому етапі експерти оцінюють відносну перевагу одного критерію над іншим відповідно до можливості досягнення поставлених цілей ІТ-проєкту.

Таким чином, кожний експерт відповідає на ряд питань, поставлених з метою визначення значущості порівнюваних критеріїв.

Для відповідей пропонується використання шкали Сааті (див. таблицю 4.12), яка дозволяє відобразити ступінь переваги одного критерію над іншим у вигляді числових значень [62].

Таблиця 4.12 – Шкала переваг за Т. Сааті

Оцінка переваги	Визначення переваги
1	Рівна важливість
3	Помірна перевага
5	Істотна перевага
7	Сильна перевага
9	Дуже сильна перевага
2, 4, 6, 8	Використовуються для позначення відповідних проміжних значень переваги

Експертами було виконано попарне порівняння груп критеріїв оцінювання. Приклад визначених оцінок наведений в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Матриця попарних порівнянь груп критеріїв

Критерії	Технічні (C1)	Організаційні (C2)	Якості даних (C3)	Ризикові (C4)	Економіко-експлуатаційні (C5)
Технічні (C1)	1	3	1/2	2	2
Організаційні (C2)	1/3	1	1/3	1/2	1
Якості даних (C3)	2	3	1	2	2
Ризикові (C4)	1/2	2	1/2	1	2
Економіко-експлуатаційні (C5)	1/2	1	1/2	1/2	1

Після проведення порівняння виконано узагальнення оцінок та обчислення середніх значень (ваг), які виставляються кожним експертом. Результат нормалізації обчислених середніх значень оцінок порівняння груп критеріїв наведений в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Результат нормалізації обчислених середніх значень оцінок порівняння груп критеріїв

Критерії	Технічні (C1)	Організаційні (C2)	Якості даних (C3)	Ризикові (C4)	Економіко-експлуатаційні (C5)	Середнє значення (вага)
Технічні (C1)	0,23	0,30	0,18	0,33	0,25	0,26
Організаційні (C2)	0,08	0,10	0,12	0,08	0,12	0,10
Якості даних (C3)	0,46	0,30	0,35	0,33	0,25	0,34
Ризикові (C4)	0,12	0,20	0,18	0,17	0,25	0,18
Економіко-експлуатаційні (C5)	0,12	0,10	0,18	0,08	0,12	0,12

Узагальнення матриці попарних порівнянь формується за допомогою геометричного середнього [63] за формулою:

$$a_{ij} = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m a_{ij}^{(k)}}, \quad (4.3)$$

де a_{ij} – оцінка порівняння i -ї групи критеріїв з j -ю;

$a_{ij}^{(k)}$ – оцінка k -го експерта;

m – кількість експертів.

Вектор ваг порівняння груп критеріїв розраховується як середнє значення елементів кожного рядка нормалізованої матриці попарних порівнянь за формулою:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad (4.4)$$

де w_i – вага i -го критерію;

n – кількість груп критеріїв;

a_{ij} – елемент нормалізованої матриці.

Таким чином, отримуємо вектор ваг порівняння груп критеріїв оцінювання:

$$W = (0,26; 0,10; 0,34; 0,18; 0,12).$$

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що найбільш важлива група критеріїв для оцінювання ІТ-проєкту – це група критеріїв якості даних (0,34). Наступною за значимістю є група технічних критеріїв (0,26), далі ризикові критерії (0,18), економіко-експлуатаційні (0,12) та організаційні критерії (0,10).

Для визначення узгодженості оцінок значень критеріїв, виставлених експертами, необхідно використати початкову (ненормалізовану) матрицю попарних порівнянь A та обчислити добуток матриці A на вектор ваг W . Таким чином, отримуємо:

$$AW = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1/2 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,26 \\ 0,10 \\ 0,34 \\ 0,18 \\ 0,12 \end{pmatrix}.$$

Далі розраховується добуток матриці для кожного елемента. Нижче наведений приклад розрахунку для елемента $C1$:

$$AW_{C1} = 1 \times 0,26 + 3 \times 0,10 + \frac{1}{2} \times 0,34 + 2 \times 0,18 + 2 \times 0,12 = 1,33.$$

Таким чином, отримуємо добуток для кожного елемента: $AW_{C1} = 1,33$; $AW_{C2} = 0,51$; $AW_{C3} = 1,76$; $AW_{C4} = 0,92$; $AW_{C5} = 0,61$.

Далі розраховуються власні значення матриці попарних порівнянь λ за формулою:

$$\lambda_i = \frac{AW_i}{w_i}, \quad (4.5)$$

де AW_i – добуток матриці для i -го елемента;

w_i – значення ваги i -го елемента матриці.

Отримуємо такі значення для елементів матриці: $AW_{C1} = \frac{1,33}{0,26} = 5,12$; $AW_{C2} = 5,10$; $AW_{C3} = 5,18$; $AW_{C4} = 5,11$; $AW_{C5} = 5,08$.

Наступним кроком визначається максимальне власне значення, яке знаходиться за формулою:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (4.6)$$

де n – кількість елементів матриці попарних порівнянь.

В результаті розрахунків за формулою (4.6) отримуємо:

$$\lambda_{\max} = \frac{5,12 + 5,10 + 5,18 + 5,11 + 5,08}{5} = 5,118 \approx 5,12.$$

Далі необхідно розрахувати індекс узгодженості експертних оцінок CI за формулою:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,12 - 5}{4} = 0,03, \quad (4.7)$$

де n – кількість елементів матриці попарних порівнянь.

Останнім розраховується відношення узгодженості CR , для чого необхідно порівняти індекс узгодженості CI з випадковим індексом RI , який залежить від розмірності матриці. Для матриці розмірністю $n=5$ використовується значення випадкового індексу $RI=1,12$. Таким чином, відношення узгодженості CR визначається за формулою:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,03}{1,12} \approx 0,027. \quad (4.8)$$

Оскільки отримане значення відношення узгодженості $CR < 0,1$ можна зробити висновок, що рівень узгодженості експертних оцінок є доволі високим.

Це означає, що матриця попарних порівнянь є логічно несуперечливою та розраховані коефіцієнти можуть бути використані для подальшого оцінювання проєкту розробки ІС.

Четвертий етап комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту передбачає побудову економіко-математичної моделі, яка дозволяє кількісно оцінити ефективність реалізації проєкту. На даному етапі використовуються результати з попередніх етапів (зокрема, із сформованої системи критеріїв та визначених вагових коефіцієнтів) і показники інвестиційного аналізу.

Оскільки особливістю першого підходу реалізації ІС є неавтоматизована обробка аномалій, це передбачає відносно низькі початкові витрати на розробку системи, але водночас призводить до підвищення експлуатаційних витрат, які пов'язані із залученням людських ресурсів для обробки даних, а також до значної залежності між ефективністю функціонування системи та якості даних.

Це обумовлює необхідність детального розрахування структури витрат протягом усього життєвого циклу проєкту.

Для побудови економіко-математичної моделі виділяються основні складові:

- оцінка інвестиційних витрат;
- прогнозування грошових потоків;
- розрахунок інтегральних показників ефективності;
- врахування ризиків.

Початкові інвестиційні витрати складаються з витрат на розробку ПЗ, створення інфраструктури для інтеграції даних, налаштування сховища даних, а також впровадження базових аналітичних інструментів.

Для першого підходу до розробки ці витрати є відносно помірними, оскільки не передбачають впровадження складних алгоритмів автоматичного виявлення аномалій.

Однак значну частку витрат складають витрати на організацію процесів неавтоматизованої обробки даних, що також включають навчання персоналу та розробку регламентів обробки інформації.

Операційні витрати включають витрати на підтримку системи, оплату праці фахівців, які здійснюють аналіз та обробку аномалій, а також витрати на забезпечення якості даних. В свою чергу, через постійне розширення кількості технічних приладів, збільшується й кількість типів несправностей. Це призводить до виникнення аномалій в системі, що також призводить до поступового збільшення операційних витрат.

Для оцінювання економічної ефективності проєкту використовується показник чистої приведеної вартості NPV, який визначається як різниця між дисконтованими грошовими надходженнями та витратами (формула (1.1)).

Необхідно визначити значення грошового потоку у період C_t , первісні інвестиційні витрати I_0 , ставку дисконту r та кількість періодів інвестиційного проєкту n .

Первісні інвестиційні витрати I_0 становлять 1100000 грн (див. таблицю 4.15), ставка дисконту r була обрана як 15%, а період – 5 років.

Таблиця 4.15 – Первісні інвестиційні витрати

Стаття витрат	Вартість, грн
Початок розробки ІС	500000
Інтеграція з сервісними центрами	250000
Створення сховища даних	200000
Налаштування ETL-процесів	150000
Разом	1100000

Значення вихідних даних для розрахунків економічної ефективності ІТ-проєкту наведені в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 – Вихідні дані для розрахунків економічної ефективності ІТ-проєкту

Рік (t)	Грошовий потік (C_t), грн
1	170 000
2	360 000
3	560 000
4	720 000
5	890 000

Наступним кроком необхідно провести розрахунок чистого приведенного прибутку NPV за формулою (1.2) для визначення показника економічної ефективності проєкту.

$$\begin{aligned}
 NPV &= \left(\frac{170000}{1,15} + \frac{360000}{1,15^2} + \frac{560000}{1,15^3} + \frac{720000}{1,15^4} + \frac{890000}{1,15^5} - 1100000 \right) = \\
 &= (147826 + 272210 + 368421 + 411933 + 442381) \\
 &\quad - 1100000 = 542771.
 \end{aligned}$$

Оскільки отримане значення NPV є додатним, то реалізація ІТ-проєкту є економічно доцільною.

Проте невелике значення NPV вказує на обмежену ефективність, що пояснюється високими експлуатаційними витратами.

Для розрахунку внутрішньої норми прибутковості IRR необхідно визначити ставку дисконту, при якій $NPV = 0$. Показник IRR дозволяє оцінити, чи є даний проєкт вартий інвестицій. Оскільки проєкт планується більше ніж на два роки, для визначення IRR використовується метод підбору і розраховується за формулою:

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (r_2 - r_1), \quad (4.9)$$

де r_1 – ставка з додатним NPV;

NPV_1 – додатне значення NPV;

NPV_2 – від’ємне значення NPV;

r_2 – ставка з від’ємним NPV.

Методом підбору були визначені такі значення:

– при $r_1 = 15\%$, $NPV_1 = 542771$;

– при $r_2 = 25\%$, $NPV_2 = -50000$.

Отже маємо такий розрахунок IRR за формулою (4.9):

$$\begin{aligned} IRR &= 15\% + \frac{542\,771}{542\,771 - (-50\,000)} \times (25\% - 15\%) \\ &= 15\% + \frac{542\,771}{592\,771} \times 10\% = 15\% + 0,916 \times 10\% = 15\% + 9,16\% \\ &\approx 24,16\%. \end{aligned}$$

В результаті отримуємо наступне: $IRR > r$ ($24,16\% > 15\%$). Це відношення вказує на те, що проєкт буде генерувати дохідність вищу за вартість капіталу, а отже інвестиції є економічно доцільними. Однак невелика різниця між IRR та r вказує на обмежену фінансову стійкість та високу

залежність проєкту від ризиків. Залежність показнику приведеної вартості (NPV) від ставки дисконту зображено на рисунку 4.5.

