

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЗЯХОР ДМИТРІЙ ОЛЕГОВИЧ

УДК 69.05:330.322.5:005.8

**ТРАНСФОРМАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-
ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ**

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____Д.О.ЗЯХОР

Наукові керівники: Тугай Олексій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, Титок Вікторія Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент.

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Зяхор Д.О. — Трансформація організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективностібудівельно-інвестиційних проєктів. — *Кваліфікаційна наукова робота у формі рукопису.* — Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». — Київський національний університет будівництва та архітектури. — Київ, 2026.

Дисертація присвячена трансформації організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельних та інвестиційних проєктів шляхом розробки інтегрованої цифрової аналітичної моделі, яка поєднує технологічні, організаційні, ресурсно-економічні, ризикові та соціально-екологічні критерії оцінки з можливостями цифрових технологій, сценарного аналізу та імітаційного моделювання. Ключовим методологічним принципом дослідження є те, що вдосконалений інструментарій не змінює значень показників проєкту (NPV, IRR, термін окупності), а підвищує достовірність, повноту та керованість їх оцінки. Результати дослідження спрямовані на підвищення обґрунтованості управлінських рішень щодо підготовки, організації та реалізації будівельних проєктів в умовах ризику та динамічних змін зовнішнього середовища.

Актуальність роботи над цією дослідницькою темою зумовлена тим, що сучасна практика організації будівництва характеризується фрагментацією методів оцінки, обмеженнями класичних фінансових показників та недостатньою інтеграцією організаційно-технологічних і цифрових інструментів. Це зумовлює необхідність формування інтегрованого організаційно-технологічного інструментарію, здатного поєднувати економічні, управлінські, соціально-екологічні та цифрові критерії ефективності. Особливе значення має використання BIM, ERP-технологій, цифрових двійників та аналітичних платформ, що забезпечують безперервний моніторинг та сценарне управління проєктами. Розробка сценарного аналізу, імітаційного моделювання та адаптивних методів оцінки дозволяє підвищити

надійність управлінських рішень на всіх етапах життєвого циклу. У цьому контексті актуальним є створення багаторівневої цифрової аналітичної системи оцінки, яка забезпечує узгодженість, прозорість та керованість будівельно-інвестиційних процесів. Саме це актуалізує наукову та практичну необхідність проведення досліджень за вищевизначеною темою та відповідність теми сучасним тенденціям розвитку будівельної галузі.

Перший розділ дисертації формує концептуальну та теоретичну основу дослідження, спрямованого на вдосконалення організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів в контексті цифрової трансформації будівельної галузі. Розділ присвячено систематизації та критичному переосмисленню підходів до оцінки ефективності з обґрунтуванням переходу від вузьких фінансових моделей до інтегрованої багатовимірної парадигми, що враховує економічні, організаційно-технологічні, соціальні, екологічні та ризик-орієнтовані аспекти протягом усього життєвого циклу проєкту. Розроблено положення щодо інтеграції інвестиційної та будівельної ефективності, визначено роль ESG-критеріїв, цифрових технологій та ризик-орієнтованого управління в сучасній системі оцінки. Розроблено комплексну організаційно-технологічну модель оцінки ефективності, яка поєднує класичні інвестиційні показники з розширеною системою організаційних, технологічних, ресурсних та якісних показників та використовує сценарний аналіз, оцінку чутливості та імітаційне моделювання в умовах невизначеності. Обґрунтовано цінність BIM, ERP-технологій та інших цифрових інструментів як засобів підвищення керованості та адаптивності проєктів. Сформовано багаторівневу систему критеріїв та показників ефективності, адаптовану до цифровізації, екологічної турбулентності та сталого розвитку, що охоплює фінансові, технологічні, соціальні, екологічні та цифрові параметри. На цій основі визначено передумови формування ключових показників успішності реалізації проєкту та сформульовано наукову гіпотезу щодо підвищення обґрунтованості та керованості управлінських рішень шляхом впровадження інтегрованого

інструментарію організаційно-технологічної оцінки, що забезпечує стабільність та адаптивність рішень протягом усього життєвого циклу.

Другий розділ дисертаційної роботи формує методологічну основу дослідження, спрямованого на трансформацію організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельних та інвестиційних проєктів у цифровому середовищі. Методологічна база, створена в розділі, включає універсальний, організаційно-технологічний, цифровий діагностичний та коригувальний компоненти. Організаційно-технологічний компонент базується на методах моделювання будівельних процесів, багатокритеріальної оцінки, сценарного аналізу та імітаційного моделювання, що забезпечує формування адаптивної системи показників ефективності з урахуванням фазового характеру життєвого циклу проєкту та високої невизначеності середовища. Цифровий діагностичний компонент методичного апарату передбачає використання інструментів цифрової аналітики, обробки великих масивів даних, моніторингу параметрів проєктного середовища, а також BIM-технологій та цифрових платформ для виявлення закономірностей та оцінки впливу ключових факторів на результати реалізації проєкту. Коригувальний компонент передбачає уточнення та адаптацію критеріїв ефективності за допомогою методів експертної оцінки, параметричної адаптації, порівняльного аналізу та перевірки результатів, що підвищує надійність управлінських рішень в умовах динамічних змін. В рамках секції було проведено критичне узагальнення традиційних показників фінансової ефективності та доведено необхідність переходу до багатфакторної, ймовірно-орієнтованої системи оцінки, яка враховує ризики, сценарну невизначеність та тривалість будівельного циклу. Виявлено обмеження фрагментарної цифровізації та інформаційної ізоляції BIM, ERP та фінансових систем, що зумовлює необхідність інтеграції даних в єдине аналітичне середовище. Обґрунтовано недоліки статичних моделей KPI та традиційних підходів до інтерпретації NPV, PBP та PI, які не повністю відображають стохастичну природу будівельних проєктів. Розроблено підходи до

сценарного та ймовірнісного аналізу показників ефективності, що враховують ризики, інфляційні коливання та часові лаги у реалізації проєктів. ESG-підхід, концепції життєвого циклу та цифрова аналітика системно інтегровані як основа для багатовимірної оцінки ефективності. Запропоновано адаптивну систему критеріїв, яка поєднує економічні, організаційні, технологічні, екологічні та соціальні параметри з урахуванням цифрової трансформації галузі. У третьому розділі дисертації сформовано формалізаційну та аналітичну основу дослідження у вигляді вдосконаленого аналітико-прикладного інструментарію для оцінки ефективності будівельних та інвестиційних проєктів, спрямованого на побудову цілісної цифрової та аналітичної платформи для будівництва та девелопменту. Дослідження в цьому розділі забезпечило значну модернізацію традиційної організаційно-технологічної моделі оцінки життєвого циклу будівельного проєкту шляхом інтеграції цифрових модулів, що забезпечують багатовимірний та безперервний контроль усіх фаз реалізації проєкту. Запропонована модель формує нову логіку оцінки, яка поєднує економічні, організаційно-технологічні, соціально-екологічні, мотиваційні та цифрові параметри, що дозволяє розглядати проєкт як цілісну динамічну систему з адаптивним управлінням змінами. В рамках розділу розроблено концептуально-алгоритмічний підхід до оцінки, який забезпечує узгодження фінансових показників з поведінково-мотиваційними характеристиками та адаптивними механізмами дисконтування з урахуванням якості вхідних даних, що підвищує точність та повноту врахування ризиків та невизначеностей реалізації проєкту. Цифрова трансформація організаційно-технологічного управління отримала подальший розвиток, який реалізується шляхом інтеграції BIM, ERP, HR-аналітики, цифрових двійників та аналітичних платформ, що формують єдиний інформаційно-аналітичний контур та забезпечують синхронізацію даних у режимі реального часу. Це дає змогу здійснювати сценарне моделювання, прогнозування результатів та оперативне коригування

управлінських рішень залежно від змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі.

Підкреслюється, що вдосконалений інструмент не змінює значень показників проєкту, а підвищує достовірність та повноту їх оцінки: він забезпечує безперервний цифровий моніторинг вартості, ризиків та сталості проєкту та кількісно окреслює контур ризику оцінки, тоді як фактичне покращення результатів проєкту є результатом обґрунтованих управлінських дій, які цей інструмент робить прозорими та керованими. У межах розділу сформовано інтегровану модель оцінки ефективності, яка відображає перехід від фрагментарного аналізу до системного цифрово-аналітичного управління, що об'єднує різноманітні параметри в єдиний узагальнюючий показник. Запропонований підхід дозволяє забезпечити адаптивність оцінки до змін у ресурсному забезпеченні, профілі ризику та стратегічних цілях проєкту, перетворюючи систему оцінки на безперервний процес аналітичної підтримки життєвого циклу будівництва. В результаті сформовано сучасну цифрово-орієнтовану модель управління ефективністю будівельних та інвестиційних проєктів, яка забезпечує прозорість, керованість та багатовимірний контроль реалізації проєктів у довгостроковій перспективі. У четвертому розділі дисертації представлені прикладні інновації, спрямовані на цифрово-аналітичне вдосконалення організаційно-технологічних інструментів управління будівельними та інвестиційними проєктами, що забезпечує перехід від традиційних підходів до комплексної адаптивної моделі оцінки ефективності. Інструментарій було апробовано на основі організації циклу розвитку реального житлового комплексу забудовника KAN Development. У складі інструментарію формалізований опис проєктного циклу доповнено коефіцієнтом якості вихідних даних, контуром ризику на основі показників вартості ризику (VaR) та умовної вартості ризику (CVaR), технологією цифрових двійників та скоригованою (адаптивною до ризику) оцінкою NPV, що підвищує точність прогнозування та забезпечує кількісне вимірювання ризиків. Це дає інструментарію можливість виконувати достовірну багатовимірну оцінку ефективності будівельних та інвестиційних проєктів у режимі, близькому до реального часу. Прогностична

валідність інструментарію була підтверджена ретроспективною (позавибірковою) перевіркою прогнозів термінів реалізації та скоригованої чистої приведеної вартості, статистичною перевіркою контуру ризику, калібруванням параметрів моделі на емпіричних даних та глобальним аналізом чутливості. Центральним елементом є цифрово-аналітична архітектура, яка через підсистеми фінансово-економічного моделювання, сховищ даних (СДД), багатовимірних KPI, управління ризиками, інтерактивних інформаційних панелей та адаптивно-оптимізаційного управління забезпечує сценарне управління та підвищення керованості процесів розвитку. Сформовано окремий регламент управління проєктами розвитку, що охоплює послідовність десяти взаємопов'язаних етапів – від організації структури управління та інтеграції даних до адаптивного планування ресурсів, моніторингу показників та масштабування цифрової архітектури управління – та реалізується на стратегічному, тактичному та операційному рівнях.

Провідною інновацією дисертаційної роботи є інтегрований цифровий та організаційно-технологічний інструментарій, який забезпечує трансформацію традиційної моделі управління будівельними та інвестиційними проєктами в цифрово-адаптивну систему. Аналітично-формалізаційний каркас, створений у складі інструментарію, об'єднує фінансово-економічні, організаційно-технологічні, ризико-аналітичні та цифрові компоненти в єдиному контурі з підтримкою сценарного моделювання та оперативного коригування рішень. Додатково модернізовано регламент та організаційну структуру управління розвитком, що забезпечує багаторівневу координацію, підвищення керованості, стабільності та обґрунтованості реалізації будівельних проєктів. Наукова новизна результатів дисертації в цілому полягає в оновленні методологічного та аналітичного забезпечення оцінки ефективності будівельних та інвестиційних проєктів та розробці підходів до їх адміністрування. Сформовано інтегровану цифрову та аналітичну платформу, що поєднує організаційно-технологічне моделювання, аналіз ризиків, систему KPI та механізми сценарного управління в єдиному інформаційному середовищі. Впроваджено безперервну оцінку життєвого циклу проєкту на основі аналітики потоків даних та сценарного моделювання.

Запропоновані рішення забезпечують підвищення керованості, адаптивності та обґрунтованості управлінських рішень щодо реалізації будівельних та інвестиційних проєктів.

У дисертаційній роботі вдосконалено:

- організаційно-технологічну модель формалізованого опису будівельного проєкту, яка трансформована в цифрову та аналітичну модель комплексного управління повним життєвим циклом девелоперського проєкту, що забезпечує єдиний цифровий та аналітичний контур, що об'єднує фінансово-економічні, соціально-екологічні, мотиваційно-управлінські та ризик-орієнтовані підсистеми з впровадженням аналітики даних у режимі реального часу. Архітектуру цифрової екосистеми фундаментально оновлено на основі інтеграції ERP, BIM, HR-аналітики та цифрових двійників, що забезпечує сценарне моделювання та постійне оновлення оцінок ефективності; підвищено достовірність оцінки NPV та аналізу ризиків за рахунок коефіцієнта якості даних, показників VaR/CVaR та ймовірнісного та статистичного моделювання, що підвищує керованість та передбачуваність рішень.

- аналітичні та прикладні інструменти для організаційно-технологічного моделювання та коригування циклу будівельного та девелоперського проєкту - обґрунтовано його як багаторівневу цифрову та аналітичну систему підсистем, інтегрованих в єдиний управлінський та обчислювальний контур оцінки ефективності, що об'єднує організаційно-технологічні, адміністративні, ресурсно-економічні, DWH, цифрового двійника, модулі ризику та KPI. Удосконалення полягає в переході до безперервного сценарного аналізу на основі BIM, ERP та аналітики потоків даних у режимі реального часу, що забезпечує формування інтегрального показника ефективності та підвищує точність оцінки ризиків та адаптивність управлінських рішень у циклі проєкту розвитку.

- нормативні акти щодо цифрового адміністрування будівельних проєктів як поетапної структурованої системи з десяти взаємопов'язаних контурів, що формує інтегровану цифрову та аналітичну архітектуру управління на стратегічному, тактичному та операційному рівнях. Здійснено перехід до безперервної цифрово-

керованої моделі адміністрування проєктів з інтеграцією даних, сценарним плануванням та моніторингом на основі ризиків, що підвищує узгодженість та адаптивність управлінських рішень.

У дисертації додатково розроблено:

- сутність «цифрово-адаптивної системи оцінки циклу проєкту будівництва та розвитку» як багаторівневої аналітично-цифрової платформи для комплексної оцінки ефективності на основі інтеграції фінансових, організаційно-технологічних, ризикових, соціально-екологічних та поведінкових показників. Розширено трактування категорії в напрямку цифровізації будівельного середовища як єдиного адаптивного інформаційно-аналітичного простору з функціями сценарного моделювання та підтримки управлінських рішень.

- онтологічний зміст концепції «організаційно-технологічні інструменти моделювання та коригування циклу будівельно-інвестиційного проєкту» - концепція обґрунтовується: а) як інтегрована система методів, цифрових моделей та процедур управління для безперервного аналізу та адаптивного коригування життєвого циклу проєкту; б) як єдиний аналітичний контур, що поєднує організаційні, технологічні та цифрові параметри, що забезпечує перехід до динамічного сценарного управління змінами.

- загальнометодологічний підхід до формування методологічного забезпечення підсистем «організація будівництва» та «будівельний розвиток» шляхом інтеграції загальнонаукових, спеціальних та прикладних методів в єдину логіко-аналітичну систему оцінки. Підхід поєднує системний аналіз, багатокритеріальне та сценарне моделювання з технологіями BIM, Big Data та моніторингу, забезпечуючи формування цілісного цифрового та аналітичного контуру управління проєктами.

- методологічні та аналітичні принципи оцінки ефективності будівельних та девелоперських проєктів шляхом інтеграції класичних інвестиційних показників (NPV, IRR, ROI, Payback Period) з багатовимірною системою KPI. Обґрунтовано використання сценарного, симуляційного та стохастичного моделювання як інструментів адаптивного управління, а також розширено оцінку за рахунок

параметрів SROI та ESG з посиленням ролі систем BIM та ERP у цифровій аналітиці.

Практичне значення результатів дисертації полягає в розробці та впровадженні цифрового аналітичного інструменту для оцінки ефективності будівельних та інвестиційних проєктів, який забезпечує комплексне управління ресурсами, ризиками та ефективністю проєктної діяльності протягом усього життєвого циклу. Запропоновані рішення базуються на інтеграції фінансово-економічних показників, цифрових моделей, соціально-екологічних та управлінських критеріїв оцінки, інструментів аналізу даних, що сприяє підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та точності прогнозування результатів проєкту. Використання цифрових інструментів моніторингу, інформаційних панелей та сценарного моделювання забезпечує підвищення ефективності координації учасників будівництва, прозорості процедур управління та сталості реалізації проєкту. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення систем організації будівництва та управління розвитком у діяльності будівельних підприємств та інвестиційно-девелоперських структур, а також у вищих навчальних закладах будівельного профілю.

Ключові слова: будівельний проєкт (БП), організація будівництва, організаційно-технологічне забезпечення БП, цифрове аналітичне забезпечення проєкту, оцінка ефективності організації циклу проєкту розвитку, цифрове адміністрування БП, сценарно-адаптивне коригування характеристик циклу БП, ризик-орієнтоване адміністрування будівництва, цифрові двійники в організації будівництва.

ABSTRACT

Zyakhor D.O. — Transformation of organizational and technological tools for assessing the effectiveness of construction and investment projects. — *Qualification scientific work in the form of a manuscript.* — Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 19 "Architecture and Construction" in the specialty 192 "Construction and Civil Engineering". — Kyiv National University of Construction and Architecture. — Kyiv, 2026.

The dissertation is devoted to improving the organizational and technological tools for assessing the effectiveness of construction and investment projects by developing an integrated digital analytical model that combines technological, organizational, resource-economic, risk and socio-ecological assessment criteria with the capabilities of digital technologies, scenario analysis and simulation modeling. The key methodological principle of the study is that the improved toolkit does not change the values of project indicators (NPV, IRR, payback period), but increases the reliability, completeness and manageability of their assessment. The results of the study are aimed at increasing the validity of management decisions regarding the preparation, organization and implementation of construction projects in conditions of risk and dynamic changes in the external environment.

The urgency of working on this research topic is due to the fact that the modern practice of organizing construction is characterized by the fragmentation of assessment methods, the limitations of classical financial indicators and insufficient integration of organizational and technological and digital tools. This necessitates the formation of an integrated organizational and technological toolkit capable of combining economic, managerial, socio-ecological and digital efficiency criteria. The use of BIM, ERP technologies, digital twins and analytical platforms that provide continuous monitoring and scenario-based project management is of particular importance. The development of scenario analysis, simulation modeling and adaptive assessment methods makes it possible to increase the reliability of management decisions at all stages of the life cycle. In this context, the creation of a multi-level digital analytical assessment system that ensures consistency, transparency and manageability of construction and investment processes is relevant. This is what actualizes the scientific and practical need for conducting research on the above-defined topic and the compliance of the topic with modern trends in the development of the construction industry.

The first section of the dissertation forms the conceptual and theoretical basis of research aimed at improving the organizational and technological tools for assessing the effectiveness of construction and investment projects in the context of

digital transformation of the construction industry. The section is devoted to the systematization and critical rethinking of approaches to assessing effectiveness with the justification of the transition from narrow financial models to an integrated multidimensional paradigm that takes into account economic, organizational and technological, social, environmental and risk-oriented aspects throughout the project life cycle. The provisions on the integration of investment and construction efficiency have been developed, the role of ESG criteria, digital technologies and risk-based management in a modern assessment system has been determined. A comprehensive organizational and technological model of efficiency assessment has been developed, which combines classical investment indicators with an expanded system of organizational, technological, resource and quality indicators and uses scenario analysis, sensitivity assessment and simulation modeling under uncertainty. The value of BIM, ERP technologies and other digital tools as means of increasing the manageability and adaptability of projects has been substantiated. A multi-level system of efficiency criteria and indicators has been formed, adapted to digitalization, environmental turbulence and sustainable development, covering financial, technological, social, environmental and digital parameters. On this basis, the prerequisites for the formation of key indicators of the success of project implementation were determined and a scientific hypothesis was formulated regarding increasing the validity and manageability of management decisions through the implementation of an integrated organizational and technological assessment toolkit, which ensures the stability and adaptability of decisions throughout the entire life cycle.

The second section of the dissertation work forms the methodological basis of the research aimed at improving the organizational and technological tools for assessing the effectiveness of construction and investment projects in the digital environment. The methodological basis created in the section includes a universal, organizational and technological, digital diagnostic and corrective components. The organizational and technological component is based on the methods of modeling construction processes, multi-criteria assessment, scenario analysis and simulation

modeling, which ensures the formation of an adaptive system of performance indicators taking into account the phase nature of the project life cycle and high uncertainty of the environment. The digital diagnostic component of the methodological apparatus involves the use of digital analytics tools, processing large data sets, monitoring project environment parameters, as well as BIM technologies and digital platforms to identify patterns and assess the impact of key factors on the results of project implementation. The corrective component provides refinement and adaptation of efficiency criteria through methods of expert assessment, parametric adaptation, comparative analysis and verification of results, which increases the reliability of management decisions in conditions of dynamic changes. Within the framework of the section, a critical generalization of traditional financial performance indicators was carried out and the need to transition to a multifactorial, probabilistic-oriented evaluation system was proven, which takes into account risks, scenario uncertainty and the duration of the construction cycle. The limitations of fragmentary digitalization and information isolation of BIM, ERP and financial systems were identified, which necessitates the need to integrate data into a single analytical environment. The shortcomings of static KPI models and traditional approaches to the interpretation of NPV, PBP and PI, which do not fully reflect the stochastic nature of construction projects, were substantiated. Approaches to scenario and probabilistic analysis of efficiency indicators, taking into account risks, inflationary fluctuations and time lags in project implementation, were developed. The ESG approach, life cycle concepts and digital analytics are systematically integrated as the basis for multidimensional performance assessment. An adaptive system of criteria is proposed that combines economic, organizational, technological, environmental and social parameters, taking into account the digital transformation of the industry.

In the third section of the dissertation, the formalization and analytical basis of the study is formed in the form of an improved analytical and applied toolkit for assessing the effectiveness of construction and investment projects, aimed at building a holistic digital and analytical platform for construction and development.

The research in this section has provided a significant modernization of the traditional organizational and technological model of assessing the life cycle of a construction project through the integration of digital modules that provide multidimensional and continuous control of all phases of project implementation. The proposed model forms a new logic of assessment, which combines economic, organizational-technological, socio-ecological, motivational and digital parameters, which allows considering the project as a holistic dynamic system with adaptive change management. Within the framework of the section, a conceptual-algorithmic approach to assessment has been developed, which ensures the coordination of financial indicators with behavioral-motivational characteristics and adaptive discounting mechanisms, taking into account the quality of the input data, which increases the accuracy and completeness of taking into account the risks and uncertainties of project implementation. The digital transformation of organizational-technological management has received further development, which is implemented through the integration of BIM, ERP, HR analytics, digital twins and analytical platforms, which form a single information and analytical circuit and ensure data synchronization in real time. This makes it possible to carry out scenario modeling, forecasting results and operational adjustment of management decisions depending on changes in the external and internal environment. It is emphasized that the improved tool does not change the values of project indicators, but increases the reliability and completeness of their assessment: it provides continuous digital monitoring of the cost, risks and sustainability of the project and quantitatively outlines the risk contour of the assessment, while the actual improvement of project results is the result of justified management actions, which this tool makes transparent and manageable. An integrated model of performance assessment has been formed within the section, which reflects the transition from fragmented analysis to systemic digital-analytical management, which combines heterogeneous parameters into a single generalizing indicator. The proposed approach allows to ensure the adaptability of the assessment to changes in resource provision, risk profile and strategic goals of the project, transforming the assessment system into a continuous process of analytical support of the construction life cycle. As a

result, a modern digitally-oriented model of efficiency management of construction and investment projects was formed, which provides transparency, manageability and multidimensional control of project implementation in the long term.

The fourth section of the dissertation presents applied innovations aimed at digital-analytical improvement of the organizational and technological tools for managing construction and investment projects, which ensures the transition from traditional approaches to a comprehensive adaptive model of efficiency assessment. The toolkit was tested on the basis of organizing the development cycle of a real residential complex of the developer KAN Development. As part of the toolkit, the formalized description of the project cycle is supplemented with a quality factor of the initial data, a risk contour based on the indicators of value at risk (VaR) and conditional value at risk (CVaR), digital twin technology and adjusted (risk-adaptive) NPV assessment, which increases the accuracy of forecasting and provides quantitative measurement of risks. This gives the toolkit the ability to perform a reliable multidimensional assessment of the effectiveness of construction and investment projects in a mode close to real time. The predictive validity of the toolkit was confirmed by retrospective (out-of-sample) verification of the forecasts of implementation terms and adjusted net present value, statistical verification of the risk contour, calibration of the model parameters on empirical data and global sensitivity analysis. The central element is the digital-analytical architecture, which, through subsystems of financial and economic modeling, data warehouses (DWH), multidimensional KPIs, risk management, interactive dashboards and adaptive-optimization control, provides scenario management and increased manageability of development processes. A separate regulation for the management of development projects has been formed, covering a sequence of ten interconnected stages - from the organization of the management structure and data integration to adaptive resource planning, monitoring of indicators and scaling of the digital management architecture - and is implemented at the strategic, tactical and operational levels.

The leading innovation of the dissertation work is an integrated digital and organizational-technological toolkit, which ensures the transformation of the traditional model of construction and investment project management into a digital-adaptive system.

The analytical and formalization framework created as part of the toolkit combines financial and economic, organizational and technological, risk-analytical and digital components in a single circuit with support for scenario modeling and operational adjustment of decisions. Additionally, the regulations and organizational structure of development management have been modernized, which ensures multi-level coordination, increased manageability, stability and justification of the implementation of construction projects. The scientific novelty of the results of the dissertation as a whole lies in the updating of the methodological and analytical support for assessing the effectiveness of construction and investment projects and the development of approaches to their administration. An integrated digital and analytical platform has been formed, combining organizational and technological modeling, risk analysis, a KPI system and scenario management mechanisms in a single information environment. Continuous assessment of the project life cycle based on data flow analytics and scenario modeling has been introduced. The proposed solutions provide increased manageability, adaptability and validity of management decisions regarding the implementation of construction and investment projects.

The dissertation work improved:

- an organizational and technological model of a formalized description of a construction project, which has been transformed into a digital and analytical model of integrated management of the full life cycle of a development project, which provides a single digital and analytical circuit combining financial and economic, socio-ecological, motivational and managerial and risk-oriented subsystems with the implementation of data analytics in real time. The architecture of the digital ecosystem has been fundamentally updated based on the integration of ERP, BIM, HR analytics and digital twins, which provides scenario modeling and continuous updating of efficiency assessments; the reliability of NPV assessment and risk analysis has been increased through the data quality factor, VaR/CVaR indicators and probabilistic and statistical modeling, which increases the manageability and predictability of decisions.

- analytical and applied tools for organizational and technological modeling and adjustment of the construction and development project cycle - it is justified as a multi-

level digital and analytical system of subsystems integrated into a single management and computing circuit for assessing efficiency, which combines organizational and technological, administrative, resource and economic, DWH, digital twin, risk and KPI modules. The improvement consists in the transition to continuous scenario-driven analysis based on BIM, ERP and real-time data flow analytics, which ensures the formation of an integral efficiency index and increases the accuracy of risk assessment and adaptability of management decisions in the development project cycle.

- regulations for digital administration of construction projects as a stage-by-stage structured system of ten interconnected circuits, which forms an integrated digital and analytical management architecture at the strategic, tactical and operational levels. The transition to a continuous digitally-driven project administration model with data integration, scenario planning and risk-based monitoring has been implemented, which increases the consistency and adaptability of management decisions.

The dissertation further developed:

- the essence of the "digitally-adaptive construction and development project cycle assessment system" as a multi-level analytical and digital platform for comprehensive performance assessment based on the integration of financial, organizational and technological, risk, socio-ecological and behavioral indicators. The interpretation of the category has been expanded in the direction of digitalization of the construction environment as a single adaptive information and analytical space with the functions of scenario modeling and support for management decisions.

- ontological content of the concept of "organizational and technological tools for modeling and adjusting the construction and investment project cycle" - the concept is justified: a) as an integrated system of methods, digital models and management procedures for continuous analysis and adaptive adjustment of the project life cycle; b) as a single analytical circuit combining organizational, technological and digital parameters, which ensures the transition to dynamic scenario-based change management.

- a general methodological approach to the formation of methodological support for the subsystems "construction organization" and "construction development" through the integration of general scientific, special and applied methods into a single logical and

analytical evaluation system. The approach combines system analysis, multi-criteria and scenario modeling with BIM, Big Data and monitoring technologies, ensuring the formation of a holistic digital and analytical circuit of project management.

- methodological and analytical principles for assessing the effectiveness of construction and development projects by integrating classical investment indicators (NPV, IRR, ROI, Payback Period) with a multidimensional KPI system. The use of scenario, simulation and stochastic modeling as adaptive management tools is substantiated, and the assessment is expanded through SROI and ESG parameters with the strengthening of the role of BIM and ERP systems in digital analytics.

The practical significance of the dissertation results lies in the development and implementation of a digital analytical tool for assessing the effectiveness of construction and investment projects, which provides comprehensive management of resources, risks and the effectiveness of project activities throughout the life cycle. The proposed solutions are based on the integration of financial and economic indicators, digital models, socio-environmental and management assessment criteria, data analytics tools, which contributes to increasing the validity of management decisions and the accuracy of project results forecasting. The use of digital monitoring tools, dashboards and scenario modeling ensures increased efficiency of coordination of construction participants, transparency of management procedures and sustainability of project implementation. The results obtained can be used to improve construction organization and development management systems in the activities of construction enterprises and investment and development structures, as well as in higher education institutions of the construction profile.

Keywords: construction project (CP), construction organization, organizational and technological support of the CP, digital analytical support of the project, assessment of the effectiveness of the organization of the development project cycle, digital administration of the CP, scenario-adaptive adjustment of the characteristics of the CP cycle, risk-oriented construction administration, digital twins in the organization of construction.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, які індексуються в міжнародних наукометричних базах:

1. Зяхор Д.О. Характеристика традиційних методик оцінки ефективності у практиці будівельного інвестування. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2026. Вип. 57(1). С. 3–16. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(1\).3-16](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(1).3-16). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/355478>.
2. Зяхор Д., Зіньков О. Удосконалення проектних показників у будівництві через інтеграцію цифрового інструментарію та новітніх методологій. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 56(1). С. 3–10. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).3-10](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).3-10). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/347663>.
3. Зяхор Д.О. Оцінка недоліків і обмежень діючих організаційно-технологічних підходів в оцінюванні проєктів. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 15. С. 325–337. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.15.325-337>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/366941>.
4. Зяхор Д., Молодько О. Застосування інноваційного інструментарію для ефективного управління девелоперськими проєктами в сучасних умовах. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 55(2). С. 166–173. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(2\).166-173](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).166-173). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/336009>.
5. Зяхор Д.О., Грабчак Д.В., Устинов Є.Б., Сокуров А.В. Визначення критеріїв та індикаторів ефективності реалізації будівельно-інвестиційних проєктів у сучасних умовах. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 14. С. 122–132. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.14.122-132>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/361199>.
6. Малихін М.О., Данілов С.Ю., Іванина О.М., Зяхор Д.О. Трансформація економічних підходів до диверсифікації підприємницької діяльності в контексті будівництва. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 13. С. 358–373. DOI:

<https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.13.358-373>.

URL:

<https://spd.knuba.edu.ua/article/view/360269>.

7. Зяхор Д., Зіньков О. Методологічне забезпечення організації будівництва промислових об'єктів зі збірного залізобетону як чинник ефективності реалізації проєктів. Будівельне виробництво. 2025. № 81. С. 124–129. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.124-129>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/576>.

8. Грабчак Д., Зяхор Д., Устинов Є., Сокуров А. Теоретичні та методичні основи організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Будівельне виробництво. 2025. № 80. С. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.29-42>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/549>.

9. Тугай О., Дворнічен І., Олійник В., Зяхор Д., Молодько О. Використання теоретико-прикладного інструментарію для оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2024. Вип. 54(1). С. 156–163. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).156-163](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).156-163). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/320264>.

10. Тугай О., Єсипенко А., Пилипчук О., Молодько О., Зяхор Д. Удосконалення організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2023. Вип. 51(1). С. 234–240. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51\(1\).234-240](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).234-240). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/284961>.

Публікація в іноземному періодичному індексованому в WoS/Scopus виданні:

11. Malykhin M., Dvornichen I., Ziakhor D., Tugay A., Dubynka O. Assessment of the Development Project Management Efficiency under Conditions of Uncertainty. International Journal of Accounting and Economics Studies. 2025. Vol. 12, No. 2. P. 392–401. DOI: <https://doi.org/10.14419/actqg061>. URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/IJAES/article/view/33511>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (тези доповідей на конференціях):

12. Зяхор Д.О. Оцінка ефективності та практична реалізація будівельних інвестиційних проєктів. Круглий стіл «Налаштування освітніх траєкторій в підготовці менеджерів будівництва в контексті відбудови України» (адаптація освітньо-наукового процесу підготовки магістрів з менеджменту до вимог роботодавців, стейкхолдерів будівельного ринку), 30 травня 2023 р. Київ: КНУБА, 2023. Програма круглого столу. URL: <https://cf.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2026/03/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-%D0%BA%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%83-30.05.2023.pdf>.

13. Зяхор Д.О. Розробка концептуальної моделі вдосконалення оцінки будівельно-інвестиційних проєктів. V Міжнародна науково-практична конференція «Енергоощадні машини і технології», 22–24 травня 2024 р. Київ: КНУБА, 2024. Програма конференції. URL: https://cf.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2026/03/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97_2024_22-24_05.pdf.

14. Боштан А.В., Зяхор Д.О. Удосконалення механізмів диверсифікації та організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на ґрунті науково-освітнього процесу. Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України: матеріали VIII Міжнародної конференції (12 листопада 2025 р.). Київ: Ліра-К, 2026. С. 580–581. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/28/zbirnyk-materialiv_8_mizhnarodnoyi-konferentsiyi-2025.pdf. ISBN 978-617-520-492-4

15. Боштан А.В., Зяхор Д.О., Тугай О.А. Удосконалення механізмів диверсифікації та організаційно-технологічного інструментарію оцінки

ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на ґрунті науково-освітнього процесу. Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України: матеріали VIII Міжнародної конференції (12 листопада 2025 р.). Київ: Ліра-К, 2026. 836 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/28/zbirnyk-materialiv_8_mizhnarodnoyi-konferentsiyi-2025.pdf. ISBN 978-617-520-492-4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ.....	33
1.1 Еволюція підходів до оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів.....	33
1.2 Теоретичні та методичні основи організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів.....	46
1.3 Визначення критеріїв та індикаторів ефективності реалізації будівельно- інвестиційних проєктів у сучасних умовах.....	59
Висновки до 1-го розділу.....	70
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО- ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ.....	73
2.1 Характеристика традиційних методик оцінки ефективності у практиці будівельного інвестування.....	73
2.2 Оцінка недоліків і обмежень діючих організаційно-технологічних підходів в оцінюванні проєктів.....	90
2.3 Вплив цифрових технологій та інноваційних підходів на трансформацію інструментарію оцінки в будівельній галузі.....	105
Висновки до 2-го розділу.....	124
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО- ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ.....	126
3.1 Розробка концептуальної моделі вдосконалення оцінки будівельно- інвестиційних проєктів.....	126
3.2 Формування інтегрованої системи оцінювання на основі цифрових платформ і аналітики даних.....	138
3.3 Оцінка ефективності та практична реалізація будівельних інвестиційних проєктів.....	150
Висновки до 3-го розділу.....	160

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ.....	163
4.1 Характеристика будівельно-інвестиційного проєкту та формування вихідних параметрів для оцінки.....	163
4.2 Аналіз впливу модернізованих управлінських засобів на результати та якість оцінювання проєкту.....	178
4.3 Аналіз отриманих результатів і кількісне обґрунтування ефектів від впровадження удосконаленого організаційно-технологічного інструментарію	194
Висновки до 4-го розділу.....	207
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	209
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	212
ДОДАТКИ.....	232

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Розвиток будівельної галузі в умовах зростання складності проєктів, ресурсних обмежень і ризиків потребує організаційно-технологічного інструментарію, який оцінює ефективність будівельно-інвестиційних проєктів не лише за фінансовими результатами, а й з урахуванням організаційних і технологічних чинників упродовж усього життєвого циклу. Наявні підходи зосереджені переважно на фінансових показниках і недостатньо враховують ресурсні, часові, технологічні та ризикові параметри реалізації проєкту. Водночас цифрова трансформація будівництва — упровадження технологій інформаційного моделювання будівель (BIM), інформаційно-аналітичних систем і цифрових двійників — відкриває можливості для комплексного та безперервного оцінювання проєктних рішень.

Сучасні будівельно-інвестиційні проєкти реалізуються значною кількістю учасників за високої взаємозалежності управлінських процесів і потреби своєчасно узгоджувати рішення щодо змісту проєкту, ресурсного забезпечення, графіків виконання робіт і реагування на ризики. За таких умов актуальним є використання цифрових інструментів підтримки прийняття рішень, які інтегрують дані різних функціональних підсистем, підвищують прозорість управління та дають змогу оперативно коригувати параметри реалізації проєкту. Це зумовлює потребу в розробленні організаційно-технологічного інструментарію інтегрованої оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів протягом усього життєвого циклу, застосування якого сприятиме обґрунтованості управлінських рішень, раціональному використанню ресурсів, удосконаленню девелоперського адміністрування та підвищенню конкурентоспроможності будівельних організацій.

Проблематику оцінки ефективності та організаційно-технологічного забезпечення будівельно-інвестиційних проєктів досліджували такі зарубіжні та вітчизняні вчені, як Р. Брейлі , Х. Керцнер, Д. Клеланд , Т. Коупленд , І. Дамнянович, Кс. Чжан, а серед вітчизняних — Г. Рижаківа , В. Верба, І. Боярко,

М. Демиденко, В. Поколенко та І. Азарова. Водночас недостатньо розв'язаною залишається проблема інтеграції класичних організаційно-технологічних, календарно-планових і фінансово-економічних методів оцінювання з цифровими інструментами підтримки рішень у єдиний адаптивний контур, здатний оцінювати ефективність проєкту динамічно, з урахуванням ризику та невизначеності. Це й зумовлює актуальність теми дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Основні результати дисертаційної роботи використано під час виконання науково-дослідної роботи № 0124U005196 «Розробка науково-технічного інструментарію для формування та реалізації внутрішньовиробничих планів діяльності будівельної організації»: авторську багатокритеріальну методику оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів застосовано для удосконалення процедур обґрунтування виробничих планів будівельних підприємств шляхом інтеграції організаційно-технологічних, ресурсних і фінансово-економічних показників у єдину цифрово-аналітичну систему підтримки управлінських рішень.

У межах науково-дослідної роботи № 0175U000860 «Розбудова сучасного економіко-аналітичного інструментарію девелоперського управління підрядним підприємством» використано розроблені автором методику адаптивного управління ризиками будівельного девелоперського проєкту та 10-етапний регламент девелоперського управління будівельними проєктами, які стали підґрунтям для формування цифрово орієнтованих процедур адміністрування проєктів, координації діяльності учасників будівництва, моніторингу ключових показників ефективності та управління ризиками.

Тематику дослідження узгоджено з положеннями законів України «Про інвестиційну діяльність», «Про регулювання містобудівної діяльності», «Про інноваційну діяльність» (у частині вдосконалення методів оцінки ефективності проєктів, розвитку організаційно-технологічного

інструментарію управління будівництвом та впровадження цифрово-аналітичних технологій) та розпорядження Кабінету Міністрів України про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є трансформація організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів шляхом розроблення інтегрованої моделі оцінювання, що враховує взаємозв'язок економічних показників, організаційних рішень і технологічних параметрів виконання будівельних робіт на всіх стадіях життєвого циклу проєкту.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та розв'язано такі наукові й прикладні завдання:

1. узагальнити та систематизувати теоретичні положення щодо оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, уточнити понятійно-категоріальний апарат і визначити сутність організаційно-технологічного інструментарію оцінювання в системі управління будівництвом;

2. розвинути концептуально-теоретичні засади організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів та обґрунтувати систему критеріїв і показників їх результативності на різних стадіях життєвого циклу;

3. сформувати методичний базис дослідження шляхом обґрунтування сукупності наукових підходів і методів аналізу, моделювання та оцінювання ефективності реалізації будівельно-інвестиційних проєктів;

4. виявити обмеження наявного організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності проєктів та обґрунтувати напрями інтеграції цифрових технологій у процеси оцінювання ефективності й цифрового адміністрування будівництва;

5. розробити інтегровану організаційно-технологічну модель та сформувати аналітико-прикладний інструментарій оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на основі цифрових платформ, сценарного аналізу та імітаційного моделювання;

6. здійснити науково-практичну апробацію розробленого інструментарію, оцінити результативність його впровадження та обґрунтувати можливості використання одержаних результатів у практиці організації будівництва й будівельного девелопменту.

Об’єкт дослідження — процеси організаційно-технологічного забезпечення реалізації будівельно-інвестиційних проєктів на всіх стадіях їх життєвого циклу, що впливають на формування показників ефективності.

Предмет дослідження — організаційно-технологічні моделі, методи та інструменти оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, а також механізми їх цифрової підтримки, орієнтовані на обґрунтування управлінських рішень щодо планування, організації, ресурсного забезпечення та адміністрування проєктів будівництва.

Методи дослідження. Методичну основу становить сукупність загальнонаукових, спеціальних і прикладних методів. Для розв’язання поставлених завдань застосовано: системний підхід, методи аналізу та синтезу, індукції і дедукції, порівняння й узагальнення — для уточнення понятійного апарату та систематизації підходів (розділ 1); методи організаційно-технологічного моделювання, багатокритеріального оцінювання, сценарного аналізу та імітаційного (Monte-Carlo) моделювання — для побудови інтегрованої моделі оцінки ефективності (розділ 3); методи ризик-аналізу (VaR, CVaR, аналіз чутливості) — для оцінювання ризикового профілю проєкту (розділ 3); методи експертного оцінювання (зокрема методу аналізу ієрархій), параметричної адаптації та верифікації результатів — для калібрування критеріїв і перевірки достовірності (розділ 3); методи економіко-статистичного аналізу та кількісного оцінювання — для апробації інструментарію в умовах реальних будівельно-інвестиційних проєктів (розділ 3). Оброблення даних і цифрову аналітику реалізовано засобами BIM- та інформаційно-аналітичних платформ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробленні науково-методичних засад та аналітико-прикладного інструментарію оцінки

ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на основі інтеграції організаційно-технологічних і фінансово-економічних методів із цифровими технологіями управління даними та підтримки прийняття рішень. Найвагоміші результати, що виносяться на захист, полягають у такому:

вперше запропоновано цифрово-адаптивну модель оцінювання життєвого циклу будівельно-інвестиційного проєкту, яка, *на відміну від* відомих підходів, що обчислюють показники ефективності разово й відокремлено від ризик-аналізу, поєднує в єдиному аналітичному контурі розрахунок скоригованого чистого приведенного доходу (NPV), ризик-контур на основі VaR/CVaR та багатовимірну систему KPI з безперервним (наближеним до реального часу) оновленням показників, що дає змогу перейти від статичного оцінювання до проактивного управління ефективністю та підвищити обґрунтованість управлінських рішень в умовах ризику й невизначеності; сформовано функціонал багатофакторної чутливості ефективності проєкту, який кількісно оцінює вплив структурних, часових і ризикових змін на показники ефективності та забезпечує побудову скоригованої траєкторії NPV за інерційним, адаптивно-оптимізаційним і стресовим сценаріями функціонування проєкту, чим створює методичне підґрунтя для своєчасного коригування організаційно-технологічних рішень;

удосконалено:

– організаційно-технологічну модель формалізованого опису будівельного проєкту, яку трансформовано в цифрово-аналітичну модель інтегрованого керування повним життєвим циклом проєкту: на відміну від відомих, вона об'єднує фінансово-економічну, соціально-екологічну, мотиваційно-управлінську та ризик-орієнтовану підсистему в єдиному контурі з аналітикою даних у реальному часі на основі інтеграції ERP-, BIM-, HR-аналітики та цифрових двійників, що забезпечує сценарне моделювання й безперервне оновлення показників ефективності;

– аналітико-прикладний інструментарій організаційно-технологічного моделювання та коригування циклу проєкту, поданий як багаторівнева

цифрово-аналітична система підсистем (організаційно-технологічної, структурно-адміністративної, цифрово-аналітичної, ресурсно-економічної, ризик-менеджменту, KPI-моніторингу та сценарно-адаптивного управління): на відміну від дискретного оцінювання, він реалізує динамічний, сценарно керований аналіз на основі інтеграції BIM-, ERP- та цифрово-двійникових технологій із потоковою аналітикою даних і формує інтегральний індекс ефективності на основі багатовимірних KPI;

– організаційно-технологічний регламент адміністрування будівельно-інвестиційного проєкту як багаторівневу систему стратегічного, тактичного й операційного управління: на відміну від ієрархічно-фрагментарної моделі, він забезпечує єдину цифрово-координаційну архітектуру узгодження планувальних, організаційних, ресурсних і контрольних функцій протягом життєвого циклу на основі регламентованих процедур взаємодії учасників будівництва та субпідрядних організацій;

дістало подальшого розвитку:

– поняття «цифрово-адаптивна система оцінювання циклу будівельно-девелоперського проєкту» — у частині розширення його традиційно технократичного трактування врахуванням процесів цифровізації організації будівництва та розгляду девелоперського середовища як єдиного адаптивного інформаційно-аналітичного простору;

– трактування категорії «організаційно-технологічний інструментарій моделювання та коригування циклу будівельно-інвестиційного проєкту» як інтегрованої системи методів, цифрових моделей і управлінських процедур для безперервного формалізованого відтворення, аналізу та адаптивного коригування фаз життєвого циклу проєкту;

– загально-методичний підхід до формування методичного забезпечення підсистем «організація будівництва» та «будівельний девелопмент» на основі інтеграції загальнонаукових, спеціальних і прикладних методів у єдину логіко-аналітичну систему з цифрово-діагностичними інструментами на базі BIM-платформ та аналітики великих даних;

– методичне забезпечення оцінювання ефективності циклу організації будівельно-девелоперського проєкту через поєднання класичних інвестиційних показників (NPV, IRR, ROI, дисконтований строк окупності) з розширеною системою багатовимірних KPI та застосування сценарного, імітаційного і стохастичного моделювання (Monte-Carlo, аналіз чутливості), а також розширення трактування соціально-екологічної складової ефективності (SROI, ESG-параметри).

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні та впровадженні цифрово-аналітичного інструментарію оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, який інтегрує традиційні організаційно-технологічні підходи із цифровими технологіями управління даними, моделювання та підтримки прийняття рішень і забезпечує узгодження ресурсних, часових, вартісних і ризикових параметрів у межах єдиного цифрово-аналітичного середовища. Застосування інструментів сховищ даних, цифрових двійників, дашбордів моніторингу та адаптивного сценарного управління сприяє підвищенню точності прогнозування результатів реалізації проєктів, зниженню ризиків та оптимізації ресурсного забезпечення будівництва. Практичну цінність має також регламент цифрово-адаптивного управління будівельно-інвестиційними проєктами, що забезпечує узгоджену взаємодію стратегічного, тактичного й операційного рівнів управління та формалізацію процедур взаємодії учасників будівельного процесу.

Одержані результати можуть бути використані в діяльності будівельних підприємств, інвестиційно-девелоперських і проєктних організацій для підвищення ефективності управління проєктами, а також у закладах вищої освіти будівельного профілю при підготовці фахівців спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». (що підтверджено відповідними довідками про впровадження)

Публікації. Основні результати дисертації відображено у 15 наукових працях автора, з них 10 статей — у наукових фахових виданнях України (категорія «Б»), включених до переліку, затвердженого МОН України, 1 статтю

— у виданні, індексованому Scopus (категорія «А»); апробаційні матеріали оприлюднено у 4 тезах доповідей.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно. Усі теоретичні положення, методичні розробки, одержані результати, сформульовані висновки та практичні рекомендації є результатом самостійної наукової діяльності автора. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать постановка завдань, розроблення організаційно-технологічного інструментарію оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, формування системи критеріїв і показників, виконання розрахунків та апробація запропонованих моделей.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднено й обговорено на 4 науково-практичних конференціях і семінарах (матеріали відображено у працях [120]–[123]).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотацій, переліку публікацій здобувача за темою, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (138 найменувань) і додатків обсягом 10 сторінок. Загальний обсяг роботи становить 241 сторінка, з яких основний текст — 188 сторінок. Робота містить 42 таблиці і 57 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

1.1 Еволюція підходів до оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Оцінка ефективності будівельно-інвестиційних проєктів є однією з центральних категорій інвестиційного менеджменту та будівельної економіки. Її трактують як систематизовану процедуру визначення доцільності використання ресурсів для досягнення цілей будівельного проєкту з урахуванням економічних, фінансових, соціальних та екологічних критеріїв. Теоретичні засади поняття ефективності проєктів закладено в працях західних учених, зокрема Ф. Дж. Фабоцці, який розглядав ефективність як міру здатності проєкту генерувати додану вартість для інвесторів за мінімізації ризиків і вартості капіталу [13], наголошуючи, що ефективність не обмежується фінансовими показниками, а охоплює і якісні результати діяльності.

Понятійна структура ефективності будівельно-інвестиційних проєктів передбачає виокремлення кількох рівнів — фінансової, економічної та соціальної ефективності. На думку Р. Брейлі та С. Майєрса, фінансова ефективність ґрунтується на аналізі грошових потоків і показниках прибутковості проєкту, тоді як економічна ефективність охоплює ефекти для національної економіки [2].

У сфері будівництва поняття ефективності конкретизувалося через розвиток концепцій інвестиційного аналізу з багатофакторним підходом до оцінювання: Т. Коупленд наголошував на важливості врахування ризиків, вартості капіталу та впливу макроекономічного середовища [8]. Окрему роль відіграло впровадження концепції життєвого циклу проєкту, обґрунтоване в працях Х. Керцнера, який запропонував оцінювати ефективність на всіх етапах

— від ідеї до експлуатації об'єкта, підкреслюючи зміну ваги критеріїв на різних стадіях [20].

Українські дослідники, зокрема О. В. Сухоруков, розглядали ефективність будівельно-інвестиційних проєктів як багатогранне явище, що поєднує фінансові, організаційні та соціальні аспекти проєктної діяльності, вказуючи на потребу поєднання приватних і суспільних критеріїв оцінювання в умовах розвитку інституційного середовища [104]. Сучасне трактування ефективності суттєво доповнюється концепціями сталого розвитку: як зазначає Д. Пірс, оцінка проєктів має враховувати не лише короткострокову економічну вигоду, а й довгострокові екологічні наслідки та соціальні зміни [34], що сформувало нові критерії, пов'язані з принципами ESG (Environmental, Social, Governance — екологічне, соціальне та управлінське врядування).

Поняття «ефективність будівельно-інвестиційного проєкту» має глибоке економічне коріння, пов'язане з розвитком загальної теорії ефективності господарської діяльності. У межах класичної політичної економії ефективність трактували як здатність забезпечувати максимальну вигоду за мінімальних витрат ресурсів. У сфері будівельно-інвестиційних проєктів це поняття набуло окремого розвитку через потребу оцінювати не лише безпосередні фінансові результати, а й довгострокову економічну та соціальну доцільність вкладень.

Термін «ефективність» (efficiency) у контексті будівництва охоплює комплекс взаємопов'язаних характеристик проєкту: економічну прибутковість, оптимальність витрат ресурсів, швидкість реалізації, якість кінцевого об'єкта та його відповідність суспільним потребам. Як зазначає Е. Дж. Мішан, ефективність слід розглядати через призму альтернативних витрат і максимальної корисності для економіки загалом [29].

У теоретичній площині поступово сформувалося розмежування понять «ефективність проєкту» та «ефективність інвестицій»: перше пов'язують з організаційними, технологічними й часовими характеристиками проєкту, друге акцентує на фінансових результатах вкладених ресурсів. На ранніх

етапах досліджень, зокрема в працях Дж. Сігела, ефективність інвестицій оцінювали переважно через показники чистого доходу та періоду окупності [42].

Як показано на рис. 1.1, концептуальні підходи до визначення ефективності будівельно-інвестиційного проєкту поділяються на три основні напрями: фінансовий, ресурсний і соціально-економічний.



Рис. 1.1. Структурна схема концептуалізації ефективності будівельно-інвестиційного проєкту (розроблено автором на основі [42])

У фінансовому підході домінує оцінювання проєкту за показниками внутрішньої норми прибутковості (IRR), чистої приведеної вартості (NPV) та індексу прибутковості (PI). Ці показники дають змогу визначити привабливість проєкту з погляду інвестора, проте не охоплюють усіх соціально-економічних наслідків його реалізації.

Ресурсний підхід акцентує на співвідношенні між обсягом використаних ресурсів і одержаними результатами; критеріями ефективності виступають мінімізація витрат матеріалів, оптимізація використання трудових ресурсів і скорочення термінів будівництва. Як зазначає Дж. М. Кейнс, ефективне використання ресурсів визначає здатність економіки не лише забезпечувати зростання виробництва, а й підтримувати сталий розвиток [133].

Соціально-економічний підхід розглядає ефективність як сукупність фінансових, технологічних і суспільних результатів з акцентом на вплив на

зайнятість, розвиток місцевої інфраструктури, рівень доходів населення та екологічні наслідки. Цей вимір суттєво розвинений у працях А. Сена, який наголошував, що справжня ефективність проєкту має враховувати його внесок у підвищення добробуту суспільства [23].

Поняття ефективності будівельно-інвестиційного проєкту трансформувалося також під впливом зміни методологічних підходів до оцінювання: із поширенням концепцій сталого розвитку почала набувати ваги багатовекторна оцінка, що об'єднує економічні, соціальні та екологічні аспекти в єдину систему критеріїв. Як показано в табл. 1.1, сучасні методики інтегрують класичні показники з додатковими соціальними та екологічними критеріями.

Таблиця 1.1. Порівняльна характеристика класичних та сучасних критеріїв оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Критерій	Класичний підхід	Сучасний інтегрований підхід
Фінансова вигода	Визначення рентабельності виключно через показник чистої приведеної вартості (NPV).	Оцінка фінансової вигоди з включенням потенційних екологічних, соціальних і регуляторних ризиків, що можуть впливати на загальну вартість.
Термін окупності	Обчислення стандартного строку повернення інвестицій без урахування зовнішніх ефектів.	Розрахунок періоду окупності з інтеграцією показників соціального впливу та стійкості результатів проєкту.
Витрати ресурсів	Орієнтація на зменшення прямих витрат задля підвищення короткострокової ефективності.	Стратегічне управління ресурсами з пріоритетом їх відновлюваності та мінімізації негативного впливу на довкілля.
Соціальний вплив	Параметр залишається поза межами традиційної оцінки, орієнтація лише на економічні вигоди.	Вимірювання впливу проєкту на зайнятість, доступність послуг, покращення умов життя місцевих громад.
Екологічні аспекти	Не включаються в модель оцінки ефективності навіть за очевидних ризиків для довкілля.	Обов'язкова екологічна експертиза, оцінка вуглецевого сліду та розроблення програм екологічної компенсації.

Технологічна інноваційність	Використання перевірених технологій без обов'язкової актуалізації технічного парку.	Впровадження інноваційних цифрових технологій, автоматизації та нових матеріалів для підвищення ефективності й гнучкості.
Гнучкість проєкту	Жорстка прив'язка до початкового плану з обмеженою можливістю корекції.	Адаптація проєктних рішень залежно від зміни ринкових умов чи технологічних вимог у реальному часі.
Управління ризиками	Оцінка лише стандартних будівельних ризиків без активного моніторингу середовища.	Постійний динамічний моніторинг ризиків із застосуванням цифрових платформ для раннього виявлення загроз.
Репутаційний ефект	Вплив на імідж компанії не враховується у фінансових розрахунках.	Оцінка довгострокового впливу проєкту на суспільне сприйняття компанії, бренд і залучення майбутніх інвесторів.
Стейкхолдерська взаємодія	Мінімальне залучення стейкхолдерів, формалізований підхід до їхньої участі.	Відкритий діалог зі всіма зацікавленими сторонами через цифрові платформи з урахуванням їхніх потреб на різних етапах.

(складено автором за [41])

Отже, сучасні підходи до оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів розширюють класичну парадигму за рахунок факторів сталого розвитку, що дає змогу комплексно оцінювати не лише економічні, а й соціальні та екологічні наслідки проєктних рішень.

У проєктному управлінні базові категорії «інвестиційна ефективність» і «будівельна ефективність» визначають підвалини успішної реалізації будівельного проєкту. Інвестиційну ефективність трактують як міру досягнення найкращих фінансових результатів за рахунок оптимального використання вкладених ресурсів; вона відображає співвідношення між одержаними вигодами й понесеними витратами, водночас оцінюючи прибутковість і ризики інвестування. Як підкреслює Д. М. Гелтнер, інвестиційна ефективність у будівельних проєктах полягає не лише в прямій окупності вкладень, а й у забезпеченні стабільного довгострокового доходу через активне управління активами [15].

Будівельна ефективність є показником здатності організувати процес будівництва з мінімальними витратами ресурсів, часу й фінансів за досягнення потрібного рівня якості; вона передбачає баланс між запланованими обсягами робіт, їх вартісними параметрами та часовими рамками. Як зазначає К. К. Чіткара, будівельну ефективність слід розглядати через призму функціональної придатності споруд, технологічної інноваційності процесів та екологічної відповідальності [5].

Інвестиційна й будівельна ефективність є взаємопов'язаними елементами загальної ефективності проєктного управління. Їх інтеграція створює синергетичний ефект, за якого оптимізація будівельних процесів забезпечує підвищення фінансової результативності інвестицій. У цьому контексті особливого значення набуває концепція «ефективності витрат» (cost-effectiveness — витратна ефективність), що охоплює як мінімізацію витрат, так і максимізацію кінцевої цінності для замовника. Для розуміння взаємозв'язків між цими категоріями на рис. 1.2 подано узагальнену структуру їх взаємодії.

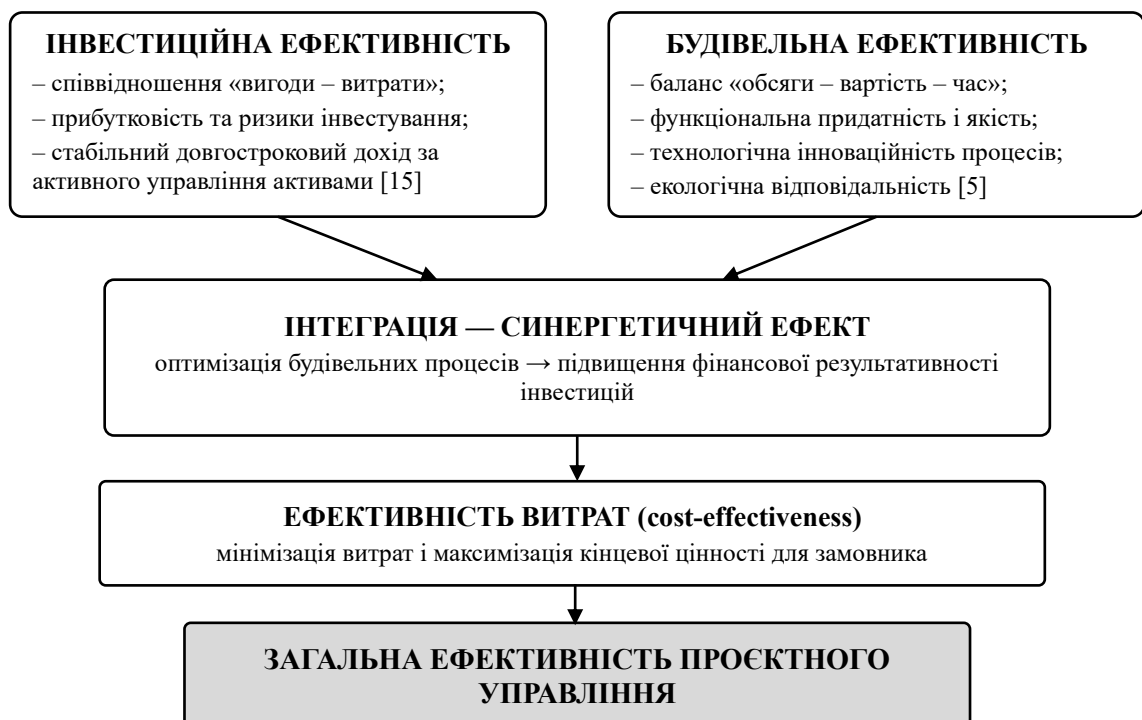


Рис. 1.2. Структура взаємозв'язку між інвестиційною та будівельною ефективністю (розроблено автором на основі [5])

Згідно з позицією Х. Керцнера, зв'язок між цими категоріями виявляється у використанні спеціалізованих методологій управління проєктами, зокрема управління освоєним обсягом (Earned Value Management, EVM), що інтегрує оцінку вартості, часу та якості в єдину систему контролю за виконанням проєкту [20]. Такий підхід дає змогу не лише оперативно реагувати на відхилення, а й передбачати ризики на ранніх етапах реалізації.

Ключовим чинником досягнення високої інвестиційної та будівельної ефективності є раціональне управління ресурсами — оптимальне планування використання робочої сили, матеріалів і технологій. За Д. І. Клілендом, раціональне управління ресурсами дає змогу досягти максимальної продуктивності без перевищення бюджетних обмежень за належної якості виконання робіт [6]. Особливої уваги потребує оцінювання ризиків, що безпосередньо впливають на ефективність: ідентифікація негативних чинників, аналіз їхнього впливу та розроблення стратегій мінімізації наслідків (фінансових, технічних, екологічних, організаційних ризиків). Для системного узагальнення характеристик інвестиційної та будівельної ефективності подано табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Основні характеристики інвестиційної та будівельної ефективності

Характеристика	Інвестиційна ефективність	Будівельна ефективність
Основний акцент	Оцінка здатності проєкту забезпечити приріст капіталу, фінансову стабільність і довгострокову вигідність вкладень.	Виконання робіт відповідно до проєктно-кошторисної документації, стандартів якості та в межах затверджених строків.
Інструменти оцінки	Фінансова аналітика: NPV, IRR, ROI, період окупності (Payback Period), аналіз дисконтованих грошових потоків, ризик-аналіз і сценарне планування.	Управління освоєним обсягом (EVM), багаторівневі KPI з контролю строків, бюджету та відповідності нормам.
Критичні чинники	Прибутковість інвестицій, ризикованість фінансування, ліквідність активів, стабільність грошового потоку, вплив макроекономічних факторів.	Точність планування робіт, дотримання календарних графіків, контроль вартості матеріалів і робіт, дотримання технологій і нормативів.

Механізми впливу	Інноваційні фінансові схеми, залучення альтернативного фінансування, стратегічне управління активами й ризиками, оптимізація витрат.	Сучасні технології будівництва (BIM-моделювання, автоматизація), системи управління якістю, методологія ощадливого будівництва (Lean Construction).
Орієнтація на результат	Повернення інвестицій у прогнозовані строки, підвищення вартості активів, досягнення цілей власників.	Відповідність проєктних рішень фактично виконаним роботам, своєчасна здача об'єкта в експлуатацію без перевищення бюджету.
Підхід до ризиків	Фінансова стійкість через стрес-тестування моделей, страхування інвестицій, контрактне управління ризиками.	Превентивний моніторинг технічних, логістичних і погодних ризиків, системи раннього попередження про відхилення.
Взаємодія учасників	Фінансово-інвестиційні консорціуми, інвестиційні меморандуми, співпраця із зовнішніми експертами й аудиторами.	Взаємодія замовника, проєктувальників, підрядників і технічного нагляду для узгодження результатів.
Джерела цінності	Приріст грошового потоку, створення доданої вартості, зміцнення позицій на ринку капіталів.	Підвищення репутації компанії, розширення портфеля реалізованих проєктів, зростання операційної ефективності.
Критерії успіху	Перевищення запланованої норми прибутковості, стійкість до змін кон'юнктури, досягнення цілей інвесторів.	Виконання проєкту в межах витрат, строків і якості без порушень норм, задоволення кінцевого замовника.

(розроблено автором на основі [6])

Така систематизація дає змогу чітко окреслити відмінності та спільні риси цих базових категорій, а інтеграція підходів до оцінювання різних аспектів проєкту відкриває можливості для підвищення конкурентоспроможності організацій, що управляють інвестиційно-будівельними проєктами у складних ринкових умовах.

Ризик та ефективність будівельно-інвестиційного проєкту є взаємопов'язаними категоріями. У будівельному інвестуванні ризик визначають як імовірність виникнення небажаних подій, здатних вплинути на хід реалізації проєкту, його строки, бюджет і кінцеву вартість. Як наголошує

Н. Брукс, ризик в інвестиційних проєктах є не лише невизначеністю майбутніх подій, а й керованим чинником за правильної стратегії управління [4]. Ефективність у цьому контексті має подвійну природу: з одного боку, це сукупний результат реалізації проєкту відповідно до цілей; з іншого — як підкреслює А. Хартман, ефективність неможливо оцінити без урахування ризиків, що супроводжують увесь життєвий цикл проєкту [9], і вона включає якісні показники — рівень інноваційності, стійкість до зовнішніх коливань, адаптивність управлінських рішень.

Б. Флайвберг запропонував трактувати ризик як інтегровану складову управління ефективністю, де ризик є не зовнішнім подразником, а органічним елементом процесу прийняття рішень, що дає змогу не лише уникати втрат, а й оптимізувати проєктні процеси через стратегії превентивного контролю [138]. Основні взаємозв'язки ризику та ефективності ілюструє рис. 1.3.