Залежність показнику чистої приведеної вартості (NPV) від ставки дисконту (1 підхід)

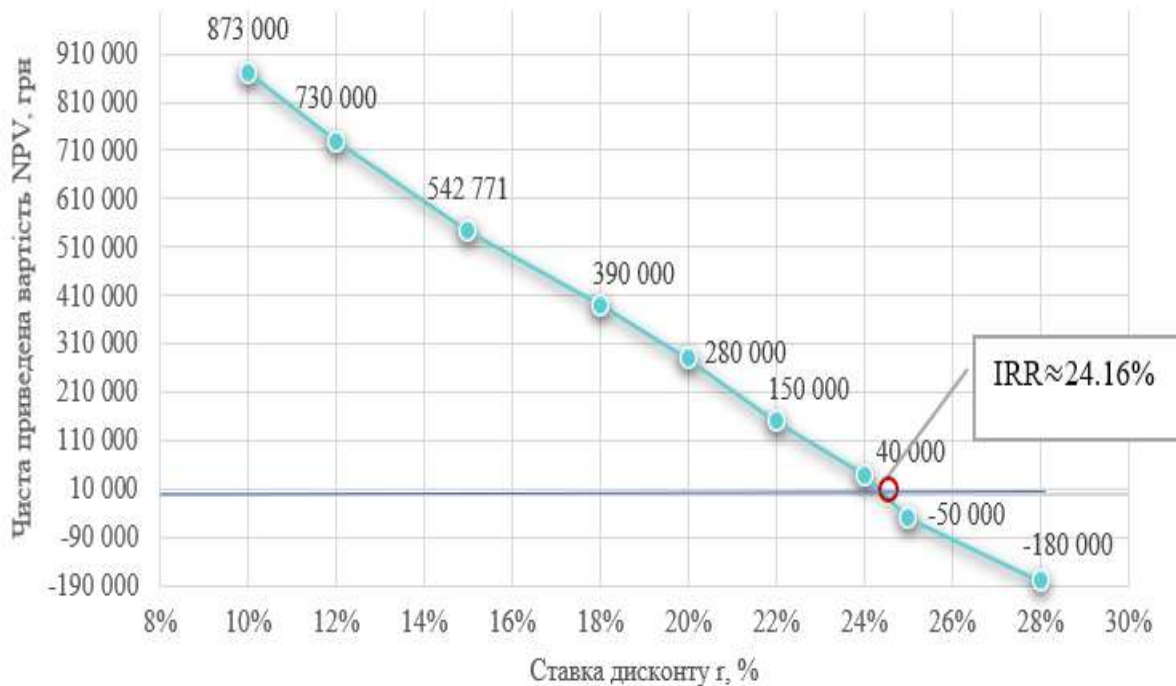


Рисунок 4.5 – Залежність показнику приведеної вартості (NPV) від ставки дисконту

Для визначення моменту окупності інвестицій необхідно розрахувати накопичені грошові потоки SC_t за формулою:

$$SC_t = \sum_{t=1}^t C_t, \quad (4.10)$$

де t – рік;

C_t – грошовий потік.

В таблиці 4.17 наведено обчислені накопичені грошові потоки за 5 років.

Таблиця 4.17 – Обчислені накопичені грошові потоки за 5 років

Рік (t)	Грошовий потік (C_t), грн	Накопичений грошовий потік (SC_t), грн
1	170000	170000
2	360000	530000
3	560000	1090000
4	720000	1810000
5	890000	2700000

Далі необхідно порівняти накопичений потік SC_t з початковими інвестиціями I_0 , отримуємо:

$$\begin{cases} SC_3 < I_0 \\ SC_4 > I_0 \end{cases} = \begin{cases} 1\,090\,000 < 1\,100\,000 \\ 1\,810\,000 > 1\,100\,000 \end{cases}.$$

Наведені розрахунки показали, що інвестиційні кошти окупляться між 3 та 4 роками.

Для отримання більш точних результатів необхідно розрахувати період окупності PP за формулою (1.5) з використанням даних про прибуток для років 3 та 4:

$$PP = 3 + \frac{I_0 - SC_3}{C_4} = 3 + \frac{1\,100\,000 - 1\,090\,000}{720\,000} = 3 + 0,0139 \approx 3,01.$$

Таким чином, отримуємо, що інвестиції у розробку та впровадження ІС аналізу та обліку несправностей технічних виробів повністю компенсуються на початку 4 року експлуатації ІС.

На першому етапі комбінованого методу були визначені ризики на основі експертних суджень із використанням дискретної шкали.

Це дозволило швидко ідентифікувати критичні фактори та здійснити їх первинне розподілення.

На четвертому етапі здійснюється нормалізація показників ризику, що забезпечує можливість їх використання в економіко-математичній моделі та подальше використання в імітаційному моделюванні.

Для цього необхідно виконати нормалізацію впливу шляхом поділу значення середнього впливу для кожного ризику на 3, оскільки оцінки, надані експертною групою, були в межах [1; 3].

У таблиці 4.18 представлені результати нормалізації оцінок ризиків.

Таблиця 4.18 – Результати нормалізації оцінок ризиків

Номер ризику	Ризик	Середня ймовірність P [0;1]	Середній вплив I [1;3]	I_{norm} $I/3$	Рівень ризику $P \times I_{norm}$
R1	Низька якість даних	0,82	2,75	0,92	0,75
R2	Складність інтеграції	0,61	2,50	0,83	0,51
R3	Зміна вимог	0,70	1,50	0,50	0,35
R4	Технічні обмеження	0,43	2,00	0,67	0,29
R5	Ризики інформаційної безпеки	0,78	2,92	0,97	0,76
R6	Недостатність ресурсів	0,53	2,17	0,72	0,38

П'ятий етап комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту передбачає формування ймовірнісних характеристик ключових параметрів з метою врахування невизначеності та ризиків, що впливають на процес розробки та впровадження ІС.

На попередньому етапі була використана детермінована економіко-математична модель із фіксованими значеннями параметрів, на даному етапі здійснюється перехід до стохастичного представлення змінних, що дозволяє більш реалістично відобразити умови функціонування проєкту.

Ймовірнісний підхід обумовлений особливостями розроблюваного ІТ-проєкту, зокрема високим рівнем неоднорідності даних, складністю інтеграції

розподілених джерел, залежністю результатів від якості вхідної інформації та значною роллю людського фактору у процесі обробки аномалій. Таким чином, використання середніх значень параметрів не дозволяє повною мірою оцінити можливі сценарії розвитку проекту. Для вирішення цієї проблеми необхідно застосувати методи ймовірнісного моделювання [2].

На даному етапі ключові параметри проекту розглядаються як випадкові величини із заданими законами розподілу. Вибір типу розподілу здійснюється з урахуванням характеру невизначеності параметра, результатів експертного оцінювання та наявних статистичних або аналітичних даних. Також важливим є забезпечення узгодженості між ризиками, визначеними на попередніх етапах, та параметрами розподілів.

Пропонується представляти випадкову величину x за формулою:

$$x \sim F(\theta), \quad (4.11)$$

де x – параметр, що потребує стохастичного моделювання;

F – закон розподілу;

θ – параметри розподілу.

До основних параметрів (факторів), що потребують стохастичного моделювання, відносяться витрати на інтеграцію даних, операційні витрати, економічний ефект від впровадження ІС, тривалість реалізації проекту та рівень якості даних.

Перелічені параметри зазнають впливу ризиків: ризику якості даних, складності інтеграції, змін вимог та людського фактору.

Витрати на інтеграцію даних доцільно описувати нормальним розподілом [64], вони формуються під впливом великої кількості незалежних факторів та можуть бути описані формулою:

$$C_{\text{int}} \sim N(\mu = 150000, \sigma = 50000),$$

де C_{int} – витрати на інтеграцію даних;

$N(\mu, \sigma)$ – нормальний розподіл;

μ – математичне сподівання;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Операційні витрати є змінюваними, оскільки включають необхідність неавтоматизованої обробки аномалій, що обґрунтовує використання нормального розподілу з відносно високим рівнем дисперсії.

$$C_{opr} \sim N(\mu = 250000, \sigma = 100000),$$

де C_{opr} – операційні витрати;

$N(\mu, \sigma)$ – нормальний розподіл;

μ – математичне сподівання;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Економічний ефект від впровадження ІС має ризик недоотримання вигод, який перевищує ймовірність максимального отримання вигод, а отже варто застосувати трикутний розподіл, представлений за формулою (3.12).

Для розрахунку економічного ефекту параметри трикутного розподілу мають такі значення: $a=400000$; $m=800000$; $b=1400000$.

Середнє очікуване значення економічного ефекту для трикутного розподілу визначається за формулою:

$$\mu = \frac{a + m + b}{3} = \frac{400\,000 + 800\,000 + 1\,400\,000}{3} = 866667. \quad (4.13)$$

Тривалість реалізації проєкту також описується трикутним розподілом, який дозволяє врахувати оптимістичний, найбільш ймовірний та песимістичний сценарії розвитку ІТ-проєкту за формулою (3.12). Та має такі значення параметрів: $a=2,5$; $m=3,0$; $b=5,0$.

Рівень критерію якості даних моделюється за допомогою бета-розподілу [64], задля опису обмеженої величини в інтервалі від 0 до 1 та описується формулою:

$$F(x, \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}, \quad 0 < x < 1, \quad (4.14)$$

де α – перший параметр форми розподілу, що визначає асиметрію;

β – другий параметр форми розподілу, що визначає асиметрію.

Середнє значення бета-розподілу визначається за формулою:

$$E = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = \frac{5}{5 + 2} \approx 0,71. \quad (4.15)$$

Для розрахунку критерію якості даних $\alpha=5$, $\beta=2$, за формулою (4.15) середнє значення бета-розподілу дорівнює 0,71.

Ймовірнісні характеристики параметрів безпосередньо пов'язані з ризиками, визначеними на першому та четвертому етапах. Зокрема, високий рівень ризику якості даних відображається в широкому діапазоні можливих значень відповідного параметра, а ризик інтеграції впливає на витрати та тривалість виконання робіт. Таким чином, стохастична модель є відображенням ризикової структури проєкту.

На шостому етапі запропонованого комбінованого методу проводиться виконання імітаційного моделювання за методом Монте-Карло, що є необхідним кроком для розрахунку оцінки ІТ-проєкту, реалізованого першим підходом.

Оскільки обраний підхід передбачає попередню кластеризацію та класифікацію даних із подальшим залученням людського ресурсу для неавтоматизованого опрацювання нових або нетипових випадків, він характеризується високим рівнем невизначеності, яка стосується мінливості

операційних витрат, тривалості обробки аномалій та загального економічного ефекту від впровадження ІС. Використання стохастичного моделювання на цьому етапі дозволяє врахувати ймовірнісний характер факторів впливу.

Використовуючи сформовані на попередніх етапах ймовірнісні параметри та закони розподілу, проводиться багаторазове генерування можливих сценаріїв розвитку ІТ-проєкту.

Програмний алгоритм виконує 100 тисяч ітерацій, під час кожної з яких випадковим чином обирає значення для витрат на інтеграцію, операційних витрат, тривалості реалізації та очікуваної якості даних у межах, заданих статистичних меж. Масив безперервних обчислень імітує реальні умови функціонування сервісного центру, де на проєкт одночасно впливає багато незалежних факторів та ідентифікованих ризиків.

У результаті виконання шостого етапу формується вибірка, яка дозволяє отримати емпіричні розподіли значень показників проєкту. Таким чином, формується інтервальна оцінка з урахуванням невизначеності, що дозволяє візуалізувати найбільш імовірний фінансовий та часовий результат впровадження ІС за першим підходом до реалізації, а також можливі відхилення, межі оптимістичного та песимістичного сценаріїв та загальний рівень ризику недосягнення проєктних цілей.

Отримані розподіли та масиви даних будуть використані для подальшої кількісної оцінки. Результати виконання програмного коду наведені на рисунках 4.6-4.7.