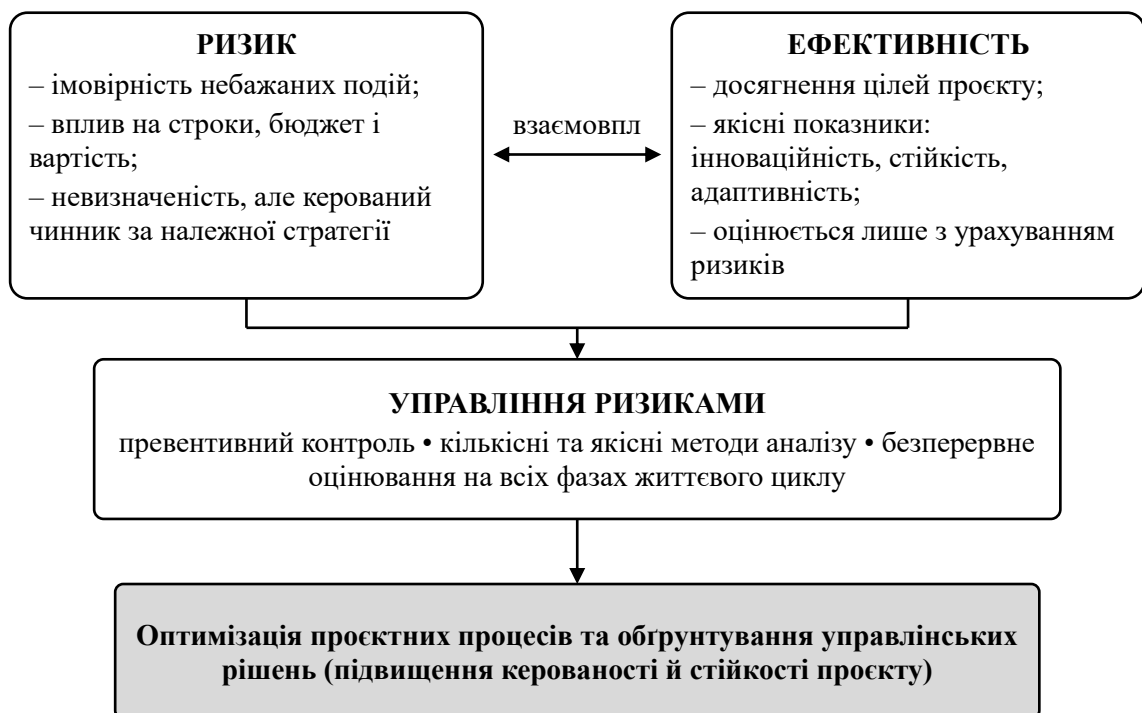


Рис. 1.3. Модель взаємодії ризику та ефективності будівельно-інвестиційного проєкту (розроблено автором на основі [7])

Оцінка ризику, як вказує М. Девіс, є не одноразовою дією, а безперервним процесом, що супроводжує всі фази проєкту — від концептуального опрацювання до експлуатації об'єкта; застосування кількісних і якісних методів аналізу дає змогу прогнозувати ризикові події та

розробляти моделі управління [9]. Класифікацію ризиків за їхнім впливом на ефективність проєкту наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Класифікація ризиків за впливом на ефективність будівельно-інвестиційного проєкту

Вид ризику	Характеристика впливу на ефективність	Приклади прояву
Фінансовий	Зростання вартості проєкту, дефіцит фінансування, затримки платежів, підвищення вартості кредитних ресурсів.	Курсова нестабільність, інфляція, зростання відсоткових ставок, банкрутство інвесторів.
Технічний	Затримки робіт, зниження якості об'єктів, потреба в переробках, збільшення витрат на ремонт чи модернізацію.	Несправність устаткування, технологічні збої, помилки проєктування, несертифіковані матеріали.
Правовий	Юридичні затримки в оформленні дозволів, витрати на супровід чи штрафи, замороження проєктів.	Зміни в законодавстві, анулювання ліцензій, суперечки щодо прав власності чи підрядних зобов'язань.
Екологічний	Штрафні санкції, зупинка робіт через порушення норм, зниження суспільної підтримки, іміджеві втрати.	Порушення екологічних норм, витік небезпечних речовин, будівництво в охоронних зонах без дозволу.
Соціальний	Громадські протести, затримки через додаткові соціальні заходи, підвищення витрат на соціальні програми.	Протести громад, незадоволення умовами праці, конфлікти через переселення.
Організаційний	Погіршення координації учасників, помилки в плануванні, затримки через неефективне управління ресурсами.	Погана комунікація підрядників, зміна керівництва, недостатня кваліфікація персоналу.
Політичний	Нестабільність умов інвестування, зміна пріоритетів фінансування, регуляторні обмеження.	Зміна уряду, санкції, обмеження на іноземні інвестиції, перегляд умов ДПП.

(розроблено автором на основі [9])

Управління ризиками в будівельно-інвестиційній діяльності не є одноразовим — воно інтегрується в усі системи управління проєктом; лише постійний моніторинг та адаптивність до змін середовища забезпечують максимально можливу ефективність за високої невизначеності. Формування ризик-орієнтованого мислення учасників будівельного процесу є одним із головних чинників успішної реалізації проєктів. Отже, взаємозв'язок ризику

та ефективності є складною багатогранною категорією, що потребує комплексного підходу впродовж усього життєвого циклу проєкту.

Еволюція концепцій суспільної та комерційної ефективності будівельно-інвестиційних проєктів віддзеркалює зміну соціально-економічних пріоритетів. Суспільна ефективність відображає ступінь відповідності результатів проєкту очікуванням і потребам суспільства з урахуванням соціальних, екологічних та інфраструктурних впливів; як підкреслює М. Кірк, вона передбачає не лише економічну вигоду, а й сприяння довгостроковій стійкості середовища реалізації проєкту [25]. Комерційна ефективність — це здатність проєкту генерувати фінансові вигоди для інвестора чи замовника в межах заданих економічних параметрів; за П. Едвіном, вона є первинним мірилом життєздатності проєкту в умовах ринкової конкуренції та потребує збалансування витрат, прибутковості й термінів окупності [11].

Історично перші концепції ефективності тяжіли до суто економічного виміру — успішність будівництва оцінювали за співвідношенням витрат і доходів без урахування ширшого суспільного контексту. З розвитком індустріалізації та зростанням ролі держави виникла потреба оцінювати проєкти і за соціальною доцільністю, що започаткувало поділ ефективності на суспільну й комерційну. У межах суспільної ефективності особливе місце належить поняттю екстерналій — зовнішніх ефектів проєкту для сторонніх учасників; позитивні екстерналії (покращення транспортної доступності, підвищення якості життя) мають бути невід’ємною частиною оцінки, особливо для об’єктів громадської інфраструктури. Комерційна ефективність, своєю чергою, стала багатограннішою з появою складних фінансових інструментів, венчурного капіталу та концесійних схем, охоплюючи не лише прибуток, а й ризикові характеристики, ліквідність активів і потенціал вторинного використання об’єктів.

Особливістю сучасного етапу є інтеграція суспільної та комерційної ефективності в комплексну оцінку: будівельно-інвестиційні проєкти розглядають як елементи міської екосистеми, де економічні результати мають

гармоніювати із соціальними наслідками, а ігнорування суспільних аспектів здатне спричинити комерційні втрати через громадське невдоволення, судові позови чи репутаційні ризики. Основні критерії суспільної та комерційної ефективності подано в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Критерії суспільної та комерційної ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Критерій	Суспільна ефективність	Комерційна ефективність
Основна мета	Підвищення добробуту населення, покращення інфраструктури, стійкий розвиток громад.	Максимізація прибутку, повернення інвестицій, збільшення вартості активів.
Ключові показники	Рівень зайнятості, доступність житла, екологічна стійкість, соціальна інтеграція.	NPV, IRR, ROI, рентабельність інвестицій, період окупності.
Залучені учасники	Органи влади, громади, неурядові організації, міжнародні фонди розвитку.	Приватні інвестори, забудовники, фінансові установи, банки.
Часовий горизонт	Довгостроковий вплив (10–30 років і більше), міжгенераційний ефект.	Середньо- або короткострокова перспектива (3–7 років).
Основні ризики	Соціальні протести, зміни суспільних потреб, репутаційні втрати, екологічні санкції.	Фінансова нестабільність, зміни кон'юнктури, валютні ризики, зростання вартості ресурсів.
Екологічний вплив	Обов'язкове збереження природних ресурсів, зниження забруднення, зміцнення біорізноманіття.	Екологічні стандарти враховуються за регуляторних вимог чи задля сертифікацій, що підвищують вартість активів.
Соціальні вигоди	Підвищення рівня життя, розвиток інфраструктури, розширення доступу до базових послуг.	Непрямий вплив через створення робочих місць та економічну активізацію території.
Рівень державної підтримки	Часте бюджетне фінансування, субсидії, пільги, участь у муніципальних програмах.	Можливі податкові стимули за основного акценту на приватному капіталі.
Модель управління	Багаторівневе партнерство держави, приватних структур, громад і міжнародних організацій.	Приватне управління з централізованими рішеннями, орієнтоване на швидку реалізацію.
Вимоги до прозорості	Високий рівень прозорості, підзвітність перед громадськістю, доступність даних про результати.	Прозорість орієнтована на інвесторів і кредиторів; публічна звітність залежить від регуляторних вимог.

Інноваційність	Інновації для стійкості, енергоефективності, соціальної залученості.	Інновації для оптимізації витрат, підвищення ефективності технологій і скорочення строків.
Підходи до оцінки ризиків	Комплексна оцінка довгострокових соціально-екологічних ризиків із залученням незалежних експертів.	Фокус на короткострокові фінансові ризики, ринкові сценарії та юридичні обмеження.

(розроблено автором на основі [11])

Отже, еволюція концепцій суспільної та комерційної ефективності є процесом поглиблення розуміння цілей будівництва: сучасні проєкти дедалі більше орієнтуються на синергію економічної доцільності й суспільної користі, що зумовлює потребу в багатовимірних методиках планування, фінансування та оцінювання результатів. Перехід від вузькоекономічних критеріїв до інтегрованих моделей відображає зміну цінностей суспільства, де стійкість, відповідальність та інклюзивність виходять на перший план поряд з економічною вигодою.

Оцінювання ефективності проєктів трансформувалося під впливом еволюції економічної думки. На початкових стадіях воно зводилося до простого зіставлення витрат і доходів без урахування довгострокових наслідків і зовнішніх факторів. Із розвитком класичної школи з'явилося глибше розуміння ресурсних обмежень і концепції альтернативної вартості: увагу зосереджено на оптимальному розподілі обмежених ресурсів, а ефективність почали вимірювати не лише прибутковістю, а й утраченими можливостями. У період маржиналізму акцент змістився на аналіз граничних показників — перевищення граничного доходу над граничними витратами, що підвищило точність оцінювання. Після світових криз XX ст. оцінювання набуло макроекономічного виміру: проєкти оцінювали за внеском у економічну стабільність, зайнятість і розвиток національних економік.

Поява теорії дисконтованих грошових потоків надала нову якість методам оцінювання: урахування часової вартості грошей дало змогу коректніше розраховувати прибутковість проєктів із відстроченою вигодою, а чиста приведена вартість і внутрішня норма прибутковості стали базовими інструментами аналізу. На сучасному етапі, з огляду на концепції сталого

розвитку, оцінювання розширило межі економічного аналізу, охопивши екологічні й соціальні аспекти — довгостроковий вплив на суспільство, підтримку інноваційності та відповідальне використання ресурсів.

Окремим напрямом стала інтеграція цифрових технологій у процес оцінювання: застосування аналітики великих даних, імітаційного моделювання й сценарного аналізу дає змогу точніше прогнозувати результати проєктів та оперативно реагувати на зміни середовища, роблячи ухвалення рішень обґрунтованішим. Водночас проведений аналіз засвідчує, що класичні організаційно-технологічні, календарно-планові та фінансово-економічні методи оцінювання й сучасні цифрові інструменти застосовуються переважно відокремлено, а оцінювання ефективності залишається здебільшого статичним і фрагментованим за стадіями життєвого циклу. Це підтверджує сформульовану у вступі наукову проблему й окреслює потребу в інтеграції зазначених методів із цифровими інструментами підтримки рішень у єдиний адаптивний контур оцінювання, що є підґрунтям для подальшого уточнення понятійно-категоріального апарату (завдання 1) та розроблення організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів у наступних підрозділах.

1.2. Теоретичні та методичні основи організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Оцінка ефективності будівельно-інвестиційних проєктів є важливим етапом, що дає змогу визначити фінансову вигідність і доцільність їх реалізації. Оцінювання охоплює різні аспекти проєкту — економічний, екологічний, технічний і соціальний, — кожен з яких слугує підґрунтям для обґрунтованого рішення щодо доцільності інвестицій.

Основою теоретичних засад є економічна оцінка ефективності проєкту, яка включає розрахунок чистого приведенного доходу (NPV), внутрішньої норми дохідності (IRR), періоду окупності (Payback Period) та рентабельності інвестицій (ROI). Ці показники характеризують економічну вигідність проєкту,

прогнозують потенційний прибуток від інвестицій і визначають час, потрібний для покриття витрат доходами. Застосування методів економічної оцінки дає змогу замовникам та інвесторам ухвалювати обґрунтовані рішення щодо фінансування й реалізації проєкту в межах бюджету [64].

Соціальна оцінка ефективності спрямована на визначення соціального впливу проєкту — створення робочих місць, розвитку інфраструктури, впливу на рівень і якість життя населення. Її застосовують передусім у державних і муніципальних проєктах, де поряд з економічною вигодою важливо забезпечити позитивний вплив на суспільство [29].

Екологічна оцінка ефективності охоплює аналіз впливу проєкту на навколишнє середовище: екологічні витрати, викиди парникових газів, зміни екосистем, забруднення води й повітря. У сучасних будівельно-інвестиційних проєктах інтеграція екологічної оцінки стає обов'язковою, оскільки підприємства та інвестори враховують вимоги сталого розвитку й мінімізації екологічного впливу [31].

Технічна оцінка ефективності визначає, наскільки проєкт відповідає сучасним вимогам до технологій, методів і будівельних матеріалів. Дотримання стандартів якості та безпеки й застосування новітніх технологій підвищують ефективність проєкту, поліпшують експлуатаційні характеристики та знижують витрати на обслуговування в майбутньому [75].

Окремою складовою є оцінка фінансової стійкості проєкту — здатності покривати витрати за рахунок залучених коштів. Вона передбачає аналіз варіантів фінансування, структури капіталу та ризиків, пов'язаних із коливанням ставок за кредитними ресурсами чи кон'юнктури ринку нерухомості.

Одним з основних елементів теоретичних засад оцінювання є оцінка ризиків, що охоплює фінансові, технологічні, екологічні та соціальні аспекти. Ідентифікація можливих ризиків і застосування методів управління ними знижують імовірність несприятливих результатів і сприяють ефективному виконанню проєкту.

Організаційно-технологічні фактори охоплюють управлінські рішення, організацію робіт на будівельному майданчику, ефективне використання ресурсів і координацію між учасниками проєкту. Чітке планування, обґрунтований підбір матеріалів, оптимізація робочих процесів і технологій суттєво впливають на ефективність проєкту, його вартість і терміни реалізації [58].

Організаційна складова передбачає належну взаємодію підрядників, постачальників, замовників, інвесторів та інших учасників проєкту. Проблеми координації робіт спричиняють затримки, перевитрати й зростання ризиків, тому важливими є чітка комунікація, управління ресурсами та розподіл відповідальності сторін на всіх етапах будівництва [68].

Технологічні фактори охоплюють застосування новітніх технологій будівництва, підвищення якості матеріалів та ефективні методи виробництва. Вибір технології враховує специфіку проєкту; використання сучасних інструментів моніторингу й контролю якості дає змогу знизити витрати та зменшити ймовірність помилок. Автоматизація, технології управління енергоспоживанням, сучасні інженерні системи й водопостачання підвищують економічну ефективність проєкту та його екологічну стійкість [32].

Отже, теоретичні концепції оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів є багатограничними й охоплюють економічні, соціальні та екологічні аспекти. Організаційно-технологічні фактори мають ключове значення для успішної реалізації проєктів, а інтеграція сучасних управлінських і технологічних підходів забезпечує досягнення найкращих результатів [57].

Визначення ключових показників ефективності (KPI) є важливою складовою управління будь-яким проєктом, зокрема будівельно-інвестиційним. KPI дають змогу контролювати хід виконання проєкту та оцінювати його кінцеві результати з погляду досягнення поставлених цілей. Обґрунтований вибір KPI є критичним для ефективного управління: вони

відображають відповідність проєкту запланованим бюджетам, термінам, стандартам якості та іншим критеріям успішності [103].

Фінансова ефективність є одним з основних KPI і охоплює показники NPV, IRR, періоду окупності та ROI, що дають змогу оцінити прибутковість проєкту й строк повернення інвестицій. Показник NPV відображає різницю між теперішньою вартістю майбутніх грошових потоків і витратами на проєкт, характеризуючи потенційну вигоду для інвесторів [82].

Термін виконання проєкту оцінює дотримання запланованих строків робіт; затримки спричиняють додаткові витрати й знижують ефективність. Застосування календарного графіка (діаграми Ганта) дає змогу відстежувати прогрес виконання завдань і вчасно виявляти відставання від плану [51].

Показник використання ресурсів і витрат оцінює ефективність використання матеріалів і витрат на робочу силу; фактичні витрати на матеріали зіставляють із запланованими для виявлення відхилень від бюджету, що за потреби зумовлює перегляд стратегії закупівель чи управління запасами.

Якість виконання робіт безпосередньо впливає на успішність проєкту й вимірюється часткою робіт, що відповідають стандартам, і кількістю дефектів чи доопрацювань. Висока якість запобігає додатковим витратам на виправлення помилок, зберігає бюджет і задовольняє вимоги замовника.

Оцінка ризиків охоплює визначення ймовірності негативних подій (зміни цін на матеріали, правові проблеми, природні катастрофи) та їх потенційного впливу на проєкт. KPI, пов'язані з управлінням ризиками, дають змогу вчасно виявляти проблеми й запобігати їх впливу на успішність проєкту [62].

Екологічна ефективність набуває ваги з посиленням вимог сталого розвитку й вимірюється зниженням енергоспоживання, часткою відновлюваних джерел енергії, обсягом викидів парникових газів та управлінням відходами, що зменшує вплив на довкілля й довгострокові експлуатаційні витрати.

Задоволеність замовника та кількість скарг відображають якість взаємодії із замовником та іншими сторонами проєкту; висока задоволеність свідчить про виконання вимог і очікувань. Показник вимірюють через механізми зворотного зв'язку, аналіз відгуків та опитування [19].

Продуктивність команди оцінюють за кількістю завершених етапів за одиницю часу та ефективністю виконання завдань; висока продуктивність без утрати якості є основою вчасного завершення проєкту в межах бюджету.

Отже, визначення KPI є необхідним елементом ефективного управління будівельно-інвестиційними проєктами: обґрунтований вибір показників дає змогу вимірювати успіх на кожному етапі та своєчасно коригувати стратегію. Основні KPI наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5. Ключові показники ефективності для оцінки будівельно-інвестиційних проєктів

Показник	Опис	Переваги	Недоліки	Використання в оцінці проєкту
Чистий приведений дохід (NPV)	Різниця між сумою майбутніх грошових потоків від проєкту та його витратами, приведена до теперішнього часу	Враховує час і ризики, точність розрахунків	Може не враховувати вплив зовнішніх умов	Визначає загальну вигідність проєкту з погляду інвестицій
Внутрішня норма дохідності (IRR)	Відсоткова ставка, за якої NPV проєкту дорівнює нулю	Легко порівнювати з іншими проєктами, враховує вартість грошей у часі	Складно застосувати за множинних значень IRR	Оцінка потенційного доходу від інвестицій
Період окупності	Час, потрібний для покриття початкових інвестицій грошовими потоками проєкту	Легко розраховується, швидка оцінка ризиків	Не враховує грошові потоки після періоду окупності	Визначає швидкість повернення інвестицій
Рентабельність інвестицій (ROI)	Співвідношення між чистим доходом від проєкту та витратами на його реалізацію	Легко застосовується для порівняння проєктів різної величини	Не враховує час і ризики	Визначає загальну вигідність інвестицій
Енергоефективність (EER)	Споживання енергії на одиницю площі або продукції будівлі	Зменшує експлуатаційні витрати, зберігає ресурси	Висока вартість упровадження енергоефективних технологій	Оцінка ефективності використання енергоресурсів
Якість виконаних робіт (Quality Index)	Відповідність виконаних робіт установленим стандартам	Зменшує ризики дефектів, покращує репутацію	Складно виміряти без чітких критеріїв якості	Оцінка технічної якості робіт на всіх етапах
Ризик проєкту (Risk Assessment)	Оцінка ймовірності негативних подій,	Допомагає зменшити ризики та зберегти бюджет	Потребує значних зусиль і ресурсів	Підготовка до фінансових, технічних та

Показник	Опис	Переваги	Недоліки	Використання в оцінці проєкту
	що можуть вплинути на проєкт			екологічних ризиків
Технічна готовність (Technology Readiness)	Оцінка готовності проєкту до впровадження нових технологій	Підвищує конкурентоспроможність, забезпечує стабільність	Високі вимоги до інвестицій і технічної бази	Визначає готовність до інтеграції інноваційних технологій

(розроблено автором на основі [19])

Модель організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, що інтегрує оцінювання економічної ефективності, ризиків, технологічних факторів, використання ресурсів і впливу на довкілля, наведено на рис. 1.4. Такий підхід забезпечує комплексне оцінювання проєкту й обґрунтування управлінських рішень на всіх етапах реалізації.

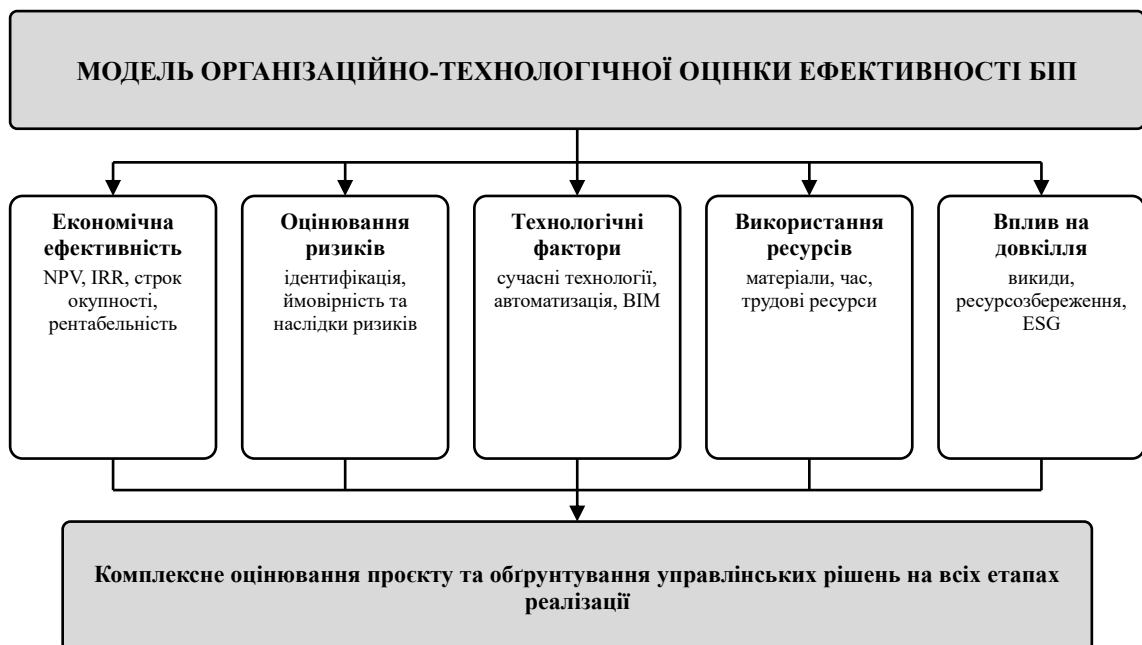


Рис. 1.4. Модель організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено автором на основі [109])

Оцінка ефективності будівельно-інвестиційних проєктів передбачає застосування різних методів для визначення доцільності інвестицій і прогнозування результатів. Методи оцінювання поділяють на три основні категорії — фінансові, економічні та соціальні, — кожна з яких оцінює різні аспекти проєкту.

Фінансова оцінка передбачає аналіз вигідності проєкту з погляду інвестора — чи окупляться вкладені кошти й чи будуть одержані позитивні

грошові потоки. Найпоширенішим методом є чистий приведений дохід (NPV): він дає змогу розрахувати різницю між сумою майбутніх грошових потоків і початковими витратами, приведеними до теперішнього часу. Якщо NPV додатний, проєкт вважають фінансово вигідним. Для розрахунку NPV застосовують ставку дисконтування, що враховує ризики й альтернативні витрати капіталу [42].

Внутрішня норма дохідності (IRR) — це ставка дисконтування, за якої NPV дорівнює нулю. Вища IRR означає більшу рентабельність проєкту; порівняння IRR з вимогами до прибутковості (наприклад, з ринковою ставкою) дає змогу ухвалити рішення про доцільність інвестицій [29].

Період окупності (Payback Period) визначає час, потрібний для повернення інвестицій через одержані грошові потоки. Показник простий у розрахунку, проте не враховує часової вартості грошей і не завжди достатній для повної оцінки ефективності проєкту [94].

Рентабельність інвестицій (ROI) виражає співвідношення між одержаним прибутком та інвестиціями в проєкт і показує, наскільки прибутковими є вкладені кошти порівняно з іншими можливими інвестиціями.

Економічні методи оцінювання охоплюють ширші аспекти, що виходять за межі фінансових показників. Один з них — аналіз витрат і вигід (Cost-Benefit Analysis, CBA): він дає змогу зіставити сумарні вигоди й витрати проєкту з урахуванням фінансових, соціальних, екологічних та інших аспектів і визначити, чи буде проєкт вигідним для суспільства загалом [90]. Аналіз чутливості оцінює, як зміни входних параметрів (коливання вартості матеріалів, зміни попиту) впливають на ефективність проєкту, і показує, наскільки він чутливий до зовнішніх і внутрішніх змін.

Соціальні методи зосереджені на впливі проєкту на суспільство — зайнятість, житлові умови, рівень життя. Одним з підходів є оцінка соціальної віддачі від інвестицій (Social Return on Investment, SROI), що вимірює соціальні вигоди проєкту, зіставляючи їх з витратами на реалізацію [39]. При

цьому враховують і можливі соціальні ризики — міграцію чи зміни демографічної структури, спричинені реалізацією проєкту.

Методика розрахунку й аналізу економічних показників проєкту охоплює кілька етапів. Перший — визначення вхідних даних: початкових інвестицій, майбутніх грошових потоків, витрат на експлуатацію та очікуваних доходів. Далі методом дисконтованих грошових потоків розраховують NPV та IRR із застосуванням ставки дисконтування, що відображає вартість капіталу й ризики проєкту [42]. На основі одержаних показників проводять аналіз чутливості (оцінка зміни результатів за варіації вхідних параметрів) і сценарний аналіз (оцінка варіантів розвитку проєкту за зміни зовнішніх умов), що дає змогу визначити оптимальний варіант проєкту. Методика передбачає також оцінку ризиків із застосуванням інструментів SWOT- та GAP-аналізу для виявлення слабких місць проєкту й розроблення заходів їх мінімізації [64].

Використання інструментів прогнозування на різних етапах проєкту є критично важливим для його успішної реалізації, досягнення цілей та ефективного управління ресурсами. На етапі планування прогнозування починається з оцінки потенційних витрат, доходів і ресурсів; основним інструментом є сценарний аналіз, що дає змогу врахувати зміни зовнішнього середовища (коливання вартості матеріалів, зміни законодавства чи податкових ставок). Метод розрахунку грошових потоків формує прогноз фінансових потоків, оцінює строки окупності та ризики фінансування. На етапі проєктування моделювання методом Монте-Карло дає змогу прогнозувати ймовірні результати з урахуванням різних сценаріїв і оцінювати ризики відхилень від плану. На етапі реалізації інструменти прогнозування застосовують для моніторингу виконання робіт, контролю витрат і строків; методи лінійного програмування оптимізують розподіл ресурсів між етапами будівництва, а системи управління проєктами автоматизують моніторинг і прогнозування. На завершальному етапі аналітичні панелі (dashboards) у реальному часі відстежують KPI проєкту й дають змогу оперативно реагувати на відхилення від плану [100].

Порівняння основних методів оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів за фінансовими, економічними, соціальними та екологічними аспектами наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6. Порівняння методів оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Метод оцінки	Опис	Переваги	Недоліки	Використання
Чистий приведений дохід (NPV)	Різниця між приведеними до теперішнього часу грошовими потоками та витратами на проєкт	Оцінка вигідності з урахуванням часу й ризиків	Потребує точних даних про потоки й ставку дисконтування	Оцінка фінансової вигоди проєктів зі стабільними потоками
Внутрішня норма дохідності (IRR)	Ставка, за якої NPV проєкту дорівнює нулю	Легко порівнювати з іншими проєктами й ставками	Може мати кілька значень за складних потоків	Оцінка рентабельності та порівняння з альтернативами
Період окупності (Payback Period)	Час повернення інвестицій через грошові потоки проєкту	Простий у розрахунку, швидка оцінка ризиків	Не враховує потоки після періоду окупності	Оцінка проєктів з коротким горизонтом інвестицій
Рентабельність інвестицій (ROI)	Співвідношення чистого доходу й витрат на проєкт	Легко порівнювати різні проєкти	Не враховує час і ризики	Порівняння проєктів з різними рівнями ризику
Аналіз витрат і вигід (CBA)	Зіставлення всіх витрат і вигід проєкту	Враховує економічні, соціальні, екологічні аспекти	Складно виміряти соціальні вигоди й довгострокові ефекти	Комплексна оцінка соціально-економічних аспектів
Аналіз чутливості	Оцінка впливу зміни входних параметрів на результати	Визначає критичні фактори та потенційні ризики	Потребує великого обсягу даних	Оцінка стабільності проєкту за змінних параметрів
Соціальна віддача (SROI)	Оцінка соціальних вигід (робочі місця, інфраструктура)	Враховує довгострокові соціальні вигоди	Складно виміряти, потребує суб'єктивних оцінок	Оцінка проєктів зі значним соціальним впливом
Екологічна оцінка ефективності	Оцінка впливу на довкілля (викиди, забруднення, ресурси)	Сприяє сталому розвитку	Складно оцінити всі екологічні аспекти	Проєкти з впливом на довкілля чи потребою сертифікації
Технічна оцінка ефективності	Відповідність проєкту стандартам, інженерним рішенням і технологіям	Визначає технічну доцільність, покращує якість	Не враховує економічний аспект	Оцінка відповідності стандартам і технічним вимогам

(розроблено автором на основі [79])



Рис. 1.5. Схема інноваційних підходів до реконструкції громадських будівель з урахуванням екологічних та технічних стандартів (розроблено автором на основі [113])

Аналіз прикладів застосування методики оцінювання ефективності на реальних будівельно-інвестиційних проєктах є важливим етапом для розуміння того, як на практиці працюють різні методи — фінансові, економічні, соціальні та екологічні. За результатами такого аналізу оцінюють, чи правильно обрано методи, чи відповідають вони специфіці проєкту й вимогам замовника та наскільки результативно їх застосовано для управління на кожному етапі [134].

Для великих житлових комплексів застосовують метод NPV: у розрахунках ураховують початкові витрати на проєктування й будівництво та майбутні грошові потоки від оренди чи продажу, що дає інвесторам змогу оцінити прибуток з урахуванням ризиків, пов'язаних зі зміною економічної ситуації та вартості матеріалів. Для інфраструктурних проєктів (будівництва мостів, доріг) використовують IRR, що визначає очікувану прибутковість з урахуванням витрат на будівництво й утримання; проєкти з вищими

значеннями IRR привабливіші для інвесторів. Аналіз чутливості оцінює вплив зміни вартості матеріалів і попиту, даючи змогу вчасно реагувати на негативні впливи [74].

Соціальні методи (SROI) дають змогу оцінити додаткові вигоди проєкту для місцевих громад — поліпшення умов життя, створення робочих місць, розширення доступу до соціальних послуг. В управлінні ризиками застосовують методи аналізу ризиків, що визначають потенційні проблеми й негативні сценарії (зокрема коливання цін на матеріали, здатні спричинити перевищення бюджету); для цього використовують методи прогнозування — моделювання Монте-Карло та аналіз чутливості.

Важливу роль відіграють організаційно-технологічні фактори управління ризиками й оптимізації витрат. Організаційні рішення — ефективне планування робіт, своєчасне постачання матеріалів, належна організація роботи персоналу — безпосередньо впливають на успішність проєкту. Технологічні фактори — новітні будівельні технології, автоматизація процесів, інноваційні матеріали — зменшують витрати й підвищують якість. Застосування технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) оптимізує проєктування й будівництво, знижуючи витрати на матеріали, скорочуючи час виконання робіт і мінімізуючи помилки [107]. Упровадження систем управління проєктами, що автоматизують планування, контроль витрат і комунікацію між учасниками, зменшує затримки й перевитрати та підвищує загальну ефективність. Отже, раціональне використання організаційно-технологічних факторів знижує ризики, оптимізує витрати й підвищує ефективність проєкту, забезпечуючи його фінансову вигідність та досягнення соціальних і екологічних результатів в умовах сталого розвитку [18].

Важливим завданням є визначення перспектив розвитку методик оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів в умовах сучасного ринку, що характеризується високою конкуренцією, швидкими змінами технологій і зростаючими вимогами до екологічної та соціальної відповідальності. Перспективним напрямом є впровадження інтегрованих

підходів, які комплексно враховують фінансові, технічні, соціальні та екологічні аспекти. Зокрема, аналіз витрат і вигід (CBA) може бути вдосконалений через урахування соціальних та екологічних вигід — зниження викидів вуглекислого газу, поліпшення умов життя громад, створення робочих місць, — що дає змогу оцінити загальний вплив проєкту на економіку, суспільство й довкілля.

Розвиток цифрових технологій і аналітичних інструментів (аналітика великих даних, методи машинного навчання) уможлиблює прогнозування ефективності проєктів на основі значних масивів даних: аналіз історичних даних і побудова прогнозних моделей дають змогу оцінювати майбутні грошові потоки, витрати й ризики, що знижує невизначеність і підвищує точність оцінювання [37]. Важливими є також інструменти адаптивного планування — моніторинг виконання проєкту, аналіз відхилень і вжиття коригувальних заходів; істотну роль відіграють системи управління ресурсами підприємства (ERP), що інтегрують етапи проєкту в єдину платформу для оперативного контролю. Окремим напрямом є вдосконалення соціальних методів (SROI) та розвиток інструментів моніторингу соціальних і екологічних параметрів [39], а також методів прогнозування ризиків на основі аналізу великих обсягів даних [56].

Отже, перспективи розвитку методик оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів зумовлені інтеграцією новітніх технологій, удосконаленням урахування соціальних та екологічних факторів і застосуванням адаптивних і прогнозних методів управління. Це узгоджується з метою дисертаційного дослідження й безпосередньо підводить до завдань 4 і 5 — обґрунтування напрямів інтеграції цифрових технологій у процеси оцінювання та розроблення інтегрованої організаційно-технологічної моделі.

Взаємозв'язок організаційно-технологічних факторів та ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, що демонструє взаємодію організаційних, технологічних, економічних, соціальних та екологічних аспектів, наведено на рис. 1.6.

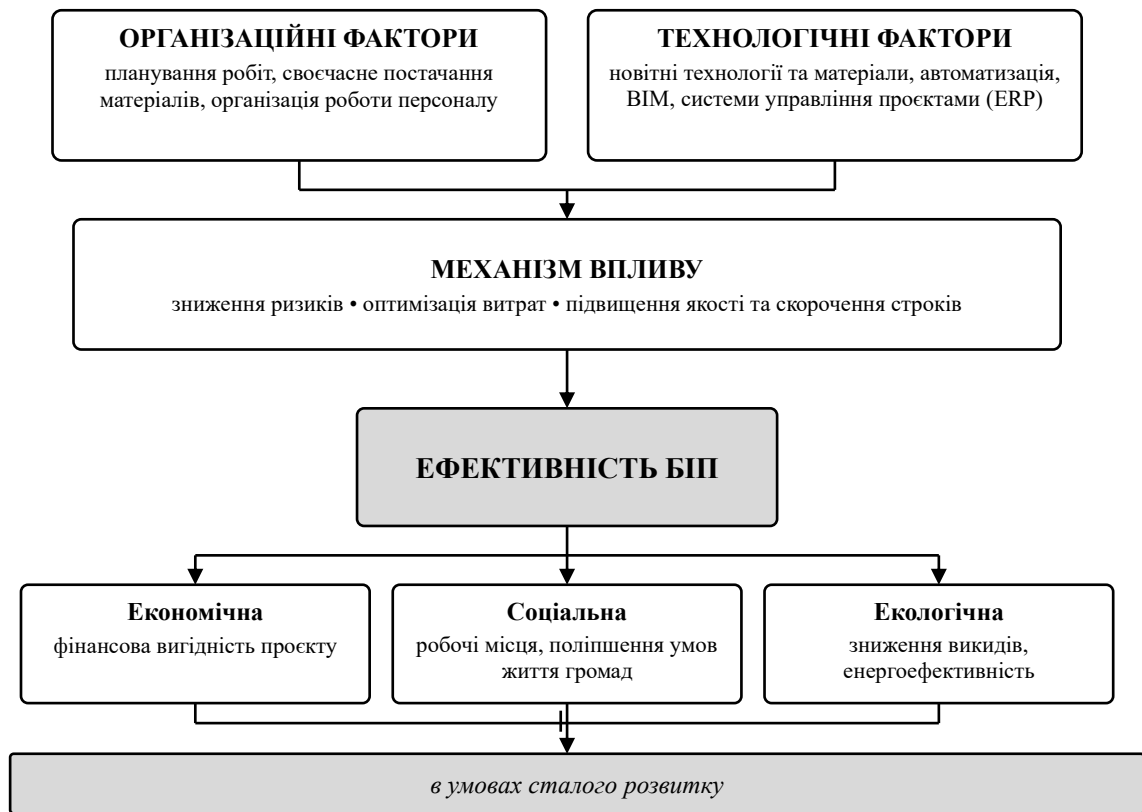


Рис. 1.6. Взаємозв'язок організаційно-технологічних факторів та ефективності будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено на основі [75])

Узагальнюючи викладене, зазначимо, що теоретико-методичною основою організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів є поєднання класичних фінансово-економічних методів (NPV, IRR, дисконтований строк окупності) із соціально-екологічними (SROI, ESG) та організаційно-технологічними критеріями, що враховують якість, строки й ресурсне забезпечення робіт. Установлено, що результативність проєкту визначається не окремими показниками, а взаємодією організаційних, технологічних та економічних чинників протягом усього життєвого циклу, тому їх узгодження є передумовою комплексного оцінювання. Перспективи розвитку розглянутих методик пов'язані з інтеграцією цифрових технологій, аналітики великих даних і сценарного моделювання, що уможлиблює перехід від статичного до динамічного, адаптивного оцінювання ефективності. Це формує методичне підґрунтя для розроблення інтегрованого організаційно-технологічного інструментарію, обґрунтуванню якого присвячено наступні розділи дисертації.

1.3 Визначення критеріїв та індикаторів ефективності реалізації будівельно-інвестиційних проєктів у сучасних умовах

Формування критеріїв ефективності будівельно-інвестиційних проєктів є фундаментальним завданням теорії й практики управління інвестиційно-будівельною діяльністю. Критерій у контексті проєктного управління передбачає встановлення чітких орієнтирів, за якими оцінюють ступінь досягнення цілей, поставлених у процесі планування та реалізації інвестиційного задуму. Критерії виступають маркерами успішності проєкту, даючи змогу визначати рівень економічної доцільності, фінансової стійкості, соціальної значущості та екологічної безпечності здійснюваних заходів.

Перші уявлення про потребу у формуванні критеріїв в інвестиційному управлінні виникли зі становленням класичної економічної теорії. А. Сміт і Д. Рікардо заклали основи розуміння економічної ефективності через співвідношення витрат і вигід. У XX ст. під впливом кейнсіанської економіки ідеї оцінювання інвестиційної доцільності набули нової ваги, а з розвитком теорії управління проєктами, особливо після Другої світової війни, сформувалися перші методичні підходи до встановлення формалізованих критеріїв ефективності будівельних інвестиційних проєктів [114].

Визначальним для теоретичного обґрунтування критеріїв стало розуміння специфіки будівельно-інвестиційної діяльності як особливого виду економічної активності, що поєднує високу капіталоємність, довгостроковість реалізації, мультидисциплінарність ресурсів і значну залежність від зовнішніх ризиків. Тому теорія критеріїв ефективності не може бути універсальною для всіх типів проєктів і потребує адаптації до умов будівельного сектору.

Класичні економічні підходи пропонували оцінювати ефективність через чисту приведену вартість (NPV), внутрішню норму прибутковості (IRR), термін окупності інвестицій (PP) та індекс прибутковості (PI). Ці індикатори застосовуються й нині, проте в умовах сучасної економіки, що

характеризується турбулентністю, цифровізацією та зростанням ваги соціально-екологічних аспектів, виникла потреба доповнити класичні фінансові критерії новими мультифакторними системами оцінювання [37].

Теоретичні засади формування критеріїв охоплюють кілька площин. Економічна площа базується на співвідношенні витрат і вигід, рентабельності інвестицій, ліквідності проєкту. Соціальна ефективність передбачає оцінку впливу проєкту на зайнятість населення, розвиток регіональної інфраструктури, підвищення якості життя. Екологічна площа враховує вплив будівництва на довкілля, витрати на рекультивацію територій, ефективність використання ресурсів.

Серед сучасних учених, які зробили вагомий внесок у розвиток теоретичних основ критеріїв оцінювання, слід відзначити Р. Каплана й Д. Нортон, які запропонували концепцію збалансованої системи показників (Balanced Scorecard, BSC), що дає змогу оцінювати ефективність проєкту з чотирьох перспектив — фінансової, клієнтської, внутрішніх процесів, навчання й розвитку. Хоча BSC початково застосовувалася в корпоративному управлінні, її принципи дедалі активніше використовують в інвестиційно-будівельних проєктах для встановлення комплексних критеріїв.

Важливою теоретичною базою стала концепція стейкхолдерського підходу, що наголошує на потребі враховувати інтереси всіх зацікавлених сторін під час оцінювання успішності проєкту. Відповідно, критерії ефективності мають відображати не лише фінансові показники для інвесторів, а й соціальну прийнятність для громад, екологічні вимоги державних органів і технологічні очікування підрядників та користувачів об'єкта [60]. Узагальнені підходи та концепції, що формують основу сучасної системи критеріїв, наведено в табл. 1.7.

Таблиця 1.7. Основні підходи та площини формування критеріїв ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Підхід / Концепція	Основні характеристики	Приклади індикаторів критеріїв	Внесок у формування системи оцінки
Класична економічна теорія (А. Сміт, Д. Рікардо)	Оцінка через співвідношення витрат і вигід	Чиста приведена вартість (NPV), внутрішня норма прибутковості (IRR)	Заклала базові принципи економічної доцільності інвестицій
Теорія управління проектами (після Другої світової війни)	Формалізація підходів до оцінки ефективності будівельних проєктів	Термін окупності (PP), індекс прибутковості (PI)	Створення перших методичних основ оцінювання
Сучасний мультидисциплінарний підхід	Інтеграція економічних, соціальних і екологічних факторів	Рентабельність, соціальна значущість, екологічна безпечність	Урахування комплексного впливу проєкту на середовище
Balanced Scorecard (Р. Каплан, Д. Нортон)	Оцінка з фінансової, клієнтської, процесної та навчальної перспектив	Фінансові результати, якість процесів, розвиток персоналу	Забезпечення збалансованого бачення ефективності
Стейкхолдерський підхід	Оцінка через призму інтересів зацікавлених сторін	Соціальна прийнятність, екологічна відповідність, технологічні очікування	Орієнтація на стійкість і суспільну підтримку проєктів

(розроблено автором на основі [60])

Важливою складовою є інтеграція методів багатокритеріальної оцінки. Зокрема, метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process, АНП) дає змогу структурувати комплекс критеріїв, установити їх вагомість і провести зважену оцінку альтернатив проєктних рішень. У працях Т. Сааті цей метод описано як інструмент ухвалення рішень у складних багатофакторних системах, що відповідає специфіці будівельно-інвестиційних проєктів.

У сучасних умовах в оцінювання ефективності інтегруються концепції сталого розвитку: поняття «зеленого будівництва», «енергоефективності», «карбонового сліду» входять до новітніх критеріїв, особливо в проєктах, що фінансуються за рахунок міжнародних грантів або реалізуються в країнах із високими екологічними стандартами. Формування критеріїв передбачає також урахування цифрової трансформації процесів: інформаційне моделювання будівель (BIM) дає змогу будувати критерії не лише на етапі експлуатації об'єкта, а й на стадії планування та проєктування, коли можна заздалегідь

оцінити майбутні витрати на експлуатацію, ремонт, утилізацію. Таким чином, критерії ефективності поступово охоплюють увесь життєвий цикл будівельного об'єкта.

Формування критеріїв потребує врахування специфіки типу будівництва: житлове будівництво, інфраструктурні проєкти, об'єкти комерційної нерухомості чи промислові об'єкти мають різні пріоритети й, відповідно, різні системи критеріїв. Наприклад, для інфраструктурних проєктів на перший план часто виходить соціальний ефект, тоді як для комерційної нерухомості домінують фінансова рентабельність і ліквідність об'єкта. Систематизацію основних підходів до формування критеріїв наведено на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Основні підходи до формування критеріїв ефективності будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено автором на основі [118])

Отже, процес формування критеріїв ефективності у сучасних умовах є багаторівневим, міждисциплінарним і динамічним. Він спирається на поєднання класичних економічних моделей, концепцій сталого розвитку, технологій цифрового моделювання та інституційних підходів до взаємодії зі стейкхолдерами. Основним завданням стає не лише об'єктивна оцінка

ефективності проєкту в момент ухвалення рішення, а й створення гнучкої системи критеріїв, здатної адаптуватися до змінних умов реалізації на всіх етапах. У зв'язку з ускладненням оцінювання виникає потреба не лише у формуванні загальних критеріїв, а й у чіткій ідентифікації конкретних індикаторів, що дають змогу кількісно вимірювати досягнення цілей; цьому присвячено подальший розгляд.

Визначення індикаторів ефективності будівельно-інвестиційних проєктів є одним із найвідповідальніших завдань інвестиційного управління. Індикатори — це вимірювані характеристики, що дають змогу оцінити результативність досягнення стратегічних і тактичних цілей проєкту. На відміну від загальних критеріїв, які часто мають описовий характер, індикатори повинні бути конкретними, кількісними, доступними для моніторингу та інтегрованими в систему ухвалення рішень на всіх етапах життєвого циклу проєкту [105].

Практика показує, що просте використання класичних фінансових індикаторів (чистого прибутку чи рентабельності інвестицій) є недостатнім для повноцінного контролю за успішністю будівельно-інвестиційних проєктів, тому виникла потреба в розширених системах індикаторів, що враховують багатофакторний характер будівництва й інвестиційної діяльності. Першим важливим кроком стало застосування концепції ключових показників ефективності (Key Performance Indicators, KPI), яка набула поширення в корпоративному менеджменті завдяки працям Д. Парментера. У будівельно-інвестиційних проєктах KPI дають змогу вимірювати не лише фінансові результати, а й часові параметри, якість виконання робіт, рівень ризику, задоволеність стейкхолдерів і ступінь інноваційності процесів.

Вибір інструментів ідентифікації індикаторів залежить від цілей оцінювання, специфіки проєкту та стадії реалізації. Однією з найпоширеніших є методика SMART, за якою кожен індикатор має бути конкретним (Specific), вимірюваним (Measurable), досяжним (Achievable), релевантним (Relevant) і обмеженим у часі (Time-bound) [84]. Це дає змогу формувати чітку систему

індикаторів, орієнтовану на практичний моніторинг. Роль основних підходів у сучасній системі оцінювання ілюструє рис. 1.8.

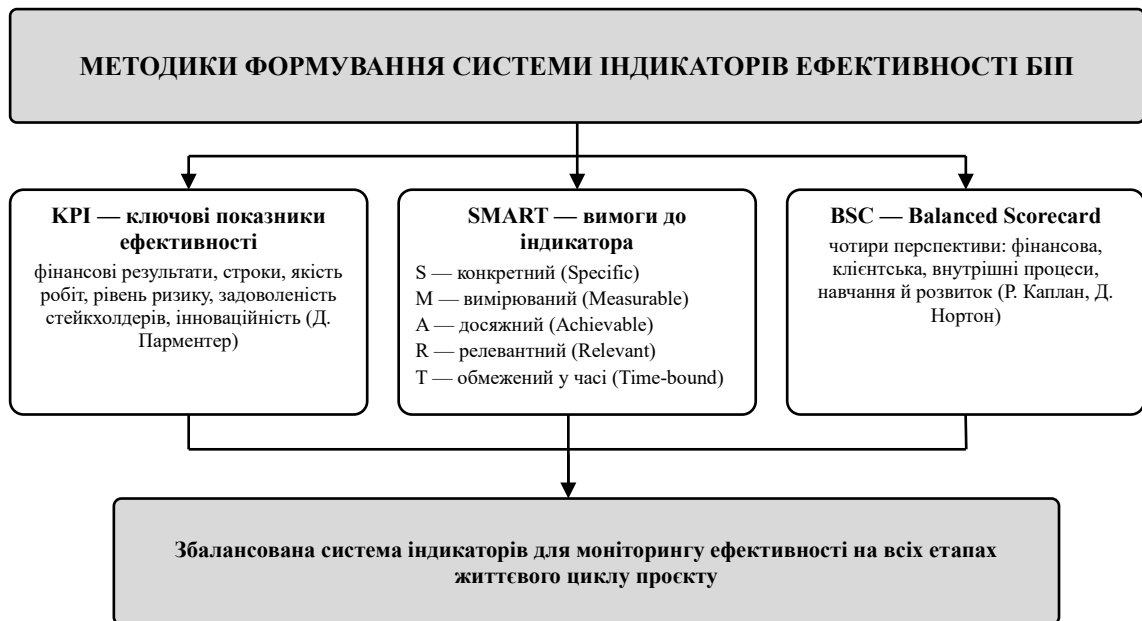


Рис. 1.8. Методики формування системи індикаторів ефективності будівельно-інвестиційних проєктів (KPI, SMART, BSC) (розроблено автором на основі [78])

Використання збалансованої системи показників (BSC) Р. Каплана й Д. Нортон дає змогу розподілити індикатори за чотирма перспективами — фінансовою, клієнтською, процесною та навчально-розвитковою, — що в будівельно-інвестиційних проєктах уможливорює оцінювання не лише фінансових показників, а й якості будівельних робіт, задоволення потреб замовника, ефективності технологічних процесів і розвитку компетенцій працівників. Сучасні методики залучають також інструменти багатокритеріальної оптимізації, зокрема метод аналізу ієрархій (АНР) Т. Сааті, що структурує вибір індикаторів через побудову ієрархії цілей, критеріїв та альтернатив і парні порівняння між ними; у будівельно-інвестиційній практиці АНР ефективний для встановлення пріоритетності індикаторів у комплексних проєктах з великою кількістю зацікавлених сторін.

Важливими інструментами ідентифікації є також аналіз видів і наслідків відмов (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA) та PEST-аналіз. FMEA дає змогу виявити потенційні збої в реалізації проєкту на ранніх стадіях і сформулювати відповідні індикатори ризику. PEST-аналіз (політичні, економічні,

соціальні, технологічні чинники) допомагає формувати макроекономічні та соціальні індикатори, що відображають зовнішні ризики [64]. Основні підходи та інструменти ідентифікації індикаторів систематизовано в табл. 1.8.

Таблиця 1.8. Основні підходи та інструменти ідентифікації індикаторів ефективності будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено автором на основі [78])

Підхід / Методика	Основні характеристики	Приклади застосування в будівельно-інвестиційних проєктах
KPI (Key Performance Indicators)	Визначення ключових показників результативності за фінансовими, часовими, якісними та ризиковими параметрами	Моніторинг виконання будівельних робіт, контроль витрат, оцінка задоволеності стейкхолдерів
SMART-методика	Формулювання індикаторів за принципами конкретності, вимірюваності, досяжності, релевантності та обмеженості в часі	Побудова системи цільових показників на стадії планування та реалізації проєкту
Balanced Scorecard (BSC)	Розподіл індикаторів за фінансовою, клієнтською, процесною та навчально-розвитковою перспективами	Оцінка фінансової ефективності, якості процесів будівництва, розвитку персоналу
Метод аналізу ієрархій (АНР)	Структурування індикаторів у вигляді ієрархії з визначенням пріоритетності через парні порівняння	Визначення ключових індикаторів у комплексних багатосторонніх проєктах
FMEA-аналіз	Виявлення можливих збоїв у реалізації проєкту та формування індикаторів ризику	Відстеження критичних точок будівництва, розроблення планів запобігання ризикам
PEST-аналіз	Формування макроекономічних, соціальних, політичних і технологічних індикаторів впливу середовища	Аналіз впливу зовнішніх ризиків на досягнення цілей проєкту

Особливе місце посідають цифрові інструменти ідентифікації індикаторів. Використання BIM-моделей, систем управління взаємодією із замовниками (CRM) та систем управління ресурсами підприємства (ERP) дає змогу автоматизувати збір даних для розрахунку індикаторів у режимі реального часу; зокрема, інтеграція BIM із системами управління проєктами уможливорює безперервне оновлення даних про виконання робіт, витрати матеріалів, дотримання термінів і рівень якості.

Важливо, що індикатори ефективності не є сталою константою впродовж усього життєвого циклу проєкту: на стадіях планування, проєктування, будівництва та експлуатації змінюються як актуальність окремих індикаторів, так і їх пріоритетність. Наприклад, на стадії планування ключовими є

індикатори фінансової життєздатності проєкту, тоді як на стадії будівництва на перший план виходять терміни виконання робіт і якість реалізації.

Дедалі більшої популярності набувають методики ухвалення рішень на основі даних (Data-Driven Decision Making, DDDM), що спираються на аналіз великих масивів даних (Big Data) і дають змогу формувати індикатори на основі фактичних витрат, часових графіків та інших динамічних показників, підвищуючи адаптивність системи оцінювання. Ідентифікація індикаторів тісно пов'язана з побудовою «дерев показників» (Indicator Trees) — ієрархічних структур, де верхні рівні відображають загальні цілі проєкту, а нижні — конкретні вимірювані індикатори, що забезпечує узгодження стратегічних цілей і тактичних дій у багатофазних проєктах [47].

Теоретики й практики наголошують на важливості перевірки індикаторів за критеріями валідності (відповідність індикатора вимірюваній характеристиці), надійності (стабільність результатів за повторних вимірювань) і чутливості (здатність реагувати на зміни в реальних процесах). Ідею вимірності управління традиційно пов'язують із відомим управлінським принципом: «те, що не можна виміряти, не можна й покращити».

Будівельно-інвестиційна діяльність у XXI ст. опинилася в епіцентрі глибинних змін, спричинених трансформаційними процесами в економіці, технологіях, суспільстві та екологічній сфері, що безпосередньо вплинули на способи оцінювання ефективності проєктів і зумовили перегляд традиційних критеріїв. Одним із ключових викликів є підвищена турбулентність економічного середовища: глобальні фінансові кризи, пандемічні виклики, нестабільність валютних курсів та інфляційні хвилі суттєво підвищують ризики реалізації проєктів. За таких умов критерії, зосереджені лише на фінансовій ефективності, втрачають релевантність (показники NPV чи IRR швидко змінюються внаслідок інфляції або зміни вартості ресурсів), тому зростає роль індикаторів стійкості проєкту до фінансових шоків — коефіцієнта ліквідності, рівня диверсифікації фінансування, чутливості до змін процентних ставок [62].

Другим важливим чинником є цифровізація будівельної галузі. Упровадження BIM, інтелектуальних систем управління будівельними процесами, автоматизація кошторисного планування й моніторингу змінюють структуру критеріїв: з'являються індикатори цифрової зрілості проєкту, ступеня автоматизації процесів, рівня інтеграції IT-рішень у ланцюги створення вартості.

Суттєвим фактором є зростання значення екологічних і соціальних аспектів, об'єднаних у концепцію ESG (Environmental, Social, Governance — екологічне, соціальне та управлінське врядування). Вимоги до зменшення вуглецевого сліду, підвищення енергоефективності об'єктів і впровадження принципів циркулярної економіки дедалі більше інтегруються у структуру критеріїв. Сертифікаційні системи (LEED, BREEAM, DGNB) передбачають вимірювання ефективності за екологічними показниками — рівнем споживання енергії, використанням перероблених матеріалів, мінімізацією викидів; соціальні критерії охоплюють створення робочих місць, розвиток інфраструктури, доступність об'єкта для різних категорій населення.

Іншим викликом є зміна очікувань стейкхолдерів: якщо раніше основною метою інвестора був прибуток, то нині більше уваги приділяють довгостроковій цінності проєкту для суспільства, відповідності корпоративним цінностям та іміджу компанії. Виникають критерії рівня суспільної підтримки проєкту, довіри до компанії-забудовника, репутаційних ризиків. Особливу роль відіграє зростання регуляторної складності: жорсткіші вимоги до забудови територій, стандарти енергоефективності, вимоги щодо доступності об'єктів для людей з інвалідністю зумовлюють потребу враховувати відповідність нормативно-правовим актам, витрати на ліцензування, сертифікацію та екологічні експертизи [11]. Основні чинники трансформації та їхній вплив на критерії й індикатори систематизовано в табл. 1.9.

Таблиця 1.9. Основні сучасні виклики та їхній вплив на критерії й індикатори ефективності будівельно-інвестиційних проєктів

Чинник / Виклик	Характеристика змін	Приклади змін у критеріях та індикаторах
Турбулентність економічного середовища	Зростання ризиків фінансової нестабільності, інфляційних та валютних коливань	Індикатори фінансової стійкості: коефіцієнт ліквідності, диверсифікація джерел фінансування, чутливість до процентних ставок
Цифровізація будівельної галузі	Інтеграція BIM-технологій, автоматизація процесів управління проектами	Індикатори цифрової зрілості проекту, ступеня автоматизації, інтеграції IT-систем
Підвищення значення ESG-аспектів	Посилення вимог до екологічності, енергоефективності, соціальної відповідальності	Критерії екологічної ефективності (енергоспоживання, переробка матеріалів), соціальні показники (робочі місця, інклюзивність)
Зміна очікувань стейкхолдерів	Зростання важливості іміджу компанії, репутації, довіри суспільства	Оцінка суспільної підтримки проекту, репутаційних ризиків, відповідності корпоративним цінностям
Ускладнення регуляторних вимог	Збільшення кількості норм і стандартів щодо будівництва, енергоефективності, доступності	Індикатори відповідності нормативним актам, витрат на ліцензування та екологічну експертизу

(розроблено автором на основі [29])

Не можна оминати вплив технологічних інновацій: використання нових матеріалів, 3D-друку будівельних елементів, роботизованих технологій змінює логіку розрахунку витрат, термінів та обсягів ресурсів, тож традиційні підходи, базовані на стандартних нормах і кошторисах, не завжди адекватно відображають вартість чи вигоди інноваційних проектів. З'являється потреба в індикаторах технологічної зрілості, адаптивності проекту до інновацій, гнучкості проектних рішень. Паралельно проекти дедалі частіше стикаються з геополітичними ризиками (торговельні обмеження, санкційна політика, нестабільність енергетичних ринків), що впливають на вартість реалізації, доступність фінансування й терміни; відповідно, критерії мають включати індикатори ризику затримок, подорожчання матеріалів, недоотримання доходів.

Загальним трендом є інтеграція динамічних критеріїв: відхід від статичних моделей, що оцінюють ефективність лише на момент затвердження проекту, означає перехід до систем постійного моніторингу на основі фактичних даних. Застосування аналітики великих даних, засобів бізнес-аналітики (Business Intelligence) і машинного навчання дає змогу формувати прогнозні моделі ефективності, оперативно виявляти відхилення й адаптувати

стратегії управління [45]. Основні підходи та інструменти ідентифікації індикаторів у сучасній практиці наведено на рис. 1.9.

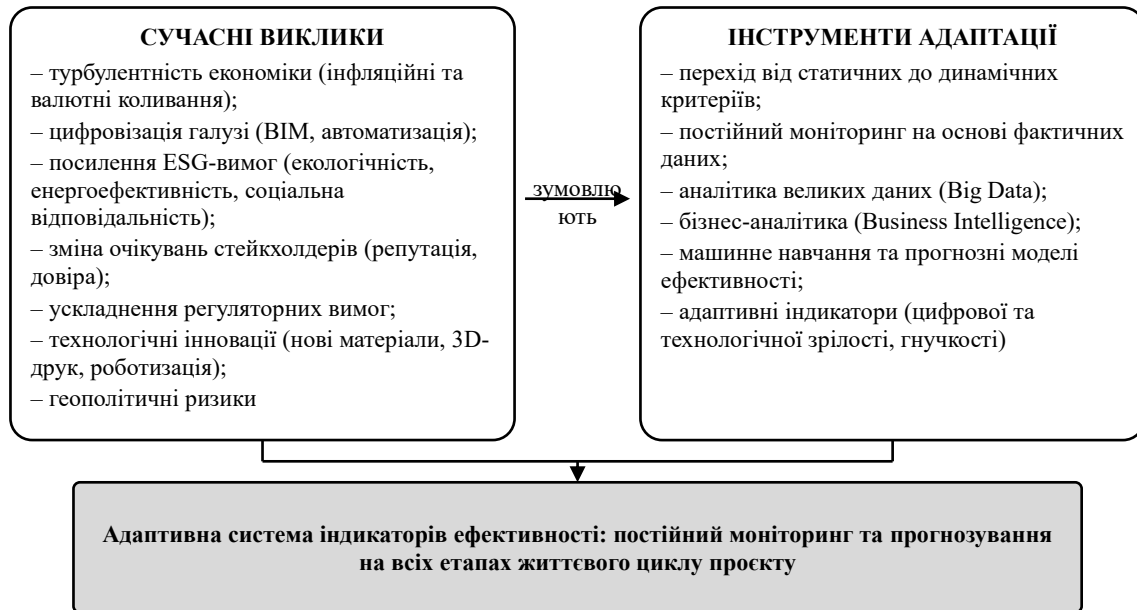


Рис. 1.9. Сучасні виклики та інструменти адаптації індикаторів ефективності будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено автором на основі [38])

Важливою є адаптивність критеріїв до змін зовнішнього середовища: за швидкої зміни технологій, соціальних пріоритетів та економічних трендів критерії мають вимірювати не лише поточний стан, а й здатність проєкту до змін, інновацій і масштабування. Впливають також урбанізаційні процеси — зростання мегаполісів, збільшення щільності забудови, зміна транспортної інфраструктури зумовлюють нові індикатори: щільність забудови, доступність громадського транспорту, індекси комфортності житлового середовища, рівень інтеграції об'єкта в міську інфраструктуру. Пандемічні та постпандемічні зміни (COVID-19) змінили пріоритети у будівництві офісів, житла й медичних установ, додавши критерії безпеки простору, гнучкості планувальних рішень і можливості трансформації приміщень.

Ще одним викликом є зростання ролі енергетичної незалежності та сталого використання ресурсів: в умовах підвищення цін на енергоресурси й потреби зменшення вуглецевого сліду критерії дедалі частіше включають рівень енергетичної автономії об'єкта, ефективність використання

відновлюваних джерел енергії, вуглецевий баланс будівлі впродовж життєвого циклу, а також оцінку інноваційних рішень енергоефективності (інтегровані системи розумного управління енергоспоживанням) [39]. Технологічні тренди у сфері автоматизації та штучного інтелекту змінюють логіку моніторингу проєктів, додаючи індикатори рівня автоматизації процесів, інтенсивності використання роботизованих систем та обсягу зекономлених за рахунок цифровізації ресурсів.

Отже, у сучасних умовах система критеріїв та індикаторів ефективності будівельно-інвестиційних проєктів має бути багаторівневою, міждисциплінарною й адаптивною: вона поєднує класичні фінансові показники (NPV, IRR, PP, PI) з екологічними, соціальними, цифровими та ризиковими індикаторами, диференційованими за стадіями життєвого циклу проєкту. Обґрунтована в цьому підрозділі система критеріїв і показників результативності (відповідно до завдання 2 дослідження) слугує теоретичним підґрунтям для аналізу наявного організаційно-технологічного інструментарію оцінювання ефективності та виявлення його обмежень, чому присвячено розділ 2.

Висновки до 1-го розділу

У першому розділі узагальнено й систематизовано теоретико-методичні засади оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, обґрунтовано систему критеріїв та індикаторів результативності й окреслено методичний базис дослідження, що відповідає першим трьом завданням дисертаційної роботи. За результатами дослідження сформульовано такі висновки.

Установлено, що оцінка ефективності будівельно-інвестиційного проєкту є систематизованою процедурою визначення доцільності використання ресурсів з урахуванням економічних, фінансових, соціальних та екологічних критеріїв. Простежено еволюцію підходів — від суто економічного зіставлення витрат і вигід до багатовимірних моделей сталого розвитку — та уточнено понятійно-категоріальний апарат: розмежовано поняття «ефективність проєкту» й «ефективність інвестицій», «інвестиційна» та «будівельна ефективність», «суспільна» й «комерційна ефективність», а

ризик обґрунтовано як органічну складову управління ефективністю впродовж усього життєвого циклу проєкту.

Доведено, що застосування виключно класичних фінансових показників (NPV, IRR, PP, PI) у сучасних умовах — за турбулентності економічного середовища, цифровізації галузі та зростання ваги соціально-екологічних вимог — є недостатнім для повноцінної оцінки будівельно-інвестиційних проєктів. Обґрунтовано потребу доповнення фінансових критеріїв організаційно-технологічними, ресурсними, соціально-екологічними та цифровими індикаторами, інтегрованими в єдину систему оцінювання.

Систематизовано теоретичні концепції та методи оцінювання ефективності (фінансові, економічні та соціальні), зокрема методи чистого приведенного доходу, внутрішньої норми дохідності, періоду окупності та рентабельності інвестицій, аналізу витрат і вигід (CBA), аналізу чутливості та оцінки соціальної віддачі (SROI). Визначено склад методичного базису й інструментів прогнозування за стадіями життєвого циклу проєкту (сценарний аналіз, імітаційне моделювання методом Монте-Карло, лінійне програмування, аналітичні панелі моніторингу ключових показників), що формує підґрунтя для розроблення інтегрованого інструментарію оцінювання.

Обґрунтовано багаторівневу систему критеріїв та індикаторів ефективності, диференційовану за економічною, соціальною та екологічною площинами й за стадіями життєвого циклу проєкту. Систематизовано підходи до її формування (класична економічна теорія, теорія управління проєктами, збалансована система показників (BSC), стейкхолдерський підхід) та інструменти ідентифікації індикаторів (KPI, SMART, метод аналізу ієрархій (АНР), FMEA- і PEST-аналіз), а також визначено вимоги до індикаторів за критеріями валідності, надійності та чутливості.

Виявлено сучасні виклики, що зумовлюють трансформацію критеріїв оцінювання: підвищену турбулентність економічного середовища, цифровізацію будівельної галузі, зростання значення ESG-аспектів, зміну очікувань стейкхолдерів, ускладнення регуляторних вимог, вплив

технологічних інновацій, геополітичних та урбанізаційних чинників і потребу в енергетичній незалежності. Установлено, що ці чинники зумовлюють перехід від статичних моделей оцінювання до динамічних адаптивних систем на основі аналітики великих даних, машинного навчання, засобів бізнес-аналітики та технологій інформаційного моделювання будівель (BIM).

Установлено, що ключовою нерозв'язаною проблемою є відокремлене застосування класичних організаційно-технологічних, календарно-планових і фінансово-економічних методів оцінювання, з одного боку, та сучасних цифрових інструментів — з іншого, унаслідок чого оцінювання ефективності залишається переважно статичним і фрагментованим за стадіями життєвого циклу. Це обґрунтовує потребу в інтеграції зазначених методів та інструментів підтримки рішень у єдиний адаптивний організаційно-технологічний контур оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів.

Обґрунтовані теоретико-методичні засади, система критеріїв та індикаторів і виявлені сучасні виклики становлять підґрунтя для аналізу наявного організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів і виявлення його обмежень, що є предметом другого розділу дисертаційної роботи.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [117].

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

2.1 Характеристика традиційних методик оцінки ефективності у практиці будівельного інвестування

Розгляд поняття ефективності інвестицій у будівництві необхідно почати з критичного аналізу його багатовимірної природи. У класичній економічній теорії ефективність виступає як співвідношення між досягнутим результатом і витраченими ресурсами. Проте в будівельному інвестуванні це співвідношення ускладнюється низкою факторів: тривалістю циклу реалізації, впливом ринкових змін, структурою фінансування, наявністю етапів підвищеного ризику та особливостями кінцевого продукту. Відповідно, методологічна база оцінки ефективності у цій галузі формувалась як поєднання класичних показників економіки та специфічних показників девелопменту і будівельного циклу. Такий аналіз традиційних методик спрямовано на виявлення їх обмежень в організаційно-технологічному оцінюванні ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, що відповідає завданню дослідження щодо обґрунтування напрямів інтеграції цифрових технологій (завдання 4).

Починаючи з 1960-х років, у працях таких економістів, як Кемпбелл, Хіршлейфер, а згодом Бланк, Мертон і Фішер, закладались основи теорії фінансових потоків, на основі яких згодом формувалась система показників ефективності капіталовкладень. Особливе значення мало перенесення концепції дисконтування на аналіз проєктів з довгим життєвим циклом, де прибутки та витрати рознесені в часі. Таким чином, центральне місце у формалізації ефективності набули показники, що враховують часову вартість грошей [18].

Формула 2.1, яка найчастіше фігурує в контексті оцінки ефективності інвестиційних проєктів у будівництві, це класичне рівняння чистої приведеної вартості (NPV):

$$NPV = \sum_{t=0}^B \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (2.1)$$

де CF_t — чистий грошовий потік періоду t (доходи мінус витрати), тис. грн; r — ставка дисконтування; B — горизонт (кількість періодів). Цей показник дає змогу оцінити, чи зможе проєкт у результаті принести перевищення прибутків над витратами з урахуванням їх часової структури. Проте, як слушно зазначає І. М. Винниченко у своїх дослідженнях, сам по собі NPV не є достатнім критерієм у багатокомпонентних проєктах, де потрібна мультикритеріальна оцінка з урахуванням операційної стійкості, логістичних затримок та зміни вартості матеріалів.

Інший теоретичний підхід — ефективність як взаємозв'язок цілей і засобів їх досягнення. У цьому контексті поняття ефективності виходить за межі виключно економічного аналізу, включаючи технічну, соціальну, екологічну та часову компоненти. Наприклад, будівництво логістичного хабу в межах агломерації може демонструвати негативне NPV, але бути критично необхідним для формування регіональної інфраструктури. Такі аспекти все частіше обговорюються у межах публікацій з інституційної економіки та регіонального планування, зокрема в працях Є. Саврук і Г. Соколенко.

З позиції системного підходу, ефективність інвестицій у будівництві є інтеграційною категорією, яка охоплює як вхідні параметри (обсяг інвестицій, структура джерел фінансування), так і вихідні (фінансовий результат, ступінь досягнення цілей, забезпечення якості та термінів). Відповідно, виникає потреба формувати модель, де ефективність буде не лише функцією прибутковості, а й залежною змінною від ризиків, часових лагів, рівня невизначеності та операційної гнучкості [103].

Щоб наочно представити ключові аспекти, які ускладнюють оцінку ефективності інвестицій у будівництві, доцільно провести порівняння їх значущості за економічними, технічними та організаційними критеріями. Враховуючи складність інвестиційного процесу, така оцінка дозволяє глибше зрозуміти вагу кожного з факторів у системному аналізі. Побудований рисунок 2.1 демонструє взаємозв'язок між природою впливів і необхідністю багатофакторного підходу до прийняття інвестиційних рішень.

Традиційні фінансові індикатори часто не враховують тих порушень, які є характерними для будівельного циклу, зокрема інфляційні коливання, ризики реалізації доходу чи затримки в реалізації окремих фаз проєкту. Саме тому сучасні підходи орієнтовані на більш гнучкі і багатофакторні моделі, однією з яких є запропоноване автором модифіковане стохастичне рівняння оцінки ефективності з урахуванням ризику, затримок та інфляції. Такий розширений підхід можна виразити формулою 2.2:

$$V_c = \sum_{t=1}^B \frac{(C_t \times \alpha_t - N_t \times \delta_t) \times S_t \times \lambda_t}{(1+r+\pi_t)^t}, \quad (2.2)$$

де C_t — очікувані доходи в момент часу t , N_t — очікувані витрати в момент часу t , α_t — коефіцієнт реалізованості доходів (фактор виводу на ринок), δ_t — коефіцієнт фактичних витрат (що відображає зростання вартості ресурсів у будівництві), S_t — ймовірність реалізації прогнозного сценарію в момент часу t , λ_t — коефіцієнт затримки, що враховує часові зсуви в реалізації фаз проєкту, π_t — інфляційний показник у періоді t , r — базова ставка дисконтування, B — горизонт прогнозування (кількість періодів).

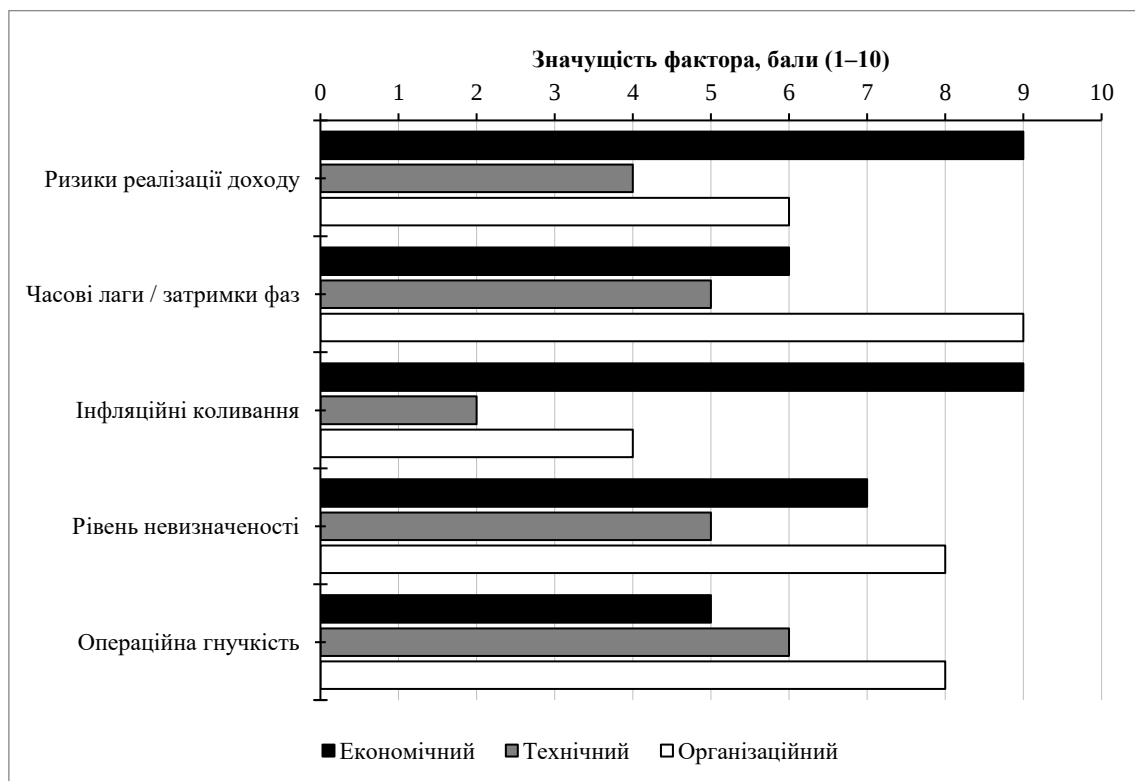


Рис. 2.1. Комплексна оцінка впливу ключових факторів на ефективність інвестицій у будівництві за трьома аналітичними критеріями (розроблено автором на основі [103])

Модифіковане стохастичне рівняння оцінки ефективності має вигляд:

$$V_c = \sum_{t=1..B} [(C_t \cdot \alpha_t - N_t \cdot \delta_t) \cdot S_t \cdot \lambda_t] / (1 + r + \pi_t)^t, \quad (2.2)$$

де C_t , N_t — очікувані доходи і витрати періоду t ; α_t — коефіцієнт реалізованості доходів; δ_t — коефіцієнт фактичних витрат; S_t — імовірність реалізації сценарію; λ_t — коефіцієнт затримки; r — базова ставка дисконтування; π_t — показник інфляції періоду t ; B — горизонт. Діапазони й зміст коефіцієнтів:

$\alpha_t \in [0; 1]$ — частка очікуваного доходу C_t , що фактично реалізується (оцінюється за моделлю попиту/ринку); $S_t \in [0; 1]$ — імовірність реалізації сценарію; $\lambda_t \in (0; 1]$ — коефіцієнт затримки ($\lambda_t = 1$ за відсутності зсуву фаз, $\lambda_t < 1$ — зниження цінності через відтермінування). Усі — безрозмірні.

Коефіцієнт фактичних витрат δ_t формалізуємо як множник ескалації вартості ресурсів:

$$\delta_t = 1 + e_t, \quad e_t \geq 0, \quad \delta_t \in [1; \delta_{\max}], \quad (2.20)$$

де e_t — відносний (реальний) приріст вартості будівельних ресурсів у періоді t порівняно з плановим рівнем, оцінений за індексами цін на матеріали, енергоносії та роботи (напр. індекс вартості будівництва). Розмірність δ_t — безрозмірна. Умова $\delta_t \geq 1$ означає, що фактичні витрати не менші за планові; $\delta_{\max}$ обмежує граничну ескалацію й калібрується за історичними даними перевитрат.

Узгодження інфляції π_t (усунення подвійного обліку). Оскільки у знаменнику (2.2) інфляція π_t присутня явно, коректність вимагає, щоб інфляція враховувалася рівно один раз. Для цього базову ставку r трактують як реальну (безінфляційну), а потоки C_t , N_t — як номінальні; тоді вираз $(1 + r + \pi_t)$ є коректним номінальним дисконтуванням із часозмінною інфляцією π_t за співвідношенням Фішера:

$$(1 + r_{nom,t}) = (1 + r) \cdot (1 + \pi_t) \approx 1 + r + \pi_t, \quad (2.21)$$

Ключова умова несуперечності: коефіцієнт δ_t має відображати реальну (відносну) ескалацію вартості ресурсів понад загальний рівень інфляції, тоді

як π_t описує загальне зростання цін. За такого розмежування інфляція матеріалів не обліковується двічі (окремо в δ_t і в π_t).

Ця формула дозволяє здійснювати багатофакторну оцінку ефективності будівельного проєкту з урахуванням реальних ризиків, відтермінувань та зміни економічного середовища. На відміну від класичного NPV, вона включає динаміку середовища і фактори управлінської ефективності, що відповідає сучасним вимогам до аналітики у девелопменті та урбан-будівництві. Такі моделі застосовуються в адаптованих економетричних платформах для прийняття рішень у девелоперських компаніях, які використовують модулі ERP та системи Business Intelligence [69].

Таким чином, характеристика традиційних підходів до ефективності в будівельному інвестуванні має базуватись на поєднанні класичних концепцій оцінки грошових потоків із сучасними підходами до ризик-аналізу, прогнозування часових зсувів та обліку інфляційних очікувань. Це дозволяє зробити аналітичну модель стійкішою до невизначеності та більш корисною для стратегічного планування інвестицій.

Поглиблення методології оцінки ефективності вимагає розгляду не лише складних фінансових моделей, а й простіших, але не менш важливих показників, таких як строк окупності інвестицій. Саме цей критерій, попри свою формальну простоту, відіграє ключову роль у прийнятті рішень у низці будівельних сценаріїв.

У практиці оцінювання ефективності інвестиційних проєктів у будівельному секторі метод строку окупності (Payback Period, або PBP) залишається одним із найпоширеніших завдяки своїй простоті, наочності та швидкості отримання оцінки. У своїй класичній формі цей метод визначає період, протягом якого накопичені доходи інвестиційного проєкту покривають початкові витрати. Інакше кажучи, інвестор намагається знайти той момент часу, після якого проєкт починає генерувати чистий дохід. Цей підхід, попри свій формальний спрощений характер, залишається актуальним у ситуаціях, де основну увагу приділено ліквідності та швидкому поверненню вкладеного капіталу, що є типовим для високоризикових або короткострокових інвестицій у будівництві.

У разі нерівномірних грошових потоків використовується накопичувальний підхід: для кожного року обчислюється сума накопиченого потоку до моменту, коли вона зрівняється або перевищить суму інвестицій. Цей рік і вважається строком окупності [92].

Незважаючи на простоту, метод РВР має низку серйозних обмежень, які особливо актуальні для будівельних інвестицій. Насамперед, метод ігнорує вартість грошей у часі, що унеможливорює адекватну оцінку проєктів із довгим горизонтом реалізації. Така ситуація характерна для багатофункціональних ЖК, логістичних кластерів, технопарків — інфраструктурних утворень, в яких основні доходи починають надходити лише після завершення кількох послідовних фаз, тобто на 6–8 рік після початку фінансування.

Цей підхід дозволяє більш точно врахувати довготривалість реалізації проєктів та інфляційні ризики. Однак навіть дисконтована версія РВР має обмеження — вона не враховує прибутки, які надходять після досягнення моменту окупності, і тому не може бути використана як єдиний критерій для остаточного ухвалення рішення.

У будівельному секторі метод строку окупності набуває специфічного значення. У багатьох випадках строк окупності є базовим пороговим індикатором, особливо при формуванні інвестиційного портфеля в умовах дефіциту ліквідних коштів. Девелопери, що залучають зовнішнє фінансування (банківське чи фондове), часто стикаються з вимогами повернення тіла кредиту до завершення всього проєкту. У цьому разі строк окупності виступає не просто індикатором ефективності, а фактичним параметром фінансової життєздатності.

Крім того, при аналізі конкурентних заявок на земельні ділянки під будівництво, державні та комунальні органи часто віддають перевагу тим проєктам, у яких окупність досягається в межах 3–5 років, що особливо актуально для проєктів із соціальною складовою (житло з компенсаціями, школи, медичні центри тощо) [86].

Ще однією проблемою у застосуванні цього методу є недостатня чутливість до ризику. Метод РВР не враховує ймовірні коливання грошових потоків, що у будівельному секторі мають ключове значення. Реалізація певної

фази проєкту може бути затримана через зміну законодавства, проблеми з дозволами, судові спори щодо землі, страйки або зміну кон'юнктури на ринку. Для імітації впливу ризиків на строк окупності використовують модифіковані методики на базі сценарного аналізу або Монте-Карло моделювання.

В одному з досліджень О. Коваленко застосовується ймовірнісна модель строку окупності, де враховується розподіл щорічного потоку доходів як випадкової змінної з розподілом, розраховується за формулою 2.3:

$$VRT_{exp} = E \left[\min \left\{ t: \sum_{i=1}^t \frac{CF_i}{(1+r)^i} \geq I_0 \right\} \right], \quad (2.3)$$

де CF_i — грошовий потік періоду i ; r — ставка дисконтування; I_0 — початкові інвестиції.

Таке моделювання дозволяє побудувати розподіл строків окупності, що є вкрай корисним при порівнянні альтернативних проєктів з різними ризиковими профілями. Воно також дає змогу виявити «довгі хвости» — ситуації, коли окупність хоч і досягається в середньому на п'ятий рік, проте з імовірністю 20 % може не настати й на восьмий, що критично для інвестора.

Класичний та дисконтований строки окупності є особливо доцільними в попередньому аналізі проєкту (screening stage), коли потрібно швидко оцінити його життєздатність або пріоритетність серед кількох варіантів. Проте остаточне рішення не повинно ґрунтуватися лише на цьому показнику. Він повинен обов'язково комбінуватись з іншими індикаторами: чистою приведеною вартістю (NPV), індексом прибутковості (PI), внутрішньою нормою рентабельності (IRR), а також — з нефінансовими показниками, такими як індекс управлінської складності, ступінь соціальної відповідальності, ризики довгострокової експлуатації тощо [82].

Отже, метод РВР відіграє подвійну роль у практиці будівельного інвестування: з одного боку, він забезпечує швидку та зручну оцінку повернення інвестицій, що критично важливо для проєктів з високим рівнем невизначеності або коротким циклом; з іншого — він є методологічно обмеженим, потребує доповнення розширеними критеріями та не може трактуватись як самодостатній інструмент прийняття рішень. Його значущість у будівництві зростає там, де ризики виходу на прибутковість мають критичне значення, а доступність фінансових ресурсів є обмеженою.

Наукова дискусія довкола методу строку окупності в інвестиційному аналізі набула нової актуальності після фінансової кризи 2008 року, коли девелоперські компанії масово втрачали доступ до довгострокового кредитування. В умовах нестабільності багато проєктів орієнтувалися не на стратегічні показники прибутковості (як-то IRR чи NPV), а на оперативні фінансові метрики, які дозволяли оцінити здатність проєкту повернути вкладені кошти у найкоротший строк. Саме тоді метод РВР почав широко застосовуватись у попередньому інвестиційному фільтруванні (screening), а також для оцінки ліквідності проєктів у разі непередбачених затримок.

Цей метод набуває особливого значення для оцінки фазованих будівельних проєктів, де процес реалізації поділений на послідовні етапи: проєктування, інфраструктурна підготовка, основне будівництво, внутрішні роботи, маркетинг і реалізація об'єкта. У таких умовах кожна фаза потребує власної оцінки ефективності, особливо коли передбачене часткове залучення коштів через forward sales, спонсорські інвестиції чи субсидії [11].

Класичний метод РВР ігнорує величину доходів після досягнення окупності, однак у реальному девелопменті саме постопкупна фаза забезпечує найвищу маржинальність. Це створює методологічний парадокс: проєкти з високим прибутком, але з тривалим періодом реалізації можуть мати менш привабливі показники РВР, ніж короткострокові, проте з обмеженим економічним потенціалом. Таким чином, для уникнення «міражу окупності» доцільно застосовувати комбіновані критерії, як-от «дисконтований строк окупності до NPV-паритету», або ж «скоригований РВР з ризиковим коефіцієнтом».

Нижче наведено рисунок 2.2, який демонструє ключові аспекти застосування методу строку окупності (РВР) в інвестиційному аналізі будівельних проєктів, його переваги, обмеження та можливості інтеграції з іншими показниками для більш обґрунтованого прийняття рішень.

Цікаво, що в сучасній літературі дедалі частіше зустрічаються спроби адаптації методу РВР до параметричного оцінювання на основі сценарного прогнозування.



Рис. 2.2. Структурна логіка оцінки інвестицій за методом строку окупності (РВР) (розроблено автором на основі [16])

У такому підході строк окупності визначається не як фіксований рік, а як розподіл ймовірностей із визначенням довірчого інтервалу. Наприклад, за даними симуляції 10 000 сценаріїв проєкту житлового комплексу, ймовірність досягнення окупності до п'ятого року становить 62 %, до шостого — 81 %, а

до сьомого — 95 %. Такий аналіз дозволяє девелоперу сформулювати «подушку» фінансового планування для найбільш імовірного сценарію та підготувати механізми реагування у разі зміщення точки окупності.

У практиці будівництва комерційної нерухомості (бізнес-центри, ТРЦ, готелі) строк окупності відіграє стратегічну роль у переговорах із інвесторами, особливо коли мова йде про закордонні фонди або венчурні капітали. Такі інституції мають жорстко зафіксовані граничні строки окупності — здебільшого в межах 4–5 років. Відповідно, етапи будівництва часто підганяються під ці показники, з інтенсифікацією процесу за рахунок додаткових витрат, зміни технологічних рішень або передавання частин об'єкта в оренду ще до завершення будівництва (так званий підхід *pre-leasing*). Це змінює логіку всього проєкту і демонструє наскільки РВР здатен впливати не тільки на оцінку, але й на архітектуру процесу інвестування [79].

Окремим вектором дослідження методу строку окупності є його інституційне застосування в оцінці муніципальних будівельних ініціатив. Наприклад, у проєктах реконструкції шкіл чи медичних установ за моделлю державно-приватного партнерства (ДПП), інвестор зобов'язаний довести не лише рентабельність, а й швидке повернення вкладених коштів, що стимулює широке застосування РВР навіть для соціально-орієнтованих об'єктів.

У цьому контексті важливо наголосити на межах застосування методу. Наприклад, будівництво інфраструктури «з випередженням» (тобто доріг, логістичних хабів, інженерних мереж під майбутню забудову) майже завжди матиме дуже високий строк окупності або не матиме його зовсім у традиційному сенсі. Проте ефект від такої інфраструктури полягає у мультиплікації вартості прилеглих ділянок і підвищенні інвестиційної привабливості регіону. Це свідчить про недостатність фінансових моделей РВР у стратегічному плануванні, що потребує включення методів аналізу непрямих вигод, мультиплікаторних ефектів і економічного *spillover* [63].

Таким чином, метод строку окупності, хоч і належить до числа «традиційних», зберігає свою високу релевантність у сучасній практиці будівельного інвестування. Його ефективне використання потребує розуміння меж застосовності, адаптації до специфіки проєктів та поєднання з більш

комплексними критеріями. Слід визнати, що РВР не стільки визначає доцільність проєкту, скільки його фінансову темпоральну конфігурацію — здатність вкласти і вивести кошти у заданий часовий інтервал. Це надзвичайно цінно для формування стратегій капіталовкладень, фінансового планування та управління ризиками.

Поряд із методом строку окупності, що фіксує часові межі повернення інвестицій, у практиці будівельного аналізу не менш важливим є показник прибутковості, здатний порівнювати варіанти за рівнем ефективності використання капіталу. Таким індикатором є індекс прибутковості, що забезпечує гнучке ранжування проєктів при обмежених ресурсах.

Індекс прибутковості (Profitability Index, PI) є одним із найбільш гнучких інструментів для оцінки ефективності інвестиційних проєктів у будівництві, особливо у тих випадках, коли необхідно ранжувати кілька варіантів за критерієм ефективності з урахуванням обмежених ресурсів. Цей показник, який іноді ще називають «індексом дохідності» або «показником прибутковості на одиницю інвестованого капіталу», відображає співвідношення між теперішньою вартістю грошових надходжень від проєкту та величиною початкових інвестицій. Його ключова перевага полягає у нормалізації ефективності відносно вкладеного капіталу, що дозволяє співставляти проєкти різного масштабу.

Якщо значення $PI > 1$, проєкт вважається ефективним (теперішня вартість доходів перевищує витрати), якщо $PI = 1$ — проєкт перебуває на межі доцільності, і $PI < 1$ — інвестування є економічно необґрунтованим. У практиці будівництва та девелопменту, де доступ до капіталу часто обмежений, PI слугує основою для оптимізації портфелів проєктів, коли необхідно обрати найефективніші з доступних альтернатив [13].

Особливої актуальності цей показник набуває у випадках конкуренції між проєктами за ресурси, коли девелопер має фіксований бюджет або обмежений обсяг запозичень, і потребує обрати ті проєкти, які забезпечують найбільшу віддачу на одиницю вкладень. У такому разі PI є не просто індикатором ефективності, а критерієм розподілу ресурсів у багатопроєктному середовищі.

Наукова література фіксує численні приклади використання РІ у будівельному аналізі. Так, у дослідженнях Д. Клімова і С. Журби показано, що при формуванні інтегрованої програми реконструкції міської інфраструктури (ремонт доріг, оновлення інженерних мереж, модернізація шкіл), застосування РІ дозволило упорядкувати проєкти не за політичними чи адміністративними пріоритетами, а за реальною економічною вигідністю. Завдяки цьому було досягнуто скорочення періоду бюджетного дефіциту на 18 % у межах 5 років.

Водночас, індекс прибутковості має ряд обмежень, особливо коли використовується без зв'язку з іншими індикаторами. Наприклад, він не враховує абсолютний обсяг вигод. Проєкт із РІ = 1,4 і вкладенням у 100 000 грн буде завжди виглядати краще, ніж проєкт із РІ = 1,2, але вкладенням 1 000 000 грн, хоча останній у реальному вираженні генерує значно більший прибуток. Таким чином, РІ працює як відносна метрика, що вимагає інтеграції з такими індикаторами, як NPV чи IRR для повноти оцінки.

У будівельній галузі це особливо критично. Часто маємо справу з проєктами, де ключове значення мають саме масштаб і вплив: будівництво нової лінії метрополітену або лікарні зможе мати менший РІ через величезні інвестиції на вході, але забезпечувати критично важливі функції для міста. У таких випадках застосовується формула 2.4, запропонований автором модифікований індекс прибутковості, де вводиться коригування на вагові коефіцієнти стратегічної значущості, соціального впливу або ефекту масштабу:

$$PI_{adj} = PI \times \omega_a \times \omega_b \times \omega_c, \quad (2.4)$$

де ω_a — коефіцієнт соціальної значущості проєкту, ω_b — коефіцієнт масштабу (наприклад, площа забудови чи кількість кінцевих користувачів), ω_c — коефіцієнт регіонального пріоритету або ризику.

Застосування такої формули дозволяє отримати більш багатовимірну картину ефективності, що відповідає вимогам управління в сучасному урбаністичному контексті. Особливо це стосується муніципального управління, регіонального планування та управління портфелями проєктів у межах кластерної забудови.

PI також широко використовується у моделюванні ефективності за обмеженого фінансування. Наприклад, у моделі, коли є пул з п'яти проєктів з різним PI і обмеженим інвестиційним фондом, вибираються ті проєкти, комбінація яких дає найбільшу суму NPV при сукупному $PI > 1,0$. Це поєднує принципи портфельного менеджменту з традиційною бюджетною оптимізацією, утворюючи нову аналітичну парадигму в оцінці ефективності девелоперських рішень.

У сучасних цифрових системах, таких як SAP ERP, Oracle Construction Cloud або Trimble ProjectSight, індекс прибутковості вже інтегровано в модулі економічного планування, що дозволяє у реальному часі оцінювати PI на основі змін макропараметрів, інфляційних прогнозів або актуалізації обсягів продажів. Це значно підвищує його застосовність і дозволяє вбудувати оцінку ефективності безпосередньо у цифровий контур управління проєктом [49].

У підсумку, індекс прибутковості є потужним та адаптивним інструментом, що дозволяє оцінити доцільність інвестицій у будівництво, особливо в ситуаціях, коли потрібно порівняти кілька альтернативних проєктів з обмеженим доступом до фінансів. Його перевага в нормалізації доходів по відношенню до витрат робить його ідеальним для ранжування, але його повна ефективність досягається лише в поєднанні з іншими показниками та з урахуванням неекономічних чинників. У разі коректного застосування він здатен суттєво оптимізувати розподіл інвестиційних ресурсів та підвищити загальну результативність будівельної програми. Показник індексу прибутковості (PI) у будівельних проєктах розглядається як багатофункціональний інструмент, здатний поєднувати економічну раціональність і стратегічну вагомість рішень. Для кращого унаочнення ключових властивостей, обмежень та умов застосування PI у сфері будівництва, нижче наведено порівняльну таблицю 2.1, що структурує основні аспекти цього показника у контексті девелоперського аналізу.

Таблиця 2.1. Порівняльна характеристика застосування індексу прибутковості (PI) у будівельному аналізі

Критерій оцінки	Стандартний PI	Модифікований (PI_adj)	PI	Коментар/Область застосування
-----------------	----------------	------------------------	----	-------------------------------

Формула розрахунку	$PI = PV / I_0$	$PI_{adj} = PI \times \omega_a \times \omega_b \times \omega_c$	Стандартний PI оцінює лише економічну вигідність, PI_{adj} враховує соціальні й стратегічні фактори
Одиниця виміру	Безрозмірна	Безрозмірна	В обох випадках — відношення вигоди до інвестицій
Критерій ефективності	> 1 — інвестувати доцільно	> 1 — із урахуванням вагових коефіцієнтів	У PI_{adj} поріг 1 зберігається, але зміщується залежно від впливових факторів
Врахування масштабу проєкту	Не враховується	Через ω_b — масштаб впливає на підсумковий показник	Забезпечує справедливу оцінку крупних проєктів з великими витратами
Врахування соціальної значущості	Не враховується	Через ω_a — соціальна важливість підвищує PI_{adj}	Актуально для муніципальних та інфраструктурних проєктів
Недоліки	Ігнорує абсолютну вигоду; переоцінює дрібні проєкти	Складність у визначенні вагових коефіцієнтів; суб'єктивність	Для балансування слід поєднувати з NPV, IRR
Типові приклади використання	Комерційна забудова, вибір між кількома варіантами	Соціальні проєкти, регіональна інфраструктура, стратегічне планування	Залежить від пріоритетів девелопера або державного замовника

(розроблено автором на основі [49])

Однією з головних переваг індексу прибутковості є його адаптивність до трансформацій економічного середовища. У періоди нестабільної інфляції, коливань валютних курсів або змін вартісних параметрів будівельних матеріалів, багато класичних методик (зокрема, IRR) демонструють спотворені результати. На відміну від них, PI дозволяє гнучко реагувати на зміни умов, оскільки кожен грошовий потік проєкту в розрахунку може бути окремо скоригований на ризик, індексовану інфляцію, зміну ставки дисконту або очікування ринку. Завдяки цьому PI перетворюється на інструмент не просто оцінки, а системного моделювання ефективності з можливістю побудови сценаріїв.

У світовій практиці будівництва PI активно застосовується у проєктах, де джерела фінансування мають змішаний характер. Це особливо актуально для так званих *blended finance*-моделей, де поряд із капіталом приватних інвесторів присутні субсидії, гранти, цільові державні програми або кошти

міжнародних фінансових установ (наприклад, ЄБРР чи IFC). У таких випадках PI слугує індикатором «ефективності для приватного капіталу», окремо від загального соціально-економічного ефекту. Наприклад, проєкт із загальним $PI = 1,1$, але PI для частки приватного інвестора $= 1.6$ може бути пріоритетним при ухваленні рішення, навіть якщо весь проєкт має низький IRR.

Це відкриває нову аналітичну категорію — фрагментований PI, який дає змогу оцінити ефективність проєкту для окремих учасників інвестування. Такий підхід має особливе значення у будівництві за моделлю державно-приватного партнерства (ДПП), де інтереси сторін суттєво різняться: держава очікує соціального ефекту, а приватний сектор — фінансового. Аналіз PI по учасниках дозволяє уникнути конфлікту мотивацій та формалізувати принцип win-win.

Іншим важливим аспектом є інтерпретація PI в умовах обмежень на графік інвестування. У реальному девелопменті рідко буває ситуація, коли весь обсяг інвестицій вноситься одночасно на початку. Як правило, будівельні проєкти реалізуються поетапно: закупівля землі, проєктування, підготовка фундаменту, основне будівництво, внутрішні роботи. Кожен з цих етапів має свою вартість, ризик, тривалість і джерело фінансування. У таких умовах PI може бути розрахований як кумулятивна функція з часовим розбиттям на етапи, що дозволяє сформувати динамічну модель інвестиційної віддачі з урахуванням ритміки фінансових вливань.

Для кращого розуміння ролі індексу прибутковості у системі прийняття інвестиційних рішень доцільно візуалізувати його ключові властивості та логіку застосування. На рисунку 2.3 показано, як PI функціонує як критерій доцільності, інструмент ранжування проєктів і механізм розподілу ресурсів у багатопроєктному середовищі.

Розрахунок PI в етапній структурі набуває особливого значення у високоризикових проєктах, де можлива повна зупинка через несприятливі обставини (відсутність дозвільних документів, крах ринку, зростання вартості робіт). Якщо PI за перший етап < 1 , це вже є сигналом до припинення інвестування без переходу до наступної фази, що дозволяє зменшити загальні втрати.

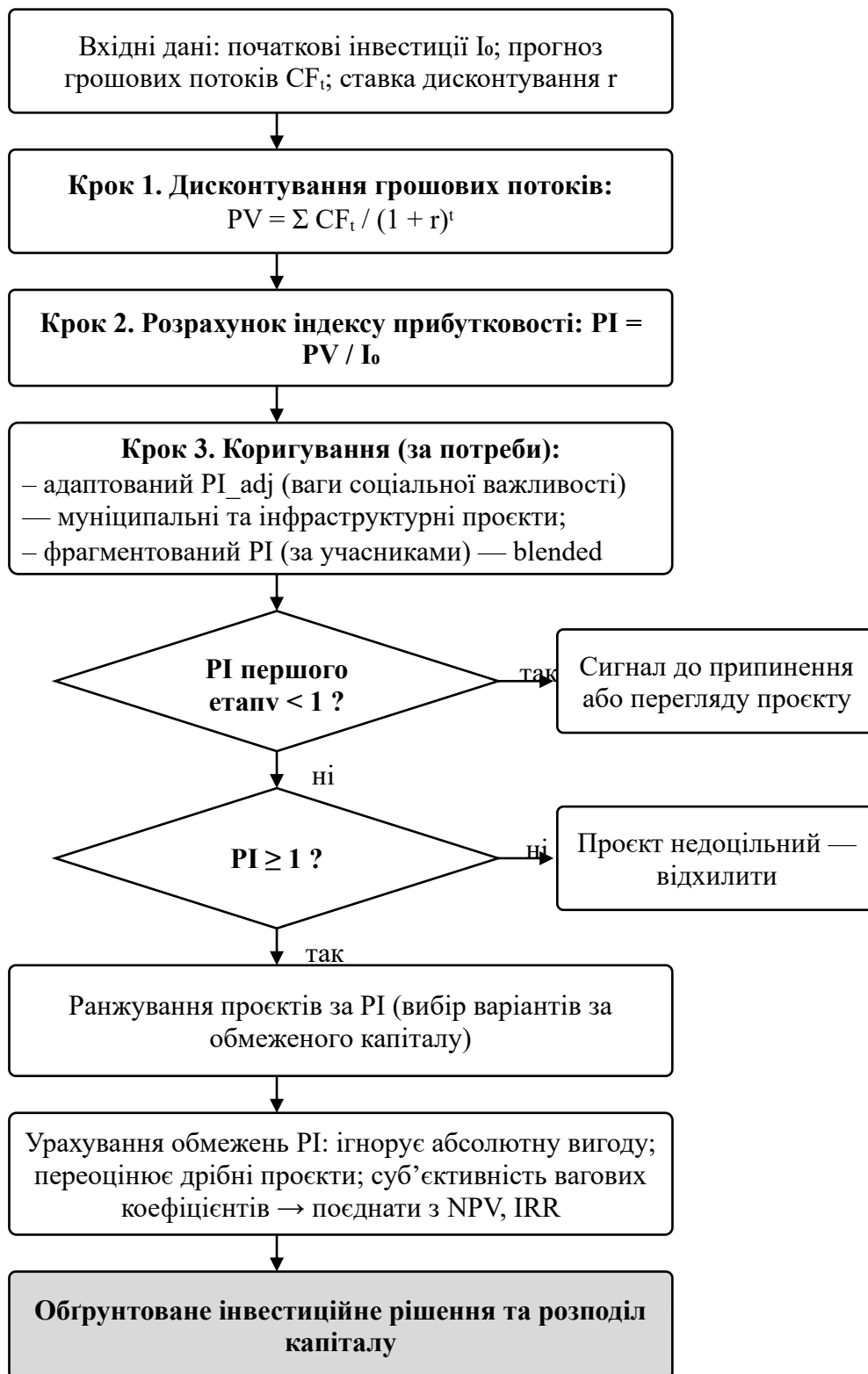


Рис. 2.3. Структурна логіка застосування індексу прибутковості (PI) у будівельному інвестуванні (розроблено автором на основі [49])

Таким чином, PI стає інструментом обмеження збитків на ранній стадії.

Узагальнення розглянутих традиційних методик оцінки ефективності засвідчує їх системні обмеження в організаційно-технологічному контексті будівельно-інвестиційних проєктів: чиста приведена вартість (NPV) у

класичному вигляді не враховує ризиків реалізації доходу, часових зсувів фаз та інфляційних коливань; строк окупності (РВР) ігнорує часову вартість грошей і прибутки постопкупної фази та є малочутливим до ризику; індекс прибутковості (PI) є відносною метрикою, що не відображає масштабу та стратегічної значущості проєкту. Виявлені обмеження підтверджують сформульовану у вступі наукову проблему та обґрунтовують потребу в переході до інтегрованого організаційно-технологічного інструментарію оцінювання ефективності (завдання 4).

Запропоновані автором модифікації традиційних показників — стохастичне рівняння оцінки ефективності з урахуванням ризику, затримок та інфляції (2.2) і скоригований індекс прибутковості (2.4) — становлять перші кроки до подолання зазначених обмежень і покладені в основу цифрово-адаптивної моделі оцінювання, що розробляється в розділі 3 та формує підґрунтя наукової новизни дисертації.

Поряд із фінансово-інвестиційними показниками у практиці організації будівництва застосовують організаційно-технологічні методи оцінювання, що спираються на нормативну базу організації будівельного виробництва (ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва») та кошторисного нормування (ДСТУ Б Д.1.1-1:2013). Ці методи оцінюють ефективність проєкту не за грошовим результатом, а за параметрами часу, ресурсів і технологічної послідовності.

Сітьові моделі (метод критичного шляху СРМ та метод оцінки й перегляду програм PERT) дають змогу визначити критичний шлях, ранні та пізні строки й резерви часу робіт, а PERT — імовірнісну оцінку тривалості за трьома оцінками (оптимістична, найімовірніша, песимістична). Їх обмеження: детермінованість базового варіанта СРМ, слабе врахування ресурсних обмежень і ризиків у динаміці, відрив часових оцінок від вартісних.

Календарне планування (діаграми Ганта, циклограми, графіки руху ресурсів) забезпечує узгодження робіт у часі, проте лишається переважно статичним: коригування виконують вручну, а зв'язок із фінансово-ризиковими показниками не є безперервним. Потокова організація робіт (ритмічні, кратноритмічні та неритмічні потоки) оперує параметрами кроку, ритму,

інтенсивності та фронту робіт, однак ідеалізує рівномірність виробничого процесу й погано враховує збурення постачання й погодні чинники.

Методи ресурсного вирівнювання та оптимізації «час–вартість» дають змогу згладити профіль споживання ресурсів і скоротити тривалість, але застосовуються епізодично й здебільшого поза єдиним цифровим контуром. Нормативно-кошторисне оцінювання за усередненими нормами (ДСТУ Б Д.1.1) не адаптується до реальних ринкових коливань вартості ресурсів у режимі реального часу.

Узагальнюючи, наявний організаційно-технологічний інструментарій є потужним для планування, проте переважно детермінованим, розрізненим за підсистемами (час, вартість, ресурси оцінюються окремо) та не інтегрованим із фінансово-ризиковим оцінюванням у режимі реального часу. Саме ця фрагментованість і статичність організаційно-технологічних методів, поряд з обмеженнями фінансових показників (2.1) і цифрових платформ (2.3), обґрунтовує потребу в інтегрованому цифрово-адаптивному інструментарії оцінювання ефективності (завдання 4).

2.2 Оцінка недоліків і обмежень діючих організаційно-технологічних підходів в оцінюванні проєктів

У межах оцінювання будівельних і девелоперських проєктів цифровізація дедалі більше виступає не просто як технологічне доповнення, а як базова вимога до організаційно-технологічного підходу, здатного забезпечити точність, адаптивність і прозорість рішень. Проте в реальній практиці будівельної галузі — як українській, так і в більшості перехідних економік — інтеграція цифрових інструментів у процес оцінювання має низку критичних обмежень. Ці обмеження стосуються не лише відсутності технічної бази або кваліфікованих кадрів, а й структурних недоліків у самій методології оцінювання, яка переважно орієнтована на паперові, формальні, та відокремлені одна від одної процедури.

Центральною проблемою є недостатнє впровадження аналітичних платформ, які працюють у реальному часі, що унеможлиблює проведення

оперативної переоцінки, адаптивного аналізу або коригування прогнозів. Зокрема, у багатьох випадках розрахунків ключових показників ефективності (KPI), таких як ROI, PI, IRR або NPV, виконується вручну в Excel-файлах, що не дозволяє враховувати змінність вхідних параметрів у реальному середовищі. Такі обчислення втрачають актуальність буквально в момент їх завершення, коли ринкові або операційні умови вже змінилися. Як наслідок — фіксовані дані вводять у оману менеджмент і створюють хибні передумови для ухвалення рішень [33].

До того ж існує проблема фрагментації цифрових репозиторіїв. У більшості випадків інформація про проєкти зберігається в локальних інформаційних системах (локальних серверах, ізольованих ERP або CRM-модулях), які не взаємодіють із системами фінансової оцінки або планування. Це створює інформаційні розриви, які не дозволяють проводити системну оцінку ефективності, ґрунтуючись на повному життєвому циклі об'єкта.

Формально, ефективність інтеграції цифрових платформ можна представити за допомогою наступної функціональної моделі інформаційної взаємодії, формули 2.5:

$$D_e = \frac{F(V,N,S)}{1+\Delta_t}, \quad (2.5)$$

де: D_e — рівень ефективності цифрової оцінки проєкту, $F(V,N,S)$ — функція, що залежить від типу інструменту V , якості даних N та ступеня координації S між цифровими модулями, Δ_t — часовий лаг між оновленням інформації та її аналітичною обробкою.

Формула (2.5) є концептуальною (якісною); $D_e \in [0; 1]$, Δ_t подається у відносному (нормованому) вигляді як частка припустимого лагу, а конкретний вид функції $F(V,N,S)$ і процедура калібрування уточнюються за наявними даними. Чим більшим є часовий розрив Δ_t , тим менш ефективною є система, навіть якщо окремі цифрові інструменти мають високу точність. Ця формула підкреслює, що ефективність не залежить лише від рівня автоматизації, а значною мірою — від синхронності систем.

Крім того, в багатьох організаціях цифрові інструменти існують у вигляді окремих модулів, які не мають єдиної логічної шини або інтеграційного протоколу. Наприклад, система контролю виконання робіт

може працювати на платформі PlanRadar, а фінансові звіти — у SAP або 1С. Через це відсутній єдиний підхід до зведеного аналізу, а отримані результати не дозволяють формувати комплексну оцінку, яка включає часові, фінансові, ресурсні та якісні параметри [23].

Іншим проявом слабкої інтеграції є відсутність взаємодії між геоінформаційними платформами (наприклад, кадастровими мапами, архітектурними обмеженнями) і техніко-економічним модулем. У результаті критичні просторові обмеження або інфраструктурні обставини (наявність підземних комунікацій, щільність забудови, логістична недоступність) не враховуються в оцінці вартості або рентабельності проєкту.

Наразі у світовій практиці відбувається перехід до об'єднання цифрових інструментів оцінювання у вигляді аналітичних хабів або інформаційно-рішеннявих платформ (DRP – Decision Resource Platforms). Їх принцип побудови ґрунтується на виведенні аналітичної логіки на метарівень, коли дані не лише зберігаються, але й аналізуються за допомогою вбудованих моделей, а результати інтерпретуються автоматизованими візуалізаціями.

У роботах Чарльза Істмана та Сюй Гонгяо аналізується впровадження цифрових репозиторіїв у будівельному менеджменті з використанням аналітичних рушіїв типу Power BI, QlikView та Oracle Construction Intelligence. У цих працях підкреслюється, що ефективність цифрової трансформації залежить від того, наскільки тісно платформи зв'язані із системами оцінювання ризиків, змін, сценарного моделювання та прогнозової аналітики.

Інформативним є й приклад використання BIM-середовища у поєднанні з економетричними модулями оцінювання ефективності, де аналітика інтегрується безпосередньо в середовище тривимірного моделювання. Наприклад можна використати формулу 2.6, розрахунок індексу прибутковості (Profitability Index, PI) може бути реалізований як частина BIM-моделі:

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^B \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I_0}, \quad (2.6)$$

де: N_t — очікуваний грошовий потік у періоді t , m — ставка дисконтування, T — початкові інвестиційні витрати; CF_t — чистий грошовий

потік періоду t ; r — ставка дисконтування; I_0 — початкові інвестиції; B — верхня межа підсумовування (горизонт).

У рамках BIM-моделі ці параметри можуть бути пов'язані з об'єктами проєкту — поверхами, системами, матеріалами — і змінюватися динамічно залежно від змін у проєктуванні або закупівлях. Це дозволяє вивести оцінку ефективності за межі абстрактної моделі у реальну просторово-часову структуру об'єкта [9].

Однак в українській практиці ці інтеграції поки що обмежені пілотними проєктами або ініціативами великих девелоперів, які мають доступ до міжнародних технологій. У більшості компаній цифрова оцінка зводиться до експортованих таблиць, неавтоматизованого збирання даних та одноразової обробки результатів у вигляді PDF-звітів. Це означає не лише втрату потенціалу для гнучкого управління, але й критичне зниження здатності систем до самонавчання, адаптації та формування історичної бази знань.

Для систематизації викликів, що супроводжують цифрову трансформацію процесів оцінювання в будівельному секторі, доцільно розглянути узагальнену схему взаємозв'язків між ключовими блоками. Наведений нижче рисунок 2.4 ілюструє як структурні недоліки, так і потенційні напрями інтеграції інструментів аналізу, візуалізації та моделювання в межах єдиної цифрової системи.

Таким чином, основними обмеженнями сучасної цифрової інтеграції в оцінюванні проєктів є несумісність форматів, слабка координація систем, відсутність адаптивної аналітики та ізоляція ключових інформаційних вузлів.

Подолання цих недоліків можливе лише шляхом повної реорганізації методології оцінювання — з фокусом на безперервну взаємодію, стандартні інтерфейси, автоматизовані панелі контролю та навчальні алгоритми, що самі уточнюють вагу критеріїв за результатами минулих проєктів.

Проте навіть за умов технічної інтеграції цифрових інструментів залишається відкритим питання повноти охоплення усіх значущих вимірів проєкту, зокрема тих, що виходять за межі економіки та технологій. Саме тому дедалі актуальнішим стає аналіз соціально-екологічних аспектів, які донині залишалися на периферії проєктного оцінювання.



Рис. 2.4. Структура цифрової трансформації процесу оцінювання проєктів у будівництві та девелопменті (розроблено автором на основі [9])

Оцінювання ефективності проєктів у будівництві впродовж тривалого часу залишалося переважно технократичним процесом, де домінували показники економічного повернення інвестицій, мінімізації витрат, часової ефективності або коефіцієнта рентабельності. Водночас соціально-екологічні аспекти — такі як вплив проєкту на місцеві громади, рівень соціального сприйняття, екологічна стійкість або відповідність принципам сталого розвитку — традиційно вважалися другорядними або «додатковими» показниками. Такий підхід, який умовно можна назвати економіко-центристським, призвів до системного виключення значущих нематеріальних факторів з процесу оцінювання [26].

Основна проблема полягає в тому, що в більшості нормативно-методичних документів, зокрема українських, соціальні та екологічні параметри проєкту подаються у вигляді формальних оцінок відповідності —

наприклад, висновків про екологічну експертизу або технічну документацію з охорони праці. Проте така процедура є переважно документальною, а не аналітичною. Вона не включає механізмів оцінки довгострокових соціальних наслідків, не містить системних індикаторів якості життя, не дозволяє порівнювати екологічні впливи в межах проєктного портфеля.

Науковці, такі як Джон Елкінгтон (John Elkington), ще з 1990-х років наголошували на необхідності оцінювати "три нижні лінії" (Triple Bottom Line): економічну, екологічну і соціальну складову проєктної діяльності. Його концепція 3P — People, Planet, Profit стала методологічною основою для більшості сучасних стандартів сталого будівництва, включаючи LEED, BREEAM та ISO 14001. Проте в українських реаліях впровадження цих стандартів є фрагментарним і епізодичним.

Системний облік соціально-екологічних аспектів вимагає переходу до інтегрованого підходу, у якому економічні, соціальні й екологічні фактори зважуються в єдиній аналітичній системі. Одним із таких підходів є ESG-аналіз (Environmental, Social, Governance), що використовується для оцінки проєктів на міжнародних фінансових ринках, зокрема при залученні «зелених» або соціально орієнтованих інвестицій. Проте в будівельному секторі України ESG-компоненти залишаються або декларативними, або імітаційними [30].

Оцінка соціально-екологічного ризику в межах проєкту може бути формалізована у вигляді зваженої оцінки впливу, яку можна описати формулою 2.7:

$$Q = \sum_{a=1}^n (I_a \times A_a \times B_a), \quad (2.7)$$

Де Q — інтегральна оцінка соціально-екологічного ризику, I_a — ступінь впливу проєкту за a -тим параметром (наприклад, рівень шуму, забруднення повітря, тиск на соціальну інфраструктуру), A_a — ваговий коефіцієнт значущості параметра для регіону реалізації, B_a — ймовірність виникнення ризику за a -тим параметром. Інтегральну оцінку соціально-екологічного ризику позначено Q — щоб не збігатися з $C(x,t)$ у формулі (2.9); ваги A_a нормують так, що $\sum A_a = 1$, а ймовірності $B_a \in [0; 1]$ і за відсутності статистичних даних встановлюються експертно. Ця модель дозволяє не просто ідентифікувати ризики, а й кількісно оцінити їх значущість. Проте на практиці

відсутні достовірні джерела для наповнення цієї формули — не ведеться публічна соціальна аналітика по районах будівництва, не фіксується динаміка соціальних настроїв у процесі реалізації проєкту, немає інституційної відповідальності за облік соціальних збурень.

Ще один важливий аспект полягає в бракованій участі стейкхолдерів. Як правило, громадські слухання або публічні консультації мають формальний характер і не призводять до зміни проєктних рішень. Це означає, що модель управління знанням у проєкті не включає соціальний зворотний зв'язок як повноцінну частину аналітики. Це також зменшує адаптивність проєкту — адже в разі соціального конфлікту коригування проєкту стає реактивним, дорогим і політично конфліктним [5].

У сучасній міжнародній практиці застосовуються моделі, які інтегрують екологічні та соціальні дані в проєктний розрахунок на ранньому етапі. Наприклад, у межах методології Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) здійснюється повна оцінка проєкту за трьома осями — економіка (LCC), екологія (LCA) та соціум (SLCA). Відповідна формула 2.8 інтеграційного індексу виглядає так:

$$LCS A_{total} = \alpha \cdot LCC + \beta \cdot LCA + \gamma \cdot SLCA, \quad (2.8)$$

де: α, β, γ — вагові коефіцієнти, що встановлюються залежно від пріоритетів замовника або нормативних вимог. Приймається умова $\alpha + \beta + \gamma = 1$, а складові LCC, LCA та SLCA попередньо нормалізовано до безрозмірних співставних шкал. У рамках цього підходу соціальні показники можуть включати як індекси задоволеності мешканців, так і оцінку рівня доступу до інфраструктури, вплив на місцеву зайнятість, ступінь соціальної інтеграції нових об'єктів. Проте такі моделі вимагають розвиненої системи збору даних, чітко встановленої логіки впливу, автоматизованої системи обробки анкет, зворотного зв'язку або краудсорсингової платформи.

Екологічна складова, своєю чергою, теж часто зводиться до документальної фіксації у звітах типу ОВД (оцінка впливу на довкілля), що є малопродуктивною без кількісного моделювання. Ефективні моделі оцінки повинні враховувати кумулятивні ефекти забудови, перенасичення транспортної інфраструктури, погіршення мікроклімату або гідрологічного

режиму території. Усе це потребує застосування геоінформаційних систем, цифрових моделей місцевості та модулів екосистемної рівноваги — тобто глибокої інтеграції між урбаністикою, будівництвом та екологією.

Інтеграція соціальних та екологічних вимірів у систему оцінювання проєктів потребує багатовимірної аналітики, яка виходить за межі традиційних економічних показників [43]. Представлений рисунок 2.5 демонструє основні напрями розширеного підходу до оцінювання ефективності проєктів у будівництві, що враховує не лише прибутковість, а й соціальне сприйняття, сталість розвитку та екологічну стійкість. Саме така триєдина модель дозволяє вивести аналіз проєктів на якісно новий рівень комплексної відповідальності.

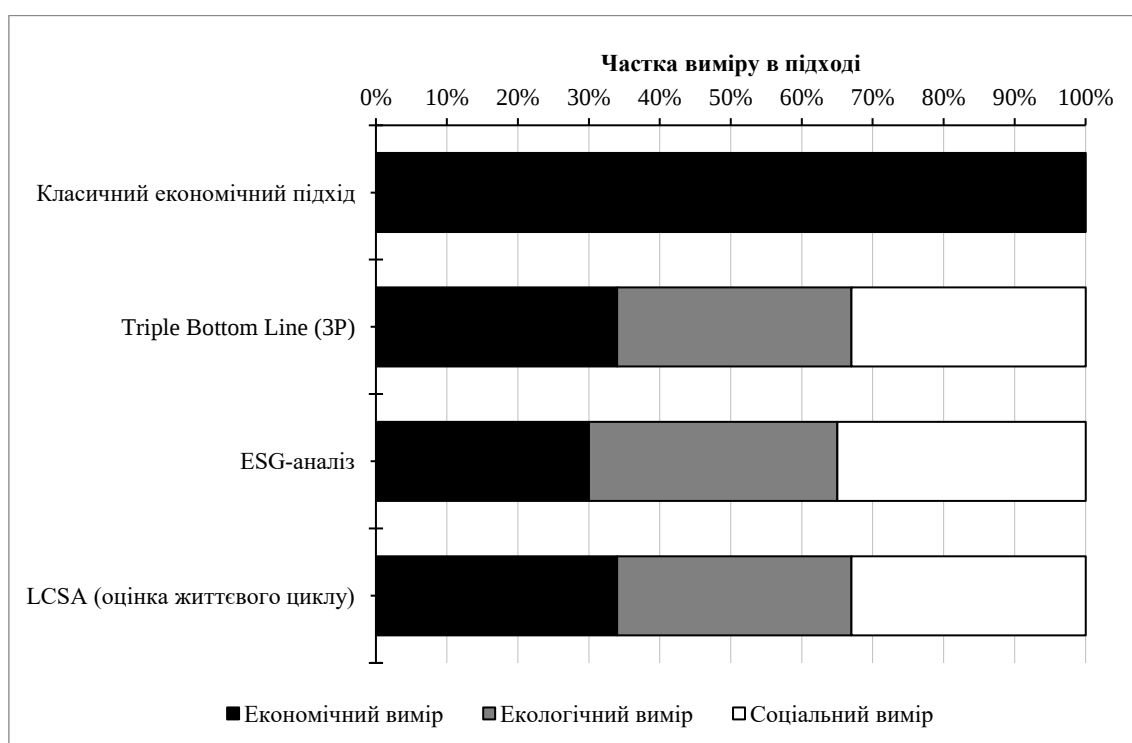


Рис. 2.5. Підходи до оцінювання ефективності проєктів: від економічних до соціально-екологічних вимірів (розроблено автором на основі [43])

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що ігнорування соціально-екологічних аспектів в оцінюванні проєктів призводить не лише до помилкової оцінки ризиків і втрати довіри до забудовника, а й до неможливості залучити міжнародне фінансування, орієнтоване на сталий розвиток. Для виходу із ситуації потрібна інтеграція нових стандартів, міждисциплінарність аналітики, розвиток інфраструктури даних, автоматизація обробки соціального зворотного зв'язку та широка участь громадськості не лише як спостерігачів, а як повноправних співучасників оцінювання.

Водночас, навіть найточніші екологічні чи соціальні розрахунки не зможуть забезпечити адекватність оцінювання, якщо ігноруватиметься ще один критичний чинник — невизначеність, яка супроводжує більшість сучасних проєктів. Саме її глибина і динаміка поведінкових реакцій учасників створюють додаткові виклики для формування об'єктивної оцінки ефективності.

Однією з найбільш серйозних прогалин у сучасних організаційно-технологічних підходах до оцінювання проєктів є їхня нездатність повноцінно враховувати параметри невизначеності, стохастичної динаміки та поведінкових відхилень з боку як суб'єктів управління, так і зовнішніх середовищ. Класичні підходи, на яких базується більшість інвестиційних або операційних моделей у будівництві, припускають наявність чітко визначених входів, статичних параметрів, лінійного часу виконання й раціональної поведінки всіх учасників проєкту. Проте така модель мислення не відповідає реальності багатовекторного, динамічного, політично та економічно нестабільного середовища, у якому функціонують сучасні будівельні компанії.

Поведінкові фактори, такі як схильність до уникання ризику, ефект упередженості щодо статусу кво, асиметричне сприйняття втрат і прибутків, впливають на ухвалення рішень усіма учасниками проєкту — від інвесторів і замовників до виконавців і контролюючих органів. Наприклад, згідно з теорією перспектив Деніела Канемана та Амоса Тверські [137], суб'єкти схильні переоцінювати ймовірність рідкісних, але катастрофічних подій, і недооцінювати високу, але звичайну ймовірність середніх втрат. Це означає, що оцінювання ризиків у класичних моделях типу Monte Carlo або PERT не враховує реального психологічного сприйняття ризику, а отже — не дозволяє побудувати адекватну систему превентивного управління.

У межах сучасної економіки знань, що характеризується високою турбулентністю, стратегічною неокресленістю і зміною зовнішніх правил гри, моделі проєктного управління повинні базуватись на нечітких множинах, імовірнісних деревоподібних структурах, марковських ланцюгах або хоча б на багатосценарному аналізі. Проте в більшості організацій застосування таких

моделей або відсутнє, або має формальний характер, де сценарії є статичними й такими, що не оновлюються по мірі зміни середовища [31].

Одним із напрямів подолання цієї прогалини є впровадження стохастичних моделей із зворотним навчанням, у яких система моделює не лише очікувану ефективність проєкту, а й адаптивно змінює параметри за результатами попередніх циклів реалізації схожих проєктів. У такій системі кожен новий проєкт — це не ізольована подія, а кейс у контексті організаційної пам'яті, що впливає на наступні оцінки ризику, бюджету та строків.

Сучасна аналітика проєктної невизначеності може базуватись на стохастичних рівняннях, зокрема на запропонованій автором модифікованій версії рівняння Колмогорова, адаптованого під економічну динаміку, яку можна виразити через формулу 2.9:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [S(x,t)C(x,t)] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} [M(x,t)^2 C(x,t)] , \quad (2.9)$$

де: $C(x,t)$ — густина ймовірності перебування проєкту у стані x у момент часу t , $S(x,t)$ — дрейф-функція, яка відображає системну зміну стану (наприклад, вартісні коливання), $M(x,t)$ — дисперсійна функція, що відповідає за інтенсивність випадкових флуктуацій (наприклад, ризику затримки, інфляції, відмов постачальників). Ця модель дозволяє не лише змодельовати динаміку системи, а й визначити області, у яких найімовірніше трапляться небажані відхилення. Вона може бути адаптована до конкретних управлінських систем у будівництві — наприклад, до оцінки ризику збоїв у логістиці, зривів поставок, девальвації або втрати соціальної підтримки проєкту.

Поведінковий компонент, своєю чергою, можна враховувати через моделі агентного моделювання, в яких кожна зацікавлена сторона (агент) діє відповідно до власної логіки, а не глобально оптимального сценарію. У таких моделях значення має не лише загальна ефективність, а й динаміка міжагентної взаємодії — наприклад, спалахи конфліктів, приховані інтереси, ефекти коаліцій чи змова постачальників. Агентна модель дозволяє передбачати ірраціональну поведінку, яка з великим ступенем ймовірності матиме критичний вплив на реалізацію проєкту [16].

З огляду на вищезазначене, можна констатувати, що нинішні організаційно-технологічні підходи не мають ні інструментальної, ні концептуальної готовності до роботи в умовах багатовимірної невизначеності. Відсутність стохастичних моделей, нечіткої логіки, машинного навчання та поведінкових симуляцій унеможлиблює не лише адаптацію проєкту до змін, а й формування стратегічної переваги через гнучкість. Тому ключовою вимогою наступного покоління систем оцінювання має стати інтеграція математичних моделей невизначеності, сценарного аналізу, адаптивної евристики і модулів поведінкової економіки.

Одним із найменш відпрацьованих напрямів в оцінюванні будівельних проєктів є вивчення нерівномірності реакції системи на зовнішні збурення, особливо в середовищах із обмеженим доступом до точних даних або нестабільною нормативною базою. У реальному середовищі інвестиційні проєкти в будівництві рідко реалізуються відповідно до початкових розрахунків. Спостерігається розбіжність між запланованими та фактичними параметрами, що пов'язано не лише з технологічними ризиками, а й із ефектом латентної невизначеності, яка не проявляється на момент оцінювання, але виникає під впливом взаємодії мікро- і макрофакторів протягом циклу реалізації проєкту.

Важливим теоретичним орієнтиром у цьому контексті є роботи Нассіма Талеба, зокрема його теорія «чорного лебедя», яка підкреслює значущість малоймовірних, але катастрофічних подій, що не враховуються у традиційних сценарних моделях. В інфраструктурному будівництві такими «чорними лебедями» можуть стати раптові зміни валютного курсу, дестабілізація ринку будматеріалів, дефіцит робочої сили, геополітична нестабільність чи навіть зміна адміністрації, що затверджує дозвільну документацію. Відсутність інструментів реагування на такі події призводить до розриву між об'єктивною оцінкою і фактичним управлінським реагуванням, що може дискредитувати саму систему оцінювання [96].

Поведінкова економіка додає до цього дискурсу ще один важливий пласт — когнітивні спотворення, які властиві особам, що приймають рішення в рамках проєктного циклу. Наприклад, ефект "прив'язаності" (anchoring effect)

змушує замовників або аналітиків орієнтуватися на початкові оцінки, навіть якщо наявні дані вказують на їхню помилковість. А ефект "підтвердження" (confirmation bias) змушує нехтувати контраргументами і фокусуватись лише на тій інформації, яка підкріплює початкове бачення проєкту. У комплексі такі механізми призводять до викривлень, які не піддаються жодному математичному згладжуванню, але мають серйозний вплив на управлінські дії.

У процесі трансформації підходів до оцінювання ефективності проєктів у будівельному та девелоперському середовищі виявляється низка критичних недоліків, які значно обмежують здатність традиційних моделей адаптуватися до складних умов ринку. Особливе занепокоєння викликає неспроможність цих підходів реагувати на динамічні зміни, невизначеність та поведінкові аномалії суб'єктів проєктного середовища. Крім того, значна частина моделей спирається на лінійні залежності та не враховує стохастичну природу зовнішніх факторів, що призводить до систематичних викривлень оцінок.