== СТАТИСТИЧНИЙ ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ==

	Середнє (mean)	Відхилення (std)	Мінімум	5% перцентиль	Медіана (50%)	95% перцентиль	Максимум
Витрати на інтеграцію (C_int)	149815.64	50100.47	-61483.01	67938.62	149764.89	232378.19	377429.84
Операційні витрати (C_opr)	249941.75	100012.63	-250029.16	84772.28	249994.20	414034.31	660983.38
Економічний ефект	866018.60	205138.51	400046.47	540909.17	851690.28	1226165.61	1398854.90
Тривалість проєкту (роки)	3.50	0.54	2.51	2.75	3.42	4.50	4.99
Рівень якості даних	0.71	0.16	0.08	0.42	0.74	0.94	1.00
Чиста приведена вартість (NPV)	-158363.29	433917.96	-2274467.64	-889974.75	-147532.13	534733.04	1839491.07

== ЙМОВІРНІСТЬ УСПІХУ ПРОЄКТУ ==

Ймовірність того, що проєкт буде прибутковим (Чиста приведена вартість > 0): 36.39%

Рисунок 4.6 – Результати виконання методу Монте-Карло для першого підходу до реалізації ІС

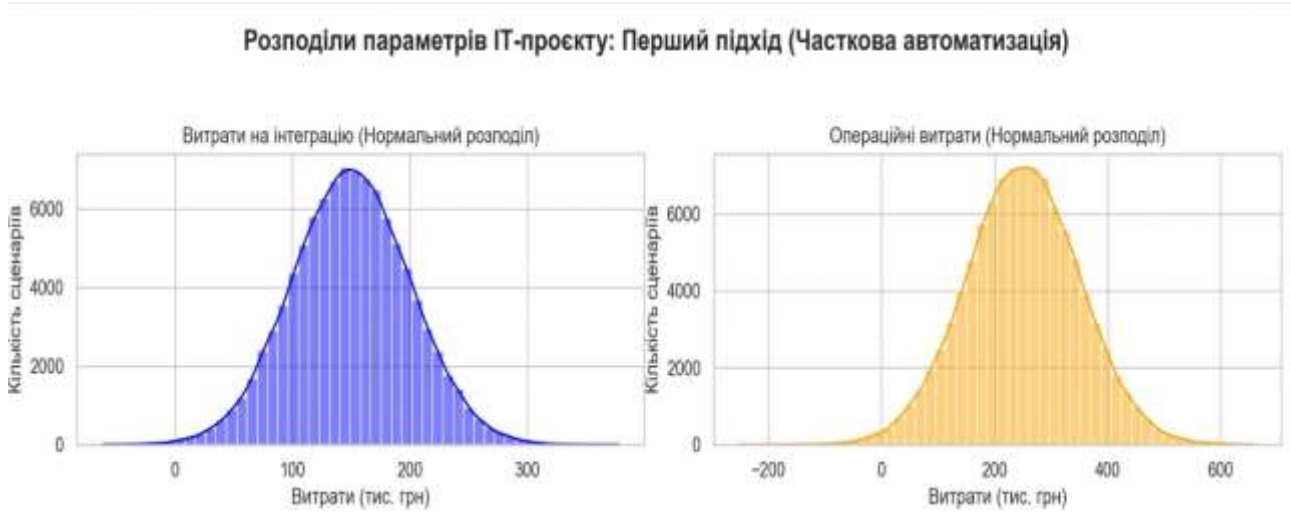


Рисунок 4.7 – Візуалізація результатів, отриманих при виконанні методу Монте-Карло, аркуш 1

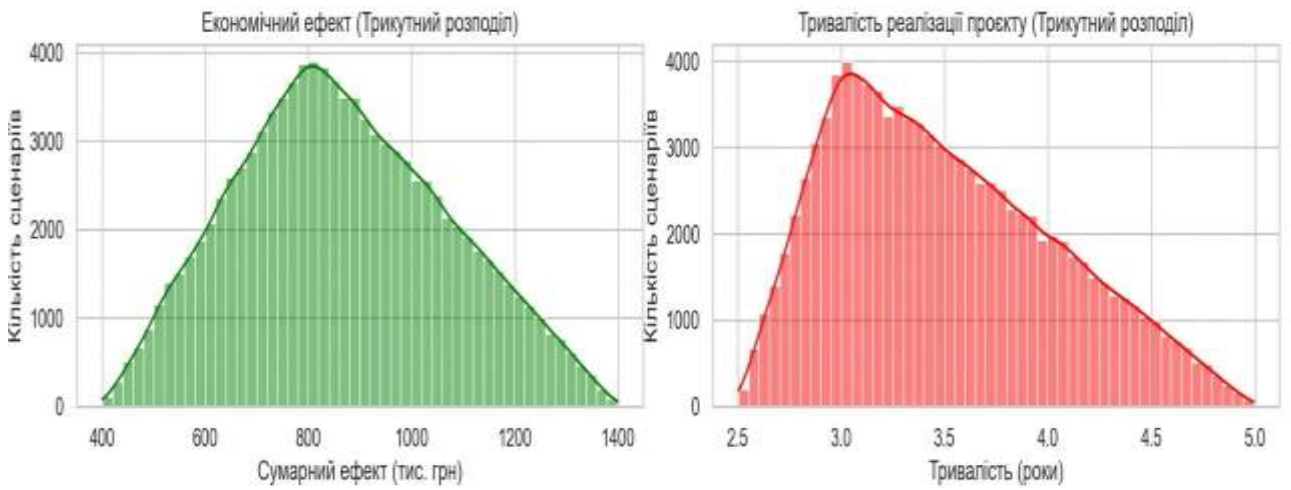


Рисунок 4.7, аркуш 2

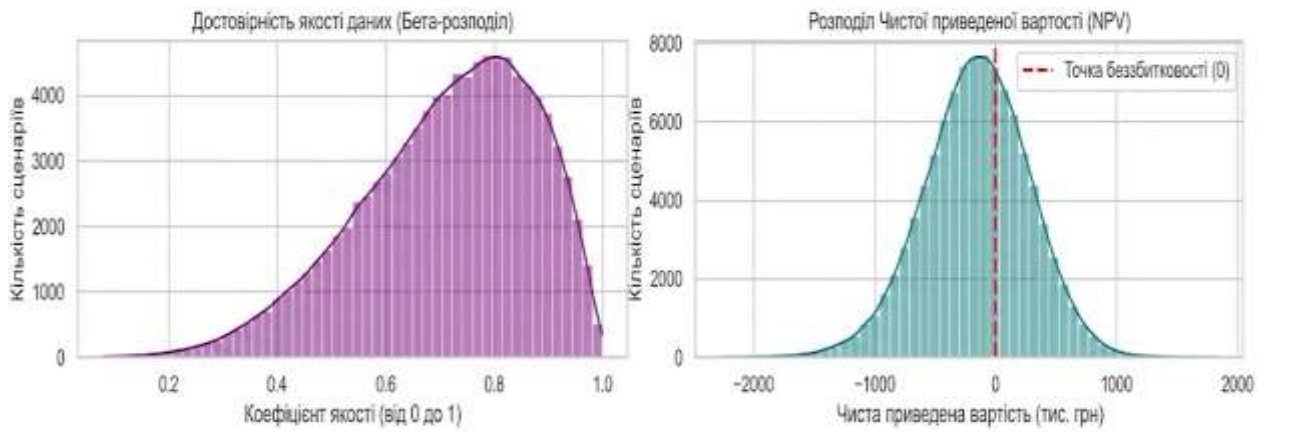


Рисунок 4.7, аркуш 3

За результатом застосування методу Монте-Карло було проведено розрахунок чистої приведеної вартості NPV за формулою (1.2). Відповідно до отриманих даних, ймовірність того, що проєкт буде прибутковим, тобто $NPV > 0$, становить лише 36,39%.

Такий низький показник успішності пояснюється кумулятивним негативним ефектом, спричиненим високими та невизначеними операційними витратами через частку неавтоматизованої обробки аномалій, яка множить на подовжену тривалість проєкту через наявність ризиків.

Таким чином, загальні витрати на підтримку ІС в більшості сценаріїв перевищують згенерований нею економічний ефект.

Результати стохастичного моделювання формально (математично) показують, що перший підхід до реалізації модуля є економічно неефективним та високоризиковим.

Це обґрунтовує необхідність відмови від значної частки проведення аналіз неавтоматизованим способом та переходу до пошуку альтернативних підходів, які дозволять мінімізувати операційні витрати та підвищити ймовірність успіху ІТ-проєкту.

Сьомий етап розробленого комбінованого методу передбачає комплексне узагальнення результатів, отриманих на етапі стохастичного моделювання, з урахуванням критеріїв, визначених експертами для кожного фактору впливу.

Відповідно до проведених розрахунків вагові коефіцієнти були зіставлені з результатами використання методу Монте-Карло для першого підходу. Було виявлено, що критерії якості даних (С3), які мають найбільший коефіцієнт значущості для системи, за якістю становлять 71%. Це пояснюється наявністю великої частки неавтоматизованої обробки і призводить до ризику подальшого зниження показника якості.

Оскільки перший підхід передбачає часткову автоматизацію, де складні нетипові випадки опрацьовуються вручну (неавтоматизованим способом), то

це знижує рівень масштабованості системи (C1.3) та робить рівень автоматизації (C2.3) недостатнім для обробки великих масивів даних.

Імітаційне моделювання показало високий рівень змін операційних витрат та низьку ймовірність фінансового успіху проєкту (36,39%). Це означає, що витрати на підтримку (C5.2) та трудомісткість супроводу (C5.3) зростають та підвищують рівень ризику.

4.4 Апробація комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту на стадії ініціації (другий підхід до реалізації інформаційної системи)

Для оцінювання другого підходу до реалізації ІС, який орієнтований на виконання автоматизованого виконання виявлення аномалій та виділення нових класів несправностей, також використовується комбінований метод.

На першому етапі комбінованого методу було визначено групу експертів.

Оскільки другий підхід до реалізації за технічним рівнем є складнішим, було прийнято рішення до існуючої експертної групи, яка була сформована для оцінки першого підходу, додати двох спеціалістів з машинного навчання (ML), основна роль яких складається з надання оцінок алгоритмів виявлення аномалій, динамічної кластеризації та ML-архітектури.

Окрім того, до анкети експертного оцінювання (рисунок 4.2) було додано запитання для оцінювання складних технічних кроків реалізації ІС.

На рисунку 4.8 наведена анкета, що містить додаткові запитання.

Результати першого раунду опитування експертів показали середні оцінки для виділених факторів впливу. Узагальнені результати першого раунду опитування експертів для виділених факторів впливу для другого підходу до реалізації ІС наведені у таблиці 4.19.

Анкета експертного оцінювання (додаткові запитання)

Блок 1 – Відкриті запитання

1. Яким чином доцільно визначати поріг чутливості алгоритмів виявлення аномалій, щоб збалансувати кількість хибнопозитивних та хибнонегативних спрацьовувань?
2. Якою має бути стратегія та періодичність донавчання моделей класифікації при динамічному формуванні нових кластерів несправностей?
3. Які механізми попередньої очистки та перевірки даних необхідно впровадити безпосередньо в конвеєр потокової обробки, щоб уникнути потрапляння некоректних даних до ML-моделей?
4. Які метрики варто використовувати для оцінки ефективності механізму зворотного зв'язку між системою, яка пропонує новий кластер та експертом сервісного центру?

Блок 2 – Закриті запитання (оцінювання за шкалою Лайкерта 1-5)

Номер запитання	Запитання
Q1	Інкрементальні алгоритми кластеризації є більш доцільними для цієї системи, ніж повне періодичне перенавчання.
Q2	Динамічне формування кластерів є високо вразливим до проблеми забруднення даних при неякісному введенні з боку сервісних центрів.
Q3	Автоматизація процесу класифікації дозволить скоротити час обробки одного інциденту щонайменше на 50%.
Q4	Для підтримки працездатності такої ІС у довгостроковій перспективі необхідне створення окремої команди супроводу ML-моделей.
Q5	Термін окупності даного підходу перевищуватиме 3 роки через значні капітальні витрати на хмарну/розподілену інфраструктуру.
Q6	Механізм ручного підтвердження нових кластерів експертами може стати вузьким місцем, що знизить загальну продуктивність системи.

Блок 3 – Оцінювання ризиків

Номер ризику	Ризик
R1	Некоректна робота ML-алгоритмів

Рисунок 4.8 – Анкета опитування експертів з додатковими питаннями для другого підходу до реалізації

Таблиця 4.19 – Узагальнені результати першого раунду опитування експертів для виділених факторів впливу для другого підходу до реалізації ІС

Виділений фактор	Середня оцінка (1-5)
Високі початкові витрати на ML-інфраструктуру (F1)	4,8
Складність архітектури та потокової обробки (F2)	4,7
Ризик забруднення даних (F3)	4,4
Дефіцит висококваліфікованих ML-спеціалістів (F4)	4,5
Забезпечення безпеки у розподілених системах (F5)	4,3
Складність налаштування зворотного зв'язку (F6)	4,1
Масштабованість (F7)	4,9

Отримані значення вказують, що із залученням нових експертів виділені фактори були змінені при переході до другого підходу з реалізації ІС.

Найвища оцінка була виставлена для фактору:

- масштабованості (F7);
- високих початкових витрат на ML-інфраструктуру (F1);
- складності архітектури (F2).

З цього випливає, що другий підхід вимагає значних капітальних інвестицій та глибокої технологічної експертизи на етапі ініціації та розробки ІТ-проєкту, порівняно з першим підходом.

Наступним кроком першого етапу було виставлення експертами рангів для визначених найбільш впливових факторів.

Цими факторами є:

- високі початкові витрати на ML-інфраструктуру (F1);
- складність архітектури (F2);
- дефіцит кваліфікованих ML-спеціалістів (F4);
- забезпечення безпеки (F5);
- масштабованість (F7).

Відповідні результати дослідження (матриця рангів, визначених експертами для факторів впливу) наведені в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 – Матриця рангів, визначених експертами для факторів впливу

Номер експерта	Високі початкові витрати на ML-інфраструктуру (F1)	Складність архітектури та потокової обробки (F2)	Дефіцит висококваліфікованих ML-спеціалістів (F4)	Забезпечення безпеки у розподілених системах (F5)	Масштабованість (F7)
E1	2	3	4	5	1
E2	1	3	4	5	2
E3	2	3	4	5	1
E4	3	2	4	5	1
E5	2	3	4	5	1
E6	2	4	3	5	1
E7	1	3	4	5	2
E8	2	3	4	5	1
E9	2	4	3	5	1
E10	3	2	4	5	1
E11	2	3	4	5	1
E12	1	4	3	5	2
E13	2	3	4	5	1
E14	2	3	4	5	1

Аналіз даних, наведених в таблиці 4.20 показав, що відсутні зв'язані ранги. Після виконання проміжних розрахунків відхилень для кожного фактору здійснюється розрахунок коефіцієнту Кендела за формулою (4.1).

Розрахований коефіцієнт конкордації Кендела $W = 0,90$ свідчить про дуже високий рівень узгодженості оцінок експертної групи.

Згідно з результатами ранжування найкритичнішими факторами для другого підходу до реалізації є:

- вимоги до масштабованості системи (F7),
- високі початкові витрати на розгортання ML-інфраструктури (F1).

Фактори безпеки (F5) були визначені як найменш критичними на даному етапі.

В подальших дослідженнях експертами було виставлено оцінки для ризиків, які складаються з: ризиків, визначених для першого підходу до реалізації, та ризику некоректної роботи ML-моделей.

У таблиці 4.21 представлені узагальнені результати оцінювання ризиків експертною групою та визначені зони ризиків.

Таблиця 4.21 – Узагальнені результати оцінювання ризиків експертною групою та визначені зони ризиків

Номер ризика	Ризик	Середня ймовірність $P [0;1]$	Середній вплив $I [1;3]$	Рівень ризику $P \times I$	Зона ризику (рисунок 4.9)
R1	Низька якість даних	0,60	2,80	1,68	Помаранчева
R2	Складність інтеграції	0,65	2,60	1,69	Помаранчева
R3	Зміна вимог	0,50	2,00	1,00	Жовта
R4	Технічна обмеженість	0,45	2,50	1,13	Жовта
R5	Ризики інформаційної безпеки	0,55	2,90	1,60	Помаранчева
R6	Недостатність ресурсів	0,80	2,70	2,16	Червона
R7	Некоректна робота ML-алгоритмів	0,75	2,80	2,10	Червона

На рисунку 4.9 представлена карта ризиків, що заснована на отриманих результатах оцінювання ризиків експертною групою.



Рисунок 4.9 – Карта ризиків для другого підходу до реалізації

На другому етапі комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту визначені на попередньому етапі фактори впливу перетворюються на формалізовану систему критеріїв оцінювання.

Особливість полягає в тому, що другий підхід до реалізації ІС пропонує використання алгоритмів машинного навчання для динамічного формування кластерів та потокової обробки даних.

Це дозволить мінімізувати кількість помилок, викликаних людським фактором, однак потребує більш складної інфраструктури та значних капітальних інвестицій на початкових стадіях розробки.

З метою забезпечення методологічної узгодженості та можливості подальшого формального (математичного) зіставлення двох підходів до реалізації ІС за допомогою методів багатокритеріального прийняття рішень використовуються основні групи критеріїв, які були визначені для першого підходу.

Саме тому формалізація використовує такі групи розподілу критеріїв:

- технічні критерії (C1);
- організаційні критерії (C2);
- критерії якості даних (C3);
- ризикові критерії (C4);
- економіко-експлуатаційні критерії (C5).

Використання узагальнених груп критеріїв дозволяє порівнювати два підходи до реалізації ІС з огляду на однакові глобальні цілі проєкту, що дає можливість коректно проаналізувати отримані результати на фінальних етапах комбінованого методу.

Таким чином, кожна визначена група та критерії, що до неї входять, наведені в таблицях 4.22 – 4.26.

Таблиця 4.22 – Технічні критерії (C1)

Позначення критерію	Критерій	Опис
C1.1	Складність інтеграції	Рівень складності об'єднання розподілених БД та потоків даних
C1.2	Архітектурна складність	Складність побудови централізованого сховища та ML-пайплайнів
C1.3	Масштабованість	Здатність системи до динамічного розширення обчислювальних потужностей
C1.4	Гнучкість	Можливість адаптації до нових типів даних без перенавчання моделей

Таблиця 4.23 – Організаційні критерії (C2)

Позначення критерію	Критерій	Опис
C2.1	Кількість стейкхолдерів	Кількість зацікавлених сторін
C2.2	Узгодженість вимог	Ступінь узгодженості між учасниками проєкту
C2.3	Рівень автоматизації	Частка автоматизованих процесів (без ручного втручання)

Таблиця 4.24 – Критерії якості даних (C3)

Позначення критерію	Критерій	Опис
C3.1	Повнота даних	Наявність необхідної інформації
C3.2	Достовірність	Відсутність помилок та хибних аномалій
C3.3	Стандартизація	Узгодженість форматів
C3.4	Однорідність	Сумісність даних, що надходять у реальному часі

Таблиця 4.25 – Ризикові критерії (C4)

Позначення критерію	Критерій	Опис
C4.1	Повнота даних	Зміни вимог під час реалізації ML-моделей
C4.2	Достовірність	Технічні труднощі обробки великих даних
C4.3	Стандартизація	Наслідки некоректного спрацьовування алгоритмів
C4.4	Однорідність	Несанкціонований доступ до розподілених кластерів

Таблиця 4.26 – Економіко-експлуатаційні критерії (C5)

Позначення	Критерій	Опис
C5.1	Початкові витрати	Витрати на розробку, ML-інфраструктуру та високооплачуваних спеціалістів
C5.2	Витрати на підтримку	Витрати на серверне обслуговування (хмарні обчислення)
C5.3	Трудомісткість супроводу	Необхідність залучення персоналу
C5.4	Ефективність використання	Довгострокові вигоди від автономної роботи системи

Таким чином, для другого підходу до реалізації ІС високий рівень автоматизації системи збільшує показники критерію автоматизації (C2.3) та мінімізує трудомісткість супроводу і залежність від експертів (C5.3). Крім того, використання розподілених обчислень потребує складної реалізації обробки даних, що підвищує архітектурну складність (C1.2), а також необхідність залучення висококваліфікованих ML-спеціалістів, а отже, збільшує початкові капітальні витрати на проєкт (C5.1).

На третьому етапі комбінованого методу здійснюється визначення вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання із застосуванням методу аналізу ієрархій та методу Делфі [27]. Процес визначення ваг відбувається за таким самим принципом, що і для першого підходу: формування матриць попарних порівнянь, агрегування експертних оцінок, розрахунок локальних ваг, перевірка узгодженості та формування глобальних ваг.

Матриці попарних порівнянь і нормалізована матриця та ваги представлені в таблицях 4.27-4.28 відповідно.

Таблиця 4.27 – Матриця попарних порівнянь груп критеріїв для другого підходу до реалізації

Критерії	Технічні (C1)	Організаційні (C2)	Якість даних (C3)	Ризикові (C4)	Економічні (C5)
Технічні (C1)	1	5	3	2	2
Організаційні (C2)	1/5	1	1/3	1/4	1/4
Якість даних (C3)	1/3	3	1	1/2	1/2
Ризикові (C4)	1/2	4	2	1	1/2
Економічні (C5)	1/2	4	2	2	1

Таблиця 4.28 – Нормалізована матриця та ваги

Критерії	Технічні (C1)	Організаційні (C2)	Якість даних (C3)	Ризикові (C4)	Економічні (C5)	Вага (Середнє)
Технічні (C1)	0,39	0,29	0,36	0,35	0,47	0,37
Організаційні (C2)	0,08	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06
Якість даних (C3)	0,13	0,18	0,12	0,09	0,12	0,13
Ризикові (C4)	0,20	0,24	0,24	0,17	0,12	0,19
Економічні (C5)	0,20	0,24	0,24	0,35	0,24	0,25

Отже, отримуємо вектор ваг груп критеріїв оцінювання для другого підходу до реалізації ІС: $W = (0,37; 0,06; 0,13; 0,19; 0,25)$.

Таким чином, для ML-архітектури найбільш важливою є група технічних критеріїв (0,37), адже правильна побудова ML-алгоритмів та масштабованості є основними для подальшої роботи системи. Не менш значущими є групи економіко-експлуатаційних критеріїв (0,25) та ризикових критеріїв (0,19).

Для визначення узгодженості оцінок експертів було використано ненормалізовану матрицю попарних порівнянь. За результатами проведених розрахунків з використанням формули (4.5) отримуємо такі власні значення для кожного критерію: $AW_{C1}=5,24$; $AW_{C2}=4,67$; $AW_{C3}=4,92$; $AW_{C4}=5,16$; $AW_{C5}=5,20$.

Максимальне власне значення знаходиться за формулою (4.6):

$$\lambda_{\max} = \frac{5,24 + 4,67 + 4,92 + 5,16 + 5,20}{5} = 5,04 .$$

Індекс узгодженості розраховується за формулою:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,04 - 5}{4} = 0,01 .$$

Останнім визначається відношення узгодженості. Для матриці розмірністю $n=5$ використовується значення випадкового індексу $RI=1,12$.