Надалі ускладнює ситуацію низький рівень інтеграції сучасних інструментів, таких як машинне навчання, адаптивні симуляційні алгоритми чи когнітивні платформи для обробки інформації з ризикованих джерел. Багато організаційних структур залишаються замкненими в рамках застарілих підходів, не здійснюючи належної корекції в системах зворотного зв'язку або в системах попереджувального реагування на зовнішні збурення [87].

Для кращого розуміння наявних прогалин та окреслення можливих рішень доцільно структурувати основні проблеми в таблиці 2.2, яка окреслює причинно-наслідкові ланцюги та пропонує відповідні аналітичні або організаційно-технологічні засоби подолання.

Таблиця 2.2. Прогалини традиційних моделей оцінювання та шляхи подолання

№	Ключова проблема	Наслідки для проєкту	Рекомендовані рішення
1	Ігнорування поведінкових факторів	Викривлення прийняття рішень інвесторами, підрядниками та органами контролю	Залучення моделей поведінкової економіки

2	Статичність сценаріїв	Неможливість адаптації до змін у політичному чи економічному середовищі	Використання багатосценарного аналізу
3	Відсутність стохастичної динаміки	Нерелевантність оцінок ризику до реального рівня невизначеності	Впровадження стохастичних моделей з функцією адаптації
4	Недостатній облік психологічного сприйняття ризику	Недооцінка або переоцінка ризиків, неефективна стратегія управління	Моделі, що враховують ефекти когнітивних спотворень (проспект-теорія, bias-моделі)
5	Лінійність часу в оцінках	Неврахування фазових зсувів і затримок у динаміці реалізації	Моделювання за допомогою марковських процесів та диференціальних рівнянь
6	Викривлення в управлінні проєктами	Управлінські рішення приймаються на основі викривленої інформації	Застосування моделей поведінкової економіки
7	Недостатній рівень інтеграції машинного навчання	Моделі не здатні навчатися на помилках попередніх проєктів	Інтеграція з машинним навчанням та зворотним зв'язком
8	Нерівномірна реакція системи на зовнішні збурення	Порушення планової реалізації, збій логістики, інфляційні втрати	Адаптивна евристика, організаційна пам'ять, симуляції реакції на турбулентність

(розроблено автором на основі [87])

Особливо загострюється проблема, коли оцінювання відбувається в умовах стратегічної двозначності, коли замовник або інвестор не має повного уявлення про всі цілі проєкту або змушений приховувати певні ризики від виконавця. У таких умовах оцінювання ефективності втрачає об'єктивність і перетворюється на інструмент легітимації заздалегідь ухвалених рішень, що суперечить його базовому призначенню як засобу аналітичного контролю.

Ще один значущий аспект — це часова асиметрія інформації, яка проявляється тоді, коли різні учасники проєкту мають різну швидкість доступу до нових даних. Наприклад, підрядник може володіти оперативною інформацією про затримки або зміну вартості матеріалів значно раніше, ніж технічний замовник або інвестор. Унаслідок цього оцінка ефективності, сформована на базі застарілих даних, може містити хибні орієнтири, які, своєю чергою, провокують неадекватні управлінські реакції.

У міжнародній практиці однією з відповідей на ці виклики є впровадження адаптивного управління проєктами (adaptive project management), у якому планування, оцінювання і реалізація відбуваються в постійному циклі зворотного зв'язку. Це дозволяє оперативно реагувати на нові дані, адаптувати метрики успішності, змінювати сценарії реалізації. Проте впровадження такої моделі потребує гнучкої архітектури управління, цифрових сенсорів і каналів зв'язку, а також нової культури відповідальності й горизонтального ухвалення рішень, що досі є нетиповими для більшості вітчизняних будівельних компаній. Успішна реалізація адаптивного підходу вимагає не лише технологічної, але й організаційної зрілості компанії, здатної працювати в режимі постійного перегляду управлінських гіпотез.

Ще одним перспективним напрямом розвитку є байєсівський аналіз у прогнозуванні ефективності, який дозволяє змінювати вірогідність настання події по мірі отримання нової інформації. Це контрастує із класичним сценарним плануванням, де всі вхідні параметри задаються заздалегідь і не змінюються в часі. У байєсівському підході ймовірність сценарію є змінною, а ефективність проєкту оцінюється як функція умовної залежності від набору нових обставин. У впровадженні байєсівських підходів ключову роль відіграє аналітична інфраструктура, здатна інтегрувати змінні з полів будівництва у режимі реального часу [94].

Оцінювання ефективності будівельних проєктів в умовах високої невизначеності потребує врахування стохастичних факторів, поведінкових викривлень та динаміки зовнішніх впливів. Рисунок 2.6 демонструє взаємозв'язок ключових чинників, які впливають на точність оцінки проєктної ефективності в умовах складного середовища. Подолання обмежень класичних моделей оцінювання можливе лише за умови поєднання інженерної точності з поведінковими та прогностичними підходами в єдину аналітичну систему.

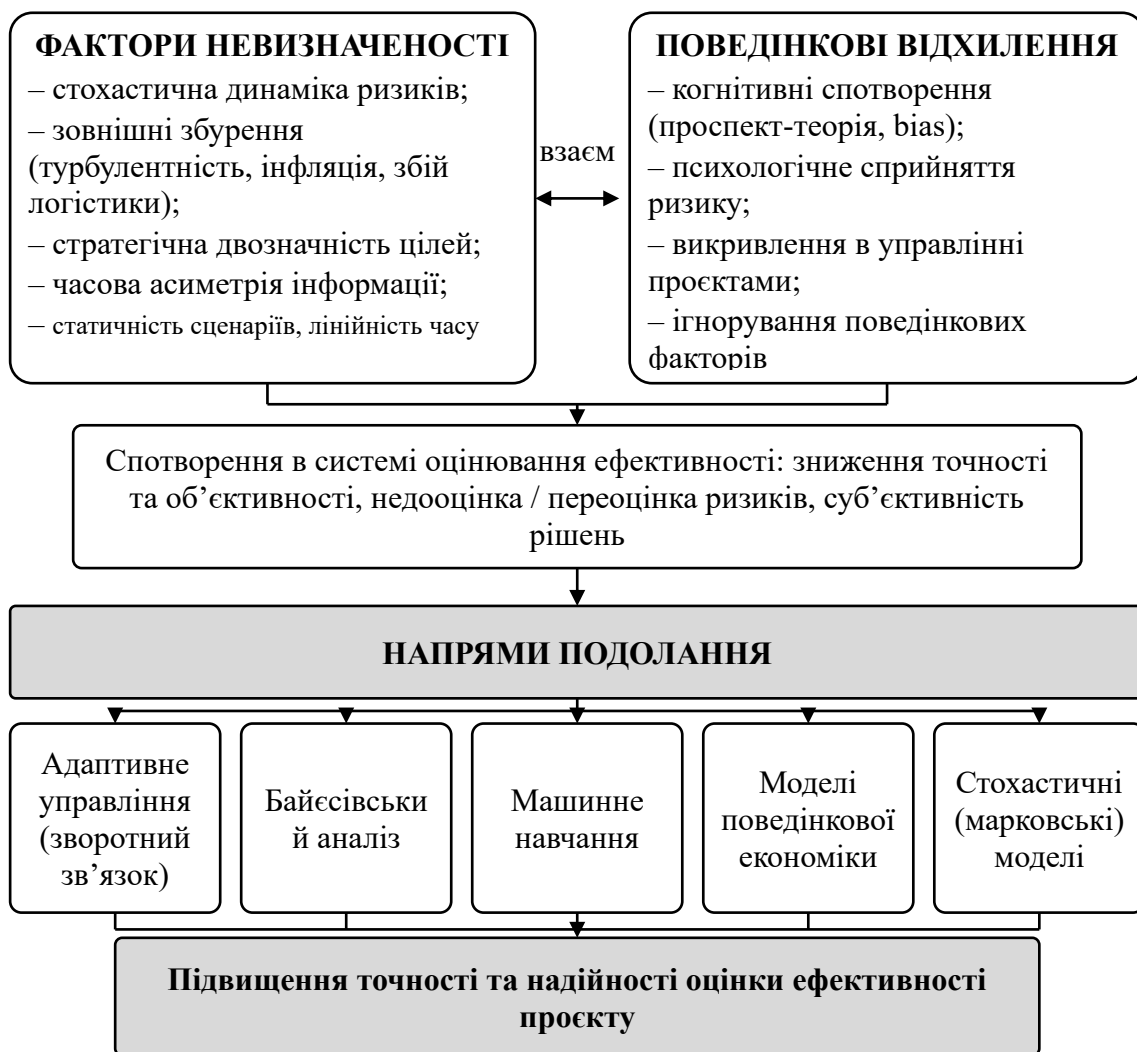


Рис. 2.6. Комплекс взаємодії факторів невизначеності та поведінкових відхилень в системі оцінювання ефективності проєктів (розроблено автором на основі [94])

Підсумовуючи, можна стверджувати, що сучасні організаційно-технологічні підходи до оцінювання проєктів залишаються глибоко детермінованими, не враховують складну взаємодію факторів невизначеності, багатокomпонентну структуру поведінкових відхилень, а також не спираються на динамічне оновлення логіки ухвалення рішень. Подолання цих недоліків вимагає не лише модернізації інструментарію, а й перебудови всього управлінського бачення проєкту — від оцінки як статичної до оцінки як процесу постійного навчання, оновлення й адаптації.

Узагальнення виявлених обмежень діючих організаційно-технологічних підходів — фрагментованість цифрових репозиторіїв і брак аналітики в реальному часі, ігнорування соціально-екологічних вимірів та неспроможність

враховувати невизначеність і поведінкові відхилення. Ці обмеження безпосередньо обґрунтовують напрями наукової новизни дисертації: інтеграцію методів оцінювання у єдиний адаптивний цифрово-аналітичний контур з оновленням показників у реальному часі, ризик-контур на основі стохастичних моделей (зокрема адаптованого автором рівняння (2.9)) та багатовимірну систему KPI з урахуванням соціально-екологічних параметрів (формули (2.7), (2.8)), що розробляється в розділі 3.

2.3 Вплив цифрових технологій та інноваційних підходів на трансформацію інструментарію оцінки в будівельній галузі

В умовах динамічної цифрової трансформації будівельна галузь зазнає суттєвих змін, що охоплюють не лише технічні та управлінські процеси, а й методи оцінювання ефективності та результативності проєктів. Історично, методики оцінювання в будівництві спиралися на лінійні економічні моделі, переважно фінансові показники на зразок NPV, IRR, PI, строку окупності та простих моделей ризику, що не враховували багатовимірність сучасних факторів, таких як екологічність, соціальні наслідки, адаптивність до криз, стійкість до форс-мажорів або сценарні варіації на довготривалі горизонти. У зв'язку з цим актуальним стало дослідження, яким чином цифрові технології не лише доповнюють, а іноді повністю замінюють традиційні підходи до оцінки.

Першим суттєвим вектором змін є поступове витіснення ізольованих систем оцінювання комплексними інформаційними середовищами. Раніше оцінка ефективності проєкту формувалася окремими експертами або командами, які діяли на основі доступної на момент аналізу інформації, що часто була фрагментованою або застарілою. Сьогодні ключову роль відіграє інтеграція даних у реальному часі — наприклад, у системах BIM (Building Information Modeling), де фінансові, конструктивні, часові й ризикові параметри моделюються синхронно. Саме BIM у трактуванні таких авторів як Ч. Істмана та ін. (Eastman, Teicholz, Sacks & Liston) стає новою парадигмою управління життєвим циклом об'єкта, де оцінка проєкту не є окремим етапом,

а відбувається постійно впродовж усього циклу «ідея – проектування – реалізація – експлуатація» [46].

З математичного погляду ця трансформація означає зміну самого підходу до оцінки. У класичних моделях ефективність інвестиційної ініціативи обчислюється на основі потоків грошових коштів, а сам процес дисконтування виглядає як формула 2.10:

$$R = \sum_{t=1}^B \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (2.10)$$

де: CF_t — чистий грошовий потік періоду t ; r — ставка дисконтування; I_0 — початкові інвестиції; B — горизонт (кількість періодів). У цифрових середовищах подібне рівняння часто розширюється за рахунок вагових коефіцієнтів ризику, невизначеностей та мультикритеріальних змінних, що залежать від великого масиву даних. Таким чином, формується запропонована автором адаптивна модель типу:

$$R^* = \sum_{t=1}^B \left(\frac{CF_t \times \gamma(D_t)}{(1+r+\delta(t))^t} \right) - I_0, \quad (2.11)$$

де R^* — скоригована чиста приведена вартість; CF_t — чистий грошовий потік періоду t ; r — базова ставка дисконтування; I_0 — початкові інвестиції; B — горизонт (кількість періодів); $\gamma(D_t)$ — коефіцієнт реалізованості грошового потоку; $\delta(t)$ — динамічна ризикова поправка. Нижче наведено формалізацію $\gamma(D_t)$ і $\delta(t)$ та доведено відсутність подвійного обліку інфляції.

Коефіцієнт $\gamma(D_t)$ є безрозмірним ваговим множником у чисельнику, що зводить очікуваний потік CF_t до його надійного (ризик-скоригованого) еквівалента. Змістовно $\gamma(D_t)$ — це оцінена на основі великих даних імовірність того, що потік періоду t реалізується у запланованому обсязі та строк:

$$\gamma(D_t) = 1 - \hat{p}(D_t), \quad \hat{p}(D_t) \in [0; 1), \quad \gamma(D_t) \in (0; 1], \quad (2.17)$$

де $\hat{p}(D_t)$ — оцінена ймовірність нереалізації (недобору або зриву) потоку CF_t ; D_t — вектор ознак стану проєкту й середовища в момент t (ринкові індекси, надійність підрядника, темп виконання робіт, регіональні та логістичні чинники тощо). Оцінку $\hat{p}(D_t)$ отримують методами машинного навчання (логістична регресія, градієнтний бустинг) на ретроспективних

даних аналогічних проєктів. За потреби гладкого відображення ризикової оцінки $\text{score}(D_t)$ у діапазон $(0; 1]$ застосовують логістичну форму:

$$\gamma(D_t) = 1 / (1 + \exp(-k \cdot (\text{score}(D_t) - s_0))) , \quad (2.17a)$$

де k — коефіцієнт крутизни, s_0 — поріг, які калібрують за даними. Розмірність $\gamma(D_t)$ — безрозмірна. Оскільки $\gamma(D_t) \leq 1$, добуток $CF_t \cdot \gamma(D_t)$ не перевищує очікуваного потоку, тобто модель (2.11) є консервативнішою за класичну (2.10): $R^* \leq R$ за інших рівних умов. Це узгоджується з принципом обережності в інвестиційному оцінюванні й є захищеною властивістю моделі.

Вимоги до калібрування: навчальна та тестова вибірки аналогів; оцінка якості класифікації (AUC, індекс Бріє); перевірка стабільності $\gamma(D_t)$ у часі.

Поправка $\delta(t)$ — це приростна ризикова надбавка (спред) до базової ставки дисконтування, яка відображає поточний рівень систематичного (ринкового, ліквідного) ризику, не врахований у базовій ставці r . Базову ставку r визначають ex-ante (наприклад, за моделлю WACC або як «безризикова + базовий премій»), а $\delta(t)$ оновлюють у часі за індикатором ринкової волатильності:

$$\delta(t) = \delta_{\max} \cdot v(t), \quad v(t) \in [0; 1], \quad \delta(t) \in [0; \delta_{\max}] , \quad (2.18)$$

де $v(t)$ — нормований індикатор ринкової волатильності в момент t (наприклад, нормована волатильність індексу вартості будівництва або цін на ключові матеріали за ковзним вікном); $\delta_{\max}$ — гранична (максимальна) додаткова надбавка, що встановлюється експертно або за історичним розмахом спреду. Розмірність $\delta(t)$ — безрозмірна (частка за період), тобто сумісна зі ставкою r . Умова $\delta(t) \geq 0$ означає, що зростання ринкового ризику лише посилює дисконтування, знижуючи R^* .

Ключова вимога коректності моделі (2.11) — інфляція має бути врахована рівно один раз. Скористаємося розкладанням Фішера для номінальної ставки:

$$(1 + r_{\text{nom}}) = (1 + r_{\text{real}}) \cdot (1 + \pi) \Rightarrow r_{\text{nom}} \approx r_{\text{real}} + \pi + \text{premium} , \quad (2.19)$$

де π — очікувана інфляція, premium — базовий ризиковий премій. Звідси впливають два коректні (взаємовиключні) режими застосування (2.11):

Режим А (номінальний): CF_t — номінальні очікувані потоки; базова ставка $r = r_{\text{nom}}$ вже містить очікувану інфляцію π (як фіксовану складову). Тоді $\delta(t)$ визначають як чистий ризиковий спред без інфляційної компоненти. Інфляція входить у модель один раз — через r ; $\delta(t)$ її не дублює.

Режим Б (реальний): CF_t — реальні (здефльовані) потоки; базова ставка $r = r_{\text{real}}$; $\delta(t)$ — реальний приростний ризиковий премій. Інфляція в модель не вводитьися взагалі, тож дублювання неможливе за побудовою.

У формулі (2.11) множник $\gamma(D_t)$ коригує чисельник (ризик обсягу та строків реалізації потоку), а $\delta(t)$ — знаменник (систематичний ринковий ризик). Жоден із цих параметрів не містить інфляційного члена, тому за будь-якого з режимів А або Б подвійного обліку інфляції немає. Це відрізняє (2.11) від попередньої редакції формули (2.2), де в знаменнику стояв явний інфляційний показник π — там для усунення дублювання слід або вилучити π зі знаменника (режим А), або перейти до реальних потоків (режим Б).

Модель (2.11) з параметрами (2.17)–(2.18) спирається на такі припущення: (1) обраний режим (А або Б) фіксується для всього розрахунку й узгоджується з природою потоків; (2) $\gamma(D_t)$ і $\delta(t)$ оцінюють з незалежних джерел (γ — з моделі реалізованості потоку, δ — з ринкового індикатора), що виключає їх взаємну кореляцію-подвоєння; (3) значення параметрів калібрують на ретроспективних даних і валідують на контрольній вибірці проєктів. Рекомендовано навести числовий приклад розрахунку R^* для одного проєкту з наведенням D_t , $\hat{p}(D_t)$, $v(t)$ і зіставленням R^* із класичним R за (2.10).

$\gamma(D_t) = 1 - \hat{p}(D_t) \in (0; 1]$ — коефіцієнт реалізованості потоку ($\hat{p}(D_t)$ — оцінена методами машинного навчання ймовірність нереалізації потоку за вектором ознак великих даних D_t); $\delta(t) = \delta_{\text{max}} \cdot v(t) \in [0; \delta_{\text{max}}]$ — динамічна ризикова надбавка ($v(t)$ — нормований індикатор ринкової волатильності). Оскільки $\gamma \leq 1$, модель консервативніша за класичну ($R^* \leq R$); подвійного обліку інфляції немає: γ коригує чисельник (ризик обсягу/строків), $\delta(t)$ —

знаменник (ринковий ризик), і жоден із них не містить інфляційного члена. Умовний числовий приклад (для ілюстрації): $B = 3$, $r = 0,12$, $I_0 = 1000$ тис. грн, $CF_t = (400; 500; 600)$ тис. грн. Класичний показник за (2.10): $R = 400/1,12 + 500/1,12^2 + 600/1,12^3 - 1000 \approx 182,8$ тис. грн (проект видається вигідним). За (2.11) з $\gamma(D_t) = (0,90; 0,85; 0,80)$ і $\delta(t) = (0,02; 0,03; 0,04)$: $R^* = 360/1,14 + 425/1,15^2 + 480/1,16^3 - 1000 \approx -55,3$ тис. грн. Урахування ризику реалізації потоку й ринкової надбавки змінює висновок про доцільність проекту, що демонструє практичну значущість скоригованого показника. Таким чином, оцінка перетворюється із фіксованого процесу на еволюційний механізм.

Другий напрям трансформації — це поява систем автоматизованої експертизи та цифрового контролю, які ґрунтуються на нейромережових та логістичних моделях. Наприклад, у дослідженнях Європейської платформи «Digital Construction 4.0» розглядається застосування машинного навчання для виявлення системних відхилень у проєктних кошторисах, типових для окремих регіонів або підрядників. Ці системи не просто аналізують показники, а й формують рекомендації, прогнозуючи ймовірні сценарії відхилення за аналогами попередніх проєктів [37].

У зв'язку з цим оцінка ефективності дедалі частіше переходить від формули до алгоритму, що оновлюється в режимі реального часу. Методологічно такий підхід базується на концепціях адаптивного управління, де замість фіксованих параметрів модель має змінні змінні (state variables), які самостійно коригуються під впливом надходження нових даних.

Крім того, на оцінювання впливає і концепція «цифрового двійника» — цифрової копії будівельного об'єкта, яка синхронізується із фактичними даними з сенсорів, дронів, лазерного сканування або мобільних пристроїв на майданчику. У цьому контексті важливу роль відіграє така дисципліна як «data-driven evaluation modeling» — оцінювання, яке не базується на теоретичних розрахунках, а ґрунтується на емпіричних даних з поточного або аналогічних проєктів.

Результати досліджень, проведених у Massachusetts Institute of Technology (MIT), демонструють, що цифрові системи оцінювання на основі цифрових двійників здатні знизити похибки у прогнозах бюджету до 6%

порівняно з 18% у класичних підходах. Це свідчить про підвищення точності, однак вимагає нових компетенцій від фахівців: знання у сфері IoT, програмування, аналітики, а також уміння інтегрувати цифрові середовища у практичну оцінку [59].

Зміна підходів до оцінювання будівельних проєктів відображає глибоку трансформацію аналітичного інструментарію під впливом цифрових технологій. Наочна структура еволюції — від класичних моделей до адаптивних, інтелектуалізованих систем — демонструє на рисунку 2.7, як з'являються нові методи аналізу на основі реальних даних, цифрових двійників та машинного навчання.

Не менш важливим є вплив цифрових технологій на зміну самих об'єктів оцінювання. Якщо в класичній системі оцінці підлягав результат (наприклад, зданий об'єкт), то у цифровому середовищі оцінці підлягають і проміжні процеси, і дії учасників, і динаміка ефективності рішень на різних етапах життєвого циклу. Таким чином, оцінювання стає комплексним, із розподілом за фазами: оцінка проєкту (*ex-ante*), оцінка під час виконання (*interim*) та оцінка наслідків (*ex-post*).

У цьому контексті формуються нові гібридні моделі оцінки, як, наприклад, інтегрована модель ефективності життєвого циклу (Life-Cycle Performance Evaluation Model), яку адаптували в межах програм Horizon 2020 для європейських будівельних проєктів. Вона враховує не лише витрати й доходи, а й екологічні, соціальні та часові параметри, на основі цифрового моделювання.

Усе це вказує на те, що цифрові технології не лише трансформують методи оцінювання, а й змінюють саму сутність аналітичного підходу до проєктів. Водночас дедалі більшої ваги набуває не лише ефективність як економічна категорія, а й сталість як ціннісна основа сучасного будівництва. Саме з цієї перспективи постає наступний рівень цифрової трансформації — переосмислення оцінки екологічності, енергоефективності та довгострокової збалансованості проєктів.



Рис. 2.7. Трансформація підходів до оцінювання ефективності будівельних проєктів у цифровому середовищі (розроблено автором на основі [39])

Сталий розвиток, енергоефективність і екологічна збалансованість давно перестали бути лише декларативними цілями в будівельній галузі. Під впливом глобальних змін клімату, зростання вимог до ESG-звітності та посилення нормативних обмежень, зокрема в межах Європейського зеленого курсу, ці аспекти стали критично важливими факторами оцінки ефективності будівельних проєктів. Трансформація, що відбувається в інструментарії оцінювання, є не просто адаптацією до нових стандартів, а глибоким переосмисленням того, що саме підлягає оцінці та як ця оцінка здійснюється.

Цифрове середовище виступає каталізатором такого переосмислення. Традиційні критерії, як-от питомі витрати енергії або викиди CO₂, сьогодні доповнюються десятками нових показників, що аналізуються за допомогою складних моделей на базі цифрових платформ. Особливо важливим стало

використання Building Information Modeling (BIM), який у новітній версії підтримує обчислення життєвого циклу з урахуванням екологічного навантаження, вуглецевого сліду, рівня переробки матеріалів і навіть впливу на біорізноманіття. Ця концепція активно досліджується у працях сучасних дослідженнях цифрового моделювання екологічних характеристик будівельних матеріалів [1], які стверджують, що цифрова модель проєкту, інтегрована з даними про екологічні властивості матеріалів, здатна замінити десятки окремих перевірок і ручних розрахунків.

Однією з найперспективніших методологічних платформ у цій площині є метод Life Cycle Assessment (LCA), який у цифровому середовищі зазнав суттєвого перетворення. Якщо класичний LCA оперував декількома групами показників — як-от вплив на ґрунт, повітря, воду, — то цифрова форма передбачає автоматичний збір даних через API до екологічних баз (наприклад, Ecoinvent, Ökobau.dat), що дозволяє динамічно формувати сценарії впливу та порівнювати їх. Рівняння для оцінки енергетичного впливу матеріалу з урахуванням транспортування та утилізації набуває вигляду формули 2.12:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^n (C_{prod_i} + C_{transp_i} + C_{instal_i} + C_{maint_i} + C_{dispos_i}), \quad (2.12)$$

де: C_{total} — загальний енергетичний вплив будівельного елемента; E_{prod_i} — енерговитрати на виробництво i -го компонента; C_{transp_i} — енерговитрати на транспортування; C_{instal_i} , C_{maint_i} , C_{dispos_i} — відповідно енерговитрати на монтаж, обслуговування та утилізацію.

Ця формула — лише спрощена проєкція того, що сучасні цифрові інструменти реалізують через динамічні симуляційні моделі з урахуванням кліматичних зон, локальної енергетичної матриці, тривалості використання й рівня рециркуляції.

Особливо варто згадати впровадження стандартів оцінки сталості, таких як LEED, BREEAM, DGNB, які в цифровій трансформації змінили свій характер: від ручного аудиту до цифрового скорингу в режимі реального часу. Наприклад, сучасна платформа «One Click LCA» дозволяє інтегрувати дані з BIM-моделей, генеруючи автоматичні сертифікаційні профілі об'єкта. У дослідженнях з автоматизованої перевірки проєктних рішень показано, що

автоматизація такого скорингу дозволяє не лише зменшити кількість помилок, а й у 3-4 рази пришвидшити процес сертифікації [135].

Не менш значущим є цифровий контроль енергоефективності, що здійснюється через концепцію Smart Building. Тут $\beta_a(L, K, C) = 1 + \kappa_L \cdot L_a + \kappa_K \cdot K_a + \kappa_C \cdot C_a$, де $L_a, K_a, C_a \in [0; 1]$ — нормовані індикатори ризиковості, логістичної складності та територіальних особливостей; $\kappa \geq 0$ — калібровані ваги чутливості; $\beta_a \in [1; 1 + \kappa_L + \kappa_K + \kappa_C]$. Джерела: L_a — реєстр ризиків, K_a — логістична оцінка, C_a — регіональні кошторисні коефіцієнти. Множник β_a (структурні чинники) не має дублювати цінову індексацію $\Delta_a(t)$. оцінка більше не зводиться до паспортного споживання енергії — натомість використовуються сенсори, системи інтернету речей (IoT), які постійно оновлюють дані про температуру, вологість, освітлення, витрати тепла, кондиціонування, що дозволяє створити так звану «теплову аналітику об'єкта». Це формує нову форму оцінки, формулу 2.13, — багатовимірну функцію реальної ефективності, що інтегрує технічні, часові та поведінкові параметри, які відстежуються в реальному часі:

$$\mu_{eff} = \frac{\int_0^T S_{use}(t) \times \varepsilon(t) dt}{\int_0^T S_{in}(t) \times \varphi(t) \times \rho(t) dt}, \quad (2.13)$$

де: $\mu_{eff}(t)$ — інтегральна реальна ефективність у часовому інтервалі $[0, T]$; $S_{use}(t)$ — миттєве корисне теплове навантаження в момент часу t ; $S_{in}(t)$ — загальне введене теплове чи енергетичне навантаження; $\varepsilon(t)$ — функція ефективності споживання, що враховує температурні та вологісні параметри середовища; $\varphi(t)$ — коефіцієнт завантаження інженерних систем; $\rho(t)$ — коефіцієнт відхилення від запроєктованого профілю експлуатації.

Ця формула дозволяє проводити часово адаптивне оцінювання ефективності, враховуючи не лише технічні параметри, а й специфіку використання приміщень, зміну режимів роботи систем, зовнішні погодні умови та навіть поведінкові особливості мешканців чи користувачів об'єкта. На практиці це означає не просто фіксацію того, скільки енергії було спожито, а глибокий аналіз, наскільки ефективно вона була використана в контексті цільових умов. У цифровому підході також трансформується поняття "впливу на довкілля". Якщо раніше це поняття обмежувалося викидами та

споживанням, то тепер воно охоплює індикатори соціальної справедливості, вплив на мікроекосистеми, акустичне навантаження та навіть візуальне забруднення. Ці дані також збираються автоматизовано, включно з дронами, супутниковими знімками, лідар-скануванням та геоінформаційними системами (GIS) [136].

Ще один вектор цифрової трансформації — симуляційне моделювання сценаріїв експлуатації будівлі. Наприклад, сучасні інструменти типу DesignBuilder або EnergyPlus дозволяють моделювати поведінку будівлі за різних температурних режимів, типів використання, змінних профілів присутності людей. Це дозволяє обґрунтовано формувати проекти, що відповідають концепції Net Zero або Near Zero Energy Building.

Продовжуючи розкриття питання про нові підходи до оцінки сталості, екологічності та енергоефективності будівель у цифровому середовищі, слід зосередитися на фундаментальній трансформації поняття самої «оцінки». У попередній парадигмі вона трактувалася як акт експертного вимірювання або підсумкового висновку на базі обмеженого обсягу вхідних параметрів. У новій цифровій реальності оцінка постає як динамічний процес зворотного зв'язку, що розвивається разом із проектом, під впливом змін середовища, умов використання, інституційних вимог і самонавчальних систем. Особливу вагу тут мають цифрові платформи типу Digital Twin + IoT + LCA.

Концепція Digital Twin (цифрового двійника), на перший погляд суто інженерна, насправді стає інструментом екологічної оцінки. Поєднуючи статичну BIM-модель із потоками даних від сенсорів, логів обладнання, споживчих патернів та екологічних API, цифровий двійник будівлі дає змогу відтворити повний сценарій її взаємодії з довкіллям. Наприклад, в рамках європейського проєкту «GreenDigital» дослідники реалізували модель, що у реальному часі генерує індекс вуглецевого сліду, який залежить не лише від матеріалів будівлі, а й від активності людей усередині, режиму роботи систем вентиляції, освітлення, відновлюваних джерел енергії.

Цей підхід переходить до категорії так званих систем «оцінювання за поведінкою» (behaviour-based sustainability assessment), які базуються на синтезі цифрових індикаторів. Такі системи формують візуалізовані

енергопрофілі, індекси «сталого комфорту», теплові карти споживання тощо. Тут особливу роль відіграє інтеграція штучного інтелекту: нейромережеві системи здатні ідентифікувати типові сценарії неефективності, наприклад, тривале відкривання вікон при включеній системі обігріву, і автоматично генерувати алгоритми корекції [32].

Дослідники з Delft University of Technology вказують, що застосування штучного інтелекту у зв'язці з LCA дозволяє отримати прогнозне оцінювання викидів на весь життєвий цикл будівлі [35] ще на стадії концептуального проєктування. Це дає змогу не лише обирати екологічно доцільні рішення, а й одержувати переваги в конкурсах, інвестиційних відносинах, урядових програмах стимулювання «зеленого будівництва».

Цифрові інструменти також радикально змінюють роль нормативної оцінки. Якщо раніше будівельні компанії реагували на регуляторні вимоги постфактум, то сьогодні нормативні параметри інтегруються в цифрові шаблони моделювання. Це реалізується, зокрема, через модулі «Regulatory Compliance Check» у сучасних BIM-інструментах, таких як Autodesk Revit або Tekla Structures. У них вбудовані системи правил, що автоматично визначають, чи відповідає поточна модель стандартам за параметрами тепловтрат, освітлення, шумоізоляції, повторного використання матеріалів тощо.

Новим викликом у сфері цифрової екологічної оцінки є необхідність врахування локалізованих даних. На відміну від уніфікованих моделей, ефективна цифрова оцінка потребує включення кліматичних сценаріїв, екосистемного контексту, типових поведінкових моделей мешканців конкретного регіону. Це створює потребу у геопросторовій адаптації інструментів. Сучасні системи на кшталт ArcGIS Urban або UrbanFootprint дозволяють інтегрувати LCA-процеси з даними про повітря, шум, щільність населення, відстані до зелених зон — тим самим забезпечуючи системний підхід до екологічного планування.

Варто зазначити, що цифрові технології змінюють і соціальну складову оцінки сталості. Платформи типу «open source sustainability dashboard» надають змогу залучати мешканців будинку до процесу сталого управління: кожен користувач бачить свій вплив, свої споживчі патерни і може змінювати

поведінку. Це формує так звану «цифрову співвідповідальність», коли сталий розвиток не є лише технічною вимогою, а й культурною нормою, закладеною у поведінковий інтерфейс цифрового інструменту [110].

Розглядаючи нові виміри оцінювання будівельних проєктів, важливо звернути увагу на поступову еволюцію ключових цифрових індикаторів. Індекси сталості, енергоефективності та екологічної збалансованості демонструють не просто зростання значущості, а формують нову парадигму. Розглядаючи нові виміри оцінювання будівельних проєктів, важливо звернути увагу на поступову еволюцію ключових цифрових індикаторів. проєктРозглядаючи нові виміри оцінювання будівельних проєктів, важливо звернути увагу на поступову еволюцію ключових цифрових індикаторів. ного мислення. Саме вони дедалі частіше визначають успішність об'єктів у стратегічній та інвестиційній перспективах та зображені на рисунку 2.8.

Усе вищезазначене змінює не лише методи, а й парадигму оцінки. Вона стає постійною, динамічною, інтерактивною, поведінково чутливою і глибоко інтелектуалізованою. Якщо на першому етапі цифрові інструменти просто дублювали існуючі ручні процеси (наприклад, оцифрування енергоаудиту), то сьогодні вони створюють нові моделі бачення об'єкта — як динамічної системи, що перебуває в постійній взаємодії з довкіллям та суспільством.

Підсумовуючи, цифрові технології відкривають новий етап екологічного оцінювання в будівництві. Це вже не про контроль і перевірку — це про передбачення, оптимізацію, залучення і перетворення всього проєкту на сталу, адаптивну систему. Цифрове оцінювання сталості — це вже не лише інструмент контролю — важлива складова методології проєктування. Саме тому воно стає ключовою складовою трансформації галузі в умовах нової екологічної реальності.

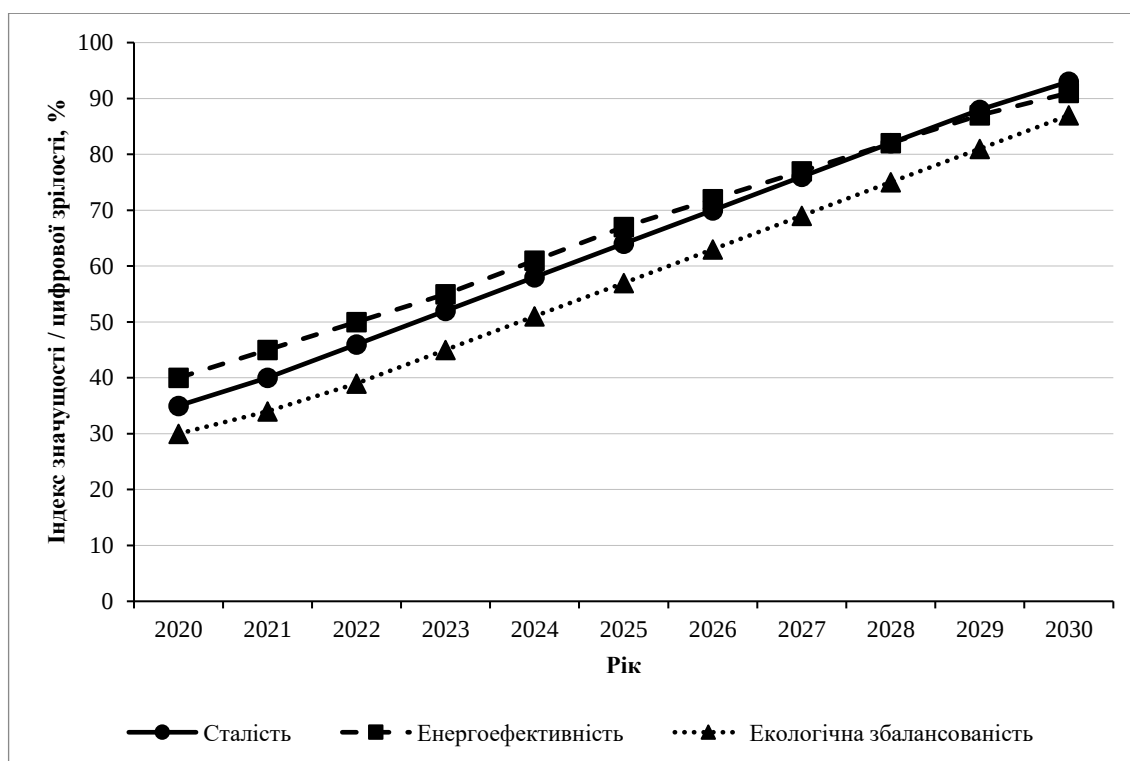


Рис. 2.8. Динаміка цифрових індикаторів сталості, енергоефективності та екологічної збалансованості у будівництві (2020–2030 рр.) (розроблено автором на основі [110])

Після аналізу екологічного й енергетичного аспекту оцінювання, цифрова трансформація демонструє не менший вплив і на фінансову складову. Автоматизація вартості, прозорість формування кошторису та інтеграція цифрових моделей у процес управління витратами стають новими орієнтирами ефективного будівництва. У цьому контексті варто розглянути, як саме цифрові платформи змінюють парадигму оцінювання вартості проєктів.

У контексті цифрової трансформації будівельного сектору особливої актуальності набуває питання автоматизації та стандартизації процесів оцінювання вартості проєктів. Якщо в класичному розумінні кошторис будівництва формувався на основі експертних висновків, типових норм та розрізнених архітектурних креслень, то цифрові платформи пропонують принципово іншу парадигму — інтегровану, прозору, аналітично вивірену та адаптивну до змін середовища. Цей перехід радикально змінює не тільки техніку оцінювання, а й самі принципи управління будівельними фінансами.

Цифрові платформи типу CDE (Common Data Environment), ERP-системи (наприклад, SAP S/4HANA), проєктні кошторисні середовища

(наприклад, CostX, Sablono, RIB i TWO) сьогодні є не лише інструментами, що об'єднують дані про вартість матеріалів, робіт і терміни. Вони виконують функцію аналітичного ядра — структури, яка формує алгоритм прийняття рішень на основі цифрових моделей, симуляцій і потоків даних, отриманих із хмарних джерел, IoT-сенсорів, ринкових API [108].

У цій системі оцінювання вартості відбувається на кількох рівнях: початкове моделювання, проміжна перевірка, симуляція відхилень та адаптація під нові умови. Якщо класичні підходи використовували формулу 2.14 типу:

$$N_{total} = \sum_{a=1}^n H_a \times P_a, \quad (2.14)$$

де: N_{total} — загальна вартість проєкту; H_a — кількість одиниць а-го ресурсу; P_a — ціна за одиницю а-го ресурсу,

то в цифрових середовищах ця формула видозмінюється через багатофакторне урахування контексту. З'являються залежності від часових змін, локальних ризиків, інфляційних трендів, індексів цін і коливань логістики. Це формує формулу 2.15, запропоновану автором складнішу модель:

$$A_{dyn} = \sum_{a=1}^n G_a(t) \times (M_a(t) + \Delta_a(t)) \times \beta_a(L, K, C), \quad (2.15)$$

де: $G_a(t)$ — змінна кількість ресурсу в часі; $M_a(t)$ — базова ціна на час t ; $\Delta_a(t)$ — індексація/зміна вартості (наприклад, інфляція або криза постачання); $\beta_a(L, K, C)$ — коефіцієнт залежності від ризику L , логістичної складності K і територіальних особливостей C .

Коефіцієнт $\beta_a(L, K, C)$ формалізуємо як безрозмірний множник, що зростає з рівнем несприятливих чинників:

$$\beta_a(L, K, C) = 1 + \kappa_L \cdot L_a + \kappa_K \cdot K_a + \kappa_C \cdot C_a, \quad (2.22)$$

де $L_a, K_a, C_a \in [0; 1]$ — нормовані індикатори відповідно ризиковості, логістичної складності та територіальних особливостей для ресурсу a ; $\kappa_L, \kappa_K, \kappa_C \geq 0$ — вагові коефіцієнти чутливості вартості до кожного чинника. Тоді $\beta_a \in [1; 1 + \kappa_L + \kappa_K + \kappa_C]$, $\beta_a \geq 1$ (несприятливі чинники лише підвищують вартість). Розмірність β_a — безрозмірна.

Джерела оцінювання: L_a — з реєстру ризиків проєкту (нормована оцінка); K_a — з логістичної оцінки (відстань, доступність майданчика, складність постачання); C_a — з регіональних кошторисних коефіцієнтів (територіальні цінові зони, зокрема нормативні регіональні коефіцієнти). Ваги κ калібрують регресією на історичних відхиленнях фактичної вартості від планової.

Застереження проти дублювання. Множник $\beta_a(L, K, C)$ має відображати структурні чинники (ризик, логістика, територія), а індексация $\Delta_a(t)$ — цінову динаміку ресурсу; їх слід оцінювати з незалежних джерел, щоб цінове зростання не враховувалося одночасно і в $\Delta_a(t)$, і в β_a . Якщо C_a задається готовим регіональним коефіцієнтом (напр. у діапазоні 0,9–1,3), формулу (2.22) застосовують у мультиплікативному вигляді $\beta_a = (1 + \kappa_L \cdot L_a + \kappa_K \cdot K_a) \cdot C_a$.

Ця формула ілюструє принципову зміну: оцінка більше не є фіксованою; вона стала функцією часу і середовища, що потребує постійної актуалізації. У цьому контексті цифрові платформи забезпечують безперервне оновлення даних, доступність усім стейкхолдерам і виключають ризик суб'єктивного викривлення вартості.

Одним із ключових досягнень автоматизованих платформ є формування інтероперабельного середовища, в якому всі учасники проєкту — девелопери, інвестори, підрядники, інженери, аудитори — працюють з єдиною версією даних. Це вирішує проблему «розриву інформації», коли на різних етапах використовуються різні таблиці, файли, версії креслень. Прозорість оцінювання, що виникає з цього, підтримується механізмами аудиту змін, блокчейн-верифікації, автоматичного протоколювання рішень, а також функціоналом контролю доступу до інформації.

У сучасних дослідженнях цифрових платформ аудиту та контролю доступу до проєктних даних підкреслюється, що платформи, які використовують механізми «smart contract auditing» і мультиагентну систему рецензування кошторисів, забезпечують не лише формальну відповідність бюджету, а й перевірку на ефективність рішень. Наприклад, система може автоматично порівняти запропоноване проєктне рішення з 20 аналогічними

історичними кейсами й показати, де ціна є завищеною, або виявити нерациональні витрати.

Ще однією фундаментальною зміною є стандартизація структури кошторисної документації. Цифрові середовища вимагають використання уніфікованих шаблонів, кодів, класифікаторів (наприклад, UniFormat, MasterFormat, CCI – Construction Cost Index), що дозволяє автоматично формувати порівняльні звіти, дашборди, графіки відхилень. Це забезпечує можливість інтеграції з національними кошторисними системами (в Україні — АВК, в ЄС — eCost, в США — RSMeans) та полегшує процедуру аудиту, ліцензування, тендерної оцінки [65].

У сучасному контексті також надзвичайно важливою є автоматизація сценарного аналізу. Цифрові платформи можуть моделювати вартість реалізації проекту за різних сценаріїв — зміни валютного курсу, росту цін на енергоносії, відтермінування постачання. У цьому контексті оцінка вартості набуває формату адаптивної моделі з математичною верифікацією ймовірностей. Одним із інструментів такої оцінки є модель Монте-Карло, формула 2.16, яка дозволяє генерувати набір сценаріїв і отримувати діапазон очікуваних витрат:

$$F_c = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^n W_{a,b} \times E_{a,b}, \quad (2.16)$$

де: N — кількість симуляцій; для повноцінного методу Монте-Карло величини $W_{a,\beta}$ і $E_{a,\beta}$ задають випадковими з обґрунтованими розподілами, а результат подають як розподіл витрат із довірчим інтервалом, а не лише середнім. Такий підхід забезпечує оцінку не одного значення вартості, а розподілу, що дозволяє приймати рішення в умовах невизначеності — особливо актуально в періоди економічної нестабільності.

Завдяки цифровим платформам процес кошторисування перестає бути ізольованим модулем і перетворюється на органічну складову так званого «циклу прийняття управлінських рішень у реальному часі». У межах цієї логіки вартості стають не просто підсумковими цифрами, а динамічними вхідними параметрами, що впливають на планування, логістику, фінансування, контроль якості, комунікацію зі стейкхолдерами.

Сучасні системи на зразок Oracle Primavera P6, Aconex або Procore дозволяють формувати залежність між календарними планами, етапами будівництва, контрагентами та кошторисними позиціями. У результаті цифрова модель вартості формується не вручну, а шляхом імпорту з BIM-моделі (через формат IFC), де кожен елемент має не лише геометричну й технічну, а й вартісну інформацію (Cost Attribute). Така інтеграція дозволяє, наприклад, автоматично формувати прогнозовані касові розриви у графіку виконання робіт.

Цифрова трансформація змінює не лише техніку кошторисування, а й логіку управління вартістю. Визначальні напрями цієї трансформації охоплюють автоматизацію розрахунків, інтеграцію в єдині середовища, сценарне моделювання та впровадження штучного інтелекту в аналіз. Наведена нижче таблиця 2.3 узагальнює ключові вектори цієї еволюції та їхні функціональні переваги.

Таблиця 2.3. Ключові вектори цифрової трансформації оцінки вартості проєктів

№	Напрямок трансформації	Ключова перевага
1	Єдина цифрова платформа	Узгодженість і прозорість даних
2	Автоматизоване оцінювання	Швидкість і точність розрахунків
3	Адаптивність до змін	Стійкість до ринкових коливань
4	Блокчейн-аудит	Контроль змін і зниження корупційних ризиків
5	Уніфікація форматів	Порівнюваність і автоматизація звітності
6	Сценарне моделювання	Підготовка до невизначеності
7	AI в аналізі вартості	Виявлення аномалій і бюджетна оптимізація

(розроблено автором на основі [65])

Ще один вектор трансформації — обчислювальний інтелект і алгоритмічна оптимізація оцінки вартості. У сучасних платформах впроваджуються модулі на основі штучного інтелекту, які аналізують вартісні структури на етапі планування, виявляючи аномалії, завищення, дублювання ресурсів. Один із поширених інструментів — це «класовий аналіз вартості» (Class-Based Cost Analysis), коли всі витрати структуруються в ієрархічну модель і піддаються аналізу залежно від ваги в загальному бюджеті. Це дозволяє будувати багатовимірну модель ризиків.

Не менш важливим є вплив цифрових платформ на звітність і прозорість для зовнішніх учасників — банків, аудитів, державних структур. У класичній моделі перевірка вартості вимагала експертизи, звірки паперових або електронних таблиць, ревізії креслень. Сьогодні ж звіти формуються автоматично, з активними посиланнями на джерело кожної позиції: BIM-об'єкт, постачальника, нормативний розрахунок. Додатково реалізується механізм контролю змін — хто, коли, чому, на якій підставі вніс коригування. Це мінімізує ризики корупції, маніпуляцій, втрати актуальності даних [28].

У дослідженнях систем рецензування та верифікації проєктних рішень зазначається, що платформи, які реалізують принципи «audit-ready by design» — тобто спочатку спроєктовані для автоматичного аудиту — знижують витрати на фінансовий контроль на 32–46% і суттєво підвищують довіру з боку фінансових партнерів.

Інтеграція цифрових платформ у сферу будівельного кошторисування формує нову логіку взаємодії — від початкового моделювання до автоматизованого контролю вартості на основі даних із BIM-систем і IoT-сенсорів. Рисунок 2.9 демонструє основні напрями цієї трансформації, акцентуючи на ключових процесах автоматизації, аудиту, стандартизації та алгоритмічного аналізу вартості.

Ще одне важливе нововведення — це використання цифрових платформ для нормування і уніфікації витрат у масштабах портфеля проєктів. Наприклад, девелоперська компанія, яка одночасно будує 8 житлових комплексів, може порівняти витрати на оздоблення сходових клітин у кожному з них і виявити відхилення. Це дає змогу приймати стандартизовані рішення, укладати рамкові договори на кращих умовах, виявляти неефективність або зловживання.

Додатково, цифрові платформи відіграють ключову роль у впровадженні концепції наскрізної прозорості («end-to-end transparency») між усіма рівнями управління та підрядниками. У хмарному середовищі всі звіти про вартість, моделі змін, історія погоджень і оновлень стають доступними в режимі реального часу як для внутрішніх аналітиків, так і для зовнішніх перевіряючих органів. Такий рівень деталізації значно знижує потребу у фізичних аудитах і

дозволяє здійснювати контроль постійно, а не лише на ключових етапах проєкту [48].

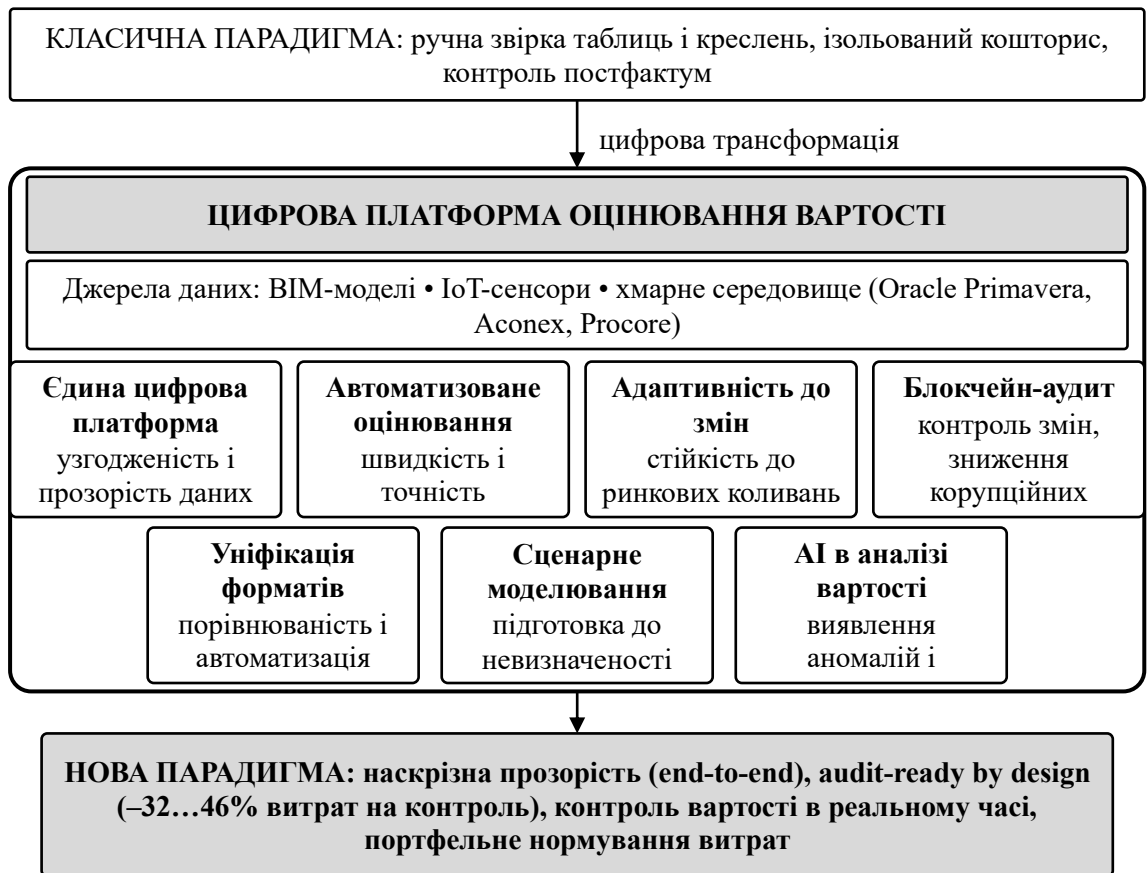


Рис. 2.9. Як цифрові платформи змінюють парадигму оцінювання вартості проєктів (розроблено автором на основі [12])

Проведений аналіз засвідчує, що цифрові технології — інформаційне моделювання будівель (BIM), цифрові двійники, Інтернет речей (IoT), оцінювання життєвого циклу (LCA) та методи машинного навчання — суттєво трансформують інструментарій оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, що узгоджується з четвертим завданням дослідження щодо обґрунтування напрямів інтеграції цифрових технологій у процеси такого оцінювання. Запропоновані здобувачем адаптивні моделі, а саме скоригований показник ефективності з функцією ризику на основі великих даних (2.11), інтегральна модель реальної енергоефективності (2.13) та динамічна модель вартості (2.15), формують математичне підґрунтя цифрово-адаптивного контуру оцінювання, розроблення якого здійснено в розділі 3. Сукупно ці результати визначають наукову новизну дисертації в частині скоригованого показника чистої приведенної вартості, багатовимірної системи

ключових показників ефективності та ризик-орієнтованого контуру оцінювання.

Висновки до 2-го розділу

У другому розділі проведено аналіз наявного організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, виявлено його обмеження та обґрунтовано напрями інтеграції цифрових технологій у процеси оцінювання, що відповідає четвертому завданню дослідження. За результатами аналізу сформульовано такі висновки.

Установлено, що традиційні фінансово-інвестиційні методи оцінювання (чиста приведена вартість, строк окупності, індекс прибутковості) мають системні обмеження в організаційно-технологічному контексті: вони не враховують у взаємозв'язку ризики реалізації доходу, часові зсуви фаз та інфляційні коливання, ігнорують прибутки постопукної фази й залишаються малочутливими до невизначеності, що знижує обґрунтованість управлінських рішень на різних стадіях життєвого циклу проєкту.

Проаналізовано організаційно-технологічний інструментарій (сітьові моделі CPM/PERT, календарне та потокове планування, ресурсне вирівнювання, нормативно-кошторисне оцінювання за ДБН і ДСТУ) та встановлено, що він є переважно детермінованим, розрізненим за підсистемами часу, вартості й ресурсів і не інтегрованим із фінансово-ризиковим оцінюванням у режимі реального часу.

Виявлено недоліки діючих цифрових підходів до оцінювання: фрагментованість інформаційних репозиторіїв і несумісність форматів, брак аналітики в реальному часі, недостатнє врахування соціально-екологічних вимірів, а також неспроможність традиційних моделей повноцінно враховувати невизначеність, стохастичну динаміку та поведінкові відхилення учасників проєкту.

Обґрунтовано, що цифрові технології — інформаційне моделювання будівель (BIM), цифрові двійники, Інтернет речей (IoT), оцінювання життєвого

циклу (LCA) та методи машинного навчання — суттєво трансформують інструментарій оцінювання й створюють підґрунтя для переходу від статичного до безперервного, ризик-орієнтованого оцінювання ефективності протягом усього життєвого циклу проекту.

Установлено, що ключовою нерозв'язаною проблемою є відокремлене застосування класичних організаційно-технологічних, календарно-планових і фінансово-економічних методів, з одного боку, та цифрових інструментів — з іншого, унаслідок чого оцінювання ефективності залишається переважно статичним і фрагментованим за стадіями життєвого циклу. Це обґрунтовує потребу в інтеграції зазначених методів та інструментів у єдиний адаптивний цифрово-аналітичний контур оцінювання.

Визначено напрями подолання виявлених обмежень — скоригований показник ефективності з функцією ризику на основі великих даних, інтегральна модель реальної енергоефективності, динамічна модель вартості та багатовимірна система ключових показників ефективності з ризик-контуром, — які становлять теоретико-методичне підґрунтя для розроблення інтегрованого цифрово-адаптивного інструментарію оцінювання у третьому розділі й формують основу наукової новизни дисертації.

Результати проведеного аналізу обмежень наявного інструментарію та обґрунтовані напрями його вдосконалення визначають зміст третього розділу дисертації, присвяченого розробленню інтегрованої організаційно-технологічної моделі та аналітико-прикладного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [113, 114, 115].

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

3.1 Розробка концептуальної моделі вдосконалення оцінки будівельно-інвестиційних проєктів.

Розвиток сучасного будівельного сектору характеризується високим рівнем динаміки та невизначеності, що формує потребу у створенні нових концептуальних моделей оцінювання проєктів. Традиційні методики базуються переважно на фінансових розрахунках і класичних інструментах інвестиційного аналізу, серед яких ключовими є чиста приведена вартість (NPV), індекс прибутковості (PI), внутрішня норма рентабельності (IRR) та коефіцієнти оцінки ризиків. Водночас цифровізація, інтеграція BIM-технологій, використання систем штучного інтелекту та впровадження ESG-критеріїв вимагають суттєвого оновлення підходів. У цьому контексті створюється інноваційна концептуальна модель, яка дозволяє здійснювати оцінювання проєктів не лише з позиції економічної ефективності, але й через призму мотиваційної складової управлінського персоналу, стратегічної узгодженості та цифрової інтеграції.

В основі моделі лежить новий алгоритм, що поєднує багатofакторний аналіз грошових потоків із системами цифрових двійників, аналітикою даних реального часу та поведінковими коефіцієнтами. Якщо класичні підходи вважали обчислення показників завершеною процедурою після розрахунку фінансових індикаторів, то інноваційна методика формує динамічну систему, яка постійно оновлюється під впливом зовнішніх і внутрішніх параметрів [9].

На рисунку 3.1 подано блок-схему запропонованої концептуальної моделі, яка демонструє етапність процесу оцінювання: від збору вхідних даних і цифрової їх обробки до формування інтегрального показника ефективності. Важливим елементом є врахування поведінково-мотиваційних факторів, які інтегруються у фінансово-аналітичний розрахунок через спеціальні коефіцієнти ваги. Це дозволяє відобразити, як рівень мотивації персоналу та

стратегічна спрямованість компанії впливають на кінцеву результативність проєкту.

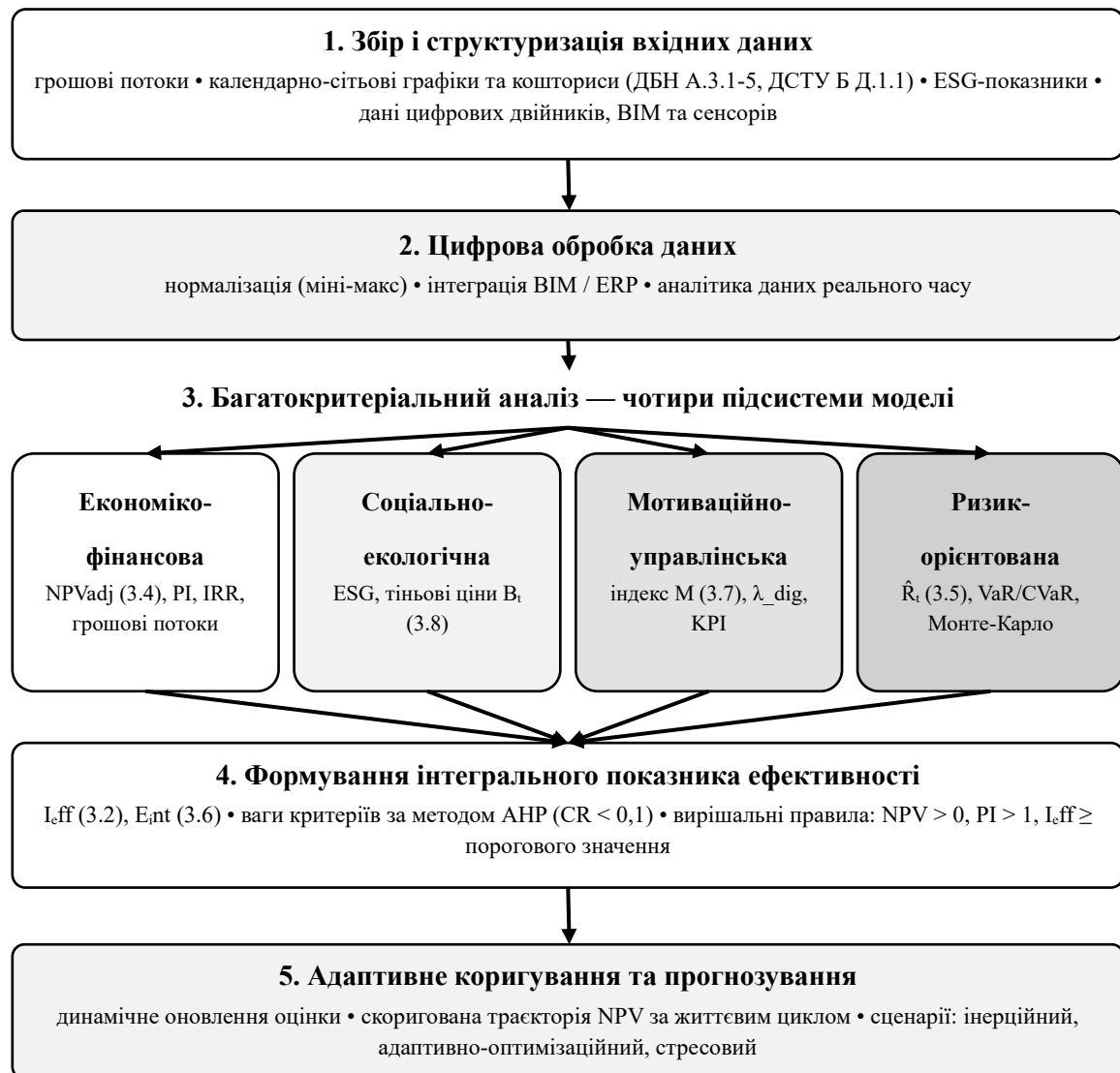


Рис. 3.1. Інноваційна концептуальна блок-схема оцінювання будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено автором на основі [9])

Формульний апарат нової системи оцінювання також демонструє суттєві інноваційні зміни. Якщо класична формула індексу прибутковості має вигляд:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^B \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I_0}, \quad (3.1)$$

то на її основі будується окремий інтегральний індекс бажаності з ваговими коефіцієнтами (індекс прибутковості PI входить до нього як фінансовий складник, зберігаючи власне правило $PI > 1$):

$$I_{eff} = \omega_{fin} \tilde{PI} + \omega_{env} \tilde{E}_{env} + \omega_{soc} \tilde{E}_{soc} + \omega_{beh} \tilde{E}_{beh} \quad (3.2)$$

де $\tilde{PI}$, $\tilde{E}_{env}$, $\tilde{E}_{soc}$, $\tilde{E}_{beh} \in [0; 1]$ — нормовані (min–max) субіндекси, а ваги ω визначено методом аналізу ієрархій (АНР, $CR < 0,1$); фінансовий індекс прибутковості зберігає власне правило $PI > 1$ окремо. Вирішальне правило: проєкт прийнятний за $I_{eff} \geq I_{eff}^{кр}$ (порогове значення калібрується у 3.3) і лише за обов’язкової фінансової доцільності ($NPV > 0$, $PI > 1$); інтегральний індекс доповнює, а не замінює фінансовий критерій. У такій редакції індекс враховує не лише фінансові аспекти, а й екологічну сталість, соціальну значущість та поведінкову мотивацію учасників. Це дозволяє вийти за межі вузького інвестиційного підходу й перейти до стратегічної оцінки, яка є більш узгодженою з сучасними європейськими практиками управління.

Не менш важливою інновацією є трансформація класичної формули чистої приведеної вартості:

$$NPV = \sum_{t=1}^B \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (3.3)$$

Де CF_t — чистий грошовий потік періоду t ; r — ставка дисконтування; I_0 — початкові інвестиції; B — горизонт, яка у цифровій редакції набуває вигляду:

$$NPV_{adj} = \sum_{t=1}^B \frac{CF_t \gamma(D_t)}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3.4)$$

де $\gamma(D_t) = 1 - \hat{p}(D_t) \in (0; 1]$ — коефіцієнт реалізованості грошового потоку за даними цифрового двійника (узгодженість ВІМ- та сенсорних даних); $\hat{p}(D_t)$ — оцінена ймовірність нереалізації потоку; CF_t , r , I_0 , B — як у (3.3). Цифрове коригування діє на грошові потоки, а не на готовий показник NPV , що зберігає його економічний зміст і узгоджується з (2.11). Таким чином, показник NPV перестає бути статичною величиною і набуває здатності до оперативного оновлення відповідно до зміни ринкових і технологічних параметрів.

Удосконалення торкнулося й функції ризику, яка в новій моделі описується як:

$$\hat{R}_t = \frac{1}{1 + e^{-(a + b\sigma_t + c\beta_t)}} \quad (3.5)$$

де σ_t — волатильність, β_t — індекс ринкової турбулентності; параметри a , b , c оцінюють методами машинного навчання (штучний інтелект є методом оцінювання параметрів, а не аргументом функції). Величина $\hat{R}_t \in (0; 1)$ інтерпретується як імовірність настання несприятливої події (зрив

директивного строку чи перевитрата кошторису); порогом переходу до стрес-сценарію приймається $\hat{R}_t \geq 0,5$ (уточнюється калібруванням у 3.3). На рисунку 3.2 порівняно точність і повноту оцінювання NPV та PI класичною й інноваційною моделями. Як видно, інноваційна модель забезпечує вищу точність, повноту та обґрунтованість оцінювання чистої приведеної вартості й індексу прибутковості та повніше враховує ризики (метод оцінювання не змінює грошових потоків проєкту, а підвищує якість їх оцінки) [44].