Таким чином, відношення узгодженості дорівнює:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,01}{1,12} \approx 0,009.$$

Оскільки отримане значення відношення узгодженості дорівнює $CR < 0,1$, можна зробити висновок, що рівень узгодженості експертних оцінок є високим. Це доводить, що розрахований вектор вагових коефіцієнтів W є логічно несуперечливим та може використовуватись на подальших етапах комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту.

На четвертому етапі комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту будується економіко-математична модель.

Другий підхід до реалізації ІС передбачає використання алгоритмів машинного навчання, динамічної кластеризації та потокової обробки даних, отже початкові капітальні витрати на розробку будуть значно перевищувати витрати для першого підходу. Однак у довгостроковій перспективі експлуатаційні витрати зменшуються за рахунок використання високого рівня автоматизації.

Для побудови економіко-математичної моделі використовуються ті ж складові, що і для першого підходу:

- оцінка інвестиційних витрат;
- прогнозування грошових потоків;
- розрахунок інтегральних показників ефективності;
- врахування ризиків.

Початкові інвестиційні витрати складаються з витрат:

- на проєктування та створення інфраструктури;
- на розробку та навчання ML-алгоритмів;

- на налаштування систем потокової обробки;
- на впровадження заходів інформаційної безпеки.

Також до витрат входять витрати на залучення ML-спеціалістів та на оренду обчислюваних потужностей для тренування моделей.

До операційних витрат відносяться витрати на хмарний хостінг, на підтримку ML-процесів з відслідковуванням даних та періодичного донавання моделей, а також на залучення фахівців на початку впровадження ІС та під час виникнення складних або неочікуваних випадків.

Первісні інвестиційні витрати I_0 становлять 2800000 грн (див. таблицю 4.29), ставка дисконту r залишається незмінною – 15%, а період інвестування дорівнює 5 років. Значення грошових потоків наведені в таблиці 4.30.

Таблиця 4.29 – Первісні інвестиційні витрати

Стаття витрат	Вартість, грн
Розробка та навчання ML-моделей	1100000
Розгортання розподіленої хмарної інфраструктури	700000
Налаштування систем потокової обробки	600000
Впровадження підсистем безпеки та контролю доступу	400000
Разом	2800000

Таблиця 4.30 – Вихідні дані для розрахунків економічної ефективності ІТ-проєкту за другим підходом до реалізації ІС

Рік (t)	Грошовий потік C_t , грн
1	300000
2	800000
3	1500000
4	2100000
5	2800000

Чистий приведений інтегральний прибуток NPV розраховується за формулою (1.1):

$$NPV = \left(\frac{300000}{1,15} + \frac{800000}{1,15^2} + \frac{1500000}{1,15^3} + \frac{2100000}{1,15^4} + \frac{2800000}{1,15^5} - 2800000 \right) = 1644926.$$

Оскільки отримане значення NPV є додатним і значно перевищує показник першого доходу, реалізація проєкту є економічно ефективною в довгостроковій перспективі.

Розрахунок внутрішньої норми прибутковості IRR проводиться за формулою (4.9). За допомогою методу підбору були встановлені такі значення:

- при $r_1 = 15\%$, $NPV_1 = 1644926$;
- при $r_2 = 32\%$, $NPV_2 = -66000$.

Отже маємо такий розрахунок внутрішньої норми прибутковості IRR:

$$IRR = 15\% + \frac{1\,644\,926}{1\,644\,926 + 66\,000} \times (32\% - 15\%) \approx 31,34\%.$$

Аналіз показав, що $IRR > r$ (тобто $31,34\% > 15\%$), й це вказує на високу фінансову стійкість проєкту.

Залежність показнику приведеної вартості (NPV) від ставки дисконту зображено на рисунку 4.10. Для визначення моменту окупності інвестицій необхідно розрахувати накопичені грошові потоки (формула 4.10).

Обчислені накопичені грошові потоки за другим підходом до реалізації ІС наведені в таблиці 4.31.

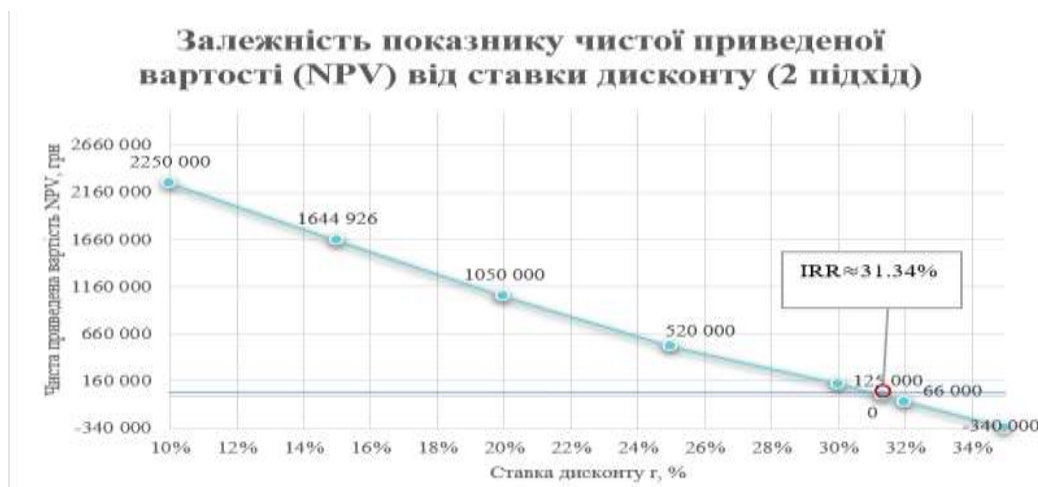


Рисунок 4.10 – Залежність показнику приведеної вартості (NPV) від ставки дисконту для другого підходу до реалізації ІС

Таблиця 4.31 – Обчислені накопичені грошові потоки за других підходом до реалізації ІС

Рік (t)	Грошовий потік (C_t), грн	Накопичений грошовий потік (S_t), грн
1	300 000	300 000
2	800 000	1 100 000
3	1 500 000	2 600 000
4	2 100 000	4 700 000
5	2 800 000	7 500 000

При порівнянні накопиченого потоку з початковими інвестиціями (2800000 грн), визначено, що окупність настає між 3 та 4 роком реалізації ІС. Більш точний розрахунок періоду окупності РР можна провести за формулою:

$$PP = 3 + \frac{2\,800\,000 - 2\,600\,000}{2\,100\,000} \approx 3,09.$$

Таким чином, інвестиції при використанні другого підходу повністю окупляться приблизно через 3 роки та 1 місяць.

На четвертому етапі також здійснюється нормалізація показників ризику для подальшого використання на етапі імітаційного моделювання. Нормалізація впливу виконується шляхом поділу середнього впливу на 3 оскільки оцінки впливу надавались у межах [1;3].

У таблиці 4.32 наведені результати нормалізації ризиків для другого підходу до реалізації ІС.

На п'ятому етапі комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту формуються ймовірнісні характеристики ключових параметрів для врахування невизначеності та ризиків. Використання ймовірнісного підходу пояснюється високою технологічною складністю проєкту, ризиками неправильного відпрацювання алгоритмів машинного навчання та дефіциту висококваліфікованих ML-спеціалістів.

Таблиця 4.32 – Нормалізація оцінок ризиків для другого підходу до реалізації ІС

Номер ризику	Ризик	Середня ймовірність $P [0;1]$	Середній вплив І $[1;3]$	I_{norm} $I/3$	Рівень ризику $P \times I_{\text{norm}}$
P	Низька якість даних	0,60	2,80	0,93	0,56
R2	Складність інтеграції	0,65	2,60	0,87	0,57
R3	Зміна вимог	0,50	2,00	0,67	0,34
R4	Технічні обмеження	0,45	2,50	0,83	0,37
R5	Ризики інформаційної безпеки	0,55	2,90	0,97	0,53
R6	Недостатність ресурсів (ML-спеціалістів)	0,80	2,70	0,90	0,72
R7	Некоректна робота ML-алгоритмів	0,75	2,80	0,93	0,70

Однак зменшення неавтоматизованої обробки даних значно зменшує ймовірність експлуатаційної невизначеності.

На даному етапі ключові параметри проєкту розглядаються як випадкові величини із заданими законами розподілу (формула 4.10).

Стохастичне моделювання застосовується до таких параметрів, як:

- початкові витрати на розробку та ML-інтеграцію;
- операційні витрати на підтримку інфраструктури;
- економічний ефект від масштабування системи;
- тривалість розробки;
- точність роботи алгоритмів.

Витрати на інтеграцію ML-інфраструктуру доцільно описувати нормальним розподілом. На них впливають вартості послуг спеціалістів та витрати на обчислювальні потужності для тренування моделей.

Спрогнозувати витрати на інтеграцію та розробку можна за допомогою дисперсії:

$$C_{\text{int}} \sim N(\mu = 2\,800\,000, \sigma = 560\,000),$$

де C_{int} – витрати на інтеграцію та розробку;

$N(\mu, \sigma)$ – нормальний розподіл;

μ – математичне сподівання;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Операційні витрати для другого підходу до реалізації ІС є достатньо стабільними, порівняно зі значеннями для першого підходу, завдяки автоматизації процесів.

Для їх представлення використовується нормальний розподіл з відносно низьким рівнем дисперсії:

$$C_{\text{opr}} \sim N(\mu = 300000, \sigma = 30000)$$

де C_{opr} – операційні витрати;

$N(\mu, \sigma)$ – нормальний розподіл;

μ – математичне сподівання;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Економічний ефект від впровадження ІС має асиметричний характер. Завдяки тому, що система може динамічно масштабуватись та обробляти великі масиви даних без залучення людського ресурсу, ймовірність отримання вигод є високою, тому використовується трикутний розподіл (формула (4.12)), із параметрами:

– $a = 15000000$;

– $m = 4500000$;

– $b = 2800000$.

Середнє очікуване значення економічного ефекту для трикутного розподілу визначається за формулою (4.13) і дорівнює:

$$\mu = \frac{a + m + b}{3} = \frac{15000000 + 2800000 + 4500000}{3} = 2933333.$$

Тривалість реалізації проєкту описується трикутним розподілом (формула (4.12)) з параметрами: $a = 1,5$; $m = 2,0$; $b = 3,5$.

Точність роботи алгоритмів представляється за допомогою бета-розподілу за формулою (4.14) з використанням параметрів: $\alpha = 8$, $\beta = 2$.

Це дозволяє описати метрики точності як обмежені величини в інтервалі від 0 до 1 з урахуванням високої очікуваної результативності ML-моделей.

Середнє значення бета-розподілу визначається за формулою (4.15) і дорівнює 0,8.

Ймовірнісні характеристики наведених параметрів корелюють з ризиками, які визначені на попередніх етапах використання комбінованого методу.

На шостому етапі запропонованого комбінованого методу проводиться виконання імітаційного моделювання за допомогою методу Монте-Карло для отримання об'єктивної оцінки другого підходу до реалізації ІС. На відміну від першого підходу, основні ризики другого підходу зосереджені на етапі ініціації та розробки, а експлуатаційні витрати залишаються стабільними завдяки високому рівню автоматизації.

Використання стохастичного моделювання на цьому етапі дозволяє формально врахувати ймовірнісний характер цих факторів впливу.

З використанням сформованих на п'ятому етапі ймовірнісних параметрів та законів розподілу проводиться багаторазове генерування можливих сценаріїв розвитку ІТ-проєкту. Програмний алгоритм виконує 100 тисяч ітерацій, під час кожної з яких випадковим чином обирається значення для витрат на розробку ML-інфраструктури, операційних витрат, тривалості реалізації, очікуваного економічного ефекту від масштабування та точності алгоритмів у межах заданих статистичних меж.