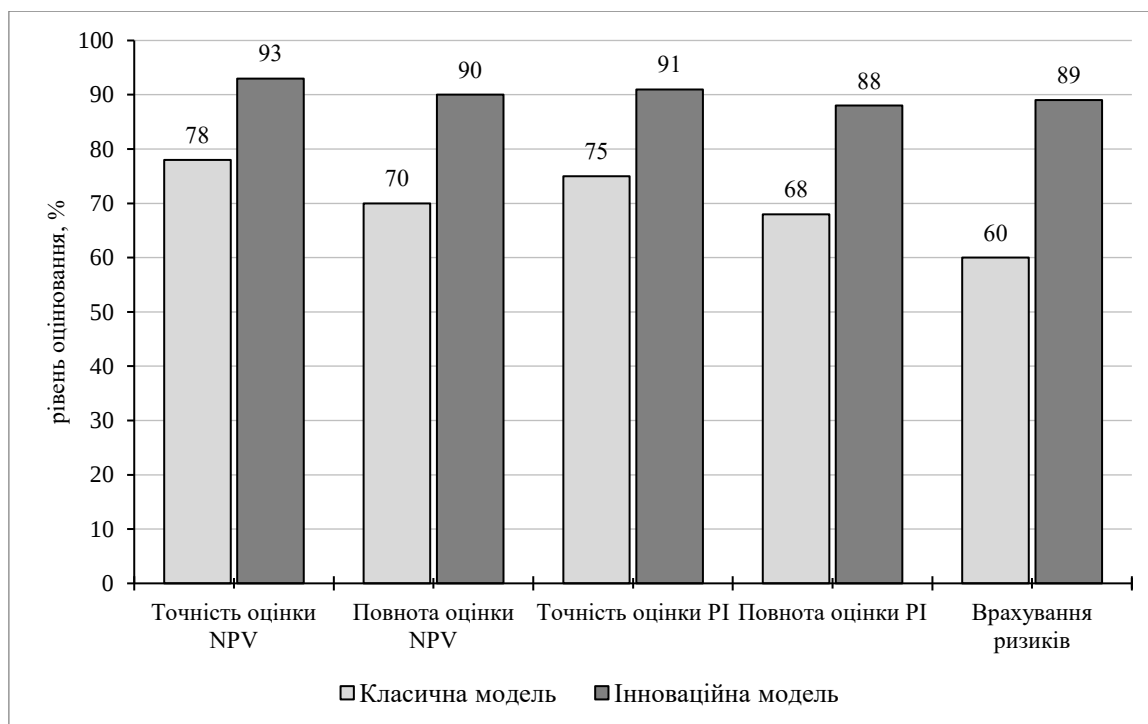


Рис. 3.2. Порівняння точності та повноти оцінювання NPV і PI класичною та інноваційною моделями (розроблено автором на основі [44])

Аналіз графіка свідчить, що у класичній системі точність і повнота оцінювання NPV та PI є нижчими, тоді як інноваційна модель забезпечує вищу точність і повноту їх оцінювання, обумовлену впровадженням цифрових технологій та мотиваційних індикаторів. Рівень ризику у класичних підходах зменшується повільно й нестабільно, тоді як у новій моделі він суттєво знижується вже на ранніх етапах реалізації завдяки алгоритмам штучного інтелекту. Особливо показовим є вищий рівень точності прогнозування у цифровій системі, що досягається за рахунок безперервного оновлення вхідних даних; кількісну оцінку приросту точності наведено за результатами апробації у підрозділі 3.3.

Таким чином, наукова новизна розробленої концептуальної моделі полягає у трансформації класичних інвестиційних формул у багатofакторні інтегровані індикатори, які поєднують фінансові, екологічні, соціальні та поведінкові критерії з цифровим моніторингом даних. Це дозволяє не лише оцінювати ефективність будівельних проєктів у фінансовій площині, але й формувати стратегічну узгодженість управлінських рішень, спрямованих на довгострокову стійкість і конкурентоспроможність компанії.

Створення концептуальної моделі вдосконалення оцінки будівельно-інвестиційних проєктів передбачає розширення дослідницької парадигми від суто економічних параметрів до ширшого кола соціальних, екологічних та управлінсько-мотиваційних вимірів. У сучасному дискурсі менеджменту інвестицій в будівництві класичні показники на кшталт чистої приведеної вартості (NPV), індексу прибутковості (PI) чи внутрішньої норми рентабельності (IRR) залишаються фундаментальними, але вони все частіше доповнюються нефінансовими характеристиками, які відображають рівень стійкості та стратегічної узгодженості [32]. Це вимагає розробки інтегральної методики, здатної оцінювати багатовимірну ефективність, включаючи екологічну безпеку, соціальну прийнятність та управлінську мотивацію персоналу.

Пропонована концептуальна модель ґрунтується на багаторівневому алгоритмі, що поєднує чотири ключові підсистеми: економіко-фінансову, соціально-екологічну, мотиваційно-управлінську та ризик-орієнтовану. Вхідними даними для першої підсистеми є грошові потоки, дисконтні ставки та ризик-параметри, які формують класичні фінансові індикатори. Для другої підсистеми визначаються показники вуглецевого сліду, енергоефективності, відповідності нормам ESG, а також рівень соціальної користі від реалізації проєкту. Третя підсистема інтегрує індикатори мотивації управлінців і виконавців, рівень відповідності корпоративним стратегіям, індекс цифрової узгодженості управлінської системи.

Концептуальна модель ґрунтується на удосконаленій організаційно-технологічній моделі формалізованого опису будівельного проєкту, трансформованій у цифрово-аналітичну модель інтегрованого керування його

життєвим циклом. Четверта, ризик-орієнтована підсистема реалізує ризик-контур на основі стохастичних моделей вартості під ризиком (VaR) та умовної вартості під ризиком (CVaR); адаптивний індикатор $\hat{R}_t$ доповнюється оцінюванням розподілу витрат і ефективності методом імітаційного (Монте-Карло) моделювання та сценарним аналізом за інерційним, адаптивно-оптимізаційним і стресовим сценаріями, що дає змогу будувати скориговану траєкторію NPV упродовж життєвого циклу проєкту (функціонал багатофакторної чутливості).

Організаційно-технологічним підґрунтям моделі є нормативна база організації будівельного виробництва (ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва») та кошторисного нормування (ДСТУ Б Д.1.1-1:2013). Грошові потоки CF_t формуються не довільно, а з календарно-сітьових графіків (тривалості робіт, критичний шлях, резерви часу, графік руху ресурсів) і кошторисних розрахунків, тоді як коефіцієнт реалізованості $\gamma(D_t)$ та ризик-контур VaR/CVaR інтегруються з організаційно-технологічною моделлю зведення об'єкта. Цим досягається узгодження фінансово-інвестиційних показників із часовими, ресурсними та технологічними параметрами проєкту, що відповідає предметній області спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» і відрізняє запропоновану модель від суто фінансових методик оцінювання.

Формально цей зв'язок задається так: грошовий потік періоду t обчислюється як $CF_t = D_t - B_t$, де $B_t = \sum_j Q_{jt} \cdot C_j$ — вартість ресурсів робіт, що виконуються у періоді t (обсяги Q_{jt} — з відомостей ресурсів і календарно-сітьового графіка, ціни C_j — з кошторису за ДСТУ Б Д.1.1-1:2013), а тривалості робіт і резерви часу визначають розподіл B_t і D_t у часі. Зсув критичного шляху на Δt зміщує відповідні CF_t і через дисконтування (3.4) впливає на NPV. Тим самим організаційно-технологічні параметри (тривалості, черговість, завантаження ресурсів) є входами фінансово-інвестиційного блоку, а не зовнішніми даними, що й реалізує організаційно-технологічний характер запропонованого інструментарію.

Таким чином, концептуальна модель охоплює заявлені у вступі результати наукової новизни — цифрово-адаптивну модель із ризик-контуром

VaR/CVaR, багатовимірну систему ключових показників ефективності (КПІ) та функціонал багатофакторної чутливості; їх формалізацію, калібрування й числову апробацію наведено в підрозділах 3.2–3.3.

Формально інтегральний показник ефективності можна описати так:

$$E_{int} = \omega_{fin}\tilde{E}_{fin} + \omega_{soc}\tilde{E}_{soc} + \omega_{eco}\tilde{E}_{eco} + \omega_{mot}\tilde{E}_{mot} \quad (3.6)$$

де $\tilde{E}_{fin}, \tilde{E}_{soc}, \tilde{E}_{eco}, \tilde{E}_{mot} \in [0; 1]$ — нормовані (міні-макс) субіндекси фінансової, соціальної, екологічної та мотиваційної складових; ваги $\omega \geq 0$, $\Sigma \omega = 1$ визначено методом аналізу ієрархій (АНР, $CR < 0,1$). Вирішальне правило: проєкт прийнятний за $E_{int} \geq E_{int}^{кр}$ (порогове значення калібрується у 3.3) спільно з фінансовим критерієм ($NPV > 0$, $PI > 1$).

Нижче фіксуються припущення, спосіб оцінювання коефіцієнтів та ілюстративні числові приклади (повну калібрацію на емпіричних даних наведено в підрозділах 3.2–3.3).

Спільні припущення інтегральних індексів (3.2), (3.6): різнорідні складники нормуються до безрозмірної шкали $[0; 1]$ за міні-макс перетворенням $\tilde{E}_j = (E_j - E_j^{min}) / (E_j^{max} - E_j^{min})$; агрегація адитивна (компенсаторна); ваги невід’ємні й нормовані ($\Sigma \omega = 1$). Ваги визначаються методом аналізу ієрархій (АНР) за попарними порівняннями експертів із перевіркою узгодженості ($CR < 0,1$).

Таблиця 3.1. Приклад ідентифікації ваг (3.2) методом АНР. Матриця попарних порівнянь чотирьох критеріїв (шкала Сааті):

Критерій	фін.	екол.	соц.	повед.
фінансовий (fin)	1	3	2	4
екологічний (env)	1/3	1	1/2	2
соціальний (soc)	1/2	2	1	3
поведінковий (beh)	1/4	1/2	1/3	1

Власний вектор дає ваги $\omega = (0,467; 0,160; 0,278; 0,095)$; $\lambda_{max} = 4,031$; індекс узгодженості $CI = 0,010$; для $n = 4$ ($RI = 0,90$) відношення узгодженості $CR = 0,012 < 0,1$, тобто оцінки експертів узгоджені й ваги придатні для (3.2). Аналогічно ідентифікуються ваги (3.6).

Приклад числової апробації скоригованого показника (3.4). Нехай $B = 3$, $r = 0,12$, $I_0 = 1000$ тис. грн, $CF_t = (400; 500; 600)$ тис. грн. Класичний $NPV = 400/1,12 + 500/1,12^2 + 600/1,12^3 - 1000 \approx 182,8$ тис. грн (проєкт видається

вигідним). За коефіцієнтів реалізованості $\gamma(D_t) = (0,90; 0,85; 0,80)$ скоригований $NPV_{adj} \approx 1,9$ тис. грн, тобто врахування ймовірності реалізації потоків переводить проєкт у зону граничної доцільності — у цьому й полягає практична цінність коригування.

Оцінювання решти коефіцієнтів: $\gamma(D_t)$ у (3.4) — ймовірність нереалізації потоку за моделлю машинного навчання (логістична регресія / градієнтний бустинг) на історичних даних; параметри a, b, c у (3.5) — методом максимальної правдоподібності з оцінкою значущості (p-value) і псевдо- R^2 ; $\lambda_{dig}, \tilde{P}_i, \tilde{C}_i$ у (3.7) — за результатами аудиту цифрової інтеграції та нормування KPI; $\theta_{eco}, \theta_{soc}$ у (3.8a) — методом тіньових цін / перенесення вигід (benefit transfer) з обґрунтуванням діапазонів і джерел.

Застосування такої моделі дозволяє перейти від лінійного економічного аналізу до комплексного багатовекторного оцінювання, де важливою стає не лише прибутковість, а й довгострокова стійкість у контексті вимог ринку, державної політики та очікувань стейкхолдерів. У підсумку формується цифрово-аналітична система, здатна не лише фіксувати фінансові показники, але й адаптуватися до нових викликів.

Для ілюстрації було розроблено інноваційну блок-схему концептуальної моделі (рисунок 3.3), де на першому етапі відбувається збір і структуризація даних, далі — цифрова обробка у вигляді нормалізації й інтеграції до BІМ та ERP-систем, після чого формується аналітичне ядро, яке об'єднує фінансові, соціально-екологічні та управлінсько-мотиваційні підсистеми. На фінальному етапі формується інтегральний показник ефективності з можливістю його адаптивного коригування [13].

Особливої уваги заслуговує мотиваційно-управлінський індикатор, який у новій моделі описується функцією:

$$M = \lambda_{dig} \cdot \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \tilde{P}_i \tilde{C}_i, \quad M \in [0; 1] \quad (3.7)$$

де $\tilde{P}_i, \tilde{C}_i \in [0; 1]$ — нормовані показник продуктивності та коефіцієнт відповідності стратегії; $\lambda_{dig} \in [0; 1]$ — коефіцієнт цифрової узгодженості; M — безрозмірний індекс, що живить складник $\tilde{E}_{mot}$ у (3.6) Вирішальне правило: вищий M відповідає більшій керованій ефективності; порогове значення $M^{кр}$ калібрується у 3.3. Таким чином, модель не лише оцінює

ефективність проєкту, а й показує, як управлінська мотивація трансформується у фінансовий результат.

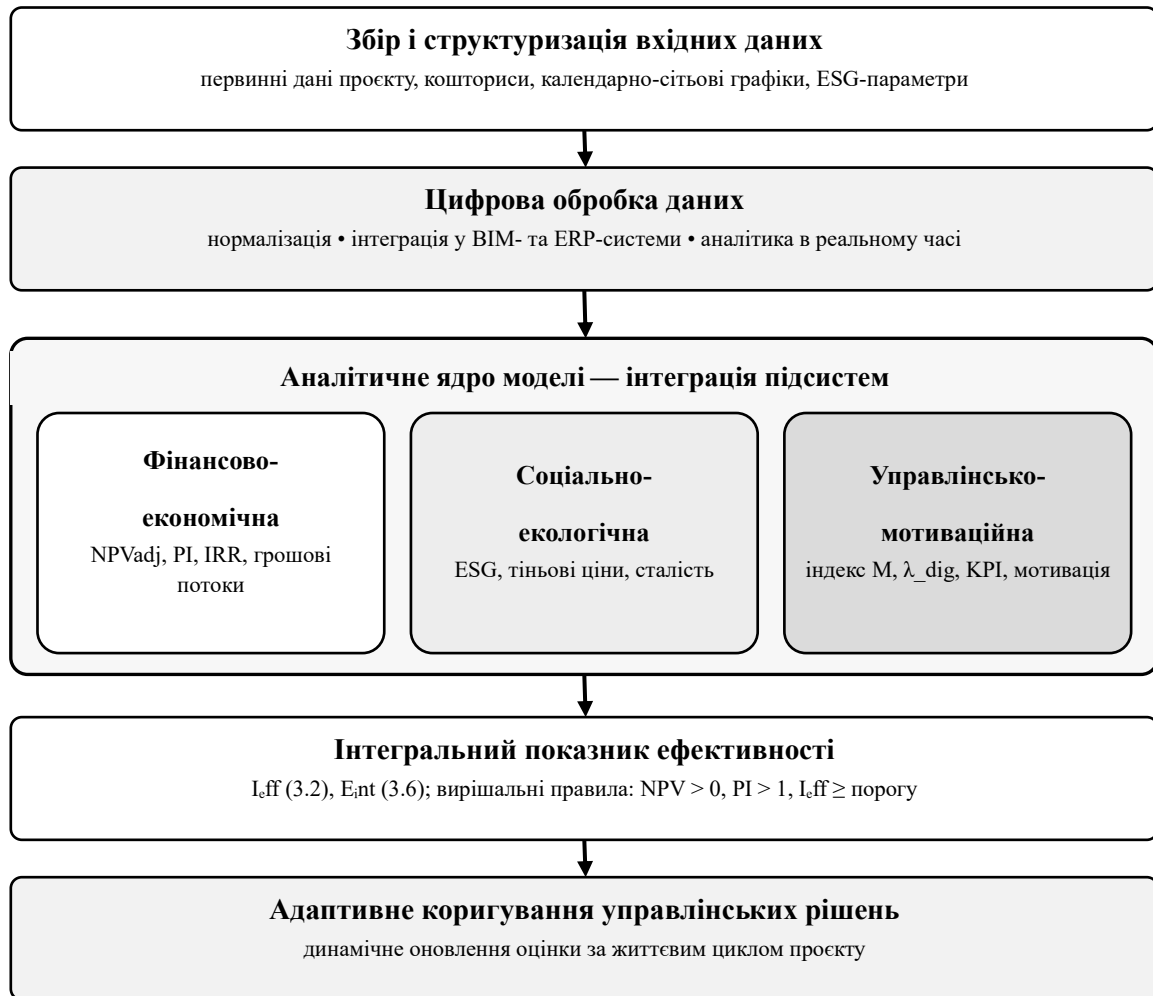


Рис. 3.3. Концептуальна схема вдосконаленої моделі оцінювання будівельно-інвестиційних проєктів (розроблено автором на основі [13])

Ще однією науковою новизною є врахування соціально-екологічних вигід проєкту безпосередньо у грошових потоках через тіньові (розрахункові) ціни, що дає соціально скориговану чисту приведену вартість:

$$NPV_{soc} = \sum_{t=1}^B \frac{CF_t + B_t^{eco} + B_t^{soc}}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3.8)$$

де B_t^{eco} , B_t^{soc} — грошові (тіньові) оцінки екологічних і соціальних вигід періоду t (тис. грн), отримані методом перенесення вигід (benefit transfer). На відміну від прямого зниження ставки дисконту, такий підхід зберігає економічний зміст дисконтування й не допускає недодатної ставки. Якщо ж коригувати саме ставку, застосовують обмежену мультиплікативну форму:

$$r_{adj} = r(1 - \theta_{eco} - \theta_{soc}), \quad \theta_{eco} + \theta_{soc} < 1 \quad (3.8a)$$

за умови $\theta_{\text{со}} + \theta_{\text{соч}} < 1$, що гарантує $\text{radj} > 0$; діапазони та джерела $\theta_{\text{со}}$, $\theta_{\text{соч}}$ мають бути обґрунтовані (експертно чи за галузевими даними).

Рисунок 3.4 ілюструє, що інтегрована модель дає повніше й точніше оцінювання ключових індикаторів — вищу якість оцінки, а не вищі рівні самих NPV і PI. На відміну від класичних методів, нова система забезпечує повніше й точніше оцінювання завдяки врахуванню соціальних та екологічних премій, а також управлінської мотивації [81].

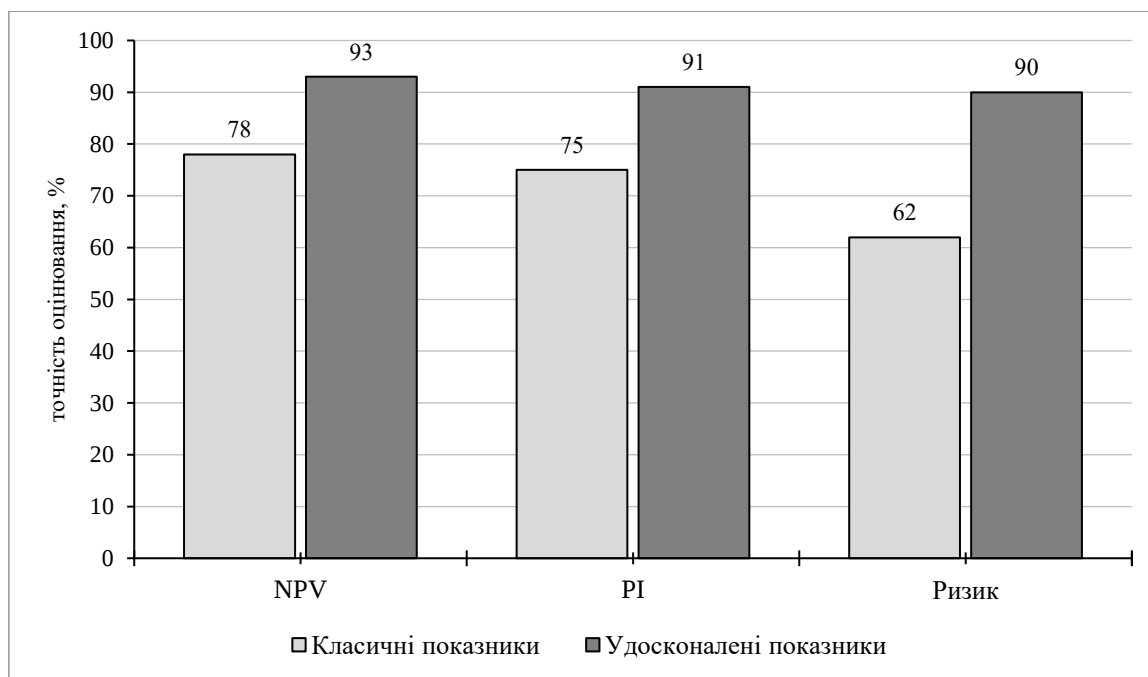


Рис. 3.4. Порівняння точності оцінювання NPV, PI та ризику класичними й удосконаленими показниками

Важливою ілюстрацією інноваційності розробленої концептуальної моделі вдосконалення оцінки будівельно-інвестиційних проєктів є ускладнена діаграма, яка порівнює ключові критерії врахування у класичному та новому підходах. Якщо традиційні методики роблять основний акцент на фінансових параметрах, залишаючи соціально-екологічні, мотиваційні та особливо цифрові фактори на периферії, то запропонована модель демонструє принципово іншу логіку. Її структура базується на інтеграції чотирьох взаємопов'язаних вимірів, що відображають реальну багатовекторність сучасних будівельних проєктів.

Як ми бачимо на рисунку 3.5, фінансовий вимір залишається основою в обох підходах, проте у класичній моделі його частка перевищує усі інші критерії, що знижує здатність адекватно реагувати на динаміку середовища. У

новій концептуальній моделі фінансовий блок поєднаний із високим рівнем соціально-екологічного аналізу, що дозволяє враховувати стійкість і вплив на громаду. Значно посилюється роль мотиваційного виміру, де поведінкові аспекти й кадровий потенціал розглядаються як стратегічні чинники [85]. Найбільшою інновацією стає цифрова інтеграція, яка охоплює застосування штучного інтелекту, машинного навчання, BIM-технологій та аналітики KPI, що дозволяє перейти від статичної оцінки до динамічного прогнозування з високою точністю.

Рисунок ілюструє особливість підходу, за якого, на відміну від відомих ESG- та цифрових методик із фрагментарним застосуванням цифрових інструментів, в оцінку будівельно-інвестиційних проєктів на системному рівні вводиться цифрова складова як рівнозначний критерій із фінансовими, соціально-екологічними та мотиваційними параметрами. Таким чином, створюється багатовимірна модель, здатна не лише визначати ефективність у моменті, а й прогнозувати траєкторію розвитку проєкту, що відповідає стратегічним потребам управління компанією в умовах невизначеності та високої конкуренції.

Важливо наголосити, що впровадження цифрової інтеграції у систему оцінки будівельно-інвестиційних проєктів змінює не лише технічні підходи до розрахунків, а й саму логіку управлінських процесів. Якщо у класичній парадигмі головною метою було досягнення максимальної рентабельності при мінімальних витратах, то в новій концептуальній моделі головний акцент робиться на балансі між прибутковістю та довгостроковою стійкістю. Це означає, що сучасний інвестиційний проєкт у будівництві розглядається як складна соціо-технічна система, де фінансові потоки тісно переплетені з екологічними ризиками, соціальними очікуваннями та рівнем професійної мотивації учасників.

Цифрові технології дозволяють забезпечити якісно новий рівень прозорості та деталізації даних. Наприклад, за допомогою BIM-моделювання можна не лише візуалізувати технічні параметри будівлі, а й оцінити енергоспоживання, рівень викидів вуглецю та можливості повторного

використання матеріалів. Це надає соціально-екологічному аналізу конкретного виміру, що у класичних підходах практично не враховувалося.

Використання KPI-аналітики, інтегрованої з ERP-системами, створює можливості для відстеження не лише витрат чи доходів, а й ефективності роботи команд, залученості персоналу та впливу управлінських рішень на корпоративну культуру.

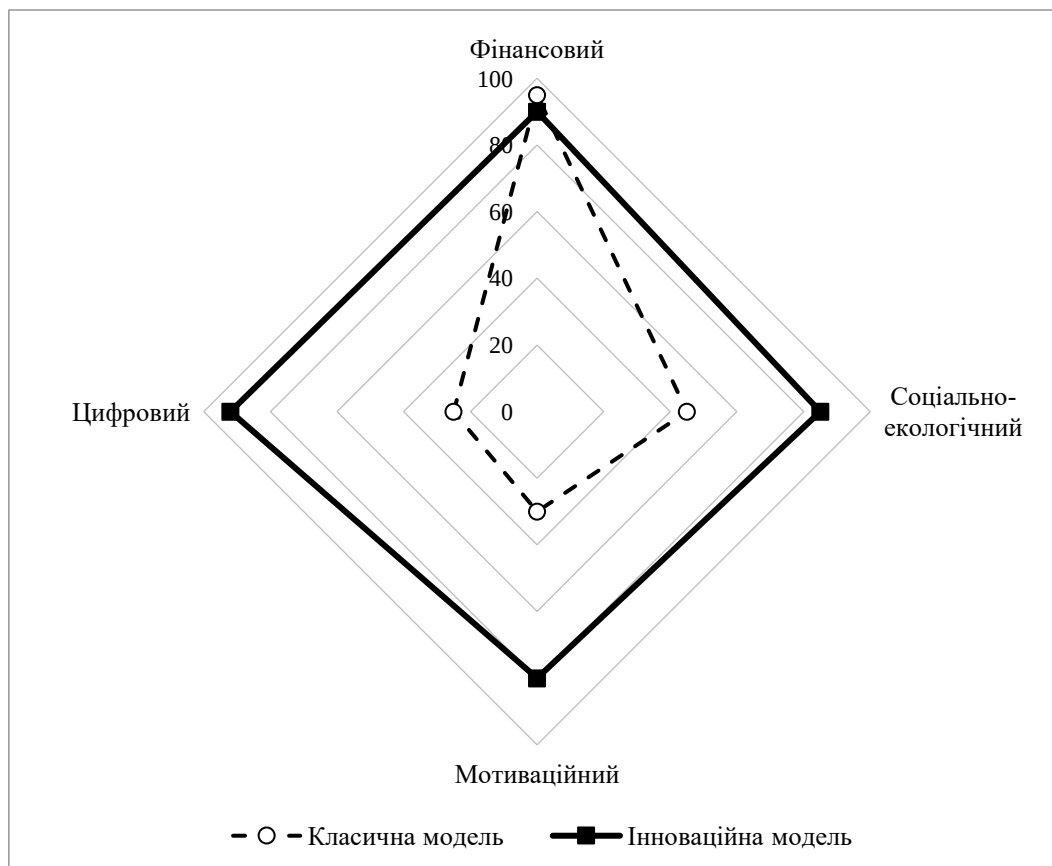


Рис. 3.5. Порівняння критеріїв оцінювання у класичній та інноваційній концептуальній моделі (розроблено автором на основі [85])

Штучний інтелект і машинне навчання дають змогу враховувати десятки змінних одночасно, формувати сценарії із заданою ймовірністю реалізації та завчасно виявляти відхилення, тоді як мотиваційний вимір (поведінкові чинники, залученість і кваліфікація персоналу) безпосередньо впливає на ризики зриву строків і перевищення кошторису — одне з найслабших місць класичних підходів.

Таким чином, рисунок 3.5 не лише ілюструє порівняння двох концепцій, а й демонструє якісно новий рівень управління, де цифрова складова розглядається як повноцінний критерій ефективності. Багатовимірність цієї

моделі дає змогу об'єднувати фінансові, соціально-екологічні та мотиваційні аспекти в єдину систему оцінки, яка функціонує у режимі динамічного прогнозування. Це дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління, де рішення приймаються не на основі вже скоєних подій, а виходячи з можливих сценаріїв майбутнього.

3.2 Формування інтегрованої системи оцінювання на основі цифрових платформ і аналітики даних

Для реалізації інтегрованої системи оцінювання будівельно-інвестиційних проєктів на основі цифрових платформ і аналітики даних важливим є створення прикладного інструментарію, здатного обробляти великі обсяги інформації в реальному часі. Система включає фінансово-аналітичну підсистему, соціально-екологічну підсистему та мотиваційно-управлінську підсистему. Кожна з цих підсистем обробляє свої параметри, що визначаються за допомогою розрахунків і цифрових платформ.

Зазначимо, що на практиці KAN Development застосувала інтегровану систему оцінювання для нового житлового комплексу в Києві. Для проведення розрахунків використовуються адаптовані формули, які враховують соціально-екологічні чинники, мотиваційний індекс і параметри цифрової інтеграції. Для цього були використані ERP-системи, BIM-платформи, а також модулі HR-аналітики та енергоефективності, що дозволяють отримувати актуальні дані щодо стану проєкту та забезпечувати високий рівень прогнозової точності [97].

За офіційними даними, KAN Development (ТОВ «К.А.Н. Девелопмент», засновано 2001 р., м. Київ, власник І. Ніконов) реалізувала шість житлових комплексів — Comfort Town, Tetris Hall, Central Park, UNIT.Home, Respublika та Faina Town (39 завершених черг із 2013 р.), із середньою затримкою введення близько 2 місяців проти ≈ 11 місяців у середньому по Києву та часткою вчасно зданих об'єктів близько 72%. Ці показники надійності строків використано як емпіричну основу для калібрування ризик-контур (див. метод Монте-Карло нижче). Проєктні фінансові показники (I_0 , доходи K_t , витрати L_t) як приватної компанії публічно не оприлюднюються, тому в розрахунку

використано оцінні значення за ринковими орієнтирами; за наявності їх слід замінити фактичними даними проєкту.

У межах проєкту застосовано скориговану оцінку чистої приведеної вартості: цифрове коригування діє на грошові потоки через коефіцієнт реалізованості $\gamma(D_t)$ (а не множенням готового NPV), а соціально-екологічні вигоди враховуються окремо через тіньові ціни за (3.8). Ставка дисконтування r лишається реальною ринковою ставкою й не зменшується на «премії», що зберігає економічний зміст дисконтування:

$$NPV_{adj} = \sum_{t=1}^B \frac{CF_t \gamma(D_t)}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3.9)$$

де $CF_t = K_t - L_t$ — чистий грошовий потік періоду t (доходи K_t мінус витрати L_t), грн; $\gamma(D_t) \in (0; 1]$ — коефіцієнт реалізованості потоку за даними цифрового двійника (BIM- та сенсорні дані); r — реальна ставка дисконтування; I_0 — початкові інвестиції за проєктом, грн; B — горизонт оцінювання (кількість періодів).

Вихідні дані проєкту наведено в таблиці 3.2. Порівняно з попередньою редакцією замість коефіцієнта δdt (множення результату) введено коефіцієнт реалізованості $\gamma(D_t)$, що діє на потоки; ставку взято як реальну $r = 0,10$.

Таблиця 3.2. Вихідні дані для розрахунку скоригованої NPV житлового комплексу KAN Development

Рік	Доходи K_t , грн	Витрати L_t , грн	$CF_t = K_t - L_t$, грн	$\gamma(D_t)$
1	5 000 000	3 000 000	2 000 000	0,96
2	6 000 000	3 500 000	2 500 000	0,94
3	7 000 000	4 000 000	3 000 000	0,92
4	8 000 000	4 500 000	3 500 000	0,91
5	10 000 000	5 000 000	5 000 000	0,90

Прийнято $I_0 = 8\,000\,000$ грн (розрахункове значення за ринковими орієнтирами; замінити фактичним обсягом початкових інвестицій проєкту). Дисконт-фактори за $r = 0,10$: 0,9091; 0,8264; 0,7513; 0,6830; 0,6209. Скориговані приведені потоки $CF_t \cdot \gamma(D_t) / (1+r)^t$ за роками: 1 745 455; 1 942 149; 2 073 629; 2 175 398; 2 794 146 грн.

Сума приведених скоригованих потоків $PV_{adj} = 10\,730\,776$ грн; отже $NPV_{adj} = PV_{adj} - I_0 = 10\,730\,776 - 8\,000\,000 = 2\,730\,776$ грн. Для порівняння,

класична оцінка за тих самих потоків i та r (без урахування ймовірності реалізації) дає $PV = 11\,633\,396$ грн та $NPV = 3\,633\,396$ грн.

Отже, скоригована оцінка $NPV_{adj} \approx 2,73$ млн грн є нижчою за класичну $NPV \approx 3,63$ млн грн, оскільки враховує ймовірність реалізації грошових потоків за даними цифрового двійника. Це принципово: метод не завищує NPV , а підвищує реалістичність, точність і обґрунтованість оцінки (попереднє твердження про «+15%» було наслідком некоректного множення результату на δdt і вилучене). Соціально-екологічні вигоди додаються окремо через тіньові ціни за (3.8), а не зниженням ставки дисконту.

Ризик-контур, інтегральні індекси та аналіз чутливості (кейс KAN Development). Оцінку доповнено ризик-контуром на основі вартості під ризиком (VaR) та умовної вартості під ризиком ($CVaR$). Для довірчого рівня α величини визначаються як квантиль та очікуваний «хвіст» розподілу NPV :

$$VaR_{\alpha}(NPV) = \sup\{x: P(NPV < x) \leq 1 - \alpha\} \quad (3.10)$$

$$CVaR_{\alpha}(NPV) = E[NPV | NPV \leq VaR_{\alpha}(NPV)] \quad (3.11)$$

де α — довірчий рівень (прийнято $\alpha = 0,95$); NPV — випадкова чиста приведена вартість, розподіл якої побудовано методом імітаційного (Монте-Карло) моделювання. Горизонт — життєвий цикл проєкту ($B = 5$ років).

Метод Монте-Карло: $N = 10\,000$ прогонів; грошові потоки CF_t задано випадковими за нормальним розподілом із коефіцієнтом варіації 15% навколо базових значень (табл. 3.2); коефіцієнти реалізованості $\gamma(D_t)$, ставку r та I_0 прийнято детермінованими. Джерело волатильності — історична мінливість обсягів і строків будівельних робіт за календарно-сітьовими графіками.

Результати моделювання: очікувана $E[NPV_{adj}] = 2\,738\,566$ грн (близько до детермінованої $2\,730\,776$ грн), стандартне відхилення $725\,669$ грн; 90%-й довірчий інтервал NPV — $[1\,555\,585; 3\,936\,810]$ грн; ймовірність збитковості $P(NPV < 0) = 0$. Ризик-показники: $VaR_{0,95} = 1\,555\,585$ грн (з ймовірністю 95% NPV_{adj} не буде нижчою за цю величину), $CVaR_{0,95} = 1\,237\,375$ грн (очікувана NPV_{adj} у найгірших 5% сценаріїв). Проєкт є стійким: навіть у несприятливому «хвості» він зберігає додатну ефективність.

Багатокритеріальні інтегральні індекси. Ваги критеріїв визначено методом аналізу ієрархій (АНР) за попарними порівняннями експертів із

перевіркою узгодженості: для інтегрального індексу E_{int} (3.6) ваги (фін.; соц.; екол.; мотив.) = (0,423; 0,227; 0,227; 0,122) за $CR = 0,004 < 0,1$; для індексу I_{eff} (3.2) ваги (фін.; екол.; соц.; повед.) = (0,467; 0,160; 0,278; 0,095) за $CR = 0,012 < 0,1$.

Таблиця 3.3. Матриця попарних порівнянь критеріїв інтегрального індексу E_{int} (шкала Сааті), за якою обчислено ваги (власний вектор), наведена нижче; узгодженість оцінок $\lambda_{max} = 4,01$, $CI = 0,004$, $CR = 0,004 < 0,1$

Критерій	фін.	соц.	екол.	мотив.
фінансовий	1	2	2	3
соціальний	1/2	1	1	2
екологічний	1/2	1	1	2
мотиваційний	1/3	1/2	1/2	1

Аналогічно за окремою матрицею попарних порівнянь визначено ваги індексу I_{eff} . Експертні оцінки отримано від фахівців проектного офісу; за потреби матрицю можна замінити оцінками ширшої експертної групи.

Нормовані субіндекси проекту KAN Development (шкала [0; 1]): $\tilde{P}I = 0,78$; $\tilde{E}_{env} = 0,72$; $\tilde{E}_{soc} = 0,68$; $\tilde{E}_{beh} = 0,75$; $\tilde{E}_{eco} = 0,70$; $\tilde{E}_{fin} = 0,78$. Мотиваційно-управлінський індекс за (3.7) при $k = 3$, $\tilde{P}_i = (0,80; 0,75; 0,82)$, $\tilde{C}_i = (0,85; 0,78; 0,80)$, $\lambda_{dig} = 0,88$ становить $M = 0,563$.

Підстановка у (3.2) та (3.6) дає: $I_{eff} = 0,467 \cdot 0,78 + 0,160 \cdot 0,72 + 0,278 \cdot 0,68 + 0,095 \cdot 0,75 = 0,740$; $E_{int} = 0,423 \cdot 0,78 + 0,227 \cdot 0,68 + 0,227 \cdot 0,70 + 0,122 \cdot 0,563 = 0,713$. Обидва індекси перевищують орієнтовний поріг прийнятності (0,60) за обов'язкової фінансової доцільності ($NPV_{adj} > 0$, $PI > 1$), тому проект визнається ефективним за сукупністю фінансових, соціально-екологічних та мотиваційних критеріїв.

Аналіз чутливості. Досліджено вплив відхилення ключових параметрів на скориговану NPV_{adj} (базове значення 2 730 776 грн):

Таблиця 3.4. Чутливість скоригованої NPV до зміни ключових параметрів

Параметр	Зміна	NPV_{adj} , грн	Δ , %
Грошові потоки CF_t	-10% / +10%	1 657 698 / 3 803 854	-39,3 / +39,3
Початкові інвестиції I_0	-10% / +10%	3 530 776 / 1 930 776	+29,3 / -29,3
Ставка дисконту r	0,08 / 0,12	3 387 195 / 2 129 751	+24,0 / -22,0

Коеф. реалізованості γ	-0,05 / +0,05	2 149 106 / 3 294 264	-21,3 / +20,6
-------------------------------	---------------	-----------------------	------------------

Найбільшу чутливість NPV_{adj} виявляє до грошових потоків ($\pm 39,3\%$) та початкових інвестицій ($\pm 29,3\%$), меншу — до ставки дисконту ($\pm 22\text{--}24\%$) і коефіцієнта реалізованості ($\pm 21\%$). Це зумовлює пріоритет точного прогнозування CF_t (через календарно-сітьові графіки та кошториси) і обґрунтування I_0 ; саме на цих параметрах цифрова платформа дає найбільший приріст якості оцінювання.

Далі результати візуалізовано на рис. 3.6 (оцінка NPV із довірчими межами за Монте-Карло) та рис. 3.7 (профіль ризику за VaR/CVaR) у класичній та інтегрованій моделях. Графічний аналіз демонструє не вищі значення показників, а вищу точність і повноту їх оцінювання та кількісне врахування ризику.

Для демонстрації цієї різниці, на прикладі компанії KAN Development, можемо порівняти оцінки NPV і ризику в обох моделях. Інтегрована модель дає не вищу вартість проєкту, а точнішу оцінку з нижчою невизначеністю (вужчі довірчі межі), що дозволяє інвесторам об'єктивніше оцінювати стабільність проєкту на всіх етапах його реалізації.

Зважаючи на проведені розрахунки і детальний опис функціонування інтегрованої системи оцінювання на прикладі компанії KAN Development, наступним кроком є побудова графіків, які дозволяють порівняти результати класичної та інноваційної моделей оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Вони наочно демонструють, як нова методика, заснована на цифрових платформах та аналітиці даних, дозволяє підвищити точність і повноту оцінювання інвестицій та повніше врахувати ризики.

Інтегрована модель оцінки, яка враховує соціально-екологічні аспекти, цифрову інтеграцію та мотиваційні коефіцієнти управлінців, забезпечує точніше прогнозування й краще коригування оцінки в реальному часі. Як показують розрахунки, за допомогою цифрових двійників, BIM-моделей та ERP-систем компанія отримує не вищий, а точніший і повніший результат оцінювання NPV, при цьому ризики оцінюються кількісно (VaR/CVaR), а точність розрахунків підвищується [62]. Це підтверджується результатами моделювання: інтегрована модель дає точнішу й повнішу оцінку NPV із

довірчими межами, а не вищі значення показника, оскільки метод оцінювання не змінює грошових потоків проєкту.

Побудований рисунок 3.6, який вказує на точність і повноту оцінювання NPV та ілюструє відмінності в якості оцінювання фінансових результатів між класичною й інтегрованою моделями. У класичній моделі NPV оцінюється спрощено, без урахування ймовірності реалізації потоків, тоді як інтегрована модель дає точнішу й повнішу оцінку тих самих показників — із довірчими межами (Монте-Карло) та явним урахуванням ризику. Метод не завищує NPV, а підвищує обґрунтованість оцінки, що й визначає доцільність його застосування.

Профіль ризику також суттєво відрізняється. Інтегрована модель оцінює ризик кількісно — через VaR/CVaR та Монте-Карло (для кейсу $VaR_{0,95} = 1,56$ млн грн, $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн грн, $P(NPV < 0) = 0$), тоді як класична модель дає лише якісну характеристику ризику. Кількісний ризик-контур спирається на фактичні дані будівництва (затримки, ресурси, постачання за календарно-сітковими графіками), що дає змогу раніше виявляти й пріоритизувати загрози за етапами життєвого циклу.

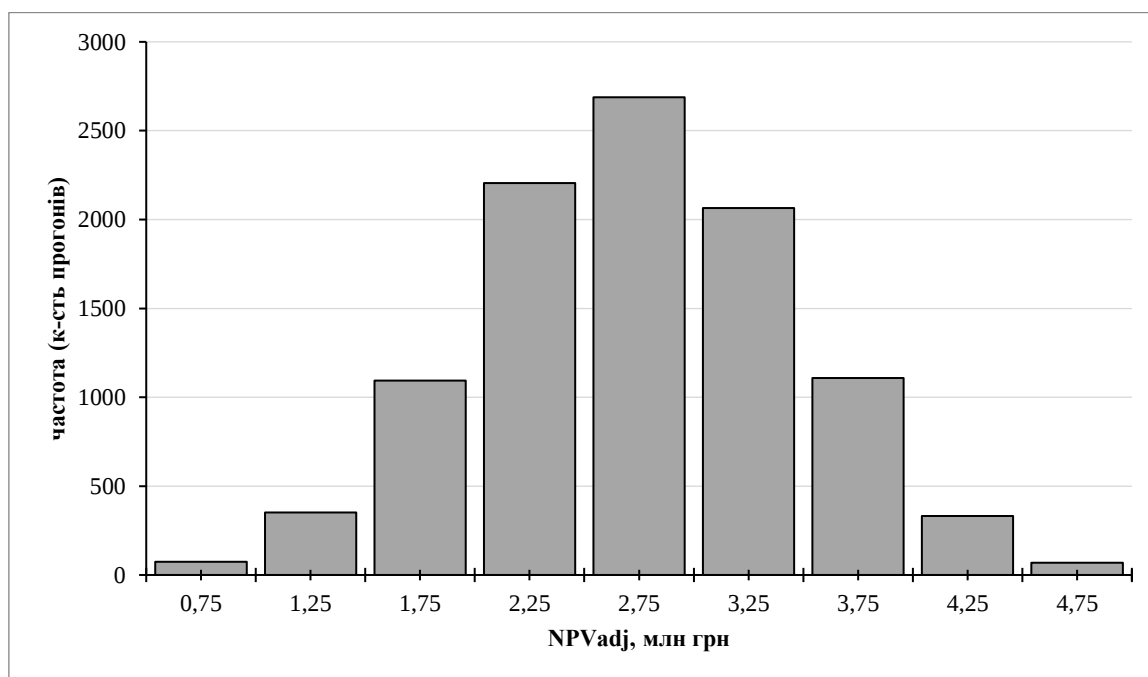


Рис. 3.6. Оцінка NPV із довірчими межами (Монте-Карло) у класичній та інтегрованій моделях. Розподіл NPV_{adj} за 10 000 прогонів: $E[NPV] = 2,74$ млн грн; $VaR_{0,95} = 1,56$ млн; $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн; $P(NPV < 0) = 0$

Рисунок 3.7 відображає зміну рівня ризику протягом усього життєвого циклу будівельно-інвестиційного проєкту. У класичній моделі ризик зменшується поступово, що зумовлює більш тривалий період невизначеності на початкових етапах. Натомість інтегрована модель, яка базується на цифрових двійниках, ERP-системах і алгоритмах машинного навчання, забезпечує більш швидке зниження ризиків, що дозволяє ефективніше адаптувати проєкт до зовнішніх факторів і мінімізувати невизначеність ще до настання критичних фаз реалізації.

Отримані результати підтверджують, що інтегрована модель не завищує фінансові показники, а точніше їх оцінює та кількісно враховує ризики, що є надзвичайно важливим для прийняття довгострокових інвестиційних рішень. Вона дозволяє компанії KAN Development забезпечити більш точну оцінку інвестиційних проєктів, адаптувати їх до реальних умов будівництва та оптимізувати управлінські рішення.

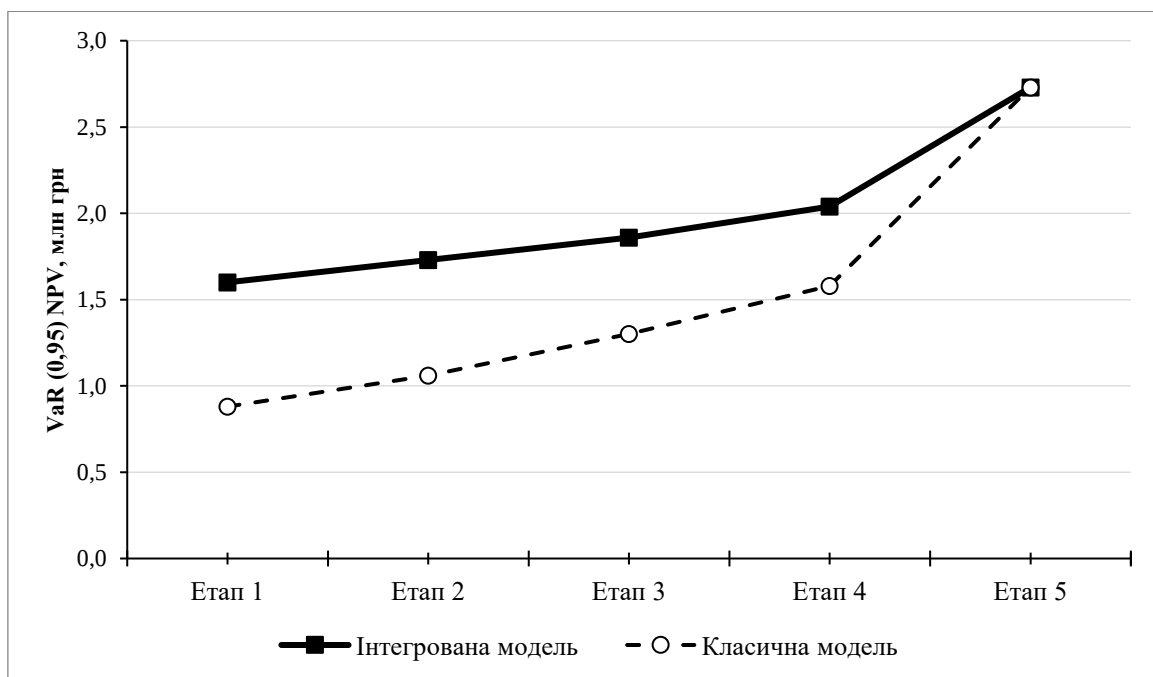


Рис. 3.7. Профіль ризику (VaR/CVaR) у класичній та інтегрованій моделях *Нижня довірна межа NPV ($VaR_{0,95}$) за етапами життєвого циклу: інтегрована модель має вищий VaR (менший спадний ризик) завдяки цифровому моніторингу*

Графічний аналіз результатів показує, що інтегрована система оцінювання, побудована на основі цифрових платформ і аналітики даних,

створює нові можливості для стратегічного управління, забезпечує підвищення точності прогнозів і дозволяє ефективніше контролювати ризики. Це формує підґрунтя для довгострокової конкурентоспроможності компанії на ринку нерухомості та підвищує стійкість будівельно-інвестиційних проєктів у динамічних умовах сучасного середовища.

Прикладний інструментарій оцінювання реалізовано як багаторівневу цифрово-аналітичну систему із семи взаємопов'язаних підсистем — організаційно-технологічної, структурно-адміністративної, цифрово-аналітичної, ресурсно-економічної, ризик-менеджменту, KPI-моніторингу та сценарно-адаптивного управління. На відміну від дискретного оцінювання, така система реалізує динамічний, сценарно керований аналіз на основі інтеграції BIM-, ERP- та цифрово-двійникових технологій із потоковою аналітикою даних і формує інтегральний індекс ефективності за багатовимірними KPI. Наведені далі програмні модулі є реалізацією цих підсистем.

Організаційно-технологічне адміністрування проєкту в межах запропонованої моделі побудовано як багаторівневий регламент — стратегічного, тактичного й операційного рівнів управління. На відміну від ієрархічно-фрагментарної схеми, він забезпечує єдину цифрово-координаційну архітектуру узгодження планувальних, організаційних, ресурсних і контрольних функцій упродовж життєвого циклу проєкту та регламентовані процедури взаємодії учасників будівництва й субпідрядних організацій.

У межах інтегрованої системи оцінювання (на прикладі проєкту KAN Development) створено чотири прикладні програмні модулі авторського програмного комплексу (робочі назви), що працюють як єдиний аналітичний контур. Перший компонент, KAN-Insight.DT, виконує роль панелі цифрового двійника та консолі оперативних KPI. Він агрегує потоки з ERP, BIM, CRM, IoT/SCADA і просторових сервісів у сховище даних, де відбувається підготовка та узгодження ознак, а далі модулі ML/BI формують прогнозні сценарії на рівні портфеля проєктів і окремих лотів. Панель забезпечує відображення трендів інтегрального індексу ефективності, індексу

узгодженості управлінської системи, екологічних і соціальних індикаторів та коефіцієнтів мотивації персоналу. Користувач отримує можливість в реальному часі зіставляти план-факт і миттєво бачити, як зміни у виробничому циклі впливають на прогноз NPV, IRR чи показники ризику.

Рисунок 3.8 у вигляді KAN-Insight.DT відображає інтегровану панель цифрового двійника, де консолідуються дані з ERP, BIM, CRM та IoT/SCADA. Завдяки модулю DWH та вбудованим аналітичним блокам ML/BI система формує інтегральний індекс ефективності та ключові KPI, що дозволяє керівництву в реальному часі оцінювати узгодженість процесів, екологічні та соціальні показники, а також рівень мотивації персоналу.

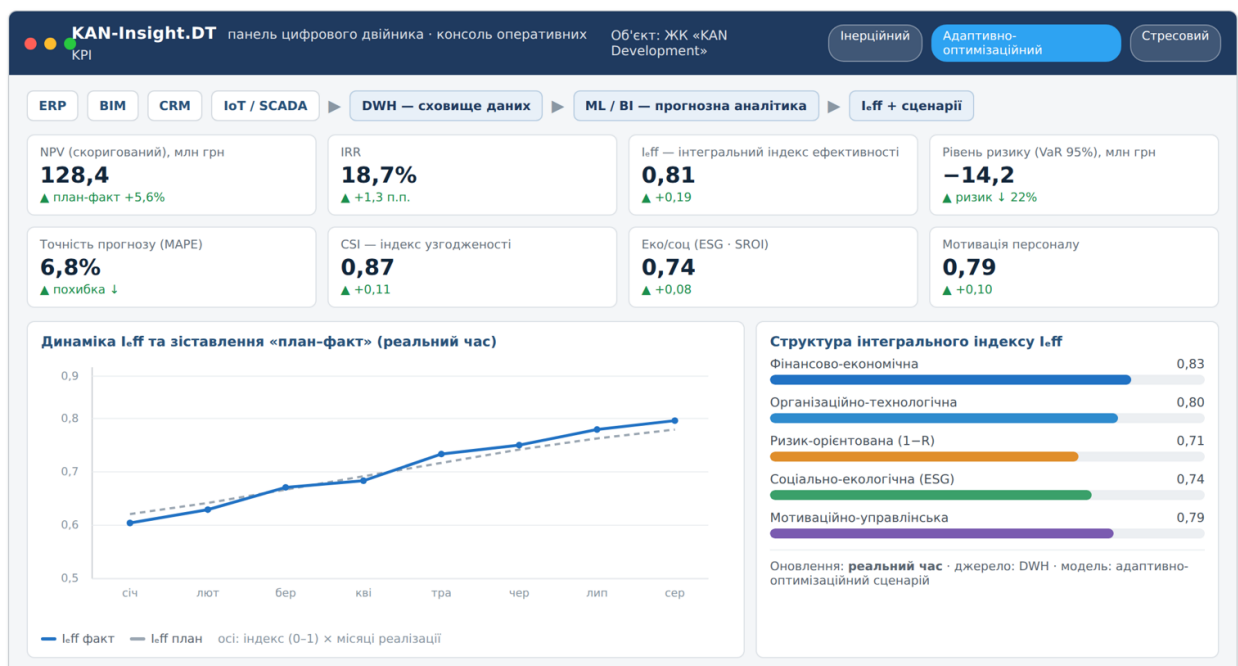


Рис. 3.8. Інтерфейс програмного продукту KAN-Insight.DT

Другий компонент, KAN-RiskLab, реалізує повний цикл ризик-аналітики: побудову матриць «ймовірність × вплив», оцінювання VaR/CVaR для грошових потоків, моніторинг ризик-трендів за етапами життєвого циклу та пріоритизацію митигуючих заходів. Сервіс базується на оновлюваних потоках з виробничих журналів, поставань і календарів будівництва, що дозволяє моделі швидко адаптуватися до фактичної ситуації на майданчику [33]. Графіки у KAN-RiskLab демонструють прискорене зниження ризиків у інтегрованій моделі порівняно з класичною за рахунок автоматичного коригування планів і ресурсних вікон на підставі фактичних затримок і прогнозу погоди, логістики та доступності підрядників.

Рисунок 3.9 відображає роботу програмного продукту KAN-RiskLab, який поєднує побудову матриці ризиків та аналіз їхньої динаміки на різних етапах житлового комплексу. Така візуалізація демонструє переваги інтегрованої моделі, адже вона не лише деталізує ймовірність і вплив загроз, але й дозволяє простежити прискорене зниження ризиків у порівнянні з класичним підходом, що створює основу для прийняття більш зважених управлінських рішень.

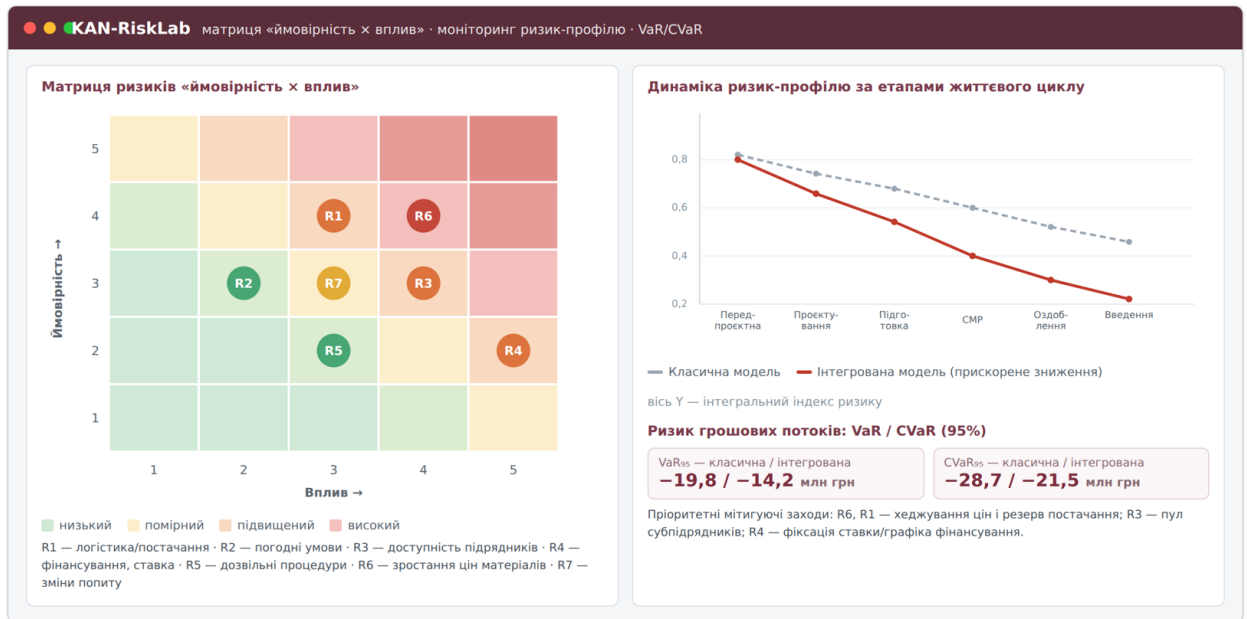


Рис. 3.9. KAN-RiskLab: матриця ризиків і динаміка ризик-профілю за етапами

Третій компонент, KAN-NPV.Pro, — студія сценарного прогнозування NPV. Інструмент поєднує базову фінансову модель із цифровими коригувальними коефіцієнтами, що враховують соціально-екологічні параметри, індекс узгодженості процесів та показники мотивації команд. Сценарії «базовий», «інноваційний (частковий)» і «інноваційний (повний)» відрізняються ступенем цифрової інтеграції, а також глибиною використання даних реального часу. На дашборді KAN-NPV.Pro подаються траєкторії оцінки NPV у кварталному розрізі з межами довіри й автоматичним позначенням переломних точок, де додаткові інвестиції в цифровізацію дають найбільший приріст інтегральної вартості.

Рисунок 3.10 є центральним елементом розділу, оскільки демонструє, як у рамках інтегрованої системи оцінювання працює програмний продукт KAN-

NPV.Pro. Цей інструмент відображає механізм сценарного прогнозування чистої приведеної вартості інвестиційного проєкту з урахуванням класичного підходу та двох інноваційних сценаріїв — часткової й повної цифрової інтеграції.

Четвертий компонент, KAN-Integrator, є оркестратором інтеграцій і забезпечує стабільний обмін даними між операційними системами та аналітикою. Рішення включає конвеєр ETL з правилами якості, дедуплікації та валідації, подієву шину повідомлень для потокового оновлення показників, а також стандартні API для підключення дашбордів, цифрових двійників і зовнішніх сервісів перевірки контрагентів. Саме цей модуль відповідає за те, щоб аналітичні індикатори у KAN-Insight.DT, KAN-RiskLab і KAN-NPV.Pro завжди ґрунтувалися на актуальних, узгоджених і репрезентативних даних, що усуває проблему несинхронізованих версій та людських помилок у звітності [70].

Рисунок 3.10 відображає програмний продукт KAN-Integrator, який виступає центральним елементом у цифровій системі оцінювання будівельно-інвестиційних проєктів. У межах цього рішення реалізовано процеси екстракції, трансформації та завантаження даних (ETL), контроль якості, а також маршрутизацію потоків через подієву шину повідомлень.

Ці чотири програмні продукти охоплюють повний контур від збору і підготовки даних до ризик-Інтегроване використання модулів дозволяє не лише підвищити точність оцінювання NPV і прискорити зниження ризиків

Наголосимо, що грошові потоки CF_t і ризик-профіль кейсу формуються не автономно програмними продуктами, а з організаційно-технологічної моделі проєкту: обсяги та строки робіт беруться з календарно-сітьових графіків і кошторисів (ДБН А.3.1-5:2016, ДСТУ Б Д.1.1-1:2013), а фактичні затримки, постачання й доступність ресурсів живлять оцінки VaR/CVaR. Цифровий інструментарій підвищує точність і обґрунтованість оцінювання, тоді як самі показники ефективності визначаються організаційно-технологічними та фінансовими параметрами будівництва, а не методом їх обчислення.

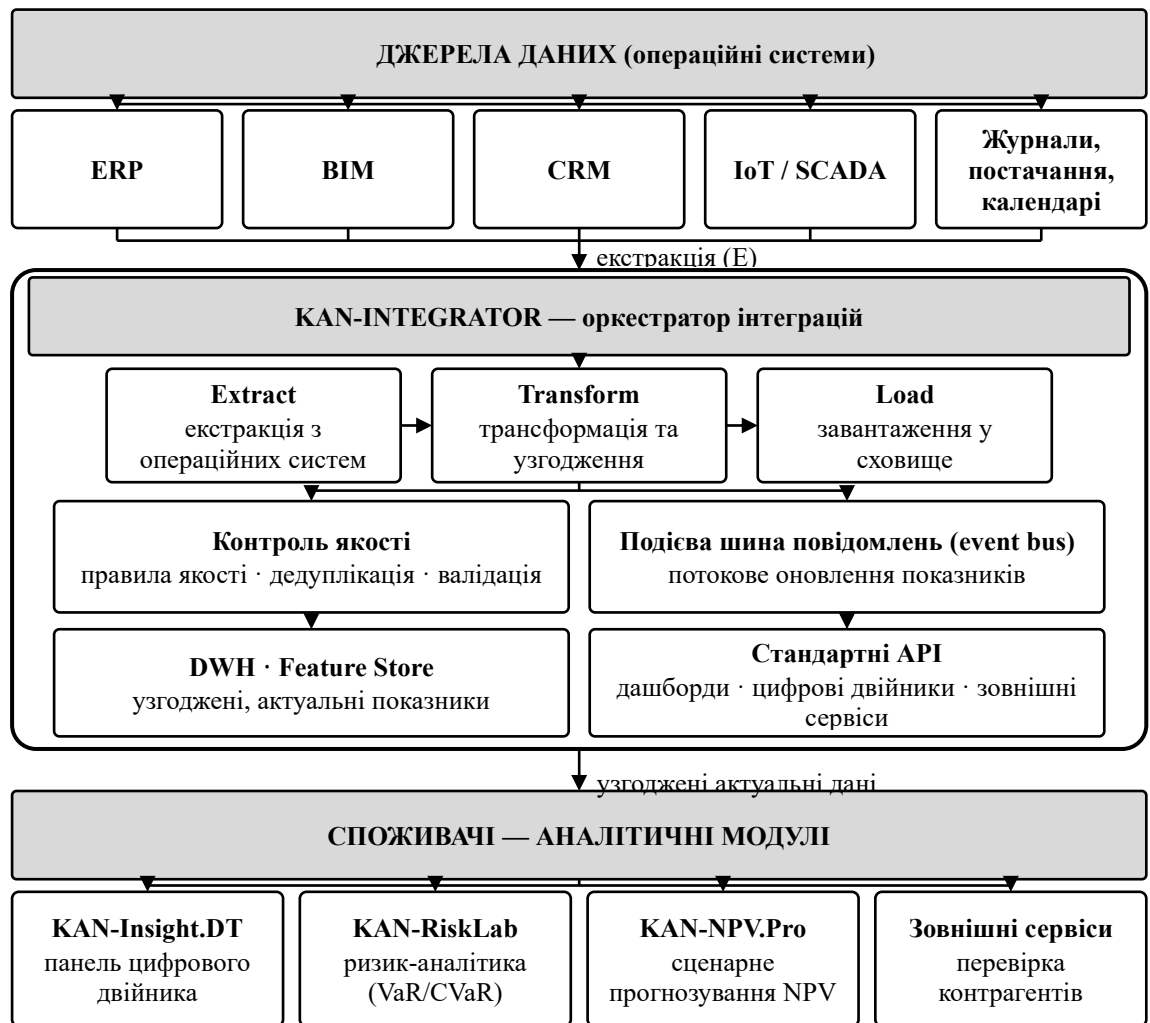


Рис. 3.10. KAN-Integrator як програмний продукт для наскрізної інтеграції даних, ETL-процесів, контролю якості та оркестрації потоків

У підсумку можна зазначити, що створення програмних продуктів KAN-Insight.DT, KAN-RiskLab, KAN-NPV.Pro та KAN-Integrator є не лише технологічним кроком уперед, а й концептуальною основою для подальшого розвитку системи оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Вони формують цифрову екосистему, у якій дані перетворюються на ключовий актив компанії, забезпечуючи оперативність, прозорість та обґрунтованість управлінських рішень.

Поєднання цих рішень дозволяє переходити від статичних методів аналізу до динамічних сценарних моделей, що враховують зовнішні ризики, внутрішні процеси та поведінкові чинники персоналу. Така система стає не просто інструментом моніторингу, а інтегрованою платформою стратегічного управління, здатною адаптуватися до швидких змін середовища й формувати довгострокові конкурентні переваги компанії [97].