На рисунках 4.11 та 4.12 наведені результати виконання методу Монте-Карло та їх візуальне представлення для другого підходу до реалізації ІС.

=== СТАТИСТИЧНИЙ ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ: ДРУГИЙ ПІДХІД ===

	Середнє (mean)	Відхилення (std)	Мінімум	5% перцентиль	Медіана (50%)	95% перцентиль	Максимум
Початкові витрати (C_int)	2799189.52	560007.13	269246.54	1876935.88	2799835.52	3719546.39	5293346.51
Операційні витрати (C_opr)	300041.81	30128.12	178698.45	250535.90	299898.81	349674.17	426088.50
Економічний ефект	2932609.64	615906.92	1501129.65	1940772.17	2898443.60	3999437.43	4498650.26
Тривалість проекту (роки)	2.34	0.43	1.50	1.73	2.28	3.11	3.50
Точність алгоритмів	0.80	0.12	0.17	0.57	0.82	0.96	1.00
Чиста приведена вартість (NPV)	-567219.48	847109.29	-4017342.51	-1949635.20	-574855.13	839492.44	2833682.68

=== ЙМОВІРНІСТЬ УСПІХУ ПРОЄКТУ ===

Ймовірність того, що проєкт буде прибутковим (Чиста приведена вартість > 0): 25.51%

Рисунок 4.11 – Результати виконання методу Монте-Карло для другого підходу до реалізації ІС

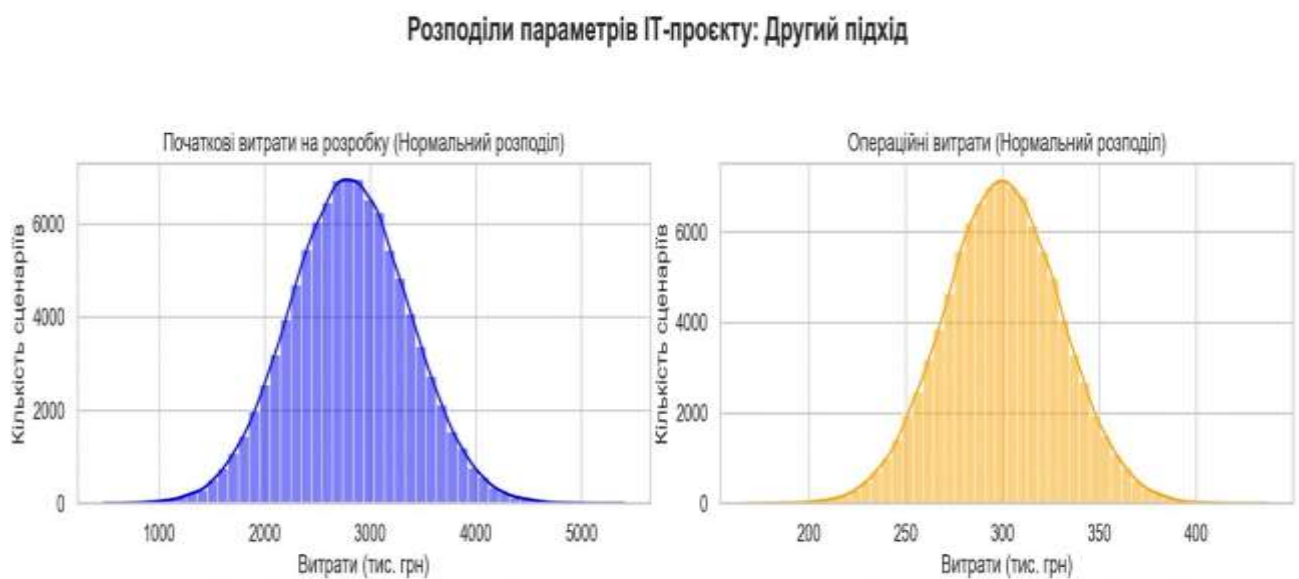


Рисунок 4.12 – Візуалізація результатів, отриманих при виконанні методу Монте-Карло, аркуш 1

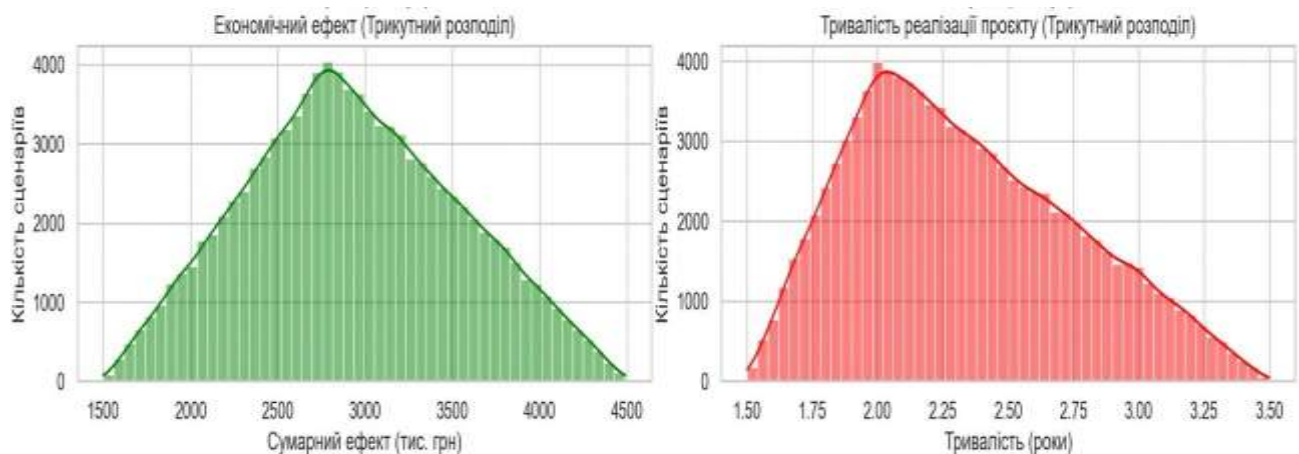


Рисунок 4.12, аркуш 2

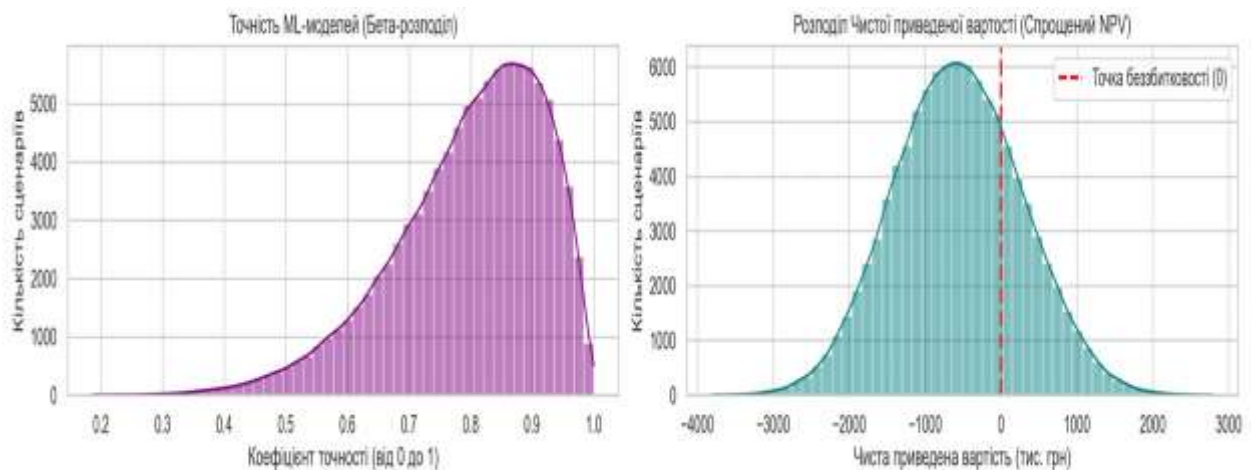


Рисунок 4.12, аркуш 3

Для оцінки другого підходу до реалізації ІС впродовж 2,33 року було проведено аналіз результатів імітаційного моделювання за методом Монте-Карло. Отримані розподіли 100000 ітерацій показують вплив технологічних ризиків, дефіциту людських ресурсів та нестабільності вартості розгортання розподіленої ML-інфраструктури.

У песимістичних сценаріях це призводить до перевищення бюджету понад 3700000 гривень. Операційні витрати є стабільними із середнім значенням близько 300000 гривень та мінімальним відхиленням, що вказує на високу ефективність автоматизації.

Економічний ефект за короткий період в середньому становить 2930000 гривень, що є недостатнім для нівелювання початкових інвестицій та поточних витрат.

Як наслідок, графік розподілу чистої приведеної вартості зміщений у від'ємну зону з математичним сподіванням близько мінус 564000 гривень, а лінія беззбитковості (червона вертикальна лінія) знаходиться праворуч від центральної осі.

Відповідно, розрахована ймовірність окупності проєкту у межах розглянутого початкового часового періоду становить лише 25,51%.

Це вказує на те, що другий підхід у перші роки реалізації вимагає гарантованого фінансування, аби система масштабувалась та досягла очікуваної ефективності в довгостроковій перспективі.

З метою комплексної оцінки довгострокової фінансової ефективності другого підходу до реалізації ІС, метод імітаційного моделювання було розширено до п'ятирічного експлуатаційного періоду.

Отримані результати та розраховані статистичні характеристики наведено на рисунках 4.13–4.14.

== СТАТИСТИЧНИЙ ОПИС (5-РІЧНИЙ ПЕРІОД) ==

	Середнє (mean)	Відхилення (std)	Мінімум	5% перцентиль	Медіана (50%)	95% перцентиль	Максимум
Початкові витрати	2803846.02	558651.45	345894.52	1884812.82	2805473.78	3724317.63	5194415.53
Операційні витрати (5 років)	1499797.33	149767.51	782287.86	1253342.52	1499417.15	1746355.90	2207888.87
Економічний ефект (5 років)	7498533.70	1020996.00	5007153.17	5788053.23	7497696.49	9210120.29	9996892.08
Чиста приведена вартість (5 років)	3194890.35	1171734.65	-1030542.38	1263995.37	3189985.61	5131733.05	7222431.16

== ЙМОВІРНІСТЬ УСПІХУ ПРОЄКТУ (5-РІЧНИЙ ПЕРІОД) ==

Ймовірність прибутковості (Чиста приведена вартість > 0): 99.89%

Рисунок 4.13 – Результати виконання методу Монте-Карло для другого підходу до реалізації ІС при експлуатаційному періоді 5 років

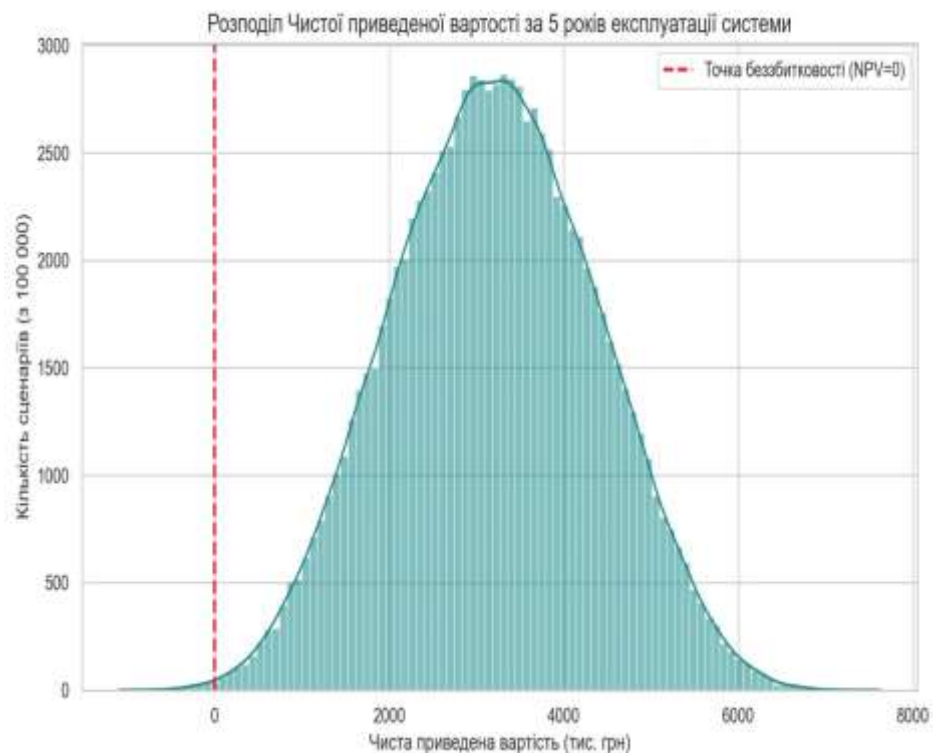


Рисунок 4.14 – Візуалізація результатів розподілу чистої приведеної вартості для другого підходу до реалізації ІС при експлуатаційному періоді 5 років

Аналіз наведених результатів показує, що ML-архітектура дає можливість отримати значний прибуток у середній та довгостроковій перспективі. Аналіз згенерованих розподілів показує, що початкові інвестиційні витрати мають високе математичне сподівання на рівні 2800000 гривень із помітною дисперсією, що відображає ризики етапу розробки алгоритмів та розгортання хмарної інфраструктури. Операційні витрати за п'ять років експлуатації акумулюються до приблизно 1500000 гривень і характеризуються мінімальним відхиленням. Це вказує на перевагу другого підходу над першим.

Оскільки не потрібно залучати більше спеціалістів при збільшенні обсягів даних, економічний ефект збільшується до 7500000 гривень при використанні ІС не менше 5 років. Рівень успішності проєкту візуалізовано на рисунку 4.14, де більшість 100 тисяч згенерованих стохастичних сценаріїв знаходяться праворуч від точки беззбитковості (червона лінія графіка).

В результаті обчислень визначено, що ймовірність досягнення прибутковості у п'ятирічній перспективі становить 99,89%. Отже, результати імітаційного моделювання за методом Монте-Карло доводять, що реалізація ІС на базі методів машинного навчання є інвестиційно вигідним та стратегічно виправданим рішенням, яке вказує на ефективне функціонування сервісних центрів в умовах постійного зростання обсягів даних.

На сьомому етапі розробленого комбінованого методу проводиться узагальнення результатів, отриманих на етапі стохастичного моделювання та критеріїв, визначених експертами для кожного фактору впливу.

Для другого підходу було визначено, що група технічних критеріїв (C1), що мають найбільший коефіцієнт значущості для архітектури, корелює з високою дисперсією початкових витрат та подовженою тривалістю розробки. Це підтверджує високий рівень складності (C1.2).

Відсоток достовірності даних становить 80%, що перевищує показник, розрахований для першого підходу до реалізації ІС.

Другий підхід використовує алгоритми машинного навчання, що максимізує рівень автоматизації системи (C2.3), також дозволяє мінімізувати вплив людського фактору під час аналізу аномалій системи. Високі оцінки за масштабованістю (C1.3) дозволяють підтвердити, що система може адаптуватися до зростання обсягів вхідних даних.

За допомогою імітаційного моделювання було встановлено, що низька ймовірність успіху проєкту (25,51%) в межах 2,33 роки вказує на важливість критерію початкових витрат (C5.1) та високі ризики етапу розробки.

Однак, довгострокова перспектива використання системи збільшує ймовірність успіху до 99,89%, отже витрати на підтримку (C5.2) залишаються мінімальними, а отже і трудомісткість супроводу (C5.3) теж є мінімальною.

Це, в свою чергу, гарантує високу економічну ефективність використання системи (C5.4).

Восьмий етап розробленого комбінованого методу передбачає комплексний аналіз та узагальнення отриманих результатів задля прийняття фінального рішення про доцільність реалізації ІТ-проєкту та вибору оптимального підходу.

На цьому етапі здійснюється інтерпретація результатів детермінованого та стохастичного моделювання, виявляються критичні фактори впливу та розробляється стратегія управління ризиками.

Порівняння ефективності двох проаналізованих підходів до реалізації ІС з визначеними ключовими показниками, отриманими на попередніх етапах комбінованого методу, наведені у таблиці 4.33.

Таблиця 4.33 – Порівняльний аналіз підходів до реалізації ІС

Ключовий показник або метрика	Перший підхід	Другий підхід
1	2	3
Найвагоміша група критеріїв	Якість даних (0,34)	Технічна група критеріїв (0,37) та економічна група критеріїв (0,25)
Початкові інвестиції	Помірні (1100000 гривень)	Високі (2800000 гривень)

Кінець таблиці 4.33

1	2	3
Операційні витрати	Нестабільні, постійно зростають (людський фактор)	Стабільні, прогнозовані (в середньому 300000 грн/рік)
Очікувана якість і точність	71%	80%
Період окупності (PP)	Більше 4 років	Близько 3 років і 1 місяця
Ймовірність успіху (2-3 роки)	Низька (через зростання витрат на персонал)	25,51% (через високі початкові витрати)
Ймовірність успіху (5 років)	36,39% (високоризиковий)	99,89% (низькоризиковий)
Основний фактор впливу	Масштабованість бази даних несправностей технічних приладів	Технологічна складність розробки та дефіцит ML-спеціалістів

Для першого підходу за допомогою імітаційного моделювання виявлено, що зміна обсягів вхідних даних критично впливає на загальну ефективність, бо збільшення кількості типів несправностей збільшує операційні витрати на неавтоматизовану обробку аномалій системи. Це призводить до того, що ймовірність фінансового успіху проєкту в довгостроковій перспективі становить лише 36,39%, що робить його економічно неефективним.

В свою чергу, аналіз результатів використання методу Монте-Карло для другого підходу показав, що критичними факторами є розмір початкових інвестицій та тривалість навчання моделей. Для перших 2-3 років ймовірність швидкої окупності ІС становить лише 25,51%.

Однак, високий рівень автоматизації та можливість масштабування системи нівелюють вплив зростання обсягу даних. Оскільки операційні витрати є майже незмінюваними й точність алгоритмів досягає 80%, економічний ефект для періоду від 5 років гарантований з ймовірністю 99,89% із середнім значенням чистої приведеної вартості – 3200000 гривень.

Аналіз отриманих оцінок вказує на доцільність реалізації проєкту з розробки ІС за другим підходом, оскільки він виявився найбільш оптимальним та спроможним забезпечити конкурентну перевагу мережі сервісних центрів при впровадженні ІС.

Таким чином, результати виконання комбінованого методу оцінювання ІТ-проєкту дозволяють прийняти рішення щодо відхилення першого підходу до реалізації через його невідповідність вимогам масштабованості та прийняти рішення про реалізацію ІТ-проєкту за допомогою алгоритмів машинного навчання, запропонованих у другому підході.

ВИСНОВКИ

За результатами дослідження даної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз методів оцінювання та вибору альтернатив ІТ-проектів, спрямованих на розробку та впровадження ІС, на стадії ініціації. Окрім того, було визначено ключові обмеження окремих груп методів для об'єктивного комплексного оцінювання та проаналізовано методології та стандарти, за якими виконується управління ІТ-проектами.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було виконано такі завдання:

- проаналізовано теоретичні та методологічні основи управління проектами, існуючі стандарти та методи проектного оцінювання на стадії ініціації;
- досліджено особливості ІТ-проектів, спрямованих на збір, облік та аналіз великих масивів даних;
- розроблено алгоритм комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації;
- визначено та описано особливості застосування розробленого комбінованого методу оцінювання проектів;
- практично реалізовано (апробовано) запропонований метод на прикладі ІТ-проекту розробки ІС обліку та аналізу даних про несправності електронної техніки для мережі сервісних центрів;
- проаналізовано отримані результати та сформовано рекомендації щодо вибору найефективнішого підходу до реалізації проекту.

Під час виконання дослідження було розроблено та описано особливості застосування комбінованого методу оцінювання ІТ-проектів на стадії ініціації. Цей метод поєднує застосування експертно-аналітичних, економіко-математичних та імітаційних груп методів.

Для перевірки ефективності комбінованого методу було проведено апробацію на стадії ініціації ІТ-проєкту для мережі сервісних центрів. Метою було визначити найефективніший з двох запропонованих підходів до реалізації. Для цього було сформовано ієрархію критеріїв оцінювання на базі результатів проведеного експертного оцінювання та визначено ключові економічні показники ІТ-проєкту.

Порівняння альтернативних підходів за допомогою розробленого комбінованого методу оцінювання дозволило визначити, що використання методів машинного навчання забезпечує значне покращення економічних показників та має вищу ймовірність фінансового успіху проєкту в довгостроковій перспективі.

Запропонований комбінований метод може бути використаний з метою комплексного, кількісного та об'єктивного оцінювання ІТ-проєктів на стадії ініціації в умовах невизначеності в таких сферах, як телекомунікації, логістика, технічна підтримка тощо.

Розроблений графічний матеріал, що отриманий під час виконання кваліфікаційної роботи, наведений у додатку Б.

Основні результати дослідження, отримані в ході виконання даної кваліфікаційної роботи, доповідались на міжнародних конференціях [65] та наукових форумах [66-68], відповідні тези доповідей були опубліковані. Також, матеріали дослідження були представлені на конкурсі наукових робіт.

Кваліфікаційну роботу було виконано відповідно до вимог, визначених в методичних вказівках з організації виконання кваліфікаційної роботи [69] та національним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення» [70].

Оформлення переліку джерел посилання виконано згідно з національним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [71].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. Wiley & Sons, Limited, John, 2022. 848 p.
2. Schwalbe K. Information Technology Project Management. Cengage Learning, 2023. 672 p.
3. Управління IT-проєктами: Загальні питання теорії управління IT-проєктами (конспект лекцій) Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / уклад.: Л. М. Добровська, О. С. Коваленко, О. А. Аверьянова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,67 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022 – 284 с.
4. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide): Seventh Edition. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021. 250 p.
5. Managing Successful Projects with PRINCE2® 7th Edition. London: PeopleCert (AXELOS), 2023. 341 p.
6. /IEC/IEEE 12207:2017. Systems and software engineering — Software life cycle processes. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. 155 p.
7. Project Management Institute. Process Groups: A Practice Guide. Project Management Institute, 2022. 370 p.
8. Управління IT-проектами. [Книга 1. Стандарти, моделі та методи управління проектами] : підручник / за наук. ред. д.т.н., проф., В. В. Пасічника ; А. В. Катренко. – 2-ге видання. – Львів: «Новий Світ-2000», 2026. – 550 с.
9. Класифікація економіко-математичних методів і моделей. Stud. URL:https://stud.com.ua/9258/ekonomika/klasifikatsiya_ekonomiko_matematichnih_metodiv_modeley (дата звернення: 25.02.2026).