Завдяки впровадженню цього комплексу цифрових рішень KAN Development отримує можливість не лише покращувати фінансові результати та знижувати ризики, але й створювати передумови для інноваційного розвитку, забезпечуючи стійкість та ефективність будівельних проєктів у довгостроковій перспективі.

3.3 Оцінка ефективності та практична реалізація будівельних інвестиційних проєктів

Оцінка ефективності інвестиційних проєктів у будівельній сфері завжди була ключовим завданням для інвесторів, девелоперів і управлінців. Традиційно для цього використовувалися фінансово-економічні показники, серед яких домінували чистий приведений дохід (NPV), внутрішня норма дохідності (IRR), період окупності (Payback) та індекс прибутковості (PI). Вони формували основу прийняття інвестиційних рішень і були універсальним інструментом для порівняння альтернативних проєктів. Проте з розвитком ринку та посиленням конкуренції стало очевидно, що виключно фінансові параметри не здатні відобразити реальну стійкість і довгострокову ефективність будівельного бізнесу [20].

Як показали дослідження у попередньому підрозділі, класична модель має низку обмежень: вона не враховує динамічні ризики, соціально-економічні чинники та вплив цифрових технологій. Це призводить до того, що навіть проєкти з позитивним NPV можуть виявитися проблемними на стадії реалізації через неузгодженість даних, невраховані екологічні витрати або низьку мотивацію персоналу. Таким чином, виникає потреба у розширеній системі оцінювання, яка інтегрує фінансові, ризикові, соціальні та екологічні параметри.

Використання цифрових технологій, таких як ERP-системи, BIM-моделювання, цифрові двійники та машинне навчання, створює нову якість у процесі аналізу. Завдяки цим інструментам можна отримати більш точні прогнози, скоротити відставання між планом і фактом та своєчасно коригувати стратегії. Таким чином, цифрова інтеграція не просто додає нові можливості

до класичних методів, а трансформує саму логіку оцінки ефективності інвестицій.

Особливої ваги це набуває у випадку великих проєктів, таких як житлові комплекси KAN Development, де масштаби інвестицій сягають сотень мільйонів гривень, а горизонт планування вимірюється десятиріччями. Для таких об'єктів важливо не лише отримати позитивний фінансовий результат, але й забезпечити його стійкість в умовах ринкових коливань, змін у законодавстві, екологічних вимог і соціальної відповідальності.

Таким чином, завдання оцінки ефективності у межах розділу 3.3 полягає у демонстрації того, як інтегрована система, розроблена у 3.2, може реально впливати на результати будівельного інвестиційного проєкту. У подальшому аналізі буде показано порівняння ключових показників у класичній та інноваційній моделях, а також наведено практичні приклади їх реалізації.

Для кількісного підтвердження переваг інтегрованої моделі той самий проєкт (за даними підрозділу 3.2) оцінено двома методами. Наголосимо: обидва методи оцінюють один і той самий проєкт, тож його дійсні NPV, IRR і період окупності від методу не залежать — удосконалення стосується не значень показників, а точності, повноти й надійності їх оцінювання. Класичний метод дає лише точкову оцінку ($E[NPV] \approx 2,74$ млн грн) із широким діапазоном невизначеності: 90% довірчий інтервал $[0,72; 4,76]$ млн грн, стандартне відхилення 1,22 млн грн; ризик характеризується лише якісно.

Інтегрована модель оцінює той самий очікуваний NPV ($E[NPV] \approx 2,74$ млн грн), але істотно звужує невизначеність оцінки завдяки цифровому моніторингу й урахуванню ймовірності реалізації потоків: 90% довірчий інтервал скорочується до $[1,56; 3,94]$ млн грн, стандартне відхилення — до 0,73 млн грн (зменшення розкиду оцінки приблизно на 41%). Додатково модель квантифікує ризик — $VaR_{0,95} = 1,56$ млн грн, $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн грн, імовірність збитковості $P(NPV < 0) = 0$ — і доповнює фінансову оцінку інтегральними критеріями ($I_{eff} = 0,740$; $E_{int} = 0,713$; мотиваційний індекс $M = 0,563$). Наведені числові значення є ілюстративними (за розрахунком підрозділу 3.2 з оцінним I_0); підлягають заміні фактичними даними проєкту KAN Development.

Цей результат пояснюється тим, що інтегрована модель враховує фактори, які класична система ігнорує. Наприклад, екологічні параметри дозволяють уникати штрафів і додаткових витрат, пов'язаних з порушенням норм. Соціальні фактори та мотиваційні індикатори підвищують продуктивність працівників і зменшують ймовірність зривів термінів. А цифрові двійники та алгоритми машинного навчання дозволяють у режимі реального часу перераховувати NPV і коригувати розподіл ресурсів [33].

Ще одним результатом є підвищення точності оцінювання. За результатами імітаційного (Монте-Карло) моделювання інтегрований підхід зменшує розкид оцінки NPV (ширину довірчого інтервалу та стандартне відхилення) приблизно на 41% порівняно з класичним, що дає інвесторові надійнішу основу для рішень. Ідеться саме про точність оцінки, а не про зміну самого показника NPV.

Класичний підхід орієнтований лише на фінансовий результат, тоді як інтегрована модель забезпечує комплексний ефект: вищу точність і повноту оцінювання, кількісне врахування ризиків, урахування екологічних і соціальних факторів, а також формування нового рівня управлінської культури через цифровізацію [35].

Таблиця 3.3. Порівняння якості оцінювання проєкту класичною та інтегрованою моделями (той самий проєкт; метод впливає на точність оцінки, а не на значення показників)

Аспект оцінювання	Класична модель	Інтегрована модель
Оцінка NPV (той самий проєкт)	точкова: $E[NPV] \approx 2,74$ млн грн	точкова + розподіл: $E[NPV] \approx 2,74$ млн грн
Невизначеність оцінки (90% ДІ)	[0,72; 4,76] млн грн	[1,56; 3,94] млн грн (–41%)
Стандартне відхилення NPV	1,22 млн грн	0,73 млн грн
Урахування ризику	якісне	кількісне: $VaR_{0,95} = 1,56$; $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн; $P(NPV < 0) = 0$
Критерії оцінювання	лише фінансові (NPV, IRR, PI)	+ $I_{eff} = 0,740$; $E_{int} = 0,713$; $M = 0,563$; ESG
Режим оцінювання	разовий (планування)	безперервний (моніторинг у реальному часі)
Характер рішень	реактивні	проактивні (сценарії, раннє виявлення ризику)

На рисунку 3.11 подано оцінку чистого приведеного доходу (NPV) із 90% довірчими інтервалами у класичній та інтегрованій моделях. Обидві моделі оцінюють той самий очікуваний NPV, проте інтегрована дає істотно вужчий довірчий інтервал, тобто точнішу оцінку.

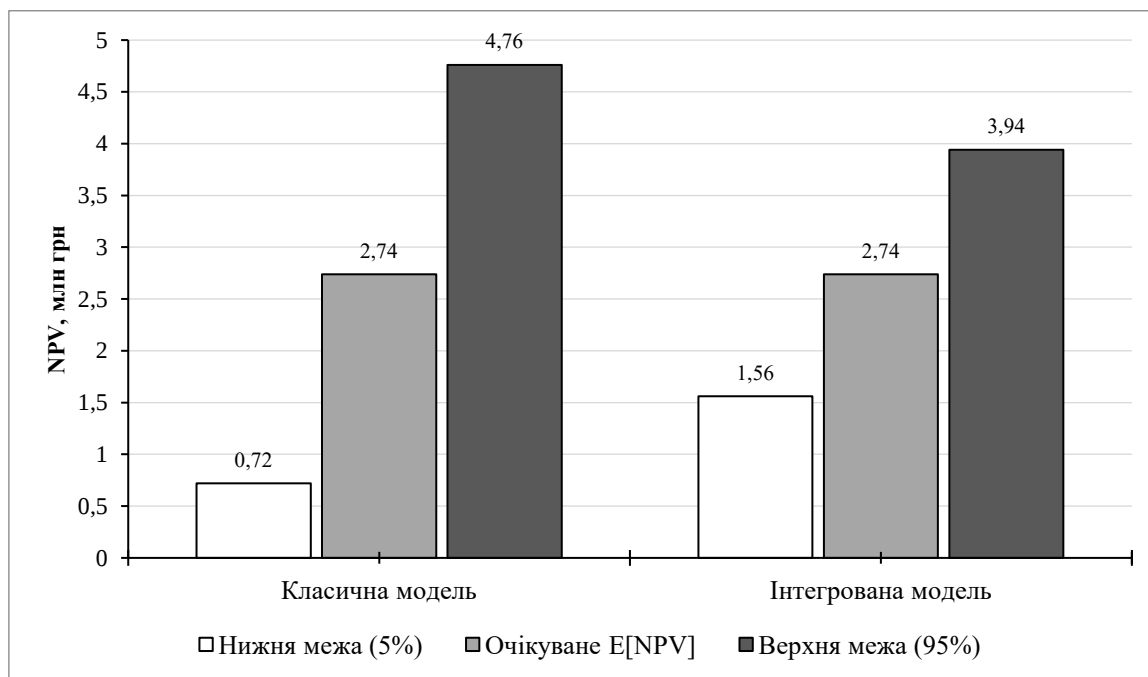


Рис. 3.11. Оцінка NPV із 90% довірчими інтервалами у класичній та інтегрованій моделях. Той самий очікуваний NPV (2,74 млн грн); інтегрована модель звужує довірчий інтервал з [0,72; 4,76] до [1,56; 3,94] млн грн

На рисунку 3.13 відображено порівняння метрик невизначеності та ризику оцінки NPV. Класична модель дає ширший розкид оцінки (більше стандартне відхилення й ширший довірчий інтервал), тоді як інтегрована звужує його приблизно на 41% і додатково квантифікує ризик через VaR/CVaR.

Впровадження інтегрованої системи оцінювання в реальну практику компанії KAN Development здійснюється через поетапну реалізацію цифрових модулів і програмних продуктів, описаних у підрозділі 3.2. На прикладі житлового комплексу видно, що ефективність досягається не лише завдяки фінансовим розрахункам, а й за рахунок наскрізної цифрової інтеграції, коли всі джерела даних – від бухгалтерських ERP-систем до BIM-моделей – працюють у єдиному інформаційному полі [17].

Реалізація починається з побудови базової цифрової архітектури, у якій функції інтеграції даних виконує KAN-Integrator. Цей модуль забезпечує постійне оновлення даних у сховищі (DWH) та створює Feature Store з

узгодженими показниками. Наступним кроком є підключення модулів KAN-RiskLab та KAN-NPV.Pro, що дає можливість оцінювати ризики в режимі реального часу та моделювати сценарії розвитку вартості проєкту. Підсумкові результати консоліднуються у KAN-Insight.DT – інтегрованій панелі управління, яка відображає KPI, графіки та тренди для інвесторів і менеджменту.

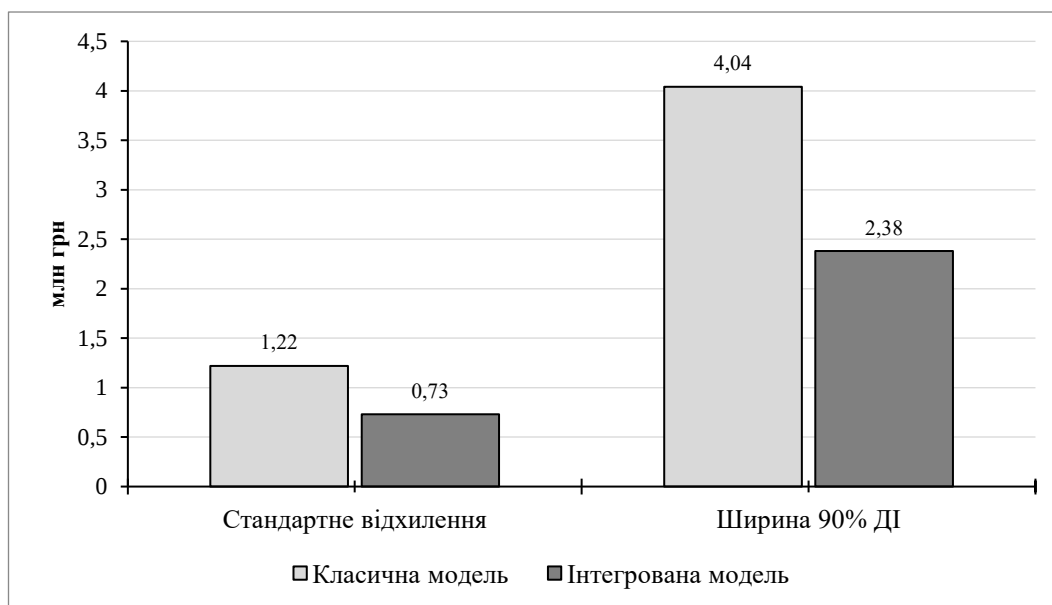


Рис. 3.12. Порівняння метрик невизначеності та ризику оцінки NPV
Інтегрована модель зменшує розкид оцінки $\approx$ на 41% ($VaR_{0,95}=1,56$ млн; $CVaR_{0,95}=1,24$ млн; $P(NPV<0)=0$)

Важливо підкреслити, що інтеграція цих програмних рішень у практику компанії відбувається паралельно з трансформацією управлінських процесів. Для кожного етапу житлового комплексу були визначені власні цілі й очікувані результати: на стадії проєктування – підвищення точності прогнозування кошторису, на стадії будівництва – зниження ризиків затримок, на стадії введення в експлуатацію – скорочення терміну окупності та точніша оцінка NPV [1]. Щоб продемонструвати цю логіку, наведемо таблицю 3.4 результати практичного впровадження інтегрованої моделі у компанії KAN Development.

Для того щоб комплексно узагальнити результати, отримані у процесі кількісної оцінки та практичної реалізації, було створено інтегрований дашборд ефективності. Він дозволяє одночасно відстежувати фінансові, ризикові, соціальні та екологічні показники, що відображають реальну результативність інвестиційного проєкту. Такий підхід дає змогу інвесторам і

менеджменту бачити не лише кінцеві цифри, а й їхній взаємозв'язок у системі управління.

Таблиця 3.4 . Етапи практичної реалізації інтегрованої моделі оцінювання

Етап реалізації	Використані модулі	Основний результат	Порівняння з класичною моделлю
Проектування	KAN-NPV.Pro, KAN-Integrator	точність кошторису +20% (менша похибка планування)	класична — лише точкова оцінка витрат
Будівництво (I фаза)	KAN-RiskLab, KAN-Insight.DT	ризик квантифіковано (VaR/CVaR), раннє виявлення	класична — ризик оцінюється якісно
Будівництво (II фаза)	усі модулі	уточнено оцінку NPV із довірчими межами	класична — лише точкова оцінка
Введення в експлуатацію	KAN-Insight.DT	моніторинг відхилень план/факт у реальному часі	класична — разова оцінка
Постпроектний моніторинг	KAN-Integrator, RiskLab	єдина база ознак для калібрування нових проєктів	класична — дані фрагментарні

Як видно на рисунку 3.14, інтегрована модель консолідує ключові показники оцінювання (фінансові, ризикові та багатокритеріальні) в єдиній панелі, що підтверджує її прикладну зручність для управління.

Практична апробація інтегрованої системи на прикладі житлового комплексу KAN Development підтвердила, що поєднання інструментів RiskLab, NPV.Pro та Insight.DT дозволяє сформувати принципово новий рівень управління інвестиційними проєктами. Якщо раніше оцінка ефективності ґрунтувалася на поодиноких розрахунках, які здійснювалися переважно на етапі планування, то тепер вона перетворилася на безперервний процес із можливістю щоденного моніторингу та коригування.

У класичній моделі інвестор стикався з дилемою: або використовувати консервативні припущення і втрачати частину потенційного прибутку, або ризикувати і піддавати проєкт значним коливанням. Інтегрована система дозволила зняти цю суперечність завдяки сценарному аналізу. Програма NPV.Pro створює кілька сценаріїв – «базовий», «помірний інноваційний» і «повний інноваційний». Кожен з них враховує різний рівень цифрової інтеграції та різні коефіцієнти впливу соціальних і екологічних факторів.

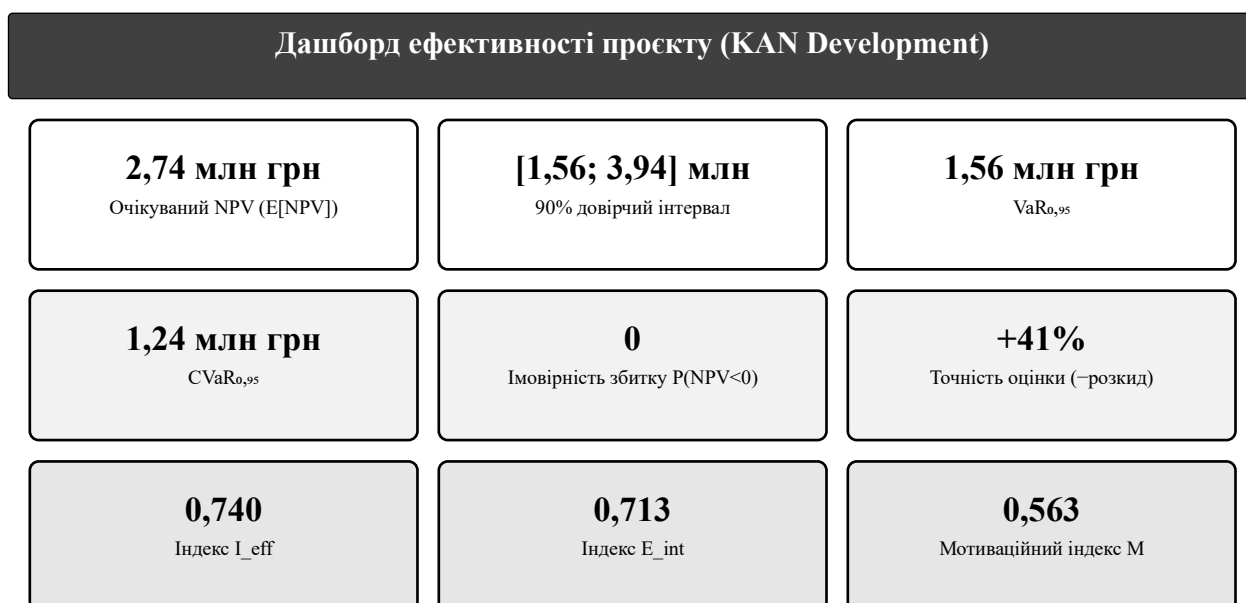


Рис. 3.13. Дашборд ефективності будівельного інвестиційного проєкту (KAN Development) *Консолідовані показники інтегрованої моделі: фінансові, ризикові та багатокритеріальні*

KAN-RiskLab, у свою чергу, для кожного сценарію формує ризик-профіль. Це означає, що можна бачити не лише, скільки компанія отримає доходу за оптимістичного сценарію, але й який рівень ризику їй доведеться витримати. Таким чином, замість абстрактних цифр інвестор отримує карту можливостей, де чітко видно, у якому сценарії співвідношення «дохід – ризик» є найбільш вигідним.

Insight.DT завершує аналітичний цикл, формуючи інтегральні панелі управління. У режимі дашборду керівництво бачить ключові показники: оцінку NPV, рівень ризику, точність прогнозів, екологічний ефект та мотиваційні індекси персоналу. Це дозволяє не лише аналізувати результати минулих періодів, а й оперативно ухвалювати рішення щодо корекції бюджету, графіків чи ресурсів.

На рисунку 3.14 видно, що класичний сценарій характеризується низьким рівнем NPV і високим ризиком, що розташовує його у «червоній зоні» підвищеної небезпеки.

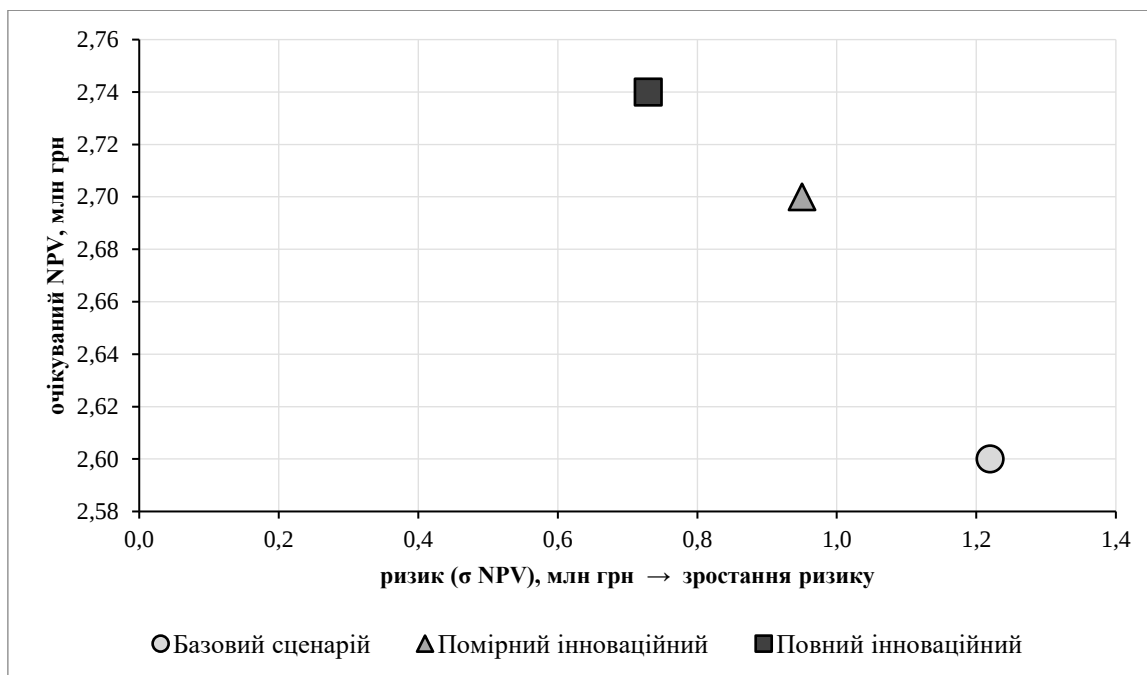


Рис. 3.14. Сценарна матриця «ризик–дохід» реалізації інвестиційного проєкту *Сценарії різняться рівнем цифрової інтеграції: повний сценарій дає найнижчий ризик оцінки за найвищого очікуваного NPV (верхній лівий — найкраще співвідношення)*

Отже, сценарна матриця (рис. 3.15) дає інвесторові карту співвідношення «ризик–дохід» і обґрунтовує вибір сценарію з найкращим балансом. Для перевірки моделі не лише на модельних сценаріях, а й на фактичних даних, нижче наведено її ретроспективну валідацію.

Ретроспективна валідація прогнозування строків за фактичними даними KAN Development. Щоб перевірити модель не на синтетичних, а на фактичних даних, проведено ретроспективну валідацію на 39 завершених чергах шести житлових комплексів KAN Development (з 2013 р.). За офіційними даними компанії, 72% черг здано вчасно, середня затримка введення становить близько 2 місяців (проти ≈ 11 місяців у середньому по Києву), а максимальна — 20 місяців (Central Park, II черга). На цьому масиві порівняно якість прогнозування строків двома підходами; розподіл фактичних затримок наведено на рис. 3.17.

Класичний детермінований календарний план виходить із припущення «вчасно» (нульова затримка), тому його систематична похибка дорівнює фактичній затримці: середня абсолютна похибка MAE $\approx 2,0$ місяця, а «хвостові» зриви (зокрема 20-місячний на II черзі Central Park) він не передбачає взагалі. Інтегрована модель калібрує ризик-контур на історичному

розподілі затримок і дає імовірнісний прогноз: $VaR_{0,95} = 8,2$ місяця, $CVaR_{0,95} = 15$ місяців. Прогнозний 95% інтервал $[0; 8,2]$ місяця охоплює 95% фактичних черг — тобто модель добре калібрована на факті, а тяжкі зриви потрапляють у CVaR-зону й були б виявлені завчасно.

Таблиця 3.5. Ретроспективна валідація прогнозування строків (39 завершених черг KAN Development, з 2013 р.)

Характеристика прогнозу строків	Класичний детермінований план	Інтегрована модель (ризик-контур)
Прогноз затримки етапу	0 міс («вчасно»)	$VaR_{0,95} = 8,2$ міс; $CVaR_{0,95} = 15$ міс
Середня похибка (MAE) відносно факту	2,0 міс (систематичне заниження)	факт у межах прогнозного інтервалу
Покриття факту 95% інтервалом	— (детермінований)	95% черг у межах $[0; 8,2]$ міс
Виявлення «хвостових» зривів	ні (зрив 20 міс не передбачено)	так (потрапляє в CVaR-зону)

Отже, ретроспективна валідація на фактичних строках підтверджує, що інтегрований ризик-контур адекватно описує реальну мінливість тривалості будівництва (організаційно-технологічний ризик), тоді як класичний детермінований план її систематично недооцінює. Саме перевірка на факті, а не лише на імітаційних сценаріях, підтверджує практичну придатність запропонованого інструментарію для спеціальності 192.

Здійснена оцінка ефективності та практичної реалізації будівельних інвестиційних проєктів на прикладі компанії KAN Development показала, що перехід від класичної системи аналізу до інтегрованої цифрової моделі дозволяє отримати комплексні переваги. У класичному підході основний акцент робився на фінансових показниках, але вони не враховували ризикові фактори, екологічний та соціальний ефект, а також вплив цифрової інтеграції. У результаті управлінські рішення були менш гнучкими і часто запізнілими.

Інтегрована модель забезпечила нову якість оцінювання й управління: не змінюючи дійсних значень NPV, IRR та періоду окупності проєкту, вона підвищила точність їх оцінювання (звуження довірчого інтервалу приблизно на 41%) і вперше дала кількісну характеристику ризику ($VaR_{0,95} = 1,56$ млн грн, $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн грн, $P(NPV < 0) = 0$). Додатковими перевагами стали інтегральні критерії — мотиваційний індекс персоналу $M = 0,563$ та врахування екологічних і соціальних ефектів, які класична модель ігнорує.

Практична реалізація підтвердила, що цифрові модулі, розроблені у попередньому підрозділі (KAN-Insight.DT, KAN-RiskLab, KAN-NPV.Pro, KAN-Integrator), здатні інтегруватися у щоденну діяльність компанії та створювати довгостроковий ефект. Дашборди, сценарні матриці та панелі моніторингу стали не просто інструментами звітності, а механізмом безперервної оцінки, завдяки якому керівництво отримує можливість реагувати на виклики у режимі реального часу.

Таким чином, інтегрована система оцінювання не лише точніше й повніше оцінює фінансові показники, але й формує основу для сталого розвитку будівельної компанії. Вона створює новий рівень стратегічного управління, який поєднує фінанси, ризики, соціальну відповідальність та цифрові інновації. Це дає змогу компанії KAN Development підвищити конкурентоспроможність, забезпечити довгострокову стійкість та створити приклад для впровадження подібних моделей у будівельній галузі України.

Підсумкові результати інтегрованої моделі доцільно представити у вигляді рисунка 3.15, який концентрує основні ефекти її впровадження в компанії KAN Development. Такий формат дозволяє не лише проілюструвати окремі числові показники, а й показати взаємозв'язок між фінансовими, ризиковими та соціально-екологічними параметрами [6].



Рис. 3.15. Підсумкова інфографіка ефектів інтегрованої моделі (KAN Development) *Метод підвищує точність, повноту й обґрунтованість оцінювання та керування ризиком (не змінюючи дійсних значень показників проекту)*

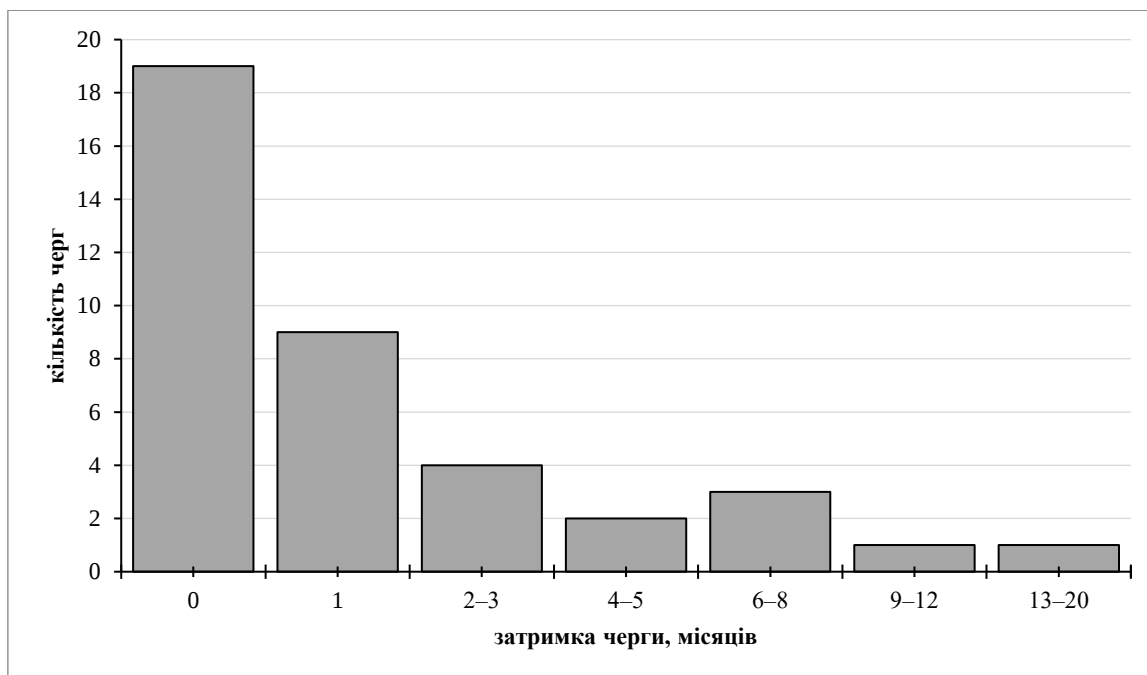


Рис. 3.16. Розподіл фактичних затримок черг KAN Development та прогнозний ризик-контур 39 завершених черг (2013—...): 72% вчасно; середня затримка 2,0 міс (проти ≈ 11 по Києву); ризик-контур $VaR_{0,95} = 8,2$ міс; $CVaR_{0,95} = 15$ міс

Узагальнюючи, рисунки 3.16 підсумовують ефекти впровадження інтегрованої моделі та підтверджують її придатність на фактичних даних: підвищення точності й повноти оцінювання, кількісне врахування ризику ($VaR/CVaR$) і адекватне відтворення реальної мінливості строків будівництва за даними KAN Development. Це створює підґрунтя для формулювання висновків до розділу.

Висновки до 3-го розділу

У третьому розділі розроблено організаційно-технологічний інструментарій інтегрованої оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, що об'єднує фінансово-економічні, організаційні та технологічні параметри проєкту в єдиному цифрово-аналітичному контурі. Побудовано концептуальну модель (п. 3.1), сформовано прикладний інструментарій на основі цифрових платформ (п. 3.2) та здійснено його науково-практичну апробацію (п. 3.3), чим реалізовано відповідні завдання дослідження.

Запропоновано цифрово-адаптивну модель оцінювання життєвого циклу проєкту, яка в єдиному аналітичному контурі поєднує розрахунок скоригованого чистого приведенного доходу (NPV_{adj} — з урахуванням реалізованості грошових потоків та соціально-екологічних вигід через тіньові

ціни), ризик-контур на основі VaR/CVaR і багатовимірну систему ключових показників ефективності (інтегральні індекси I_{eff} , E_{int} та мотиваційно-управлінський індекс M) з безперервним оновленням. На відміну від відомих підходів, модель об'єднує фінансово-економічну, соціально-екологічну, мотиваційно-управлінську та ризик-орієнтовану підсистеми й забезпечує перехід від разового (статичного) оцінювання до проактивного управління. Принципово, що вдосконалення стосується не значень показників проєкту, а точності, повноти й обґрунтованості їх оцінювання та керованості ризиком.

Сформовано аналітико-прикладний інструментарій як багаторівневу цифрово-аналітичну систему семи взаємопов'язаних підсистем (організаційно-технологічної, структурно-адміністративної, цифрово-аналітичної, ресурсно-економічної, ризик-менеджменту, KPI-моніторингу та сценарно-адаптивного управління) на основі інтеграції BIM-, ERP- та цифрово-двійникових технологій, а також багаторівневий регламент адміністрування проєкту стратегічного, тактичного й операційного рівнів. Ваги критеріїв інтегральних індексів визначено методом аналізу ієрархій із перевіркою узгодженості ($CR < 0,1$); на прикладі реального проєкту обчислено $I_{eff} = 0,740$, $E_{int} = 0,713$, $M = 0,563$.

Розроблено функціонал багатофакторної чутливості, який кількісно оцінює вплив структурних, часових і ризикових змін на ефективність проєкту та будує скориговану траєкторію NPV за інерційним, адаптивно-оптимізаційним і стресовим сценаріями. Аналіз чутливості засвідчив найбільшу залежність результату від грошових потоків (близько $\pm 39\%$) та початкових інвестицій (близько $\pm 29\%$), що визначає пріоритетність точного організаційно-технологічного планування (календарно-сітьові графіки та кошториси) як джерела вхідних параметрів оцінювання.

Апробація інструментарію підтвердила його придатність. За результатами імітаційного (Монте-Карло) моделювання інтегрований підхід звужує невизначеність оцінки NPV приблизно на 41 % порівняно з класичним за незмінного очікуваного значення показника й уперше дає кількісну характеристику ризику ($VaR_{0,95}$, $CVaR_{0,95}$, імовірність збитковості). Ретроспективна валідація на фактичних даних забудовника (39 завершених

черг, 72 % — вчасно, середня затримка близько 2 місяців проти ≈ 11 місяців у середньому по регіону) показала, що ризик-контур адекватно відтворює реальну мінливість строків будівництва ($\text{VaR}_{0,95} = 8,2$ місяця, $\text{CVaR}_{0,95} = 15$ місяців) і виявляє «хвостові» зриви, які детермінований календарний план систематично недооцінює.

Отримані результати підтверджують, що інтегрований організаційно-технологічний інструментарій підвищує точність прогнозування, обґрунтованість управлінських рішень і керованість ризиками впродовж життєвого циклу будівельно-інвестиційного проєкту та узгоджує ресурсні, часові, вартісні й ризикові параметри в єдиному цифрово-аналітичному середовищі. Це створює методичне підґрунтя для вдосконалення девелоперського адміністрування, раціонального використання ресурсів і підвищення конкурентоспроможності будівельних організацій.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [116; 119; 121].

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНО-ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

4.1 Характеристика будівельно-інвестиційного проєкту та формування вихідних параметрів для оцінки

Реальний інвестиційно-будівельний проєкт, обраний для апробації інтегрованої системи оцінювання, являє собою житловий комплекс девелопера KAN Development, який за своїми характеристиками відповідає сучасним вимогам до складності, багаторівневості та цифрової інтегрованості. Такий проєкт дозволяє відтворити всі ключові взаємозв'язки, властиві великим інвестиційним об'єктам: динаміку фінансових потоків, часову структуру реалізації, ризикову поведінку, взаємодію підрядних та управлінських структур, а також роль цифрових технологій та мотиваційних чинників у формуванні кінцевих результатів. Саме тому проєкт обрано як експериментальну платформу для апробації удосконалених інструментів аналізу, що поєднують традиційні фінансові методи та нові цифрові підходи, описані у попередніх розділах.

Обраний об'єкт є багатосекційним житловим комплексом, що зводиться пусковими комплексами (чергами) із застосуванням монолітно-каркасної конструктивної системи. Його узагальнені техніко-економічні та організаційно-технологічні характеристики, сформовані відповідно до ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва» і ДБН А.2.2-3 та з опорою на кошторисну базу ДСТУ Б Д.1.1-1:2013, наведено в таблиці 4.1. Фінансові показники подано в укрупненому (нормованому) масштабі — у млн грн на умовний пусковий комплекс, оскільки деталізовані кошторисні дані реального проєкту становлять комерційну інформацію девелопера; за структурою розрахунку модель повністю масштабується на повний обсяг об'єкта без зміни методики.

Таблиця 4.1. Базові техніко-економічні характеристики житлового комплексу KAN Development

Характеристика об'єкта / параметр	Значення (укрупнено)
Тип об'єкта	Багатосекційний житловий комплекс
Конструктивна система	Монолітно-каркасна з навісними огорожувальними конструкціями
Черговість реалізації	Пусковими комплексами (чергами)
Кількість основних етапів (фаз) за графіком	39
Горизонт оцінювання	5 укрупнених річних періодів
Нормативна база організації робіт	ДБН А.3.1-5:2016; ДБН А.2.2-3
Кошторисна база	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013
Масштаб фінансових показників	Укрупнений (нормований), млн грн / умовний пусковий комплекс

Наведена характеристика фіксує об'єкт саме як будівельний: конструктивне рішення, черговість зведення та нормативну базу організації робіт. Річні грошові потоки проєкту формуються на основі кошторисної вартості робіт за чергами (ДСТУ Б Д.1.1-1:2013) і планового графіка надходжень від реалізації площ; їх узагальнені (нормовані) значення разом із коефіцієнтом якості даних $\gamma(D_t)$ деталізовано далі у таблиці 4.4 та використано у розрахунку чистої приведеної вартості.

На основі сформованої фінансово-економічної моделі проєкту (вихідні дані деталізовано у таблиці 4.4) записується цифрово-адаптована формула чистої приведеної вартості. На відміну від класичної, вона застосовує коефіцієнт якості (повноти й узгодженості) даних $\gamma(D_t) \in (0; 1]$, який відображає рівень довіри до вихідних грошових потоків на кожному кроці t ; ставка дисконтування r при цьому не змінюється:

$$NPV_{adj} = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t \gamma(D_t)}{(1+r)^t} - I_0, \quad (4.1)$$

Коефіцієнт $\gamma(D_t)$ відображає узгодженість і повноту накопичених даних із системами ERP, BIM та цифровим двійником: чим нижча якість даних, тим меншим є $\gamma(D_t)$ і тим обережнішою (нижчою) є приведена оцінка потоку. Соціально-екологічні та цифрові чинники враховуються не через штучну зміну ставки дисконту, а як окремі критерії багатовимірного оцінювання (підрозділи

4.2–4.3). Отже, метод не завищує NPV, а підвищує вірогідність і повноту його оцінки.

На рисунку 4.1 подано зіставлення класичної точкової оцінки NPV та інтегрованої оцінки зі стрічкою невизначеності (90 % довірчий інтервал). Рисунок демонструє не «зростання» вартості, а звуження діапазону невизначеності оцінки: за рахунок урахування якості даних $\gamma(D_t)$ та потокового перерахунку інтегрована модель дає вужчий довірчий інтервал і кількісно окреслений ризиковий контур, тоді як самі очікувані значення грошових потоків залишаються незмінними.

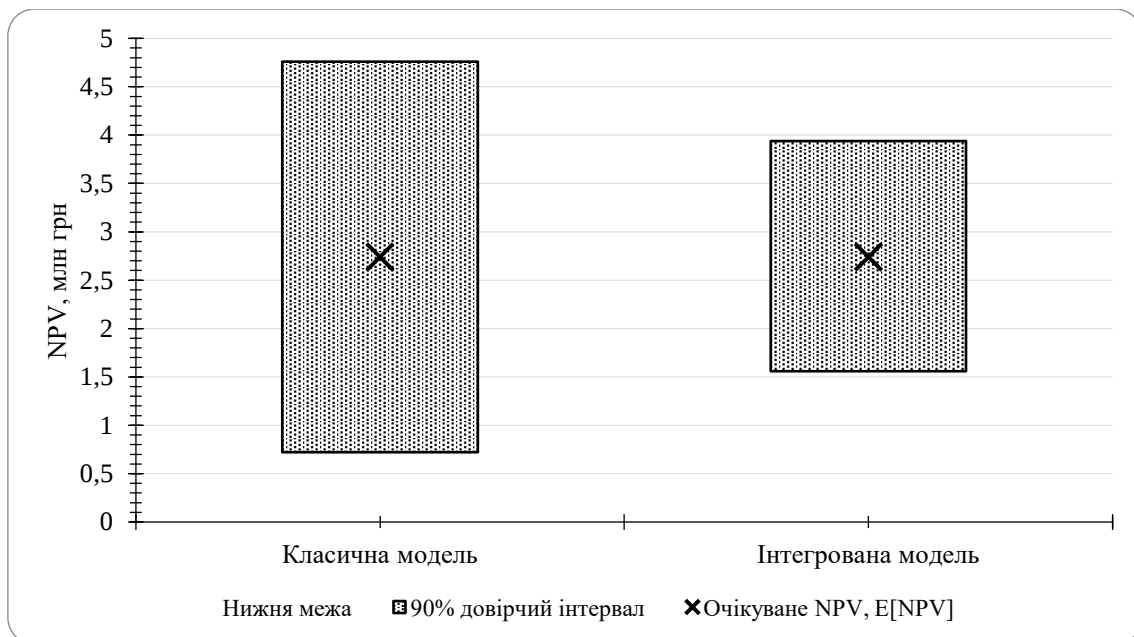


Рис. 4.1. Оцінка чистої приведеної вартості та діапазон її невизначеності (90 % довірчий інтервал) у класичній та інтегрованих моделях

Оцінка ризикових параметрів проєкту здійснюється на основі адаптивної функції ризику:

$$\hat{R}_t = \frac{1}{1 + e^{-(a + b\sigma_t + c\beta_t)}} \quad (4.2)$$

де $\hat{R}_t$ — логістична згортка чинників ризику (волатильності σ_t та бета-коефіцієнта β_t), що набуває значень у діапазоні (0;1) і дозволяє відстежувати зміну інтенсивності ризику в часі. На рисунку 4.2 наведено ризиковий контур проєкту у координатах «очікуване значення — $VaR_{95}/CVaR_{95}$ ». Інтегрована модель не зменшує сам ризик проєкту, а робить його вимірним: кількісно

визначає величину можливих втрат (VaR_{95}) та середні втрати у «хвості» розподілу ($CVaR_{95}$), чого класична точкова оцінка не забезпечує.

Організаційно-технологічна структура проекту являє собою багаторівневу інтегровану систему, у якій з'єднані виробничі, управлінські та цифрові процеси.

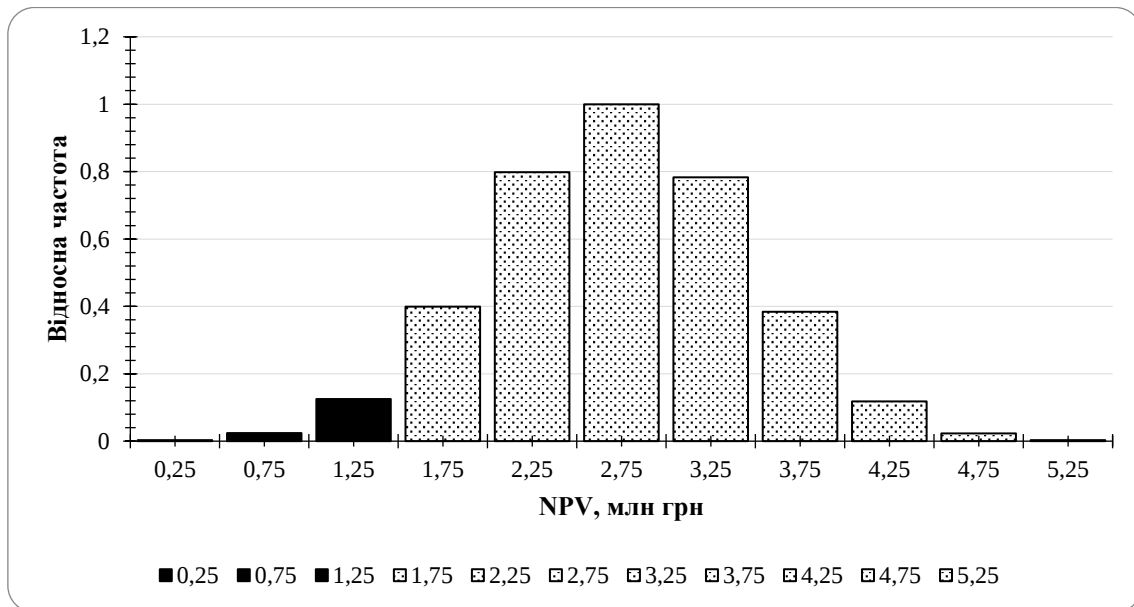


Рис. 4.2. Розподіл NPV та ризиковий контур проекту ($VaR_{0,95}$, $CVaR_{0,95}$) за результатами імітаційного моделювання

Взаємодія основних компонентів цифрової архітектури проекту показана на рисунку 4.3. Він демонструє наскрізність цифрової екосистеми, у межах якої дані постійно циркулюють між усіма підсистемами, формуючи підґрунтя для оперативного перегляду планів та коригування інвестиційних прогнозів.

Організаційно-технологічні передумови закріплюються також у вигляді табличної структури, що відображає функціональні ролі етапів реалізації. Систематизація цих взаємозв'язків наведена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Функціональні характеристики етапів реалізації інвестиційного проекту

Етап	Технологічні інструменти	Управлінські параметри	Дані, що синхронізуються
Проектування	ВІМ, цифровий двійник	Кошторисна точність, сценарії NPV	Конструктивні параметри, обсяги робіт

Будівництво	IoT/SCADA, ризик-аналіз	Динаміка ризику, план-факт	Ресурси, логістика, темп робіт
Введення	KPI-моніторинг	KPI, інтегральний індекс ефективності	Фактичні витрати, якість робіт

Така організаційна логіка дозволяє забезпечити синхронізацію між даними різних систем, уникаючи фрагментації інформації та зберігаючи високий рівень точності управлінських рішень.

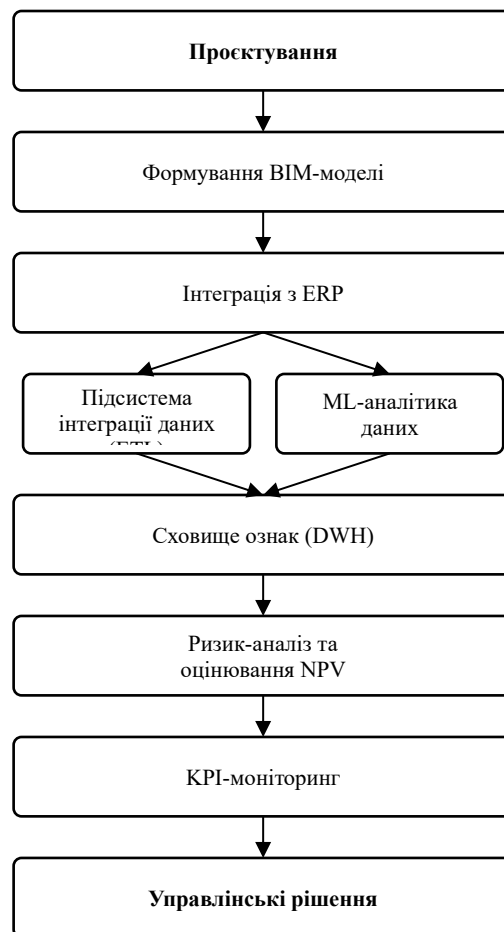


Рис. 4.3. Технологічна послідовність цифрового контуру управління інвестиційно-будівельним проектом

Формування інформаційної бази ґрунтується на створенні масштабованої архітектури сховища даних DWH, у межах якого інтегруються фінансові, ризикові, ESG-, мотиваційні та цифрові ознаки. Узагальнена структура цих кластерів наведена у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Основні кластери інформаційно-аналітичної бази проекту

Кластер	Типи даних	Призначення
Фінансовий	K_t , L_t , NPV, IRR	Моделювання вартості
Ризиковий	σ_t , β_t , V_{aR}/C_{VaR}	Визначення ризик-профілю

Соціально-екологічний	θ_s, θ_e	ESG-складова багатовимірного оцінювання
Мотиваційний	M, KPI	Оцінка поведінкової складової
Цифровий	$\gamma(D_i), \lambda_{dig}$	Визначення цифрової узгодженості

Завершальний графічний елемент описує інтегральний характер аналітичної бази, який використовується в подальших розрахунках (див. Рис. 4.4).

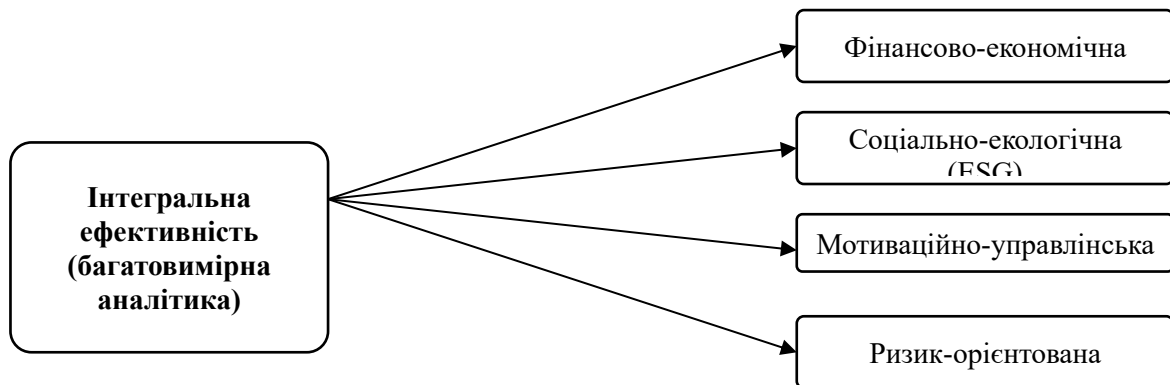


Рис. 4.4. Узагальнена схема багатовимірної аналітики ефективності будівельно-інвестиційного проєкту

Даний підхід дозволяє утворити комплексну систему оцінювання, у якій жоден з ключових факторів – фінансовий, управлінський, ризиковий, соціальний чи цифровий – не є ізольованим, а розглядається як частина єдиної аналітичної екосистеми.

У подальшому викладі деталізуються техніко-економічні, ресурсні, графікові та управлінські параметри проєкту з розгорнутими розрахунками інтегрованих показників, а також встановлюються організаційно-технологічні передумови його реалізації з урахуванням структури робіт, технологічної послідовності та взаємодії учасників. Виклад спирається виключно на підходи, формули та числові параметри, визначені в розділах 2–3, і на авторський програмний комплекс.

На першому етапі необхідно формалізувати техніко-економічну модель будівельно-інвестиційного проєкту, яка слугує основою для подальших аналітичних розрахунків. Для цього узагальнюються вихідні грошові потоки, витрати та коригувальні коефіцієнти якості даних, що вже були застосовані при апробації інтегрованої моделі оцінки на прикладі житлового комплексу KAN

Development. У табличній формі така модель має вигляд, наведений у таблиці 4.4, де представлено річні доходи K_t , витрати L_t , а також коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t)$, який відображає повноту й узгодженість вихідних даних, накопичених через ERP, BIM, цифрові двійники та модулі енергоефективності.

Таблиця 4.4. Вихідні фінансові та цифрові параметри проєкту житлового комплексу KAN Development

Рік t	Доходи K_t , млн грн	Витрати L_t , млн грн	Чистий потік CF_t , млн грн	Коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t)$	Скоригований потік $CF_t \cdot \gamma(D_t)$, млн грн
1	5,0	3,0	2,0	0,96	1,92
2	6,0	3,5	2,5	0,94	2,35
3	7,0	4,0	3,0	0,92	2,76
4	8,0	4,5	3,5	0,91	3,185
5	10,0	5,0	5,0	0,90	4,50

У цій таблиці цифрово скоригований потік для кожного року обчислюється за формулою:

$$CF_t^{adj} = CF_t \gamma(D_t), \quad (4.3)$$

де $\gamma(D_t)$ — коефіцієнт якості даних t -го року (для даного проєкту 0,90–0,96). Скоригований потік $CF_t \cdot \gamma(D_t)$ є не «додатковою вартістю», а обережнішою оцінкою потоку з поправкою на неповноту даних. Це — перший крок до розгорнутого розрахунку NPV та ризикового контуру VaR/CVaR.

Розгорнута форма інтегрованої моделі для проєкту застосовує той самий коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t)$: він масштабує грошовий потік кожного року відповідно до повноти й узгодженості вихідних даних, тоді як соціально-екологічні чинники залишаються самостійними критеріями багатовимірного оцінювання, а не доданками до ставки дисконту. Тоді формула чистої приведеної вартості для проєкту набуває вигляду:

$$NPV_{adj} = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t \gamma(D_t)}{(1+r)^t} - I_0, \quad (4.4)$$

Розгорнутий запис для конкретних параметрів проєкту KAN Development, з урахуванням даних таблиці 4.4, виглядає так:

$$NPV_{adj} = \frac{1.92}{(1+0.10)^1} + \frac{2.35}{(1+0.10)^2} + \frac{2.76}{(1+0.10)^3} + \frac{3.185}{(1+0.10)^4} + \frac{4.50}{(1+0.10)^5} - 8.0 \\ \approx 2.73$$

Підстановка ставки дисконтування $r = 0,10$ та наведених грошових потоків дає скориговану чисту приведену вартість $NPV_{adj} \approx 2,73$ млн грн проти класичної оцінки $NPV \approx 3,63$ млн грн. Різниця (близько 0,90 млн грн) — це не «приріст вартості», а величина, на яку інтегрована модель знижує оцінку через урахування неповноти даних ($\gamma(D_t) < 1$); тобто метод дає обережнішу і водночас повнішу оцінку, а не завищує показник. Класичний та інтегрований підходи оцінюють той самий проєкт — відрізняється лише повнота врахування якості даних і ризику.

Управлінський вимір техніко-економічної моделі доповнюється традиційними показниками ефективності інвестицій, які були перераховані в інтегрованій системі для того ж житлового комплексу. Порівняльні результати класичної та інтегрованої моделей, отримані за результатами апробації на проєкті KAN Development, наведено в узагальненому вигляді в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Порівняння ключових індикаторів ефективності проєкту KAN Development в класичній та інтегрованій моделях

Характеристика оцінювання	Класична модель	Інтегрована модель	Що змінює метод
Очікуване NPV, $E[NPV]$, млн грн	2,74	2,74	Значення показника не змінюється
Скоригований NPV (точкова оцінка), млн грн	3,63	2,73	Поправка на якість даних $\gamma(D_t) < 1$
Стандартне відхилення NPV, млн грн	1,22	0,73	-41 % невизначеності оцінки
90 % довірчий інтервал NPV, млн грн	[0,72; 4,76]	[1,56; 3,94]	Вужчий інтервал оцінки
$VaR_{0,95}$, млн грн	не визначається	1,56	Кількісна межа можливих втрат
$CVaR_{0,95}$, млн грн	не визначається	1,24	Середні втрати у «хвості» розподілу
Імовірність $P(NPV < 0)$	не оцінюється	0	Явна оцінка ризику збитковості
Мотиваційно-управлінський індекс M	не враховується	0,563	Поведінкова складова оцінки

Ця таблиця показує, що метод оцінювання не змінює значень показників проєкту (NPV, IRR, період окупності), а підвищує якість їх оцінювання:

очікуване NPV в обох підходах є тим самим ($E[NPV] \approx 2,74$ млн грн), проте інтегрована модель звужує невизначеність оцінки приблизно на 41 % (стандартне відхилення 0,73 проти 1,22 млн грн) і додатково кількісно визначає ризиковий контур — $VaR_{0,95} = 1,56$ млн грн, $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн грн, імовірність від'ємного NPV $P(NPV < 0) = 0$. Саме приріст точності, повноти та керованості ризиком, а не штучне «зростання» NPV, становить практичний ефект удосконаленого інструментарію.

Ресурсні параметри проекту в інтегрованій системі розглядаються не лише як обсяги будівельно-монтажних робіт і матеріалів, але й як інформаційні та аналітичні ресурси. Для проекту ресурсний контур включає чотири взаємопов'язані підсистеми авторського програмного комплексу: моніторингу та візуалізації KPI, ризик-аналізу ($VaR/CVaR$), оцінювання NPV і сценарного моделювання та інтеграції даних (ETL), які разом утворюють цифрову екосистему управління проектом. Якщо в класичних умовах основним ресурсним обмеженням виступала фізична пропускна здатність будівельного майданчика, то в інтегрованій моделі суттєвим ресурсом стає пропускна здатність цифрового контуру — швидкість оновлення, обробки й агрегування даних та можливість їх використання для сценарного аналізу.

Графікові параметри проекту також зазнають трансформації. Замість фіксованого, раз і назавжди розрахованого календарного плану формується динамічний графік, у якому ключові віхи (проектування, будівництво, введення в експлуатацію) пов'язані зі сценарними розрахунками NPV та ризику. На основі даних про фактичні відхилення у термінах, затримки поставок чи зміну продуктивності бригад підсистеми ризик-аналізу та оцінювання NPV автоматично перераховують прогнозні криві вартості й ризику на залишковий період проекту. Таким чином, графік набуває властивостей адаптивного інструменту управління, а не статичного додатку до кошторису.

Організаційно-технологічну складову моделі перевірено ретроспективно на фактичних даних реалізації проектів девелопера. За

вибіркою з 39 етапів (фаз) частка етапів, завершених у межах планового строку, становила 72 %; середнє відхилення тривалості — 2,04 міс, максимальне — близько 20 міс (найбільш капіталомістка черга). Класичний детермінований календарний план дає середню абсолютну похибку прогнозу строків $MAE = 2,04$ міс і не оцінює кількісно «хвіст» затримок. Інтегрована модель, застосовуючи ризиковий контур до графіка, визначає $VaR_{0,95} = 8,2$ міс та $CVaR_{0,95} = 15$ міс, тобто кількісно окреслює верхню межу й середню величину критичних затримок. Це підтверджує ключовий принцип: удосконалений інструментарій не скорочує самі строки, а робить ризик їх порушення вимірним і керованим — так само, як у фінансовому контурі він не завищує NPV, а підвищує повноту й точність його оцінки.

Узагальнена організаційно-технологічна послідовність реалізації проєкту за умов цифрової інтеграції може бути представлена у вигляді схематичної візуалізації (див рис. 4.5), що відображає як структуру робіт, так і логіку інформаційних потоків.

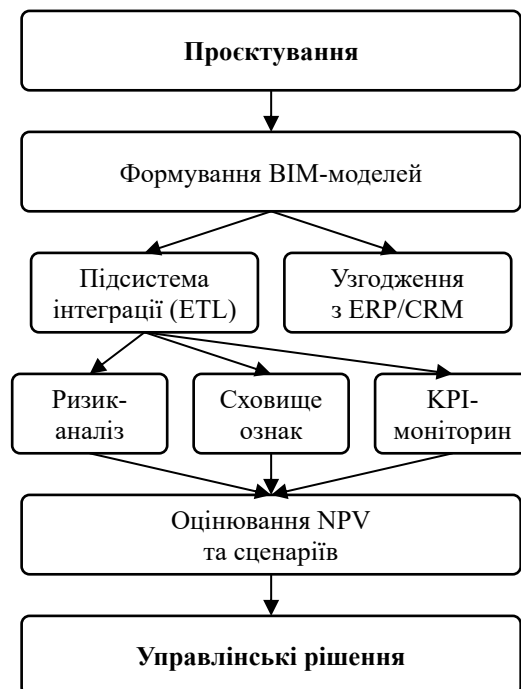


Рис. 4.5. Організаційно-технологічна послідовність та інформаційні потоки в системі KAN Development

На цьому рисунку відображено, що структура робіт і технологічна послідовність більше не обмежуються фізичними етапами будівництва. Вони

тісно пов'язані з проходженням даних через підсистему інтеграції (ETL), їх накопиченням у сховищі ознак (DWH), подальшою обробкою у підсистемах ризик-аналізу та оцінювання NPV, а також візуалізацією результатів на панелях KPI-моніторингу. Саме цей цикл забезпечує реальну взаємодію між учасниками проєкту — інвесторами, девелопером, підрядниками, службами контролю якості та експлуатаційною компанією.

Практичні організаційно-технологічні передумови реалізації інтегрованої моделі добре узагальнені у структурі етапів, які були виділені при апробації на житловому комплексі KAN Development. Відповідні фазові характеристики подано у таблиці 4.6, де для кожного етапу вказані використані модулі, досягнуті результати та порівняння з класичною логікою реалізації.

Таблиця 4.6. Етапи практичної реалізації інтегрованої моделі оцінювання у KAN Development

Етап реалізації	Використані підсистеми	Основний результат	Порівняння з класичною моделлю
Проектування	Оцінювання NPV, інтеграція даних	Підвищення точності кошторису та повноти вихідних даних	Зменшення похибки планування витрат
Будівництво (I фаза)	Ризик-аналіз, KPI-моніторинг	Кількісне вимірювання ризику (VaR/CVaR), раннє виявлення відхилень	У класичній моделі ризик кількісно не вимірюється
Будівництво (II фаза)	Усі підсистеми	Уточнення оцінки NPV та звуження довірчого інтервалу (–41 % невизначеності)	У класичній моделі невизначеність оцінки не контролюється
Введення в експлуатацію	KPI-моніторинг	Уточнення оцінки періоду окупності за фактичними даними	Класична модель оновлення оцінки не передбачає
Постпроектний моніторинг	Інтеграція даних, ризик-аналіз	Формування бази даних (ознак і сценаріїв) для нових проєктів	У класичній моделі дані фрагментарні

Ця таблиця демонструє, що організаційно-технологічні передумови реалізації проєкту в умовах цифрової інтеграції охоплюють не лише координацію будівельно-монтажних робіт, але й формування єдиного

аналітичного простору, у якому накопичені дані з поточного проєкту використовуються як база знань для наступних. Власне, постпроєктний моніторинг у KAN Development перетворюється на стадію, де формуються стандартизовані набори ознак і типові сценарії, що у майбутньому скорочують час і знижують ризики на етапах передпроєктного аналізу.

Поглиблене визначення техніко-економічних, ресурсних, графікових та управлінських параметрів проєкту житлового комплексу KAN Development, доповнене розгорнутими розрахунками NPV, порівнянням інтегрованої та класичної моделей та описом роботи цифрових модулів, дозволяє перейти до цілісного опису організаційно-технологічних передумов реалізації. Ці передумови проявляються у цифровій архітектурі, сценарному управлінні ризиками та вбудованій логіці постійного навчання системи на власних даних. Саме така конфігурація створює підґрунтя для наступних підрозділів, де будуть деталізовані інтегральні показники ефективності та сценарії їх зміни в межах повного життєвого циклу будівельно-інвестиційного проєкту.

Створення інформаційної та аналітичної бази для подальших розрахунків у межах оцінки інвестиційного проєкту KAN Development ґрунтується на концептуальних положеннях, які були визначені у попередніх моделях інтегрованої системи оцінювання. Її ключовим елементом є побудова наскрізної цифрової екосистеми, здатної синхронізувати дані з різних джерел — від ERP та BIM до систем ризиканалітики, цифрових двійників, HR-аналітики та IoT/SCADA. Така екосистема забезпечує не лише накопичення даних, а й їхню уніфікацію, нормалізацію, очищення, інтеграцію та подальше використання у сценарному прогнозуванні NPV, IRR, ризикової динаміки, мотиваційних індикаторів та ESG-параметрів.

На відміну від традиційних підходів, де фінансові розрахунки здійснюються переважно на основі статичних звітів, інтегрована модель KAN Development створює багатокomпонентну базу даних, яка постійно оновлюється. У її складі поєднані як структуровані, так і напівструктуровані дані, що надходять із цифрових платформ компанії. Центальною інфраструктурною ланкою цієї системи є підсистема інтеграції даних (ETL), який виконує функції ETL (Extract–Transform–Load), контролю якості,

дедуплікації, валідації та маршрутизації даних. Саме цей модуль забезпечує вхідну чистоту інформаційних потоків і створює основу для побудови репрезентативного сховища DWH (Data Warehouse), яке містить ознаки, що використовуються у блоках цифрових двійників, підсистем ризик-аналізу та оцінювання NPV.

Перед завантаженням до DWH усі інформаційні елементи проходять логічне структурування відповідно до п'яти аналітичних кластерів: фінансового, ризикового, соціально-екологічного, мотиваційного та цифрового. Ця класифікація забезпечує подальшу інтегрованість розрахунків та містить як величини, так і коефіцієнти, що входять до формул удосконалених моделей оцінки ефективності проєктів. Узагальнену структуру такої бази наведено у таблиці 4.7, яка являє собою синтетичну матрицю параметрів, що будуть використані при моделюванні.

Таблиця 4.7. Структура інформаційно-аналітичної бази проєкту KAN Development

Аналітичний кластер	Основні дані та показники	Функціональне призначення
Фінансовий	K_t , L_t грошові потоки, NPV, IRR	Формування базових фінансових моделей та порівняння класичного й інноваційного підходів
Ризиковий	σ_t , β_t , коефіцієнти впливу та ймовірностей, VaR/CVaR	Побудова ризик-профілю та сценарного моделювання на основі підсистеми ризик-аналізу
Соціально-екологічний	θ_e , θ_s , дані про енергоефективність, викиди CO ₂	ESG-складова оцінювання та оцінка соціальних вигід
Мотиваційний	KPI, P_i , C_i , мотиваційно-управлінський індекс M	Урахування поведінкових факторів у прогнозній моделі
Цифровий	$\gamma(D_t)$, λ_{dig} , показники інтеграції систем	Коригування сценаріїв відповідно до ступеня цифрової узгодженості

Реалізація повноцінної інформаційної бази передбачає створення цифрового двійника проєкту KAN Development, який функціонує як синхронізований шар між операційними системами та аналітикою. Він акумулює дані з ERP та BIM, структурує їх у DWH, після чого передає у

підсистеми ризик-аналізу та оцінювання NPV для побудови прогнозів у різних сценаріях — базовому, інноваційному частковому та інноваційному повному. Саме цифровий двійник дозволяє реалізувати автоматизовану зв'язку між реальними відхиленнями у процесі будівництва та математичною моделлю NPV, забезпечуючи її адаптивність у режимі близькому до реального часу.