10. Dyckhoff H., Souren R. Performance Evaluation. Cham : Springer International Publishing, 2020.
11. Data-Driven Decision Making for Sustainable Business Growth / ed. by I. Qasem. Cham : Springer Nature Switzerland, 2025.
12. Encyclopedia of Operations Research and Management Science (3rd edition). Reference Reviews. 2014.
13. PERT chart: Definition, examples & how to make one. Asana. URL: <https://asana.com/resources/pert-chart> (дата звернення: 25.02.2026).
14. ТЕОРИЯ ІГОР. Stud. URL : https://stud.com.ua/93131/ekonomika/teoriya_igor (дата звернення: 25.03.2026).
15. Anderson D., Morales P. J. Process Simulation and Parametric Modeling for Strategic Project Management. Springer, 2013. 84 p.
16. Прийняття управлінських рішень - Петруня Ю. Є. – 7.2. Формування експертних оцінок та оцінка узгодженості експертів. Підручники для студентів. URL: <https://ukrtextbook.com/prijnyattya-upravlinskix-rishen-petrunya-yu-ye/prijnyattya-upravlinskix-rishen-petrunya-yu-ye-7-2-formuvannya-ekspertnix-ocinok-ta-ocinka-uzgodzhenosti-ekspertiv.html> (дата звернення: 30.04.2026).
17. Що таке чиста поточна вартість (NPV)? – Finances.in.ua. URL: <https://finances.in.ua/shcho-take-chysta-potochna-vartist-npv/> (дата звернення: 02.05.2026).
18. Внутрішня норма прибутковості (IRR): визначення та приклад. Economía Finanzas. URL: <https://uk.economiafinanzas.com/визначення-внутрішньої-норми-прибутковості-та-приклад/> (дата звернення: 02.05.2026).
19. Індекс доходності (рентабельності) інвестиції. Pidru4niki. URL: https://pidru4niki.com/69035/ekonomika/indeks_dohodnosti_rentabelnosti_investitsiyi (дата звернення: 02.05.2026).
20. Розрахунок періоду окупності інвестицій (PP). Pidru4niki. URL: https://pidru4niki.com/67958/menedzhment/rozrahunok_periodu_okupnosti_investitsiy (дата звернення: 02.05.2026).

21. Зінов'єва О. Г., Шаров С. В., Паламарчук І. П. 3 63 Імітаційне моделювання та моделювання систем: навчальний посібник. Запоріжжя : ФОП Однорог Т.В., 2025. 203 с.
22. Метод Монте-Карло: Інтегрування без Складних Формул. www.mathros.net.ua – Сайт для студентів спеціальності інформатика. URL: <https://www.mathros.net.ua/chyselne-integruvannja-metodom-monte-karlo.html> (дата звернення: 05.05.2026).
23. Simulation Modeling and Analysis. 6th ed. McGraw-Hill Education, 2023. 688 p.
24. Системний аналіз : підручник / за наук. ред. д.т.н., проф. В. В. Пасічника ; А. В. Катренко. – 2-ге видання, стереотипне. – Львів : «Новий Світ-2000», 2026. – 396 с.
25. Метод ранжирування. Stud. URL : https://stud.com.ua/53270/ekonomika/metod_ranzhiruvannya (дата звернення: 22.04.2026).
26. GeeksforGeeks. Delphi Method : Meaning, Uses, Process and Application - GeeksforGeeks. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/business-studies/delphi-method-meaning-uses-process-and-application/> (дата звернення: 25.03.2026).
27. A Systematic Review of the Delphi–AHP Method in Analyzing Challenges to Public-Sector Project Procurement and the Supply Chain: A Developing Country's Perspective. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14215> (дата звернення: 11.03.2026).
28. Munier N., Hontoria E. Uses and Limitations of the AHP Method. Cham : Springer International Publishing, 2021.
29. SWOT Analysis. Corporate Finance Institute. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/swot-analysis/> (дата звернення: 26.02.2026).
30. Nosowitz D., IBM Apptio team. What Is Total Cost of Ownership (TCO)? | IBM. IBM. URL: <https://www.ibm.com/think/topics/total-cost-of-ownership> (дата звернення: 26.02.2026).

31. GeeksforGeeks. Functional Point (FP) Analysis - Software Engineering - GeeksforGeeks. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering/software-engineering-functional-point-fp-analysis/> (дата звернення: 27.02.2026).

32. GeeksforGeeks. COCOMO Model – Software Engineering – GeeksforGeeks. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering/software-engineering-cocomo-model/> (дата звернення: 03.03.2026).

33. Моделювання процесів в економіці та управлінні проектами з використанням нових інформаційних технологій : монографія / за заг. ред В.О. Тимофєєва, І.В. Чумаченко Х: ХНУРЭ, 2015. 245 с.

34. Agile Estimation Explained with Examples | ProjectPractical.com. ProjectPractical.com. URL: <https://www.projectpractical.com/agile-estimation/> (дата звернення: 04.03.2026).

35. GeeksforGeeks. Return on Assets (ROA) : Meaning, Importance, Formula & Examples – GeeksforGeeks. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/finance/return-on-assets-roa-meaning-importance-formula-examples/> (дата звернення: 04.03.2026).

36. Середнє, медіана та мода: відмінності, приклади та калькулятор. Statorials. URL: <https://statorials.org/uk/середня-медіана-і-мода/> (дата звернення: 02.05.2026).

37. Обчислити середнє арифметичне: формула, приклади, калькулятор,... Statorials. URL: <https://statorials.org/uk/> (дата звернення: 04.03.2026).

38. Діапазон: Що Це Таке і Як Його Використовувати в Науці та Технологіях. URL: <https://all-news.com.ua/diapazon-shcho-tse-take-i-yak-yoho-vykorystovuvaty-v-nautsi-ta-tekhnologiiakh> (дата звернення: 02.05.2026).

39. Cost Estimation Techniques: How to Apply Parametric: Analogous: and Expert Judgment Methods – FasterCapital. FasterCapital. URL: <https://fastercapital.com/content/Cost-Estimation-Techniques--How-to-Apply->

Parametric--Analogous--and-Expert-Judgment-Methods.html (дата звернення: 12.03.2026).

40. Правила формулювання запитань анкети. Види запитань при анкетуванні. Електронна бібліотека підручників. URL: https://eduknigi.com/ped_view.php?id=86 (дата звернення: 13.03.2026).

41. 40+ найкращих прикладів шкали Лайкерта - AhaSlides. *AhaSlides*. URL: <https://ahaslides.com/uk/blog/likert-scale-examples/> (дата звернення: 08.05.2026).

42. Google Forms: Online Form Creator | Google Workspace. Google. URL: <https://www.about.google/forms/about/> (дата звернення: 13.03.2026).

43. Microsoft Excel. Microsoft Excel Online. URL: <https://excel.cloud.microsoft/en-gb/> (дата звернення: 13.03.2026).

44. Pandas – Python Data Analysis Library. pandas - Python Data Analysis Library. URL: <https://pandas.pydata.org/> (дата звернення: 13.03.2026).

45. Microsoft – AI, Cloud, Productivity, Computing, Gaming & Apps. Microsoft – AI, Cloud, Produktivität, Computing, Gaming und Apps. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/> (дата звернення: 13.03.2026).

46. Business Intelligence and Analytics Software. Tableau. URL: <https://www.tableau.com/> (дата звернення: 13.03.2026).

47. Коефіцієнт конкордації – Wiki ТНТУ. Wiki ТНТУ. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Коефіцієнт_конкордації (дата звернення: 13.03.2026).

48. Discount Rate | Formula + Calculator. Wall Street Prep. URL: <https://www.wallstreetprep.com/knowledge/discount-rate/> (дата звернення: 16.03.2026).

49. GeeksforGeeks. What is Monte Carlo Simulation? – GeeksforGeeks. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/artificial-intelligence/what-is-monte-carlo-simulation/> (дата звернення: 17.03.2026).

50. Scipy. PyPI. URL: <https://pypi.org/project/scipy/> (дата звернення: 17.03.2026).

51. How to Perform Monte Carlo Simulations in R (With Example). Statology. URL: <https://www.statology.org/how-to-perform-monte-carlo-simulations-in-r-with-example/> (дата звернення: 17.03.2026).
52. Crystal Ball. URL: <https://www.oracle.com/applications/crystalball/> (дата звернення: 18.03.2026).
53. Data clustering: a fundamental method in data science and management / T. Dinh та ін. Data Science and Management. 2025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2025.08.001> (дата звернення: 07.04.2026).
54. Aggarwal C. C. A Survey of Stream Clustering Algorithms. Data Clustering. 2018. С. 231–258. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315373515-10> (дата звернення: 07.04.2026).
55. Ma Y., Guo G. Support Vector Machines Applications. Springer, 2016. 302 p.
56. Наївний алгоритм Байєса в машинному навчанні. Guru99. URL: <https://www.guru99.com/uk/naive-bayes-classifiers.html> (дата звернення: 07.04.2026).
57. What are Knowledge Based Systems? Advantages & Examples. Veemo. URL: <https://veemo.io/blog/knowledge-based-systems> (дата звернення: 07.04.2026).
58. Створення сховищ даних. Технології OLAP та Data Mining. Pidru4niki. URL : https://pidru4niki.com/16120414/informatika/stvorenniya_shovisch_danih_tehnologiyi_olap_data_mining (дата звернення: 16.04.2026).
59. Базы даних: проектування та реалізація/ Г. С. Погромська, Н.А. Махровська. – Місто: Видавництво, 2019. – 183 с.
60. Reis J., Housley M. Fundamentals of Data Engineering: Plan and Build Robust Data Systems. O'Reilly Media, Incorporated, 2022.
61. Pei J., Han J., Tong H. Data Mining: Concepts and Techniques. Elsevier Science & Technology Books, 2021. 752 p.
62. Що таке обробка потоків – терміни та визначення у сфері кібербезпеки. Keepsolid VPN Unlimited. URL:

<https://www.vpnunlimited.com/ua/help/cybersecurity/stream-processing> (дата звернення: 07.04.2026).

63. Ramík J. Pairwise Comparisons Method: Theory and Applications in Decision Making. Springer, 2020. 249 p.

64. Applied Analytical - Applied Project Management: Applying Monte Carlo Risk Simulation, Strategic Real Options, Stochastic Forecasting, Portfolio ... Project Management. IIPER Press, 2020. 143 p.

65. Мащенко А.Р., Васильцова Н.В. Побудова моделей діагностування та аналізу несправності електронних приладів при розробці інформаційної системи сервісного центру // *Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique: збірник наукових праць «ΛΟΓΟΣ»* (Париж, 4 квітня 2025 р.) Вінниця-Париж: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», La Fedeltà, 2025. С. 198-208. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-04.04.2025.038>

66. Мащенко А. Р., Васильцова Н.В. Інформаційна технологія вирішення задачі аналізу несправностей технічних виробів. Радіoeлектроніка та молодь у ХХІ столітті : матеріали 28-го Міжнар. молодіж. форуму, 16-18 квіт. 2024 р. Харків, 2024. Т. 6. С. 219–221 DOI: <https://doi.org/10.30837/IYF.IIS.2024.219>.

67. Мащенко А.Р., Васильцова Н.В. Аналіз методологічного інструментарію процесу оцінювання ІТ-проєкту на етапі ініціації. Радіoeлектроніка та молодь у ХХІ столітті : матеріали 30-го Міжнар. молодіж. форуму, 22-24 квіт. 2026 р. Харків, 2026. Т. 6. С. 203–205.

68. Мащенко А. Р., Васильцова Н.В. Аналіз концептуальних підходів до етапу ініціації ІТ-проєкту у міжнародних стандартах управління проєктами // *Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Modern Problems of Science and Technology»* (May 4-6, 2026, Tallinn, Estonia). European Open Science Space. 2026. С. 203–205. DOI 10.70286/EOSS-04.05.2026.

69. Методичні вказівки до науково-дослідної практики для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти

спеціальності 122 Комп'ютерні науки освітньо-наукової програми «Управління проектами в галузі інформаційних технологій». / Упоряд.: К.Е. Петров, Євланов М.В., Цвіркун О.А. Харків: ХНУРЕ, 2025. 19 с.

70. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Чинний від 2017-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 26 с.

71. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. чинний від 2017-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.