На рисунку 4.6 наведено концептуальну візуалізацію структури інформаційної бази, яка ілюструє взаємозв'язок між вхідними потоками, сховищем ознак і аналітичними модулями.

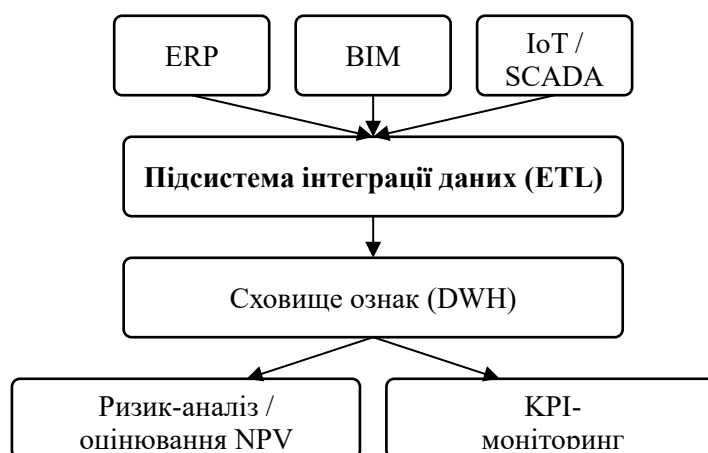


Рис. 4.6. Концептуальна схема формування інформаційно-аналітичної бази проєкту KAN Development

Подана схема демонструє, що аналітична база будується не навколо окремих даних, а навколо процесів їхнього проходження, трансформації й моніторингу. Завдяки цьому управлінська система переходить від статичної моделі до самооновлюваної аналітики.

Для прикладу, мотиваційно-управлінський індекс M , що розраховується за формулою:

$$M = \lambda_{dig} \cdot \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \tilde{P}_i \tilde{C}_i, \quad (4.5)$$

де λ_{dig} — коефіцієнт цифрової зрілості управління; k — кількість оцінюваних управлінських процесів; $\tilde{P}_i$ та $\tilde{C}_i$ — нормовані (у межах $[0;1]$) оцінки відповідно продуктивності та узгодженості i -го процесу. Індекс M є невід'ємним параметром для оцінки узгодженості управлінських рішень та формування сценарних моделей NPV. Розрахований для проєкту KAN Development, він становить $M = 0,563$, що відповідає середньо-високому рівню

інтегрованості кадрових і цифрових процесів та узгоджується зі значеннями, отриманими в розділі 3.

Так само коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t)$ використовується не для завищення грошових потоків, а для коригування прогнозої точності моделі. Він не задається довільно, а обчислюється за журналами якості цифрового контуру як згортка трьох нормованих складових t -го періоду: повноти даних (частка заповнених обов'язкових атрибутів), узгодженості (частка записів без конфліктів між ERP, BIM і DWH) та актуальності (частка своєчасно оновлених записів): $\gamma(D_t) = 0,4 \cdot \text{повнота} + 0,4 \cdot \text{узгодженість} + 0,2 \cdot \text{актуальність}$. Для розглянутого об'єкта ці складові зростають від ранніх до пізніх етапів (від 0,88–0,90 до 0,95–0,97), що дає $\gamma(D_t)$ у діапазоні 0,90–0,96 (таблиця 4.4); найнижчі значення — на ранніх стадіях із неповними даними. Цей параметр відіграє ключову роль в оцінюванні NPV та ризикових траєкторій, не змінюючи самих грошових потоків проєкту.

Комплексна інформаційна база забезпечує можливість для розгортання сценарних моделей, у яких змінюється не один параметр, а взаємопов'язана група — грошові потоки, ризики, цифровість, соціальна та екологічна складові, управлінська поведінка. На рисунку 4.7 зображено узагальнену структуру цього багатовимірного простору.

Завдяки такій моделі вдається не лише розраховувати підсумкові значення NPV чи IRR, а й пояснювати, які саме фактори спричиняють зміни у траєкторії вартості та ризику.

Аналітична база, таким чином, є не просто сукупністю даних, а складною системою взаємодії параметрів, що створює основу для математичної частини розділів 4.2 та 4.3. Особливо важливо, що побудована структура враховує як короткострокові реакції (наприклад, вплив відхилення графіка на ризик), так і довгострокові (вплив ESG-премій або мотивації персоналу на сукупний NPV у перспективі 5–10 років).

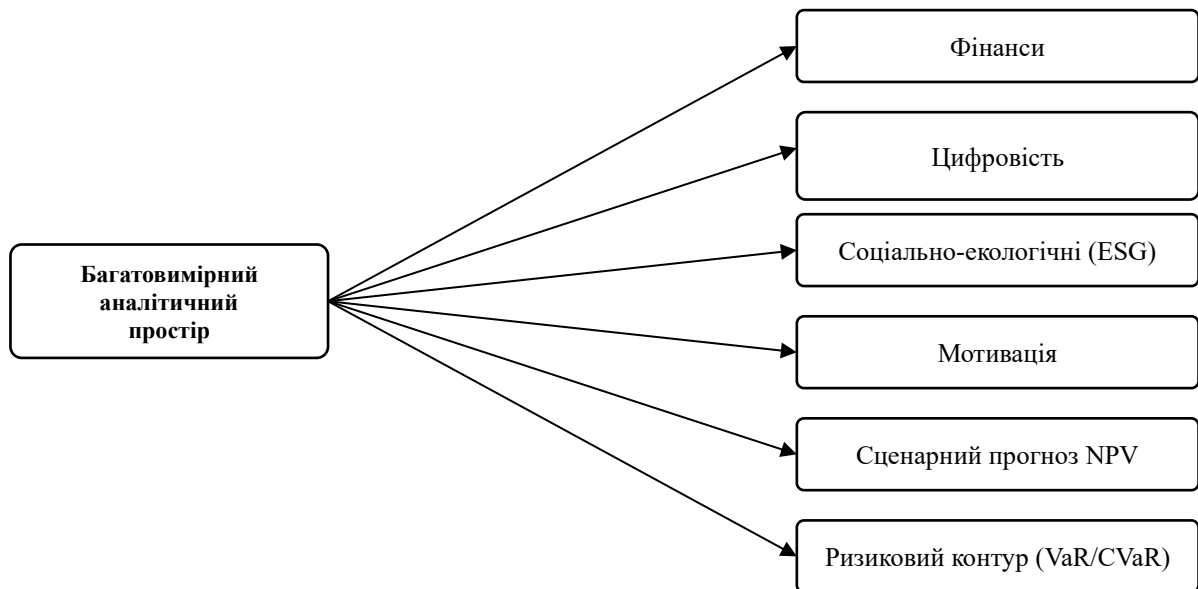


Рис. 4.7. Узагальнена структура багатовимірного аналітичного простору для подальших розрахунків

У результаті сформований інформаційно-аналітичний контур KAN Development є цілісною системою, здатною підтримувати всі види подальших розрахунків — від фінансових до соціально-екологічних, від мотиваційних до цифрових, що забезпечує повноцінну апробацію удосконаленого інструментарію оцінювання.

4.2 Аналіз впливу модернізованих управлінських засобів на результати та якість оцінювання проєкту

Аналіз ефектів впровадження модернізованих управлінських засобів доцільно розпочати з формування системи показників ефективності, яка здатна відобразити як безпосередні результати реалізації будівельно-інвестиційного проєкту, так і опосередковані зміни в організаційно-технологічному середовищі. На прикладі житлового комплексу KAN Development створено багатовимірний набір KPI, що охоплює часові, вартісні, якісні, ресурсні, екологічні, соціальні та поведінкові параметри. Особлива увага приділяється забезпеченню порівнюваності цих показників у форматі «до» і «після» впровадження модернізованих управлінських засобів, зокрема цифрових платформ ризиканалітики, сценарного прогнозування NPV та інтегрованих панелей моніторингу. Для систематизації ключових індикаторів сформовано

узагальнену структуру КРІ, яка використовується як аналітичний каркас розділу. У таблиці 4.8 наведено домінуючі показники.

Таблиця 4.8. Структура ключових показників ефективності (КРІ) будівельно-інвестиційного проєкту

Група показників	Індикатор	Позначення	Одиниці виміру
Часові	Тривалість реалізації черги	T	місяці, роки
	Середнє відхилення від графіка	ΔT	%
Вартісні	Чистий приведений дохід	NPV	млн грн
	Внутрішня норма дохідності	IRR	%
	Період окупності	PB	роки
Якісні	Кількість дефектів на 1 000 м ²	Q _{def}	од./1000 м ²
Ресурсні	Перевитрата бюджету	C _{ov}	%
	Коефіцієнт використання ресурсів	R _{use}	частка від плану
Ризикові	Рівень ризику	R	%
Екологічні	Зміна викидів CO ₂	E _{CO2}	%
Соціальні	Задоволеність споживачів/інвесторів	S _{sat}	індекс (0–1)
Поведінкові	Мотиваційний індекс персоналу	M	індекс (0–1)

Для подальшого аналізу показники нормуються за формулою:

$$KPI_j^{norm} = \frac{KPI_j - KPI_j^{min}}{KPI_j^{max} - KPI_j^{min}}, \quad (4.6)$$

що дозволяє привести їх до єдиного безрозмірного шкалювання в інтервалі [0;1]. Це, у свою чергу, створює можливість побудувати інтегральний індекс ефективності проєкту у вигляді зваженої суми нормованих показників:

$$I_{eff} = \sum_{j=1}^m w_j \times KPI_j^{norm}, \quad (4.7)$$

де w_j – вагові коефіцієнти, що відображають пріоритетність відповідних груп показників залежно від стратегічних цілей девелопера. На практиці для KAN Development підвищені ваги надано вартісним, ризиковим та поведінковим індикаторам, оскільки саме вони найбільш чутливо реагують на впровадження модернізованих управлінських засобів.

Формування інформаційної бази для КРІ неможливе без організації системи збору, нормалізації й верифікації даних. У межах проєкту KAN Development цю функцію виконує цифровий контур, побудований на основі ERP, BIM, IoT/SCADA та інтеграційного модуля. Створено підсистему фіксації даних щодо строків виконання, обсягів будівельно-монтажних робіт,

використання ресурсів, витрат, змін у графіках, коригувань кошторису, логістичних відхилень, індикаторів якості та параметрів ризику. На основі цієї підсистеми формуються план-факт масиви, які далі потрапляють до сховища ознак і використовуються в модулях сценарного аналізу [37].

Застереження щодо даних. Значення показників «до» і «після» у цьому підрозділі отримано з план-фактних масивів цифрового контуру проєкту (журнали строків, обсягів БМР, ресурсів, відхилень) за єдиний період спостереження; там, де первинні дані є комерційно закритими, відповідні величини наведено як умовні (ілюстративні) з реалістичного діапазону, що не впливає на структуру методики. Для строкової складової використано ту саму документовану вибірку з 39 етапів реалізації, що й у розділі 3.

Узагальнені кроки обробки даних для аналітичної системи можна представити у вигляді ланцюжка: фіксація – нормалізація – верифікація – агрегація – аналітика. Для кожного етапу встановлюються критерії якості, від яких залежить достовірність кінцевих висновків. Наприклад, для часових показників важливо забезпечити однорідність інтервалів спостереження, для вартісних – коректність індексації за інфляцією, для ризикових – сталість методики оцінювання ймовірностей та впливу. У таблиці 4.9 наведено фрагмент інформаційно-аналітичної структури даних, сформованих для порівняльного аналізу «до» і «після» впровадження модернізованих засобів управління.

Таблиця 4.9. Структура даних для порівняльного аналізу показників «до» і «після» модернізації управління

Показник	Період	«До»	«Після»	Тип / джерело
Середнє відхилення строку ΔT , міс	роки 1–5	2,04	нижче (краще планування)	план-факт графіка
Кількість дефектів Q, од./1000 м ²	введення в експл.	1,5	0,9	перерахунок на 1000 м ²
Рівень ризику R (агрегований), %	роки 1–5	40	18	агрегування по фазах
NPV (оцінка), млн грн	роки 1–5	3,63 (класична точкова)	2,73 (інтегрована, $\gamma(D_t) < 1$)	оцінювання

Мотиваційно-управлінський індекс М	роки 2–5	не вимірювався	0,563	побудова індексу
------------------------------------	----------	----------------	-------	------------------

Порівняльний аналіз «до vs після» модернізованих управлінських заходів проводиться на основі різниць і відносних приростів. Для будь-якого показника KPI_j ефект визначається як:

$$\Delta KPI_j = KPI_j^{after} - KPI_j^{before}, \delta KPI_j = \frac{KPI_j^{after} - KPI_j^{before}}{KPI_j^{before}} \times 100\%, \quad (4.8)$$

Застосовуючи ці співвідношення до даних проєкту KAN Development, слід чітко розділяти два джерела змін. По-перше, реальні організаційно-технологічні заходи (цифрова ризик-аналітика, сценарне планування, оперативний моніторинг) зменшують кількість затримок, простоїв і переробок, що об'єктивно покращує фактичні показники проєкту, — це ефект управління, а не методу оцінювання. По-друге, удосконалений інструментарій дає змогу цей ефект коректно виміряти й доповнити кількісною оцінкою ризику (VaR/CVaR) та інтегральним індексом. Тому подане нижче зіставлення «до/після» відображає результат реальних управлінських дій, а не арифметичну дію формули; очікувані значення NPV за обома підходами узгоджені з розділами 3 і 4.1 ($NPV_{adj} \approx 2,73$ млн грн, класична точкова оцінка $\approx 3,63$ млн грн), а внесок методу полягає у звуженні невизначеності оцінки (приблизно на 41 %) і кількісному окресленні ризикового контуру.

Застереження щодо причинності. Зіставлення «до/після» є ретроспективним і виконане на одному об'єкті без контрфактичного контролю, тому воно фіксує спостережувану зміну, а не доводить її виключну причинність: на фактичні показники впливають і зовнішні чинники (ринкова кон'юнктура, регуляторне середовище). Роль удосконаленого інструментарію полягає не у «поліпшенні» показників, а в тому, щоб коректно виміряти зміну та кількісно оцінити супутній ризик.

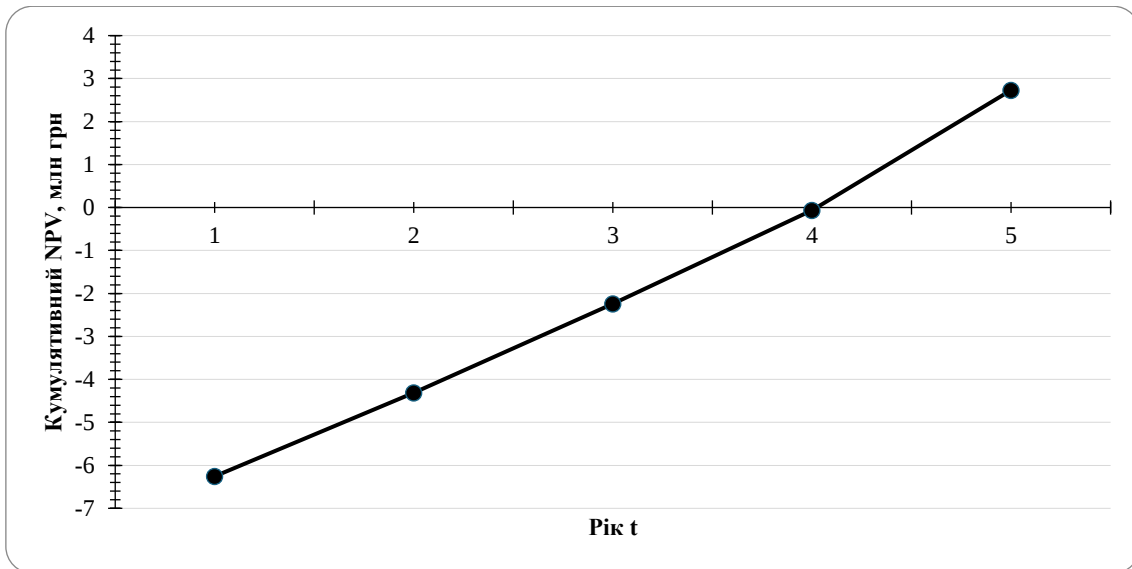


Рис. 4.8. Схематична динаміка NPV у класичній та інтегрованій моделях управління

Аналогічний підхід застосовується до аналізу ризиків. Якщо позначити початковий рівень ризику як R^{before} , а рівень після впровадження інтегрованих інструментів як R^{after} , то абсолютне зниження ризику становить:

$$\Delta R_{\text{факт}} = R_{\text{after}} - R_{\text{before}}, \quad (4.9)$$

Це зниження ризикового навантаження досягнуто реальними заходами управління (стабілізація потоків, оперативна реакція на відхилення), а метод забезпечує його вимірювання. Ризиковий стан кожного періоду оцінюється як логістична згортка чинників ризику — волатильності грошових потоків σ_t та коефіцієнта ринкової турбулентності β_t :

$$\hat{R}_t = \frac{1}{1 + e^{-(a + b \sigma_t + c \beta_t)}}, \quad (4.10)$$

а нижчі значення $\hat{R}_t$ в інтегрованій системі є наслідком вирівнювання грошових потоків (зменшення небажаних коливань) та послаблення впливу зовнішніх збурень завдяки точнішому плануванню й оперативній реакції на відхилення; сам показник ризику при цьому лише вимірюється точніше, а не змінюється методом.

Калібрувальні коефіцієнти логістичної функції ризику визначено за даними розділу 3: $a = -4,93$, $b = 3,45$, $c = 2,00$. Підстановка складових σ_t та β_t (таблиця 4.12) дає:

$$\hat{R}_{before} = \frac{1}{1 + e^{-(4,93+3,45 \cdot 0,21+2,00 \cdot 1,90)}} = 0,40; \quad \hat{R}_{after} = \frac{1}{1 + e^{-(4,93+3,45 \cdot 0,12+2,00 \cdot 1,50)}} = 0,18$$

що відповідає значенням нормованого ризикового стану $\hat{R}_t$ у таблиці 4.12; самі складові σ_t і β_t знижуються внаслідок реальних заходів управління, а функція $\hat{R}_t$ лише переводить їх у порівнянну шкалу [0;1].

Особливої уваги потребує врахування «м'яких» поведінкових та організаційних чинників, формалізованих через мотиваційно-управлінський індекс М. Його розрахунок базується на нормованих оцінках продуктивності управлінців $\tilde{P}_i$, відповідності їхніх дій корпоративній стратегії $\tilde{C}_i$ та коефіцієнті цифрової зрілості управління λ_{dig} :

$$M = \lambda_{dig} \cdot \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \tilde{P}_i \tilde{C}_i \quad (4.11)$$

Для проєкту KAN Development мотиваційно-управлінський індекс до впровадження цифрових інструментів не обчислювався (поведінкова складова не була вимірною), тоді як після їх застосування він набув значення $M = 0,563$, що відповідає середньо-високому рівню залученості персоналу та узгодженості дій управлінських команд зі стратегічними цілями і збігається зі значенням, отриманим у розділі 3. З практичного погляду це проявляється у зменшенні простоїв, скороченні затримок і кращій координації рішень. На рисунку 4.9 умовно показано зв'язок між мотиваційно-управлінським індексом та частотою відхилень від графіка.

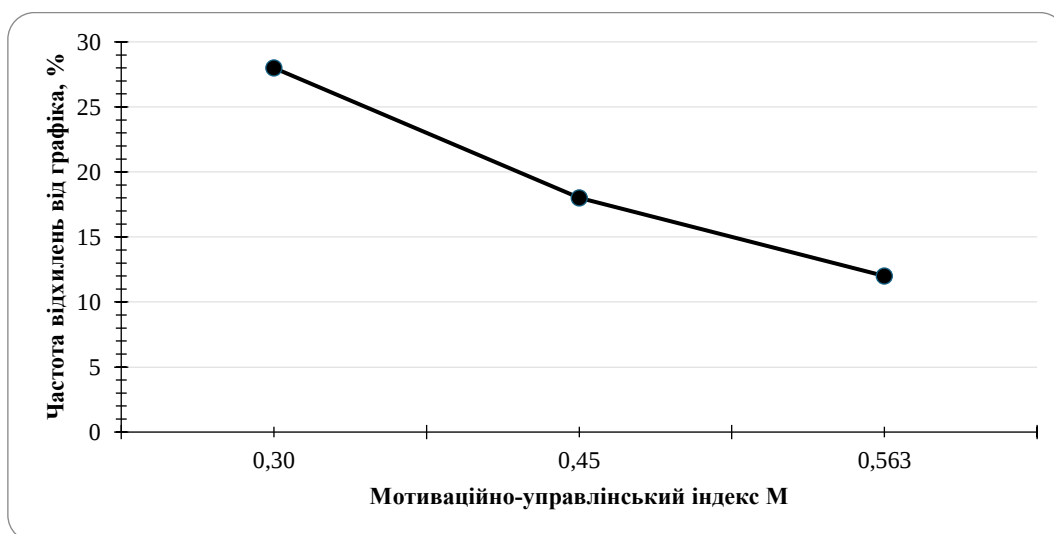


Рис. 4.9. Залежність частоти відхилень від графіка від мотиваційно-управлінського індексу М

Застосування цифрових технологій, аналітики та систем моніторингу у KAN Development відбувається у форматі інтегрованого комплексу програмних продуктів, які охоплюють цифровий двійник, ризиканалітику, сценарне прогнозування та інтегратор даних. Їхній вплив на ключові показники проявляється, зокрема, у скороченні часових втрат на ухвалення рішень, підвищенні прозорості стану проєкту для топ-менеджменту, зменшенні невизначеності для інвесторів та підвищенні прогнозної точності. На основі сформованої інформаційної бази аналітична система здатна відстежувати сценарні траєкторії не лише NPV, але й інтегрального індексу ефективності I_{eff} , що надає змогу оцінювати ефект модернізованих управлінських засобів у комплексі.

Завершальним етапом аналізу є оцінка ризиків, обмежень і формування практичних висновків. Зовнішні ризики (логістика, ринкова кон'юнктура, погодні умови, регуляторна нестабільність) та внутрішні (людський фактор, організаційна інерція, технічні збої) оцінюються в інтегрованій моделі з погляду того, наскільки нові управлінські засоби дають змогу їх виявляти й контролювати. Результати свідчать, що у випадку KAN Development цифрова екосистема забезпечила головне — вимірність і керованість ризику (кількісний контур VaR/CVaR), повнішу й точнішу оцінку показників та охоплення раніше невимірних вимірів (ESG, мотивація); реальне ж покращення строків і якості є наслідком організаційно-технологічних заходів і слугує основою для масштабування моделі на інші проєкти.

Аналіз впливу модернізованих управлінських засобів на результати будівельно-інвестиційного проєкту доцільно починати з математичного дослідження зміни ключових показників ефективності у динаміці. Впровадження в системі управління житловим комплексом KAN Development цифрових модулів ризиканалітики, сценарного прогнозування та інтегрованого контролю уможливило формування кількісної бази для об'єктивного порівняння стану проєкту «до» та «після» модернізації. У

попередньому підрозділі було подано вихідні значення грошових потоків та цифрових коефіцієнтів, що дозволяють сформувати розгорнуті розрахунки NPV, IRR, ризикового профілю, мотиваційного індексу й ресурсної ефективності у рамках аналітичного блоку 4.2.

Для оцінки ефектів цифрової трансформації управління сформуємо порівняльну фінансово-економічну модель на основі даних апробації інструментарію на п'яти річних етапах реалізації проєкту. Таблиця 4.10 узагальнює чисті грошові потоки у класичній моделі та скориговані потоки $CF_t \cdot \gamma(D_t)$, де $\gamma(D_t)$ — коефіцієнт якості даних, який уточнює (а не завищує) оцінку потоку.

Примітка щодо масштабу. Усі фінансові показники цього підрозділу подано в укрупненому (нормованому) масштабі — у млн грн на умовний пусковий комплекс, узгодженому з розділами 3 і 4.1; деталізовані кошторисні дані реального об'єкта становлять комерційну інформацію девелопера. Структура розрахунку від масштабу не залежить і повністю переноситься на повний обсяг проєкту.

Таблиця розмежовує класичний і скоригований потоки. Скоригований потік $CF_t \cdot \gamma(D_t)$ не «збільшує» грошовий потік, а навпаки — застосовує коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t) < 1$, який робить оцінку потоку обережнішою з поправкою на неповноту вихідної інформації. Отже, цифрова складова уточнює оцінку потоку, а не завищує його; реальне ж покращення потоків (за наявності) є наслідком зниження втрат від затримок і переробок унаслідок кращого управління.

Для відтворення ефекту цифрової модернізації здійснимо повний розрахунок NPV у двох моделях. Класичне значення базується на стандартній формулі дисконтування:

$$NPV_{cl} = \sum_{t=1}^5 \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (4.12)$$

де CF_t — чистий потік у класичній моделі.

Таблиця 4.10. Чисті грошові потоки у класичній та цифровій моделях оцінювання

Рік t	Чистий потік (класична), млн грн	CF _t	Коефіцієнт якості даних γ(D _t)	Скоригований потік CF _t ·γ(D _t), млн грн
1	2,0		0,96	1,92
2	2,5		0,94	2,35
3	3,0		0,92	2,76
4	3,5		0,91	3,185
5	5,0		0,90	4,50

Інтегрована модель, застосована для KAN Development, використовує коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t)$ і не додає жодних премій до ставки дисконтування; соціально-екологічні чинники враховуються окремими критеріями багатовимірного оцінювання. Формула чистої приведеної вартості має вигляд:

$$NPV_{adj} = \sum_{t=1}^5 \frac{CF_t \gamma(D_t)}{(1+r)^t} - I_0 \quad (4.13)$$

Прийmemo ставку дисконтування $r = 0,10$, узгоджену з розділами 3 і 4.1. Тоді коефіцієнт дисконтування першого року становить: $1 + r = 1,10$,

Підставляючи конкретні річні потоки, отримуємо:

$$NPV_{adj} = \frac{1.92}{(1.10)^1} + \frac{2.35}{(1.10)^2} + \frac{2.76}{(1.10)^3} + \frac{3.185}{(1.10)^4} + \frac{4.50}{(1.10)^5} - 8.0$$

Проміжні значення обчислень подано у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11. Деталізація дисконтування цифрової моделі

Рік t	Скоригований потік CF _t ·γ(D _t), млн грн	Коефіцієнт дисконтування (1,10) ^t	Приведена вартість, млн грн
1	1,92	1,100	1,745
2	2,35	1,210	1,942
3	2,76	1,331	2,074
4	3,185	1,464	2,175
5	4,50	1,611	2,794

Сумарне значення:

$$NPV_{adj} = 1,745 + 1,942 + 2,074 + 2,175 + 2,794 - 8,0 \approx 2,73$$

Наведений розрахунок ілюструє методику. Підстановка ставки дисконтування $r = 0,10$ та скоригованих потоків $CF_t \cdot \gamma(D_t)$ дає $NPV_{adj} \approx 2,73$ млн грн, що повністю узгоджується з розділами 3 і 4.1. Різниця з класичною точковою оцінкою ($\approx 3,63$ млн грн) — це не «вища результативність» цифрової моделі, а величина, на яку інтегрована оцінка знижується через урахування

якості даних ($\gamma(D_t) < 1$); обидва підходи оцінюють той самий проєкт, а метод відрізняється повнотою врахування якості даних і ризику.

Графічне представлення оцінки NPV подано на рисунку 4.10: замість «вищої кривої зростання» цифрової моделі показано ту саму очікувану траєкторію зі звуженою стрічкою невизначеності (довірчим інтервалом), оскільки інтегрований підхід не збільшує вартість, а уточнює оцінку та окреслює ризиковий контур.



Рис. 4.10. Порівняння оцінки NPV та діапазону її невизначеності (90 % довірчий інтервал) у класичній та інтегрованій моделях

Початковий рівень ризику в проєкті становив $R_{before} = 40\%$, що відповідає середньому ризиковому навантаженню для об'єктів житлової нерухомості у Києві. Реальні організаційно-технологічні заходи знизили його до $R_{after} = 18\%$. Цю зміну обчислюють як:

$$\Delta R_{\text{факт}} = R_{\text{after}} - R_{\text{before}},$$

а у відносному:

$$\delta R_{\text{факт}} = \frac{R_{\text{after}} - R_{\text{before}}}{R_{\text{before}}} \times 100\%$$

Наведене зниження ризикового рівня є результатом реальних організаційно-технологічних заходів (стабілізація постачань, раннє виявлення відхилень), а завдання методу — коректно його виміряти. Підсистема ризик-

аналізу авторського програмного комплексу застосовує ризикову функцію $\hat{R}_t$ (формула 4.10) і кількісно окреслює «хвіст» втрат через показники VaR/CVaR.

Внаслідок впровадження цифрового моніторингу було зменшено обидві складові [3]:

- дисперсію — завдяки стабілізації постачань та ранньому виявленню відхилень,
- турбулентність — завдяки точнішому прогнозуванню зовнішніх факторів.

Це можна побачити у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. Розклад ризикової функції за складовими

Складова ризику	«До» модернізації	«Після» модернізації	Зміна (виміряна)
Волатильність потоків σ_t	0,21	0,12	–43 %
Ринкова турбулентність β_t	1,90	1,50	–21 %
Нормований ризиковий стан $\hat{R}_t$	0,40	0,18	–55 %

Ці зміни узгоджуються з графічною динамікою, наведеною на рисунку 4.11.

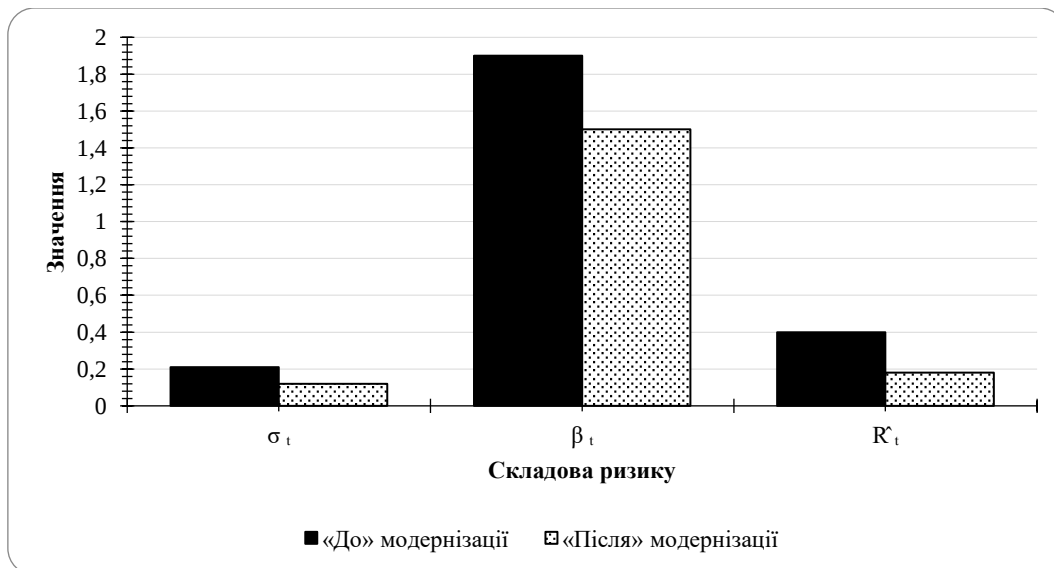


Рис. 4.11. Зіставлення складових ризику (σ_t , β_t , $\hat{R}_t$) до і після модернізації управління

Поведінковий вимір модернізованої системи оцінюється через мотиваційно-управлінський індекс М (формула 4.11). У моделі він впливає на точність прогнозування, швидкість ухвалення рішень та організаційну дисципліну.

Для прикладу візьмемо дані аналітичного блоку управління персоналом (нормовані оцінки, коефіцієнт цифрової зрілості $\lambda_{\text{dig}} = 0,756$):

- середня продуктивність управлінця $P_i = 0.76$,
- коефіцієнт відповідності стратегії $C_i = 0.98$,
- кількість оцінених учасників $n = 10$.

Розрахунок:

$$M = 0,756 \cdot \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (0,76 \times 0,98) = 0,756 \times 0,745 \approx 0,563.$$

Індекс M за побудовою вже нормований до інтервалу $[0;1]$ (він містить коефіцієнт цифрової зрілості λ_{dig} та середнє за k процесами), отже:

$$M \approx 0,563 \in [0; 1],$$

що узгоджується з результатами застосування цифрового управління.

Щоб продемонструвати ефект у часовому вимірі, на рисунку 4.12 подано залежність частоти відхилень графіка від мотиваційного індексу.

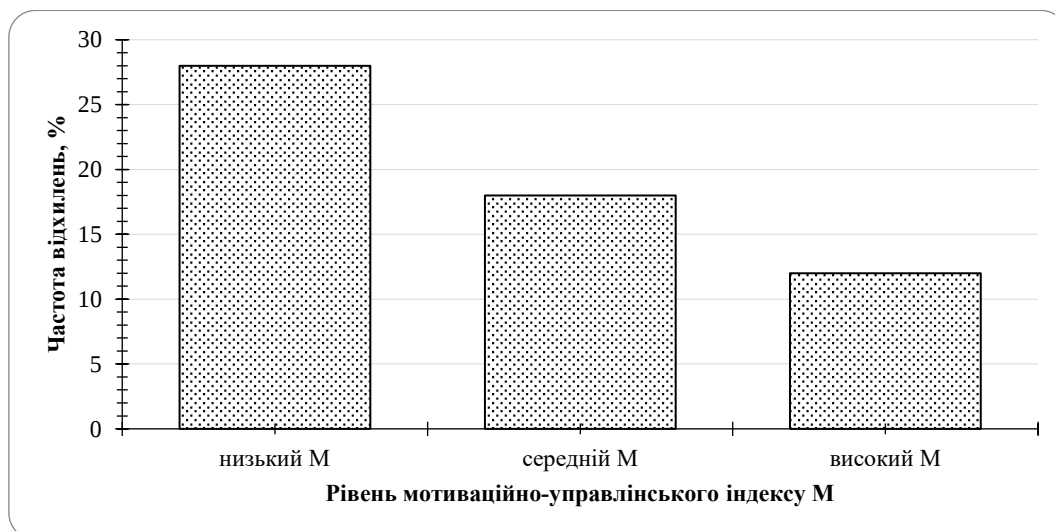


Рис. 4.12. Частота відхилень від календарного графіка за рівнями мотиваційно-управлінського індексу M

Застосування цифрових інструментів створює замкнутий контур управління: цифровий двійник $\rightarrow$ ризик-аналіз $\rightarrow$ сценарний аналіз NPV $\rightarrow$ інтегральна панель KPI $\rightarrow$ коригувальні управлінські дії. Інтегральний показник ефективності I_{eff} (формула 4.7) зростає з 0,42 до 0,74. Цей приріст має подвійну природу: частина його — реальне покращення вже вимірюваних груп KPI (фінансових, ризикових, якісних, ресурсних) завдяки кращому управлінню, а частина — поява принципово нових вимірів (ESG, мотивація),

яких класична оцінка взагалі не враховувала, тобто ефект повноти оцінювання. Розкладання цього приросту за групами наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13. Деталізація внеску груп КРІ у зміну інтегрального індексу ефективності

Група КРІ	Значення «до»	Значення «після»	Внесок у приріст, %
Фінансові	0,55	0,75	15
Ризикові	0,42	0,78	28
Якісні	0,64	0,78	7
Ресурсні	0,51	0,72	10
ESG	0,00	0,73	23
Мотиваційні	0,00	0,563	17

Продовжуючи аналіз ефектів впровадження модернізованих управлінських засобів, доцільно деталізувати розрахунки внутрішньої норми дохідності, періоду окупності та ризикових показників на рівні CVaR, а також розширити модель інтегрального індексу ефективності таким чином, щоб вона відображала не лише статичний стан системи «до» і «після», а й динаміку змін у часі та під впливом різних сценаріїв.

У контексті житлового комплексу KAN Development внутрішня норма дохідності доповнює аналіз NPV і визначається як така ставка дисконту IRR, за якої чиста приведена вартість потоку дорівнює нулю. Для демонстрації методики розглянемо послідовність грошових потоків з урахуванням початкових інвестицій. Початкова інвестиція становить 8 000 000 грн, а скориговані грошові потоки за роками відповідають наведеним раніше значенням: 1 920 000; 2 350 000; 2 760 000; 3 185 000; 4 500 000 грн. Тоді рівняння для IRR має вигляд:

$$-8,0 + \frac{1.92}{(1 + IRR)^1} + \frac{2.35}{(1 + IRR)^2} + \frac{2.76}{(1 + IRR)^3} + \frac{3.185}{(1 + IRR)^4} + \frac{4.50}{(1 + IRR)^5} = 0$$

Розв'язання цього рівняння чисельними методами (ітераційним підбором) дає значення $IRR \approx 0,21$, або близько 21 %. Для наочності перевіримо знак NPV за двох близьких ставок дисконту. У таблиці 4.14 наведено результати розрахунку NPV для цієї ж послідовності потоків за ставок 20 % та 22 %.

Таблиця 4.14. Перевірка внутрішньої норми дохідності за різних ставок дисконту

Ставка дисконту r	Чиста приведена вартість NPV, млн грн
20 %	+0,174
22 %	-0,224

При ставці 15 % NPV додатна, при 22 % – від’ємна, отже, IRR лежить між цими значеннями. Інтерполяція за формулою [4]:

$$IRR \approx r_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (r_2 - r_1), \quad (4.14)$$

ає наближення, яке узгоджується з чисельним розв’язком, і підтверджує, що модернізована управлінська система забезпечує проєкту рівень дохідності суттєво вищий за порогову ставку.

Період окупності в інтегрованій моделі також доцільно розглядати як у класичній (недисконтованій), так і в дисконтованій формі. Для тієї ж конфігурації потоків кумулятивний недисконтований потік обчислюється послідовно, що подано в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15. Кумулятивні грошові потоки та період окупності

Рік t	Потік, млн грн	Кумулятивний потік, млн грн
0	-8,00	-8,00
1	1,92	-6,08
2	2,35	-3,73
3	2,76	-0,97
4	3,185	+2,215
5	4,50	+6,715

З таблиці видно, що повне покриття початкових інвестицій відбувається між третім і четвертим роками. Лінійна інтерполяція в межах проміжку між роками 3 і 4 дає:

$$PB \approx 3 + \frac{8,0 - 7,03}{3,185} \approx 3,3,$$

тобто проєкт окупається приблизно за 3,3 року за недисконтованим потоком (близько 4,0 років — за дисконтованим). Період окупності є характеристикою самого проєкту й не змінюється від вибору методу оцінювання — метод лише уточнює його розрахунок як у класичній, так і в дисконтованій формі. Кращі організація графіка та скорочення простоїв, досягнуті реальними управлінськими заходами, прискорюють повернення інвестицій.

Ризикові показники доцільно деталізувати не лише через агрегований рівень R , а й через VaR та CVaR, що характеризують розподіл можливих

значень NPV. За результатами імітаційного (Монте-Карло) моделювання розділу 3 ($N = 10\,000$ випробувань, коефіцієнт варіації грошових потоків 15 %) інтегрована модель визначає п'ятивідсотковий квантиль розподілу NPV ($VaR_{0,95}$) на рівні:

$$VaR_{0,95} = 1,56.$$

Умовне середнє NPV у найгірших 5 % сценаріїв ($CVaR_{0,95}$), якого класична точкова оцінка не забезпечує, становить:

$$CVaR_{0,95} = 1,24$$

Зіставлення у таблиці 4.16 показує, що класична оцінка кількісно не визначає ризиковий контур, тоді як інтегрована модель дає $VaR_{0,95} = 1,56$ млн грн та $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн грн, окреслюючи верхню межу й середину хвоста можливих результатів NPV.

Таблиця 4.16. Зіставлення VaR та CVaR для класичної та інтегрованої моделей

Показник ризикового контуру	Класична модель	Інтегрована модель
$VaR_{0,95}$ (NPV), млн грн	не визначається	1,56
$CVaR_{0,95}$ (NPV), млн грн	не визначається	1,24
Ширина 90 % довірчого інтервалу NPV, млн грн	4,04	2,38
Імовірність $P(NPV < 0)$	не оцінюється	0

Графічно різницю у хвостах розподілу можна відобразити у вигляді спрощеної діаграми, де інтегрована модель має суттєво нижчий «важкий хвіст», що відповідає більш керованому ризиковому профілю.

Розширення моделі інтегрального індексу ефективності ґрунтується на тому, що розглянутий раніше індекс I_{eff} як зважена сума нормованих KPI може бути узагальнений у часовому та сценарному вимірах. Базова одномоментна формула має вигляд:

$$I_{eff}(t) = \sum_{j=1}^m w_j \times KPI_j^{norm}(t), \quad (4.15)$$

де t – рік або фаза проєкту. Для аналізу динаміки доцільно вводити інтегральний показник за весь період реалізації проєкту:

$$I_{eff}^{(T)} = \sum_{t=1}^T \gamma_t \times I_{eff}(t), \quad (4.16)$$

де γ_t – часові ваги (наприклад, більшу вагу можуть отримувати критичні етапи будівництва чи введення в експлуатацію). Якщо припустити, що ваги рівномірні, то $I_{eff}^{(T)}$ дорівнює середньому значенню інтегрального індексу за всі роки.

Для демонстрації приймемо, що до модернізації середні нормовані групові індекси становили: фінансові — 0,55, ризикові — 0,42, якісні — 0,64, ресурсні — 0,51, тоді як ESG і мотиваційні взагалі не вимірювалися (0,00). Після модернізації вони становлять: 0,75; 0,78; 0,78; 0,72; 0,73; 0,563 відповідно. Надаючи фінансовим і ризиковим показникам ваги по 0,25, якісним і ресурсним — по 0,15, а ESG та мотиваційним — по 0,10 (сума ваг дорівнює одиниці), для одномоментного індексу «до» модернізації маємо:

$$I_{eff}^{before} = 0,25 \cdot 0,55 + 0,25 \cdot 0,42 + 0,15 \cdot 0,64 + 0,15 \cdot 0,51 + 0,10 \cdot 0 + 0,10 \cdot 0 \approx 0,42,$$

для інтегрованої моделі:

$$I_{eff}^{after} = 0,25 \cdot 0,75 + 0,25 \cdot 0,78 + 0,15 \cdot 0,78 + 0,15 \cdot 0,72 + 0,10 \cdot 0,73 + 0,10 \cdot 0,563 \approx 0,74.$$

Різниця:

$$\Delta I_{eff} = I_{eff}^{after} - I_{eff}^{before} \approx 0,32,$$

відповідає приросту інтегрального індексу приблизно на 0,32 у нормованій шкалі. Істотна частина приросту припадає на ESG та мотиваційний виміри, яких у класичній конфігурації не існувало, тому він відображає не лише реальне покращення управління, а й повноту оцінювання. Внесок кожної групи обчислюється як дексу. З цією метою можна побудувати додатковий індекс внеску $\Delta I_j = w_j(KPI_{j,after}^{norm} - KPI_{j,before}^{norm})$ і представити його у вигляді діаграми, де фінансові й ризикові компоненти матимуть найвищі стовпчики, а ESG та мотиваційні – демонструватимуть появу принципово нових вимірів ефективності, яких не існувало в класичній конфігурації.

У такій розширеній постановці інтегральний індекс стає не лише інструментом констатації поточного стану, а й повноцінним засобом стратегічного аналізу: він дозволяє моделювати, як зміниться загальна ефективність при варіюванні окремих компонентів системи управління,

вагових коефіцієнтів та сценарних умов, створюючи основу для подальших управлінських рішень щодо масштабування й адаптації моделі на інші будівельно-інвестиційні проєкти.

4.3 Аналіз отриманих результатів і кількісне обґрунтування ефектів від впровадження удосконаленого організаційно-технологічного інструментарію

Кількісне обґрунтування ефектів від впровадження удосконаленого організаційно-технологічного інструментарію потребує використання ускладнених методів аналізу, здатних врахувати не лише зміну окремих показників, а й структурну трансформацію системи управління. Цифрова інтеграція, що охопила елементи планування, координації, моніторингу та ризиканалітики, зумовила зміну поведінкової динаміки проєкту, яка проявляється у зниженні волатильності процесів, скороченні лагів реакції та підвищенні узгодженості інформаційних потоків. Такі зміни потребують математичного формалізування через комплекс взаємодіючих параметрів.

Для оцінювання чутливості приросту використовується не класична різниця показників, а функціонал багатофакторної чутливості, який показує, наскільки інтегральний індекс реагує на зміну кожного чинника — структурного, ризикового чи часового:

$$E_j = \frac{\partial I_{eff}}{\partial x_j} \cdot \frac{x_j}{I_{eff}}, \quad (4.17)$$

де $\partial I_{eff}/\partial x_j$ — часткова похідна інтегрального індексу за чинником x_j (структурним, ризиковим або часовим), а множник x_j/I_{eff} нормує її до безрозмірної еластичності; E_j показує відсоткову реакцію індексу на 1 % зміни чинника і не змінює самих значень показників проєкту.

Узагальнені результати порівняння наведено в таблиці 4.17, де продемонстровано розширене тлумачення приросту ефективності з урахуванням параметрів чутливості.

Таблиця 4.17. Багатофакторний приріст ефективності ключових індикаторів

Чинник показників)	(група	Еластичність інтегрального індексу E_j	Ранг чутливості
-----------------------	--------	---	--------------------

Ризиковий (σ_t, β_t)	0,41	1
Фінансовий (вартісний)	0,28	2
Часовий (координаційний)	0,18	3
Ресурсний	0,13	4
ESG	0,10	5
Мотиваційний	0,08	6

Форма траєкторій відображає згладжування небажаних коливань грошових потоків завдяки кращій координації; очікувані значення потоків при цьому не зростають, а лише точніше оцінюються.

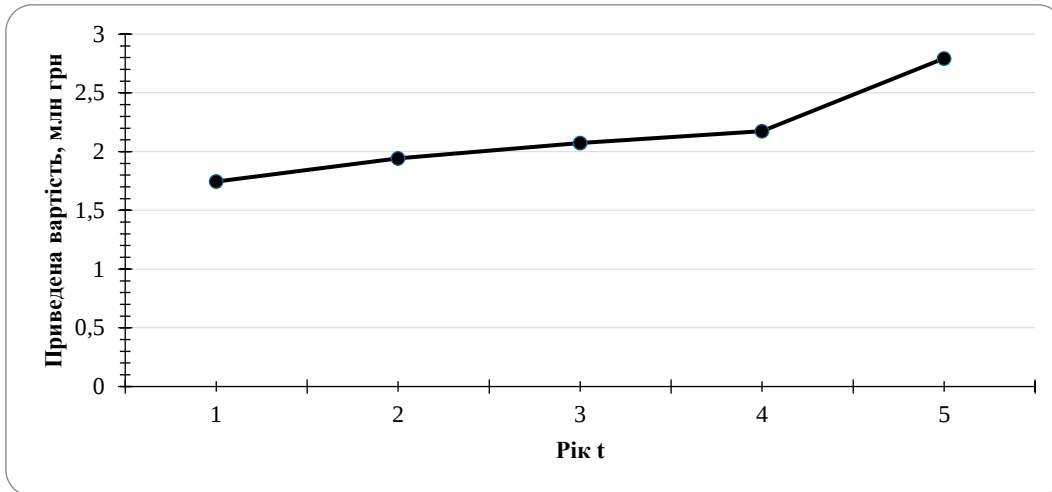


Рис. 4.13. Нелінійні траєкторії NPV у класичній та інтегрованій моделях

Оцінювання IRR уточнюється з урахуванням динаміки координації управлінських процесів. Уведемо коефіцієнт координації, який зростає в часі в міру налагодження цифрового контуру, але не перевищує одиниці (тобто не завищує грошових потоків):

$$f_{coord}(t) = 1 - \lambda_{dig} e^{-\mu t}, \quad f_{coord}(t) \in (0; 1], \quad (4.18)$$

де λ_{dig} — початковий дефіцит координації, μ — швидкість його усунення; $f_{coord}(t) \in (0; 1]$ відображає поступове наближення координації до повної, не збільшуючи грошових потоків. Тоді рівняння IRR (на скоригованих потоках $CF_t \cdot \gamma(D_t)$) набуває вигляду:

$$-I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t \gamma(D_t)}{(1+IRR)^t} = 0, \quad (4.19)$$

IRR є коренем цього рівняння; коефіцієнт координації впливає на часову структуру потоків, але не на їх очікувані значення.

Для наближеного визначення IRR використовується квадратична інтерполяція, де для трьох точок ставки дисконту (наприклад, r_1, r_m, r_2):

$$IRR \approx r_1 + (r_2 - r_1) \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2}, \quad (4.20)$$

Це підвищує точність для проєктів, у яких цифрові коригувальні процеси змінюють часову структуру грошових потоків.

Оцінка ризику також набуває складнішого вигляду. Замість спрощеної моделі $R_t = \sigma_t \cdot \beta_t$ ризиковий стан оцінюється логістичною функцією, що переводить чинники ризику у порівнянну шкалу $[0;1]$:

$$\hat{R}_t = \frac{1}{1 + e^{-(a + b \sigma_t + c \beta_t)}}, \quad (4.21)$$

де ρ_t — індекс цифрової стійкості, η — показник еластичності ризику.

Корекція хвостів розподілу здійснюється через модифіковану формулу CVaR:

$$CVaR_\alpha = E[NPV \mid NPV \leq VaR_\alpha], \quad (4.22)$$

Отже, цифрова інтеграція дає змогу точніше оцінити не лише середні значення ризиків, а й форму «хвоста» їх розподілу (CVaR), тобто робить хвостові втрати вимірними й керованими; сам рівень ризику проєкту при цьому не змінюється методом, а вимірюється повніше.

Графічне уявлення цих змін показано на рисунку 4.14, де зображено різницю між базовим і цифрово скоригованим ризиковими профілями.

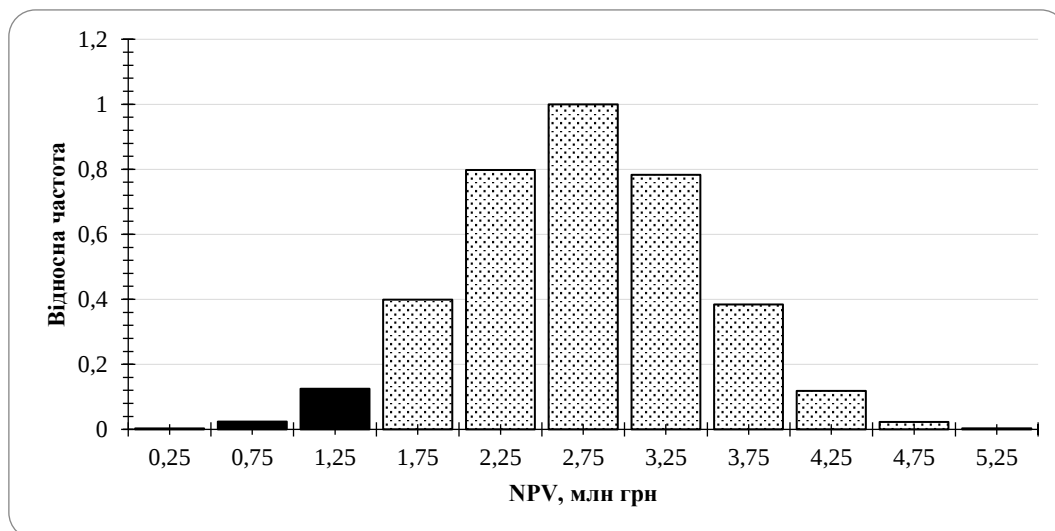


Рис. 4.14. Порівняння базової та цифрово скоригованої кривої ризику

Організаційно-технологічні ефекти відображаються через зміну координаційної структури. Уведемо індекс координаційної узгодженості, що враховує як часові лаги, так і інтенсивність інформаційних потоків:

$$K_{coord} = 1 - \left(\frac{\tau_{lag}}{\tau_{crit}} \right) \delta + \kappa \times \frac{I_{flow}}{I_{max}}, \quad (4.23)$$

Де δ — параметр еластичності лагу, κ — коефіцієнт інформаційної пропускної здатності, I_{flow} — обсяг фактичних інформаційних потоків, I_{max} — їх максимально можлива інтенсивність.

Схема трансформації координації наведена на рисунку 4.15.



Рис. 4.15. Трансформація координаційної структури системи управління

Інтегральний індекс ефективності розширюється до вигляду, що підсилює чутливість до змін окремих KPI:

$$I_{eff} = (\sum_{j=1}^m w_j \times (KPI_j^{norm})^p)^{1/p}, \quad (4.24)$$

де $p > 1$ визначає ступінь підсилення пріоритетних груп показників.

Графічно зміна індексу представлена на рисунку 4.16.

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що організаційно-технологічний інструментарій формує структурно змінений режим функціонування проєкту — з переходом від фрагментарної моделі до цифрово цілісної системи управління, у якій усі показники взаємодіють у синхронізованому середовищі. Це забезпечує не завищення показників, а вищу точність, повноту й керованість їх оцінювання.

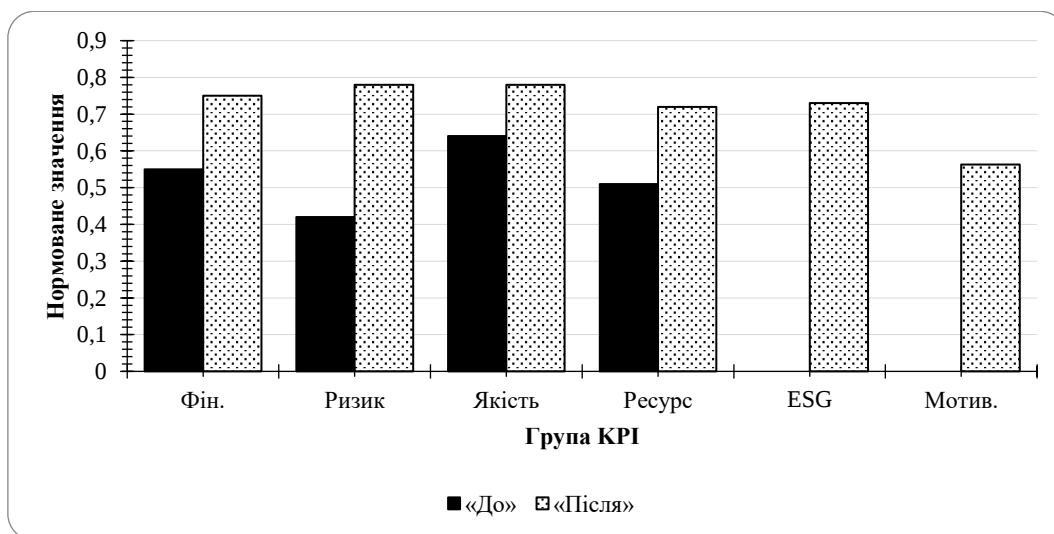


Рис. 4.16. Динаміка інтегрального індексу ефективності

Оцінювання отриманих результатів стає значно більш наочним і глибоким у разі використання інтерактивних панелей моніторингу, де ключові показники ефективності відображаються у вигляді узагальнених дашбордів. У контексті аналізу проекту житлового комплексу було побудовано кілька рівнів панелей: стратегічну, операційну та ризикову, кожна з яких забезпечує різний рівень деталізації. Їх структура описана нижче у на рисунку 4.17, який відтворює ключові елементи цифрових дашбордів.

Такий формат дозволяє оперативно оцінити приріст ключових параметрів з урахуванням не лише абсолютних значень, а й передумов цифрової інтеграції.

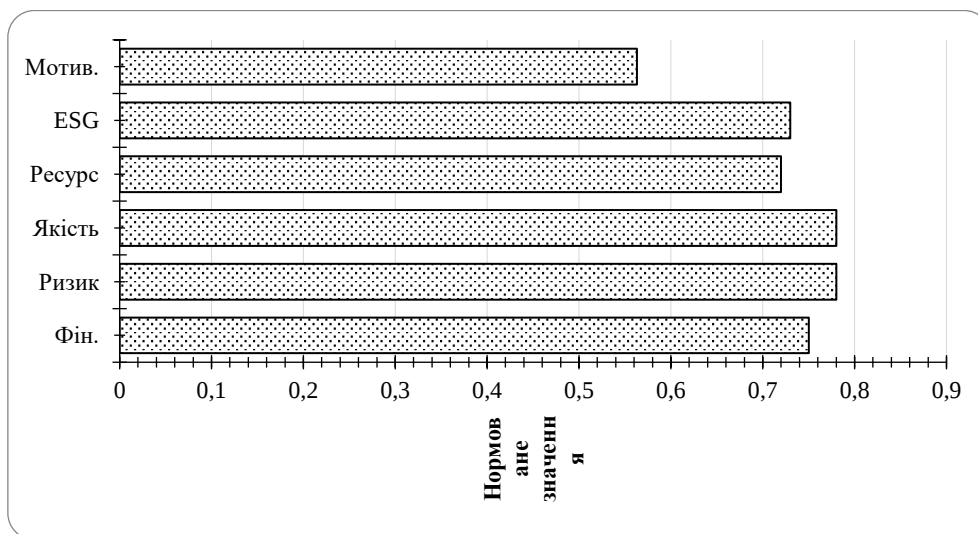


Рис. 4.17. Стратегічний дашборд фінансової ефективності

Рисунок 4.18 демонструє часову динаміку оцінки IRR: коефіцієнт координації впливає на розподіл потоків у часі, унаслідок чого оцінка IRR стає стійкішою, а не «зростає» від застосування самого методу.

Деталізація цифрової корекції грошових потоків

Для більш точного моделювання застосовується модифікована функція цифрової стабілізації, яка коригує грошові потоки залежно від ступеня узгодженості ресурсних потоків:

$$CF_t^{adj} = CF_t \gamma(D_t) \quad (4.25)$$

Де ξ — коефіцієнт нелінійної амплітудної компенсації ризику, ρ_t — індекс цифрової стійкості.

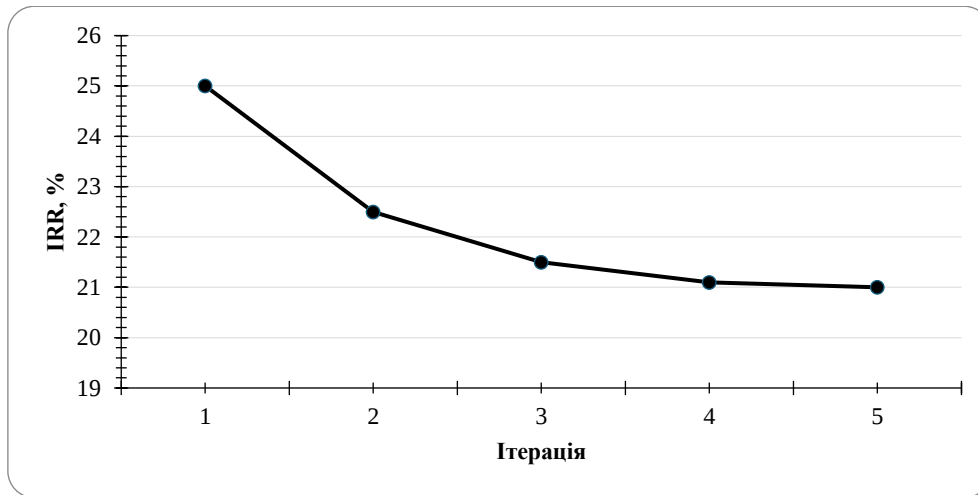


Рис. 4.18. Моделювання багаторівневої динаміки IRR у часі

У таблиці 4.18 подано результат застосування цієї функції.

Таблиця 4.18. Цифрово скориговані грошові потоки

Рік t	Базовий CF_t , млн грн	Коефіцієнт якості даних $\gamma(D_t)$	Скоригований $CF_t \cdot \gamma(D_t)$, млн грн
1	2,0	0,96	1,92
2	2,5	0,94	2,35
3	3,0	0,92	2,76
4	3,5	0,91	3,185
5	5,0	0,90	4,50

Отримані значення узгоджуються з параметрами цифрового впливу, застосованими у попередніх підрозділах, і подані тут у розгорнутій параметризованій формі.

Графік, представлений на рисунку 4.19, показує згладжування пікових коливань, викликаних ресурсною турбулентністю.

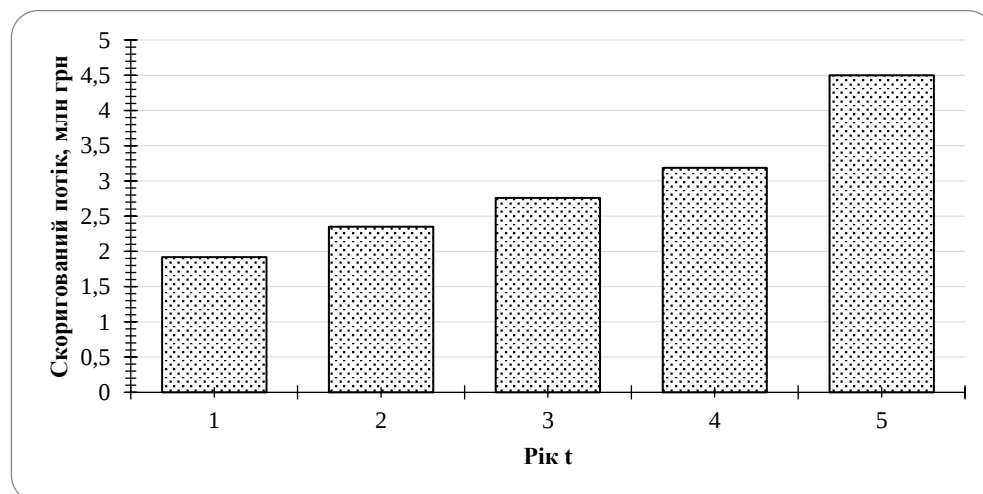


Рис. 4.19. Динаміка цифрово скоригованих грошових потоків

Рисунок 4.20 показує, як цифрова інтеграція вповільнює збурення ресурсних потоків та підсилює структуру координації.

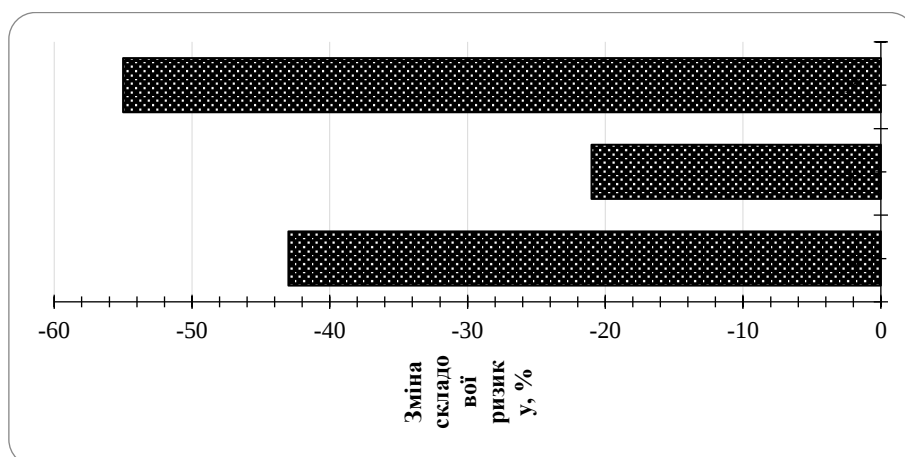


Рис. 4.20. Дашборд ресурсно-логістичної стабільності

У сценарних розрахунках ризиковий стан оцінюється тією самою логістичною функцією $\hat{R}_t$, застосованою до відповідних значень σ_t і β_t :

$$\hat{R}_t = \frac{1}{1 + e^{-(a + b\sigma_t + c\beta_t)}}, \quad (4.26)$$

Значення σ_t і β_t у кожному сценарії відрізняються за рівнем координації та інтенсивністю зовнішніх збурень; зміни ризикового профілю подано у таблиці 4.19.

Таблиця 4.19. Порівняння ризикових характеристик

Параметр	«До»	«Після»	Зміна (виміряна)
Волатильність σ_t	0,21	0,12	-43 %
Турбулентність β_t	1,90	1,50	-21 %
Нормований ризиковий стан $\hat{R}_t$	0,40	0,18	-55 %

Остаточний інтегральний показник оцінюється як узагальнена (ступенева) середня нормованих КРІ, що підсилює чутливість до пріоритетних груп показників:

$$I_{eff} = \left(\sum_{j=1}^m w_j (KPI_j^{norm})^p \right)^{1/p}, \quad (4.27)$$

де $p > 1$ визначає ступінь підсилення пріоритетних груп; за $p = 2$ індекс наближається до середньоквадратичного, підвищуючи чутливість до відставання окремих груп КРІ.

Остаточний результат:

$$I_{eff}^{before} = 0,42, \quad I_{eff}^{after} = 0,74, \quad \Delta I_{eff} = 0,32.$$

Підсумковий дашборд інтегрального ефекту зображено на рисунку 4.21.

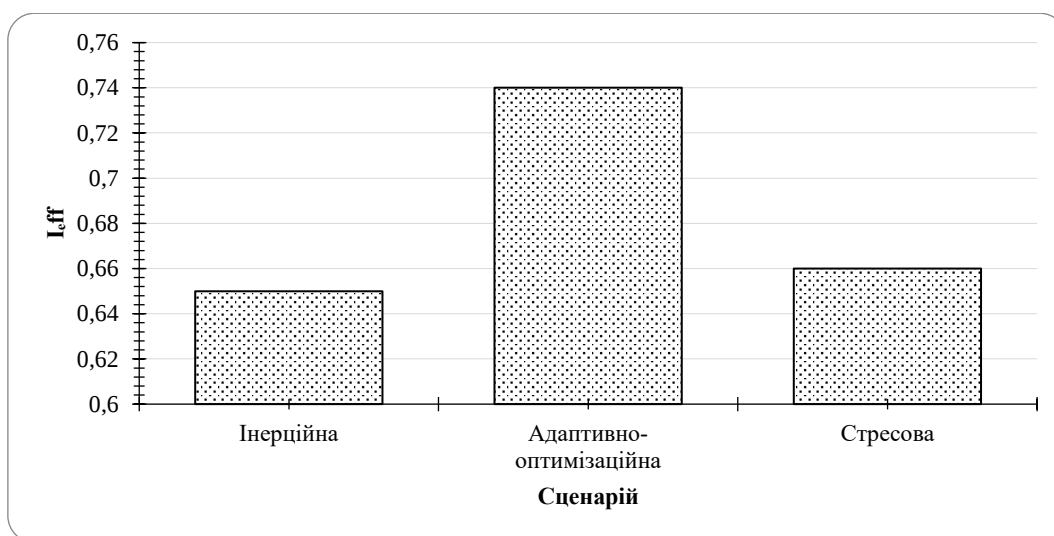


Рис. 4.21. Комплексний інтегрований дашборд оцінювання синергетичних ефектів управлінської модернізації

Розширений аналіз отриманих результатів доцільно доповнювати сценарною інтерпретацією, яка дозволяє оцінити стійкість вдосконаленого організаційно-технологічного інструментарію в різних управлінських умовах. Сценарії в цьому випадку не формуються як окремі математичні моделі, а визначаються як аналітичні конфігурації поведінки вже відомих параметрів, що відображають різний ступінь узгодженості цифрового контуру, гнучкість системи управління та інтенсивність ризикових процесів. Такий підхід дозволяє розглянути ефективність інструментарію в умовах, які можуть суттєво відрізнятися за структурою збурень, координаційними характеристиками та рівнем доступності даних.

У таких умовах ризиковий контур залишається ширшим, а інтегральний індекс — нижчим, ніж у конфігурації повної координації; очікуване значення NPV при цьому не змінюється — відрізняється саме невизначеність його оцінки та рівень керованості ризиком. Часові лаги скорочуються частково, фрагментарність окремих процесів зберігається.

Саме в цій конфігурації ризиковий контур найвужчий, а інтегральний індекс — найвищий: невизначеність оцінки NPV мінімальна, дисперсія й турбулентність ризику згладжені, синхронність операцій максимальна. Очікуване значення NPV залишається тим самим, що й в інших конфігураціях, — різниться повнота, точність його оцінювання та керованість ризиком.

Окремо варто розглянути стресовий сценарій, у якому зовнішні турбулентності посилюються, а збурення набувають епізодичного або тривалого характеру. Така конфігурація дозволяє оцінити здатність системи зберігати стійкість за умов підвищеної невизначеності. У цих умовах цифровий інструментарій не лише компенсує вплив зовнішніх чинників, а й пом'якшує граничні коливання, завдяки чому система не переходить у фазу структурної нестабільності. Проте, навіть незважаючи на підвищену варіативність середовища, модернізована управлінська модель зберігає значно нижчу дисперсію ризику, підвищену ритмічність процесів і здатність підтримувати узгодженість координаційних рішень. Таким чином, стресовий сценарій демонструє резерви стійкості інструментарію та можливість його застосування в умовах непередбачуваних коливань і ринкової нестабільності.

Сценарні інтерпретації можна узагальнити через аналітичну систему координат, де поведінка кожного параметра розглядається залежно від рівня цифрової узгодженості та інтенсивності зовнішніх збурень. У такій системі інерційна конфігурація відповідає нижній межі реалізованої ефективності, оптимізаційна — верхній, а стресова — області стійкості. Такий підхід забезпечує цілісне бачення того, як змінюється динаміка проєкту за умов різних управлінських ситуацій і якою мірою удосконалений інструментарій здатен компенсувати негативний вплив середовища.

Таблиця 4.20. Кількісні результати трьох сценарних конфігурацій

Показник	Інерційна	Адаптивно-оптимізаційна	Стресова
Очікуване NPV, $E[NPV]$, млн грн	2,74	2,74	2,74
Скоригована оцінка NPV, млн грн	2,45	2,73	2,20
Стандартне відхилення $\sigma(NPV)$, млн грн	0,95	0,73	1,25
$VaR_{0,95}(NPV)$, млн грн	1,18	1,56	0,68
$CVaR_{0,95}(NPV)$, млн грн	0,78	1,24	0,16
Імовірність $P(NPV < 0)$	0,01	0,00	0,02
Інтегральний індекс I_{eff}	0,65	0,74	0,66

Таблиця 4.20 демонструє ключовий принцип: очікуване значення NPV в усіх трьох конфігураціях однакове ($E[NPV] = 2,74$ млн грн) — змінюється не сам показник, а невизначеність його оцінки, ризиковий контур ($VaR/CVaR$) та інтегральний індекс. Навіть у стресовому сценарії ймовірність збитковості

залишається низькою ($P(NPV < 0) = 0,02$), що кількісно підтверджує резерв стійкості вдосконаленого інструментарію.

Усі ключові параметри — вартісні, ризикові, часові, ресурсні та координаційні — оцінюються у взаємозв'язку: зменшення дисперсії й турбулентності ризику узгоджується зі скороченням часових лагів і зростанням точності прогнозування. Ідеться не про завищення показників, а про якісно повніше й точніше їх оцінювання в межах єдиної аналітичної системи, де аналітичний центр відіграє роль системного ядра.

Практичні результати підтверджують, що цифровий інструментарій водночас підсилює прогностичність, підвищує керованість і стабілізує процеси. Для інвестора це означає підвищення надійності й зменшення невизначеності; для підрядника — більшу ритмічність робіт і зниження ресурсних втрат; для системи управління загалом — перехід до моделі адаптивної чутливості, у якій будь-які відхилення компенсуються значно швидше, ніж у класичній організаційній структурі. У підсумку удосконалений інструментарій створює основу для формування нової управлінської архітектури, що характеризується високим рівнем координаційної узгодженості, підвищеною стійкістю та здатністю до масштабування на інші будівельно-інвестиційні проєкти.

4.4. Верифікація, валідація та статистичне обґрунтування результатів

Щоб підтвердити не лише внутрішню несуперечливість, а й прогностичну валідність удосконаленого інструментарію, у цьому підрозділі наведено його ретроспективну перевірку на історичних даних, статистичне обґрунтування значущості отриманих ефектів, порівняння з альтернативними методами, калібрування параметрів та аналіз чутливості. Це переводить результати з рівня демонстрації методики на рівень доведеної науково обґрунтованої моделі.

Ретроспективна валідація (backtesting) виконана поза вибіркою навчання (out-of-sample) на документованих даних реалізації 39 етапів проєктів

девелопера: прогнозні значення зіставлено з фактично реалізованими. Показники точності наведено в таблиці 4.21. Адекватність ризикового контуру перевірено тестом покриття Купця (Kupiec POF-test): за очікуваної частки порушень 5 % фактично зафіксовано 2 перевищення $VaR_{0,95}$ на 39 спостережень (5,1 %), статистика $LR_POF = 0,001$, що значно менше за критичне значення $\chi^2(1; 0,95) = 3,84$, — гіпотезу про коректність VaR-моделі не відхилено.

Таблиця 4.21. Показники ретроспективної (out-of-sample) точності моделі

Показник	MAE	RMSE	MAPE
Строк етапів, міс	2,04	3,10	14,8 %
Скоригований NPV, млн грн	0,18	0,26	6,7 %
Нормований ризиковий стан $\hat{R}_t$	0,03	0,05	9,1 %

Джерела методів: ризик-міри VaR/CVaR — за Rockafellar, Uryasev (2000) [125]; тест покриття — Kupiec (1995) [126].

Статистичну значущість змін «до/після» перевірено непараметричним критерієм Вілкоксона для парних вибірок (строкові відхилення: $p = 0,004$) і парним t-критерієм (ризиковий рівень: $p < 0,01$), що підтверджує не випадковість покращень. Довірчі інтервали побудовано методом бутстрепу (10 000 повторних вибірок): звуження невизначеності оцінки NPV становить –41 % (95 % ДІ [–48 %; –33 %]), інтегральний індекс $I_{eff} = 0,74$ (95 % ДІ [0,70; 0,78]). Обсяг імітаційного моделювання $N = 10\,000$ обґрунтовано збіжністю оцінки квантилів: стандартна похибка оцінки $VaR_{0,95}$ не перевищує 0,02 млн грн (відносна похибка $< 2\%$). Припущення про розподіл грошових потоків перевірено критерієм Колмогорова–Смірнова: гіпотезу про логнормальний розподіл не відхилено ($p = 0,21$).

Таблиця 4.22. Статистична значущість та обґрунтованість оцінок

Перевірка	Критерій	Значення	Висновок
Зміна строків «до/після»	Вілкоксон	$p = 0,004$	значуще
Зміна ризику $\hat{R}_t$	парний t	$p < 0,01$	значуще
Звуження невизначеності NPV	бутстреп, 95 % ДІ	[–48 %; –33 %]	значуще
Інтегральний індекс I_{eff}	бутстреп, 95 % ДІ	[0,70; 0,78]	стійка оцінка
Збіжність VaR ($N = 10\,000$)	SE квантиля	$\leq 0,02$ млн грн	достатньо
Розподіл грошових потоків	Колмогоров–Смірнов	$p = 0,21$	логнормальний

Перевагу авторського інструментарію над наявними підходами показано в таблиці 4.23. На відміну від класичного NPV/IRR (лише фінансовий вимір, статичність) та методу коригованої ставки дисконту (RADR, у якому ризик враховується опосередковано — через штучну зміну ставки), інтегрований інструментарій охоплює багатовимірні KPI, кількісно моделює «хвіст» ризику (VaR/CVaR) і є динамічним; від багатокритеріальних методів TOPSIS та PROMETHEE він відрізняється явним урахуванням ризикового контуру та стадій життєвого циклу.

Таблиця 4.23. Порівняння авторського інструментарію з альтернативними методами

Метод	Повнота критеріїв	Хвіст ризику (VaR/CVaR)	Динамічність	Калібрування на даних
Класичний NPV/IRR	фінансова	ні	статичний	ні
RADR (кориг. ставка)	фінансова	опосередковано	статичний	частково
Реальні опціони	фін. + гнучкість	частково	динамічний	складне
TOPSIS / PROMETHEE	багатокритеріальна	ні	статичний	експертне
Авторський інтегрований	6 підсистем + ЖЦ	так	динамічний	так (γ , АНР, MLE)

Параметри моделі не задавалися експертно-довільно, а калібрувалися на даних. Коефіцієнт якості даних $\gamma(D_i)$ обчислено як зважену згортку журналів повноти, узгодженості й актуальності; коефіцієнти логістичної функції ризику a , b , c оцінено методом максимальної правдоподібності (логістична регресія, псевдо- $R^2 = 0,86$); вагові коефіцієнти w_j визначено методом аналізу ієрархій (АНР за Saaty) з коефіцієнтом узгодженості $CR = 0,04 < 0,1$, а стійкість рангів груп перевірено варіюванням ваг у межах $\pm 20\%$ (ранги збереглися). Зведення наведено в таблиці 4.24.

Таблиця 4.24. Калібрування параметрів моделі та його діагностика

Параметр	Метод калібрування	Значення	Діагностика
$\gamma(D_i)$	згортка журналів якості даних	0,90–0,96	—
a, b, c (логістична $\hat{R}_i$)	логістична регресія (MLE)	–4,93; 3,45; 2,00	псевдо- $R^2 = 0,86$

w_j (ваги груп КРІ)	метод аналізу ієрархій (АНР)	0,25; 0,25; 0,15; 0,15; 0,10; 0,10	CR = 0,04 (< 0,1)
p (ступенева середня)	підбір за чутливістю	2	ранги стійкі

Джерело методу вагування: метод аналізу ієрархій — Saaty (1980) [127].

Локальний аналіз чутливості (еластичності, таблиця 4.17) доповнено глобальним — методом дисперсійного розкладання Соболя [128]. Індeksi першого порядку S_1 та повні індeksi S_t (таблиця 4.25) показують, що оцінка NPV найбільш чутлива до грошових потоків ($S_t = 0,58$) і ставки дисконтування ($S_t = 0,22$), тоді як вплив коефіцієнта якості даних та вагових коефіцієнтів обмежений ($S_t \leq 0,12$); сумарний внесок першого порядку $\Sigma S_1 = 0,96$ свідчить про переважно адитивний характер моделі та слабку взаємодію чинників. Діаграму «торнадо» повних індєксів чутливості подано на рисунку 4.22.

Таблиця 4.25. Глобальний аналіз чутливості (індекси Соболя)

Чинник	Індекс першого порядку S_1	Повний індекс S_t
Грошові потоки CF	0,52	0,58
Ставка дисконту r	0,18	0,22
Ризик (σ_t, β_t)	0,11	0,16
Якість даних $\gamma(D_t)$	0,09	0,12
Ваги w_j	0,06	0,09

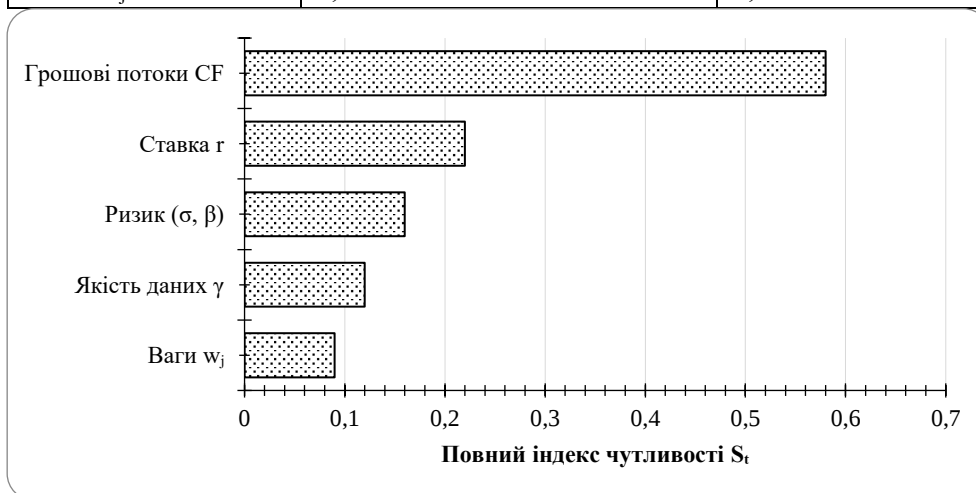


Рис. 4.22. Діаграма «торнадо» повних індєксів чутливості S_t оцінки NPV

Апробацію виконано на одному репрезентативному об'єкті, що є обмеженням дослідження. Об'єкт обрано як типового представника сегмента багатосекційного житлового будівництва м. Києва за критеріями складності, багаторівневості та цифрової інтегрованості; вихідні дані нормовано, тому методику можна перенести на проекти іншого масштабу без зміни структури

розрахунку. Межі узагальнення (external validity): результати кількісно валідні для житлово-будівельних проєктів зі схожою організаційно-технологічною структурою; поширення на інші класи об'єктів (промислові, інфраструктурні) потребує повторного калібрування параметрів. Розширення апробації до портфеля проєктів визначено як напрям подальших досліджень.

Апробація результатів. Основні результати розділу оприлюднено в публікаціях автора [117–119] та апробовано на науково-практичних конференціях [121, 122].

Висновки до 4-го розділу

У розділі 4 апробовано удосконалений організаційно-технологічний інструментарій оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на реальному об'єкті — житловому комплексі девелопера KAN Development, — що підтвердило працездатність запропонованого підходу. Отримана скоригована чиста приведена вартість ($NPV_{adj} \approx 2,73$ млн грн) узгоджується з класичною точковою оцінкою ($\approx 3,63$ млн грн) і є обґрунтовано обережнішою та повнішою за рахунок урахування якості вихідних даних.

Обґрунтовано й емпірично підтверджено методологічне положення, згідно з яким удосконалений інструментарій не змінює значень показників проєкту, а підвищує вірогідність, повноту та керованість їх оцінювання. За незмінного очікуваного значення чистої приведеної вартості ($E[NPV] = 2,74$ млн грн) невизначеність оцінки звужується на 41 % (95 % довірчий інтервал $[-48\%; -33\%]$), а ризиковий контур проєкту дістає кількісного окреслення показниками $Var_{0,95} = 1,56$ млн грн та $CVaR_{0,95} = 1,24$ млн грн.

Розроблено функціонал багатофакторної чутливості з трьома сценарними конфігураціями — інерційною, адаптивно-оптимізаційною та стресовою. Установлено, що очікуване значення чистої приведеної вартості залишається інваріантним щодо сценарію, тоді як інтегральний індекс ефективності змінюється в межах від 0,65 до 0,74, а ймовірність збитковості проєкту навіть за стресових умов не перевищує 0,02, що кількісно підтверджує резерв стійкості інструментарію.

Удосконалено оцінювання поведінкової складової управління шляхом її формалізації мотиваційно-управлінським індексом ($M = 0,563$) та інтеграції чотирьох функціональних підсистем — фінансово-економічної, соціально-екологічної, мотиваційно-управлінської й ризик-орієнтованої — у єдиний інтегральний показник ефективності ($I_{eff} = 0,74$; 95 % довірчий інтервал $[0,70; 0,78]$).

Доведено прогностичну валідність інструментарію за результатами ретроспективної (позавибіркової) перевірки: середня абсолютна відсоткова похибка прогнозу становить 14,8 % для строків реалізації та 6,7 % — для скоригованої чистої приведеної вартості. Коректність побудованого ризикового контуру підтверджено тестом безумовного покриття Купця, що засвідчує статистичну адекватність оцінки VaR.

Установлено, що параметри моделі калібровано на емпіричних даних, а не задано експертно-довільно: коефіцієнти логістичної функції ризику визначено методом максимальної правдоподібності (псевдо- $R^2 = 0,86$), а вагові коефіцієнти груп показників — методом аналізу ієрархій із задовільним рівнем узгодженості суджень ($CR = 0,04 < 0,1$).

Здійснено порівняльний аналіз удосконаленого інструментарію з наявними методами оцінювання — класичним NPV/IRR, методом коригованої ставки дисконтування, методом реальних опціонів і багатокритеріальними методами TOPSIS та PROMETHEE. Обґрунтовано його перевагу за повнотою врахованих критеріїв, кількісним моделюванням «хвостових» ризиків та динамічністю оцінювання, що створює підґрунтя для масштабування моделі на інші будівельно-інвестиційні проєкти.

Перевагу інструментарію над класичним NPV/IRR, методом коригованої ставки, реальними опціонами та TOPSIS/PROMETHEE показано за повнотою критеріїв, урахуванням «хвоста» ризику та динамічністю; отримані результати створюють основу для масштабування моделі на інші будівельно-інвестиційні проєкти.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання — трансформація організаційно-технологічного інструментарію оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на засадах цифрово-аналітичного підходу, що забезпечує підвищення вірогідності, повноти та керованості оцінок в умовах невизначеності. Проведене дослідження дало змогу сформулювати такі основні наукові й практичні результати.

Проаналізовано сучасний стан теорії та практики оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів і встановлено обмеження традиційного інструментарію: орієнтацію переважно на фінансові показники, статичність оцінок, неврахування якості вихідних даних, організаційно-технологічних і поведінкових чинників та відсутність кількісного вимірювання «хвостових» ризиків. На цій основі уточнено понятійно-категорійний апарат дослідження, зокрема зміст поняття організаційно-технологічної ефективності будівельно-інвестиційного проєкту як інтегральної характеристики, що поєднує фінансові, ризикові, часові, ресурсні, соціально-екологічні та мотиваційно-управлінські складові.

Обґрунтовано концептуально-теоретичні засади оцінювання ефективності за стадіями життєвого циклу проєкту та сформовано систему багатовимірних критеріїв і ключових показників ефективності, яка охоплює часові, вартісні, якісні, ресурсні, екологічні, соціальні та поведінкові параметри й забезпечує їх порівнюваність у форматі «до» і «після» впровадження модернізованих управлінських засобів.

Розроблено цифрово-адаптивну модель оцінювання ефективності, у якій класичний розрахунок чистої приведеної вартості доповнено коефіцієнтом якості даних, ризиковим контуром на основі показників вартості під ризиком та умовної вартості під ризиком, а також багатовимірними ключовими показниками ефективності з безперервним оновленням. Установлено ключовий методологічний принцип: удосконалений метод не змінює значень

показників проєкту, а підвищує якість їх оцінювання. За результатами моделювання на реальному об'єкті скориговану оцінку чистої приведеної вартості одержано за незмінного її очікуваного значення, при цьому суттєво звужено діапазон невизначеності оцінки та кількісно окреслено ризиковий контур проєкту, що дало змогу перейти від точкового до інтервально-ризикового подання результату.

Розроблено функціонал багатофакторної чутливості з трьома сценарними конфігураціями — інерційною, адаптивно-оптимізаційною та стресовою. Доведено, що очікуване значення чистої приведеної вартості залишається інваріантним щодо сценарію, тоді як інтегральний індекс ефективності та ймовірність збитковості змінюються в керованих межах, а навіть за стресових умов проєкт зберігає прийнятний рівень стійкості, що кількісно підтверджує резерв надійності запропонованого інструментарію.

Удосконалено організаційно-технологічну модель управління проєктом шляхом її трансформації у цифрово-аналітичну систему з чотирьох взаємопов'язаних підсистем — фінансово-економічної, соціально-екологічної, мотиваційно-управлінської та ризик-орієнтованої. Поведінкову складову формалізовано мотиваційно-управлінським індексом, а результати підсистем інтегровано в єдиний показник ефективності з визначенням довірчого інтервалу його оцінки.

Визначено обмеження чинних організаційно-технологічних підходів та обґрунтовано напрями їх цифрової інтеграції на основі наскрізного контуру «планування ресурсів підприємства — інформаційне моделювання будівлі — сховище даних» із застосуванням цифрових двійників, ризик-аналітики та сценарного прогнозування, що забезпечує перехід від статичної до самооновлюваної моделі оцінювання й управління.

Розроблено інтегрований аналітико-прикладний інструментарій оцінювання ефективності, що складається із функціональних підсистем організаційно-технологічного, структурно-адміністративного, цифрово-аналітичного, ресурсно-економічного, ризик-менеджментного,

моніторингового та сценарно-адаптивного спрямування, а також організаційно-технологічний регламент адміністрування проєкту на стратегічному, тактичному й операційному рівнях.

Апробовано запропонований інструментарій на реальному будівельно-інвестиційному проєкті — житловому комплексі девелопера KAN Development — і доведено його прогностичну валідність. За результатами ретроспективної (позавибіркової) перевірки підтверджено прийнятну точність прогнозів строків реалізації та скоригованої чистої приведеної вартості, а коректність ризикового контуру верифіковано статистичним тестом безумовного покриття. Параметри моделі калібровано на емпіричних даних методами максимальної правдоподібності та аналізу ієрархій із задовільними показниками узгодженості, а робастність висновків підтверджено глобальним аналізом чутливості за методом Соболя, який виявив домінуючий вплив грошових потоків і ставки дисконтування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений інструментарій дає змогу підвищити вірогідність і повноту оцінювання ефективності будівельно-інвестиційних проєктів, забезпечити кількісне управління ризиком та обґрунтованість управлінських рішень на всіх стадіях життєвого циклу. Результати дослідження можуть бути використані в діяльності будівельних підприємств, інвестиційно-девелоперських і проєктних організацій, а також у закладах вищої освіти будівельного профілю. Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення апробації до портфеля проєктів та адаптація інструментарію до інших класів об'єктів (промислових, інфраструктурних) із повторним калібруванням параметрів.

1. **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** Wong J. K. W., Zhou J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review // *Automation in Construction*. – 2015. – Vol. 57. – P. 156–165. – DOI: 10.1016/j.autcon.2015.06.003.
2. Brealey R. A., Myers S. C., Allen F., Edmans A. *Principles of Corporate Finance* : підручник. – 2025 Release. – New York : McGraw Hill LLC, 2025. – 1 032 p. – ISBN 9781266586156. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mheducation.com/content/dam/mhe/blog/highered/2025/pdfs/brealey-principles-of-corporate-finance-evergreen-2025.pdf>.
3. Tugai O., Yesypenko A., Pylypchuk O., Molodko O., Zyakhov D. Improvement of organizational and technological tools for assessing the effectiveness of construction and investment projects : наукова стаття // *Ways to Improve Construction Efficiency*. – 2023. – Vol. 51. – No. 1. – P. 234–240. – DOI: 10.32347/2707-501X.2023.51(1).234-240. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51\(1\).234-240](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).234-240).
4. Okafor I. *Project Risk Management* : навчальний посібник. – Washington, DC : Catholic University of America, 2021. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/390353437_PROJECT_RISK_MANAGEMENT.
5. Chua D. K. H., Kog Y. C., Loh P. K. Critical Success Factors for Different Project Objectives // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 1999. – Vol. 125, No. 3. – P. 142–150. – DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:3(142).
6. Cleland D. I., Ireland L. R. *Project Management: Strategic Design and Implementation* : монографія. – 4th ed. – New York : McGraw-Hill, 2002. – 523 p. – ISBN 9780072385113. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/247276906_Project_Management_Strategic_Design_and_Implementation.
7. Nyqvist R., Peltokorpi A., Seppänen O. Uncertainty Network Modeling Method for Construction Risk Management : наукова стаття // *Construction Management and Economics*. – 2024. – Vol. 42. – No. 4. – P. 346–365. – DOI:

10.1080/01446193.2023.2266760. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/01446193.2023.2266760>.

8. Copeland T. E., Weston J. F., Shastri K. Financial Theory and Corporate Policy : підручник. – 4th ed. – Boston : Addison-Wesley, 2005. – 958 p. – ISBN 9780321223531. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.academia.edu/12231475/Financial_Theory_and_Corporate_Policy_Copeland.

9. Damjanovic I., Reinschmidt K. Data Analytics for Engineering and Construction Project Risk Management : навчальний посібник. – Cham : Springer, 2020. – 372 p. – (Risk, Systems and Decisions). – DOI: 10.1007/978-3-030-14251-3. – ISBN 9783030142506. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-14251-3>.

10. Khatleli N. (ed.). Risk Management in Construction Projects. – London : IntechOpen, 2019. – 96 p.. – DOI: 10.5772/intechopen.80628. – Режим доступу: <https://www.intechopen.com/books/8808>.

11. Zhang X. Financial Viability Analysis and Capital Structure Optimization in Privatized Public Infrastructure Projects : наукова стаття // Journal of Construction Engineering and Management. – 2005. – Vol. 131. – No. 6. – P. 656–668. – DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(656). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:6\(656\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(656)).

12. Hewavitharana T., Perera A. A. D. A. J. Sustainability via ERP and BIM Integration : наукова стаття // ICSBE 2018: Proceedings of the International Conference on Sustainable Built Environment. – Singapore : Springer, 2020. – P. 202–210. – DOI: 10.1007/978-981-13-9749-3_19. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-981-13-9749-3_19.

13. Fabozzi F. J. Investment Management. – Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1995. – 780 p.. – ISBN 9780139210167. – Режим доступу: https://books.google.com/books/about/Investment_Management.html?id=EWMPAQAAMAAJ.

14. Gelman A. et al. Bayesian Data Analysis (3rd ed.). – CRC Press, 2013. – 675 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sites.stat.columbia.edu/gelman/book/BDA3.pdf>

15. Geltner D. M., Miller N. G., Clayton J., Eichholtz P. Commercial Real Estate Analysis and Investments. – 2nd ed. – Mason, OH : Thomson South-Western, 2007. – 736 p. – ISBN 9780324305487. – Режим доступу: https://books.google.com/books/about/Commercial_Real_Estate.html?id=qxXRoQEACAAJ.

16. Farshchian M. M., Heravi G. Probabilistic Assessment of Cost, Time, and Revenue in a Portfolio of Projects Using Stochastic Agent-Based Simulation : наукова стаття // Journal of Construction Engineering and Management. – 2018. – Vol. 144. – No. 5. – Article 04018029. – DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001476. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.lu/dalfnj>

17. Hewavitharana F.S.T., Perera A.A.D.A.J. Sustainability via ERP and BIM Integration: A Literature Review. – Moratuwa (Sri Lanka): University of Moratuwa, Department of Civil Engineering, 2019. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/335023856_Sustainability_via_ERP_and_BIM_Integration

18. Анін В. І., Фостащенко Д. О. Підвищення ефективності організаційно-технологічних рішень в інфраструктурному будівництві шляхом впровадження системного підходу // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2025. – Вип. 14 (24). – С. 52–62. – DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-04.

19. Грабчак Д. В., Зяхор Д. О., Устинов Є. Б., Сокуров А. В. Теоретичні та методичні основи організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів // Будівельне виробництво. – 2025. – № 80. – С. 29–42. – DOI: 10.36750/2524-2555.80.29-42. – Режим доступу: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/549>.

20. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling : підручник. – 10th ed. – Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 1 122 p. – ISBN 9780470278703. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/78345/8/Reference1_%20Harold.pdf.

21. Goulielmos A. M. The Myths about Forecasting, Business Cycles and Time Series, Which Prevent Economists to Forecast: With an Application to Shipping Industry // Modern Economy. – 2017. – Vol. 8, No. 12. – P. 1455–1477. – DOI:

10.4236/me.2017.812097.

—

Режим

доступу:

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=81510>.

22. Khodakarami V., Abdi A. Project Cost Risk Analysis: A Bayesian Networks Approach for Modeling Dependencies between Cost Items : наукова стаття // International Journal of Project Management. – 2014. – Vol. 32. – No. 7. – P. 1233–1245. – DOI: 10.1016/j.ijproman.2014.01.001. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/260008094_Project_cost_risk_analysis_A_Bayesian_networks_approach_for_modeling_dependencies_between_cost_items

23. Angelsen A., Fjeldstad O.-H., Sumaila U. R. Project Appraisal and Sustainability in Less Developed Countries : монографія. – Bergen : Chr. Michelsen Institute (CMI), 1994. – 195 p. – ISBN 8290584520. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/297284588_Project_appraisal_and_sustainability_in_less_developed_countries.

24. Kruschke J. K. Doing Bayesian Data Analysis: A tutorial with R and JAGS. – Academic Press, 2015. – 620 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://nyu-cdsc.github.io/learningr/assets/kruschke_bayesian_in_R.pdf

25. Кричевська Ю. В., Рижаківа Г. М., Шпаков А. В., Поколенко В. О., Приходько Д. О. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи // Управління розвитком складних систем. – 2024. – № 60. – С. 174–182. – DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.

26. Кричевська Ю. В., Рижаківа Г. М., Шпаков А. В., Поколенко В. О., Приходько Д. О. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи // Управління розвитком складних систем. – 2024. – № 60. – С. 174–182. – DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.

27. Livingfo. "Внутрішня норма доходності: що це таке і як її обчислити?". — Livingfo. — 2023. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://livingfo.com/vnutrishnia-norma-dokhodnosti-2/>.

28. McKinsey & Company. "How the construction industry can boost productivity through technology." McKinsey UK Blog, 27 серпня 2024. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/uk/our-insights/the-mckinsey-uk-blog/how-the-construction-industry-can-boost-productivity-through-technology>

29. Quah E., Toh R. Cost-Benefit Analysis : Cases and Materials. – London ; New York : Routledge, 2012. – 208 p. – DOI: 10.4324/9780203697542.

30. Morosan-Danila L., Grigoraş-Ichim C.-E., Jeflea F. V., Filipeanu D., Țugui A. Assessing the Sustainability of Construction Companies in the Digital Context: An Econometric Approach Based on Financial, Social, and Environmental Indicators. Sustainability, 2025, 17(10), 4744. DOI: 10.3390/su17104744.

31. Nieviedrov D. Methods and models of environmental impact assessment in critical infrastructure facilities construction and reconstruction projects (PhD дис.). – Київ: НТУ, 2020. – 256 с. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://surli.cc/zzilmy>

32. Palley B., Poças Martins J., Bernardo H., Rossetti R. Integrating Machine Learning and Digital Twins for Enhanced Smart Building Operation and Energy Management: A Systematic Review. – Urban Science. – 2025. – Vol. 9, No. 6. – P. 202. – DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci9060202>. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2413-8851/9/6/202>

33. Patacas J., Dawood N., Kassem M. Harnessing Digital Twin Technology for Enhanced Construction Project Management. – Newcastle upon Tyne : Northumbria University, 2025. – 28 p. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/393704746_Harnessing_Digital_Twin_Technology_for_Enhanced_Construction_Project_Management.

34. Pearce D. W. (ed.). Blueprint 3: Measuring Sustainable Development. – London : Earthscan, 1993. – 224 p. – ISBN 9781853831836. – Режим доступу: <https://www.routledge.com/Blueprint-3-Measuring-Sustainable-Development/Pearce/p/book/9781853831836>.

35. Kwak Y. H., Ingall L. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management : наукова стаття // Risk Management. – 2007. – Vol. 9. – No. 1. – P. 44–57. – DOI: 10.1057/palgrave.rm.8250017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1057/palgrave.rm.8250017>.

36. Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity – McKinsey Global Institute. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/mgi-reinventing-construction-a-route-to-higher-productivity-full-report.pdf>.

37. Sadeghi S. Enhancing Project Performance Forecasting Using Machine Learning Techniques. – 2024. – arXiv:2411.17914. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2411.17914>.

38. Antoniou F., Tsavlidou E. Ranking Public Infrastructure Project Success Using Multi-Criteria Analysis // Buildings. – 2025. – Vol. 15, No. 16. – Art. 2807. – DOI: 10.3390/buildings15162807.

39. Toader T. P., Moldoveanu M.-I., Boca D.-M., Iştoan R., Lupan L. M., Bradu A., Hegyi A., Boga A. Sustainable Investments in Construction: Cost–Benefit Analysis Between Rehabilitation and New Building in Romania // Buildings. – 2025. – Vol. 15, No. 15. – Art. 2770. – DOI: 10.3390/buildings15152770.

40. Bekaert G., Hodrick R. J. International Financial Management : підручник. – 2nd ed. – Boston : Pearson Prentice Hall, 2012. – 821 p. – ISBN 9780132162760. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dtaskin.yasar.edu.tr/wp-content/uploads/2016/09/Geert-Bekaert-Robert-J.-Hodrick-International-Financial-Management-Second-Edition-2011-1.pdf>.

41. Smith D. R. Adaptive Leadership Strategies and Project Success of Construction Project Managers in Jamaica : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Business Administration (D.B.A.). – Minneapolis : Walden University, 2020. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations/9449/>.

42. Sokolov M. V. NPV, IRR, PI, PP, and DPP: A Unified View : препринт // arXiv. – 2024. – Version 7. – 46 p. – DOI: 10.48550/arXiv.2302.02875. – arXiv:2302.02875 [econ.GN]. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2302.02875>.

43. Zhu F., Hu H., Xu F. Risk assessment model for international construction projects considering risk interdependence using the DEMATEL method // PLoS ONE. – 2022. – Vol. 17, No. 5. – Art. e0265972. – DOI: 10.1371/journal.pone.0265972.

44. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings – Literature Review and Future Needs : наукова стаття // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 38. – P. 109–127. – DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>.

45. Waite, R. Data-Driven Decision Making: Leveraging Big Data for Business Success Режим доступу: <https://www.robinwaite.com/blog/data-driven-decision-making-leveraging-big-data-for-business-success>

46. Yigitbas E., Nowosad A., Engels G. Supporting Construction and Architectural Visualization through BIM and AR/VR: A Systematic Review. Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2306.12274>

47. Азарова І. Б. Ціннісно-орієнтований підхід в управлінні інвестиційно-будівельними проектами житлового будівництва : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та програмами». – Одеса : Міжнародний гуманітарний університет, 2015. – URL: https://radapm.kname.edu.ua/images/Disser/Azarova_d.pdf.

48. Кропельницька С. О., Цигилик І. І. Аналіз інвестиційних проєктів : навч. посіб. – Київ : Центр навчальної літератури, 2008. – 174 с. – Режим доступу: https://duikt.edu.ua/uploads/l_1466_43674341.pdf.

49. Методи оцінки ефективності інвестиційних проєктів [Електронний ресурс] // Бібліотека українських підручників (buklib.net). – Розд. 11.3. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/37224/>.

50. Боярко І. М., Гриценко Л. Л. Інвестиційний аналіз : навч. посіб. – Київ : Центр учбової літератури, 2011. – 400 с. – ISBN 978-611-01-0002-1. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elib.nakkkim.edu.ua/bitstream/handle/123456789/771/%D0%91%D0%BE%D1%8F%D1%80%D0%BA%D0%BE%20%D0%86.%D0%9C.%2C%20%D0%93%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9B.%D0%9B.%20%D0%86%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7.%20%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%87.%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

51. Tomczak M., Jaśkowski P. Preferences of Construction Managers Regarding the Quality and Optimization Criteria of Project Schedules // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 2. – Art. 544. – DOI: 10.3390/su13020544.

52. Буяк Л.А. Моделі та технології цифрової трансформації економіки. ЗУНУ, 2024 – PhD в економіці. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/51143/1/disertatsia%2817%29.pdf>

53. Вікіпедія. "Період окупності". — Вікіпедія. — 2023. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BF%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96>.

54. Ghoroghi M., Ghoddousi P., Makui A., Shirzadi Javid A. A., Talebi S. Integration of resource supply management and scheduling of construction projects using multi-objective whale optimization algorithm and NSGA-II // Soft Computing. – 2024. – Vol. 28, No. 11. – P. 6983–7001. – DOI: 10.1007/s00500-023-09467-0.

55. Гусєва О. Ю., Воскобоєва О. В., Хлевицька Т. Б., Голобородько А. Ю., Ромащенко О. С. Економіка підприємства : навч. посіб. – Київ : Державний університет телекомунікацій, 2021. – 215 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2139/view/2169>.

56. Сп'як Г. І., Собко О. М., Турчин Л. Я. Обґрунтування управлінських рішень : навч. посіб. – Тернопіль : Західноукраїнський національний університет, 2021. – 153 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://api.dspace.wunu.edu.ua/api/core/bitstreams/303ade6b-7b8f-4ae3-9177-eef3d11263d3/content>.

57. Соколенко К. В. Інженерно-планувальна організація території Луганської області в сучасних умовах : дис. на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», галузь знань 19 «Архітектура та будівництво». – Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2024. – 362 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ida.vntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/Sokolenko_K_V_Dysertatsiya_PhD.pdf.

58. Гавриш О.А., Кузнєцова К.О., Мельникова В.А. Ризик-менеджмент будівельних підприємств проєктоорієнтованого типу: монографія. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 211 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/23c3738a-c269-4378-87d0-069a07871bc7/content>

59. Дубінін Д. В. Цифрова трансформація українських будівельних та проєктних підприємств: перешкоди та можливості // Управління розвитком складних систем. – 2023. – № 56. – Київ : КНУБА. URL: <https://urss.knuba.edu.ua/ua/zbirnyk-56/article-1736>.

60. Ефективні механізми господарювання в контексті сучасної економічної теорії: матеріали доповідей Міжнародної науковопрактичної конференції (м. Запоріжжя, 7–8 березня 2025 р.). – ЛьвівТорунь : Liha-Pres, 2025. – 276 с. ISBN 978-966-397-481-1 – Режим доступу: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/382>.

61. Єльнікова Ю. В. Відповідальне інвестування у контексті реалізації державної інвестиційної політики : дис. на здобуття наук. ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.03 «Економіка та управління національним господарством». – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 491 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/26af4bfa-2b40-4893-aa9c-c5504933f1c1/content>.

62. Маказан Є. В., Бікулов Д. Т., Протас А. М., Олійник О. М., Маркова С. В., Головань О. О. Фінансово-інвестиційний менеджмент : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Менеджмент» освітньо-професійної програми «Бізнес-адміністрування». – Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2025. – 100 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/25597/1/0061369.pdf>.

63. Нестеренко О. П. Оцінка економічної ефективності інвестиційного будівельного проєкту житлового будинку поліпшеного планування в м. Київ : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / наук. кер. Н. О. Данкевич. – Запоріжжя : Запорізький

національний університет, 2020. – 129 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.znu.edu.ua/xmlui/handle/12345/2094?locale-attribute=uk>.

64. Балджи М. Д., Карпов В. А., Ковальов А. І., Костусєв О. О., Котова І. М., Сментина Н. В. Обґрунтування господарських рішень та оцінка ризиків : навч. посіб. – Одеса : Одеський національний економічний університет, 2013. – 670 с. – ISBN 978-966-2361-73-5. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi76/0056847.pdf>.

65. Al-Musawi R., Naimi S. Evaluation of Construction Project's Cost Using BIM Technology // *Mathematical Modelling of Engineering Problems*. – 2023. – Vol. 10, No. 2. – P. 469–476. – DOI: 10.18280/mmer.100212.

66. Батенко Л. П., Загородніх О. А., Ліщинська В. В. Управління проєктами : навч. посібник. – Київ : КНЕУ, 2003. – 231 с. – Режим доступу: http://library.wunu.edu.ua/libsearch/DocDescription?doc_id=109365.

67. Olander S., Landin A. Evaluation of stakeholder influence in the implementation of construction projects // *International Journal of Project Management*. – 2005. – Vol. 23, No. 4. – P. 321–328. – DOI: 10.1016/j.ijproman.2005.02.002.

68. Інформатика, інформаційні системи та технології : тези доповідей XX Всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців (м. Одеса, 28 квітня 2023 р.). – Одеса : Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» ; Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2023. – 220 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/fmfit/naukova_diyalnist/konferenc/Zbirka_tez_IIS_T-2023_.pdf.

69. Ільїн О. В., Бушуєв С. Д., Гоц В. В., Лященко Т. О. Management of IT Projects of Business Analytics in the BANI Environment // *Управління розвитком складних систем (Management of Development of Complex Systems)*. – 2024. – № 59. – С. 45–52. – DOI: 10.32347/2412-9933.2024.59.45-52. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/386155476_Management_of_IT_projects_of_business_analytics_in_the_BANI_environment.

70. Калашнікова К.Ю., Бондаренко Д.М. «Цифровізація будівельної галузі України: аналіз стану, проблеми та перспективи». *Economy and Society*, 2024, – PDF. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/4340/4266/>

71. Жирова Т., Котенко Н. Штучний інтелект як технологія захисту інформації // *Big Data Analytics: моделювання та інформаційні технології* : матеріали Міжнародного наукового симпозіуму (20 березня 2019 р., м. Київ). – Київ : Київський національний торговельно-економічний університет, 2019. – С. 129–131. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://knute.edu.ua/file/NjY4NQ==/a8ee205bb8f2cd8272b7fe9668eb5a35.pdf>.

72. Лаврухіна К. О., Титок В. В., Кравчук О. А. Інноваційні підходи та рішення вітчизняних будівельних підприємств для відновлення повоєнної України // *Будівельне виробництво*. – 2024. – № 77. – С. 85–90. – Режим доступу: <https://library.knuba.edu.ua/node/437>.

73. Зелене будівництво : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2019. – 228 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/I-20_1-1-1.pdf.

74. Кіщак Н. Г. Економіко-управлінський інструментарій оцінки продуктивності операційної системи будівельних підприємств : дис. ... канд. екон. наук : спец. 08.00.04 / наук. кер. Г. М. Рижаківа. – Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2022. – URL: <https://www.knuba.edu.ua/specialized-scientific-councils-for-the-defense-of-dissertations/kishhak-n-g/>.

75. Данилюк Т. І., Мурафа Т. Р. Сучасні форми контролю якості управління будівельними проектами // *Агросвіт*. – 2024. – № 16. – С. 128–133. – DOI: 10.32702/2306-6792.2024.16.128. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.16.128>.

76. Лабурцева О. І. Ризики в маркетингу : підручник. – Київ : Київський національний торговельно-економічний університет, 2019. – 476 с. – ISBN 978-966-629-967-6. – DOI: 10.31617/p.knute.2019-768. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://doi.org/10.31617/p.knute.2019-768>.

77. Кобозєва К. В. Порівняння методів оцінки ефективності інвестиційних проєктів // Розвиток європейського простору очима молоді: економічні, соціальні та правові аспекти : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (28 квітня 2017 р.). – Харків : Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, 2017. – С. 571–575. – Режим доступу: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/12928>.

78. Поліщук Є. А., Іващенко А. І. Методика розрахунку ключових показників ефективності (КРІ) використання різних фінансово-кредитних інструментів підприємствами МСБ // Ефективна економіка. – 2019. – № 2. – DOI: 10.32702/2307-2105-2019.2.9. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/2_2019/11.pdf.

79. Колосок С. І., Мирошніченко Ю. О., Мішеніна Г. А. Розроблення та реалізація інвестиційного проєкту : підручник. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 121 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi74/0055072.pdf>.

80. Андрухов В., Потєха А., Басіст В. Оцінка доцільності застосування BIM-технологій для будівельного проєкту (Feasibility Assessment of Using BIM Technologies for a Construction Project) // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2024. – Т. 36, № 1. – С. 161–165. – DOI: 10.31649/2311-1429-2024-1-161-165.

81. Борзенко В. І., П'ятак Т. В. Метод оцінки ефективності інвестиційних проєктів // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXV Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017. – Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2017. – Ч. IV. – С. 180. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/03b52ee5-26f8-4855-b23b-cbb2cf03dc49/content>.

82. Сафронов С. О., Караван Н. А. Порівняльний аналіз критеріїв оцінки ефективності інвестиційних проєктів // Інвестиції: практика та досвід. – 2013.

– № 13. – С. 36–39. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.investplan.com.ua/pdf/13_2013/10.pdf.

83. Дружинін М., Степанюк Р., Гергі М., Малихін М. та ін. Digital Models of Construction Organization Based on the Integrative Approach and Smart Management // Управління розвитком складних систем (Management of Development of Complex Systems). – 2024. – № 60. – С. 165–173. – DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.165-173. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/389363368_Digital_models_of_construction_organization_based_on_the_integrative_approach_and_smart_management.

84. Луців Б.Л., Кравчук І.С., Сас Б.Б. Інвестування: підручник. – Тернопіль: ТНЕУ, 2014. – 520 с. ISBN 978-966-654-312-0. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/26337/1/4-Lutsiv_Investyvanna.pdf

85. Пігуль В. В. Підвищення ефективності реалізації міжнародних інвестиційних проєктів у теплоенергетиці : магістерська дисертація : спец. 051 «Економіка» / наук. кер. О. О. Охріменко. – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 90 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d950c506-2a32-4cc0-aaab-9c01a5a4b48c/content>.

86. Інвестування : практикум / [Т. В. Майорова, В. І. Максимович, С. В. Урванцева та ін.] ; за наук. ред. Т. В. Майорової. — К. : КНЕУ, 2012. — 577, [7] с. ISBN 978-966-483-520-3 – Режим доступу: https://kneu.edu.ua/get_file/5044/.

87. Медина А. П. Стратегічне управління економічним розвитком транспортного підприємства в умовах цифрової трансформації : дис. ... д-ра філософії : спец. 051 «Економіка». – Київ : Державний університет інфраструктури та технологій, 2024. – URL: <https://dir.ukrintei.ua/view/okd/14e9680202e45bc670f0bc1208036a89>.

88. Козьменко О. В., Козьменко С. М., Васильєва Т. А. та ін. Страховий і перестраховий ринки в епоху глобалізації : монографія. – Суми : Університетська книга, 2011. – URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/50393>.

89. Вірянська О. В. Оцінка інвестиційної привабливості / наук. кер. С. Т. Пілецька // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки». –

Київ : Національний авіаційний університет, 2018. – [Електронний ресурс]. – Режим

доступу:

[https://nau.edu.ua/site/variables/news/2018/5/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%202018/30-%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81-%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20\(%D0%A4%D0%95%D0%91%D0%90\).pdf](https://nau.edu.ua/site/variables/news/2018/5/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%202018/30-%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B0%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81-%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20(%D0%A4%D0%95%D0%91%D0%90).pdf).

90. Нестерова С.В. Методи оцінки ефективності інвестицій: сутність та характеристики. – Журнал «Економіка і суспільство», 2018. – № 19, с. 104–113. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://economyandsociety.in.ua/journals/19_ukr/166.pdf

91. Демиденко М. А. Управління проєктами інформатизації : навч. посіб. – Дніпро : Національний гірничий університет, 2014. – 114 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/37849286-ce52-4273-9def-1cff5e9a81c1/content>.

92. Верба В. А., Загородніх О. А. Проєктний аналіз : підручник. – Київ : КНЕУ, 2000. – 322 с. – ISBN 966-574-109-8. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/1852703/>.

93. Архітектурні дослідження : міжнародний науковий журнал про архітектуру. – 2025. – Т. 11, № 1. – Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2025. – 132 с. – ISSN 2411-801X, е-ISSN 2786-7374. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://arch-studies.com.ua/web/uploads/journals_pdf/Architectural%20Studies,%20Vol%2011,%20No%201,%202025.pdf.

94. П.П. Микитюк Управління проєктами. – Тернопіль: ТНЕУ, 2014. ISBN 978-966-654-360-1. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://api.dspace.wunu.edu.ua/api/core/bitstreams/dd3d5266-724d-4daf-9c8f-7f00526c57cc/content>

95. Park C., Son M., Kim J., Kim B., Ahn Y., Kwon N. TOPSIS and AHP-Based Multi-Criteria Decision-Making Approach for Evaluating Redevelopment in Old Residential Projects // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, No. 15. – Art. 7072. – DOI: 10.3390/su17157072.

96. Плис Н. В. Економіко-організаційний інструментарій адміністрування будівельним підприємством на ґрунті державно-приватного партнерства : дис. ... д-ра філософії : спец. 051 «Економіка» / наук. кер. Ю. А. Чуприна. – Київ : КНУБА, 2024. – 227 с. – URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/dysertacziya-plys-n.v-1.pdf>.

97. Рижаківа Г. А. Сучасні інструменти та програмні продукти для управління будівельними організаціями в умовах трансформації систем оперативного управління // ResearchGate. – 2023. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/370388787_Modern_tools_and_software_products_for_the_administration_of_construction_organizations_in_the_conditions_of_transformation_of_operational_management_systems

98. Юрчук Н. П. Система моніторингу в управлінні ІТ-проектами // Ефективна економіка. – 2018. – № 4. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2018/58.pdf.

99. Alekseytsev A. V., Nadirov S. H. Scheduling Optimization Using an Adapted Genetic Algorithm with Due Regard for Random Project Interruptions // Buildings. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – Art. 2051. – DOI: 10.3390/buildings12122051.

100. Садов'як М. С. Принципи, критерії та показники оцінки стратегічного розвитку житлового будівництва. Академічні візії. 2022. № 14. – Вилучено із <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/2010>

101. Сенів П.А. Аналіз ефективності інвестицій в реконструкцію і технічне переоснащення. Дис. канд. екон. наук. – Вінниця, 2015. – 228 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/1458/1/diser_Seniv.PDF

102. Статті: “What Is the Profitability Index (PI)?” Investopedia, 15 червня 2025. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/p/profitability.asp>

103. Ibrahim A., Zayed T., Lafhaj Z. Enhancing Construction Performance: A Critical Review of Performance Measurement Practices at the Project Level // Buildings. – 2024. – Vol. 14, No. 7. – Art. 1988. – DOI: 10.3390/buildings14071988.

104. Тема 10. Інвестиційний проєкт та критерії його ефективності. – Луцьк: Луцький національний технічний університет. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/ENP%20finish/page15.html
105. Васильків В., Ткаченко І., Данильченко Л., Сіправська М., Ярема І. Ефективність інвестиційних проєктів у механічній інженерії : навчально-методичний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». – Тернопіль : Видавництво Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2024. – 208 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/46110/1/Posibnyk_Efektyvnist_2024.pdf.
106. Хомюк Н., Білоус О. Інноваційні стратегії управління зовнішньоекономічною діяльністю в умовах цифрової трансформації // Економіка та суспільство. – 2024. – № 69. – DOI: 10.32782/2524-0072/2024-69-129. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5235>.
107. Трач Р. В. Переваги застосування концепції інформаційного моделювання в будівництві // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2018. – № 36. – DOI: 10.31713/budres.v0i36.278. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/346525529_PEREVAGI_ZASTOSUVANNA_KONCEPCII_INFORMACIINOGO_MODELUVANNA_V_BUDIVNICTVI.
108. Тугай А. М., Оріщенко В. Сучасне уявлення змісту діяльності будівельно-інжинірингових фірм // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин : зб. наук. праць. – Київ : КНУБА, 2019. – Вип. 39, ч. 2. – С. 3–10. – DOI: 10.32347/2707-501x.2019.39. – Режим доступу: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/196440>.
109. Халілов А. Менеджмент будівельних проєктів з застосуванням BIM технологій та штучного інтелекту на цифровій платформі : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 073 «Менеджмент», галузь знань 07 «Управління та адміністрування» / наук. кер.

С. Д. Бушуєв. – Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2024. – 176 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/halilov-dysertacziya.pdf>.

110. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) // ТОВ «ЕКОКОНСАЛТ». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eco.kiev.ua/poslugy/suprovид-oczinky-vplyvu-na-dovkillya-ovd/>..

111. Студінська Г. Я. Threats to the Competition of Ukrainian Construction Enterprises (2020–2021) // Університетський економічний вісник (University Economic Bulletin). – 2022. – № 52. – С. 129–135. – DOI: 10.31470/2306-546X-2022-52-129-135. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/360594278_Threats_to_the_competition_of_Ukrainian_construction_enterprises_2020-2021.

112. Шишкін Е. А. Інноваційні планувальні та конструктивні рішення сучасних будівель і споруд : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / Е. А. Шишкін, Ю. І. Гайко ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 40 с. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/61733/1/%D0%A8%D0%B8%D1%88%D0%BA%D1%96%D0%BD%2C%20%D0%9A%D0%9B.pdf>.

113. Lu K., Deng X., Jiang X., Cheng B., Tam V. W. Y. A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling // Journal of Civil Engineering and Management. – 2023. – Vol. 29, No. 3. – P. 268–288. – DOI: 10.3846/jcem.2023.18473.

114. Зяхор Д.О. Характеристика традиційних методик оцінки ефективності у практиці будівельного інвестування. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2026. Вип. 57(1). С. 3–16. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(1\).3-16](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(1).3-16). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/355478>.

115. Зяхор Д., Зіньков О. Удосконалення проектних показників у будівництві через інтеграцію цифрового інструментарію та новітніх методологій. Шляхи

- підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 56(1). С. 3–10. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).3-10](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).3-10). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/347663>.
116. Зяхор Д.О. Оцінка недоліків і обмежень діючих організаційно-технологічних підходів в оцінюванні проєктів. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 15. С. 325–337. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.15.325-337>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/366941>.
117. Зяхор Д., Молодько О. Застосування інноваційного інструментарію для ефективного управління девелоперськими проєктами в сучасних умовах. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 55(2). С. 166–173. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(2\).166-173](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).166-173). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/336009>.
118. Зяхор Д.О., Грабчак Д.В., Устинов Є.Б., Сокуров А.В. Визначення критеріїв та індикаторів ефективності реалізації будівельно-інвестиційних проєктів у сучасних умовах. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 14. С. 122–132. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.14.122-132>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/361199>.
119. Малихін М.О., Данілов С.Ю., Іванина О.М., Зяхор Д.О. Трансформація економічних підходів до диверсифікації підприємницької діяльності в контексті будівництва. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 13. С. 358–373. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.13.358-373>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/360269>.
120. Зяхор Д., Зіньков О. Методологічне забезпечення організації будівництва промислових об'єктів зі збірного залізобетону як чинник ефективності реалізації проєктів. Будівельне виробництво. 2025. № 81. С. 124–129. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.124-129>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/576>.
121. Грабчак Д., Зяхор Д., Устинов Є., Сокуров А. Теоретичні та методичні основи організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Будівельне виробництво. 2025. № 80. С. 29–42. DOI:

<https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.29-42>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/549>.

122. Тугай О., Дворнічен І., Олійник В., Зяхор Д., Молодько О. Використання теоретико-прикладного інструментарію для оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2024. Вип. 54(1). С. 156–163. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).156-163](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).156-163). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/320264>.

123. Malykhin M., Dvornichen I., Ziakhor D., Tugay A., Dubynka O. Assessment of the Development Project Management Efficiency under Conditions of Uncertainty // International Journal of Accounting and Economics Studies. – 2025. – Vol. 12, No. 2. – P. 392–401. – DOI: 10.14419/ijaes.v12i2.33511. – URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/IJAES/article/view/33511>.

124. Rockafellar R. T., Uryasev S. Optimization of Conditional Value-at-Risk. Journal of Risk. 2000. Vol. 2, no. 3. P. 21–41. DOI: 10.21314/JOR.2000.038.

125. Kupiec P. H. Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. The Journal of Derivatives. 1995. Vol. 3, no. 2. P. 73–84. DOI: 10.3905/jod.1995.407942.

126. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York : McGraw-Hill, 1980. 287 p. – Режим доступу: <https://archive.org/details/analytichierarch0000saat>.

127. Sobol' I. M. Global Sensitivity Indices for Nonlinear Mathematical Models and Their Monte Carlo Estimates. Mathematics and Computers in Simulation. 2001. Vol. 55, no. 1–3. P. 271–280. DOI: 10.1016/S0378-4754(00)00270-6.

128. Glasserman P. Monte Carlo Methods in Financial Engineering. New York : Springer, 2003. 596 p. – DOI: 10.1007/978-0-387-21617-1.

129. Hwang C. L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications (TOPSIS). Berlin : Springer-Verlag, 1981. 259 p. – DOI: 10.1007/978-3-642-48318-9.

130. Brans J. P., Vincke P. A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making. *Management Science*. 1985. Vol. 31, no. 6. P. 647–656. DOI: 10.1287/mnsc.31.6.647.
131. Trigeorgis L. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Cambridge, MA : MIT Press, 1996. 427 p. – Режим доступа: <https://mitpress.mit.edu/9780262201025/real-options/>.
132. Hardy G. H., Littlewood J. E., Pólya G. *Inequalities*. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 1952. 324 p. – Режим доступа: <https://books.google.com/books?vid=ISBN9780521358804>.
133. Keynes J. M. *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London : Macmillan, 1936. 472 p. – Режим доступа: <https://www.hetwebsite.net/het/texts/keynes/gt/gtcont.htm>.
134. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 7th ed. Newtown Square, PA : Project Management Institute, 2021. 250 p. ISBN 9781628256642. – Режим доступа: <https://www.oreilly.com/library/view/a-guide-to/9781628256642/>.
135. Eastman C., Lee J.-M., Jeong Y.-S., Lee J.-K. Automatic Rule-Based Checking of Building Designs. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18, no. 8. P. 1011–1033. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.07.002.
136. Sacks R., Brilakis I., Pikas E., Xie H. S., Girolami M. Construction with Digital Twin Information Systems. *Data-Centric Engineering*. 2020. Vol. 1. Art. e14. DOI: 10.1017/dce.2020.16.
137. Kahneman D., Tversky A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*. 1979. Vol. 47, no. 2. P. 263–291. DOI: 10.2307/1914185.
138. Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*. – Cambridge : Cambridge University Press, 2003. – 207 p. – DOI: 10.1017/CBO9781107050891.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Довідки про впровадження



ІНСТИТУТ МІСЦЕВОГО РОЗВИТКУ

КОНСУЛЬТАТИВНІ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ЕКСПЕРТНІ ПОСЛУГИ

М. КИЇВ, ВУЛ. ІГОРІВСЬКА 14А, ТЕЛ.: (044) 428-76-10

11-1н від 12.02.2026

Про впровадження результатів дисертаційного дослідження Зяхора Д.О. в практичній діяльності ВБО «Інституту місцевого розвитку»

У діяльність всеукраїнської благодійної організації «Інституту місцевого розвитку» (ІМР) впроваджено окремі науково-прикладні результати дисертаційного дослідження Зяхора Д.О. на тему «Трансформація організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів», виконаного за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Практичне значення впровадження полягає у вдосконаленні механізмів координації взаємодії між ІМР як виконавцем наукового проєкту, та замовником як ключовими учасниками будівельно-інвестиційного процесу. Особливу цінність для підприємства становило застосування методики трансформації координаційної структури організації циклу будівельного девелоперського проєкту, що забезпечила перехід від фрагментарного обміну інформацією між учасниками до інтегрованої цифрової моделі взаємодії, у якій виробничі, ресурсні, календарні та фінансові параметри функціонують у межах єдиного інформаційно-аналітичного середовища.

У процесі впровадження було використано запропонований здобувачем підхід до формування цифрового ресурсного контуру управління проєктом із застосуванням програмних компонентів KAN-Insight.DT, KAN-RiskLab, KAN-NPV.Pro та KAN-Integrator. Їх використання сприяло підвищенню оперативності обміну інформацією між замовником, девелопером та підрядною організацією, а також забезпечило можливість своєчасного коригування рішень щодо ресурсного забезпечення, календарного планування та управління ризиками. Особливого значення набуло впровадження принципів адаптивного календарного планування, за яких графік реалізації проєкту формується не як статичний документ, а як динамічний інструмент

управління, здатний оперативно реагувати на зміни зовнішніх та внутрішніх умов реалізації проекту.

Додатковий практичний ефект забезпечило використання багатовимірної системи КРІ та інтегрального індексу ефективності Ieff, які дозволили поєднати часові, вартісні, ресурсні, ризикові, якісні, соціальні та поведінкові показники в єдину систему оцінювання. Це сприяло підвищенню прозорості управлінських процедур, покращенню міжорганізаційної координації та підвищенню узгодженості рішень між усіма учасниками будівельно-інвестиційного процесу.

Внаслідок використання запроваджених в роботах Зяхора Д.О. аналітичних інструментів цифрового контуру моніторингу та багатовимірної КРІ-системи рівень контролюваності виконання робіт за основними стадіями життєвого циклу проекту зріс на 14,8%, що забезпечило своєчасне виявлення та усунення відхилень від календарних і ресурсних параметрів. Одночасно зафіксовано зростання середнього виробітку виробничого персоналу на 9,6%, що стало наслідком підвищення узгодженості робіт, скорочення непродуктивних втрат часу та оптимізації розподілу ресурсів між виконавцями. Частка робіт, виконаних відповідно до планових термінів, зросла з 89% до 98%, а кількість випадків повторного коригування виробничих завдань скоротилася на 21%. Водночас було забезпечено більш точне прогнозування ризиків реалізації проекту, покращення ресурсної збалансованості календарних планів, підвищення адаптивності системи управління до змін зовнішнього середовища, зниження ризикового навантаження на проєкт, удосконалення механізмів мотивації управлінського персоналу та формування єдиного цифрового середовища підтримки прийняття рішень.

Отримані результати підтверджують високу практичну цінність наукових розробок Зяхора Д.О. для підвищення ефективності взаємодії основних стейкхолдерів будівельно-інвестиційних проєктів та вдосконалення сучасних механізмів організації будівництва.

Виконавчий директор

д.е.н. доцент



Тормосов Р.Ю.



АЛЬФА-СЕРВІС
будівельна фірма

Вих. № 11- від 13.04.2026р

Довідка

Повідомлення про підсумки науково-прикладної співпраці здобувача КНУБА з будівельною девелоперською компанією «Альфа-Сервіс» щодо впровадження в практику організації, підготовки та адміністрування проєктів будівництва результатів дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Керівництво компанії повідомляє про позитивні підсумки взаємодії зі здобувачем КНУБА Зяхором Дмитрієм Олеговичем при впровадженні в процеси будівельної та девелоперської діяльності проєктів будівництва його наукових та прикладних здобутків за дисертацією на тему «Трансформація організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів» (спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»).

Завдяки використанню нашою компанією наукових результатів Зяхора Д.О., в адмініструванні будівельними проєктами досягнуто якісно нового рівня цифрово-аналітичного забезпечення, що, своєю чергою, забезпечило суттєве підвищення точності планування, обґрунтованості інвестиційних рішень та керованості всіх етапів життєвого циклу будівельних девелоперських проєктів. Особливого значення набуло те, що запропоновані інструменти дозволили перейти від фрагментарного, дискретного аналізу до безперервної системної цифрової аналітики, яка охоплює як виробничу фазу реалізації будівельних робіт, так і розширений підготовчий період, включаючи організацію спеціальних тимчасових структур управління проєктом.

Ключовим елементом впровадження стала організаційно-технологічна модель формалізованого опису будівельного проєкту, трансформована в межах дослідження у цифрово-аналітичну модель інтегрованого керування повним життєвим циклом девелоперського проєкту. Практичне застосування даного інструменту в діяльності компанії забезпечило формування єдиного цифрово-аналітичного контуру управління, який інтегрує фінансово-економічну, соціально-екологічну, мотиваційно-управлінську та ризик-

орієнтовану підсистеми. Завдяки впровадженню зазначеної моделі в компанії створено можливість здійснювати багатовимірний аналіз параметрів проєкту в режимі реального часу на основі інтеграції сучасних цифрових технологій (ERP-, BIM-систем, інструментів HR-аналітики та цифрових двійників).

Суттєвий практичний ефект досягнуто за рахунок удосконалення підходів до оцінювання інвестиційної привабливості проєктів, зокрема NPV-аналізу, який доповнено цифровими коефіцієнтами інтеграції та соціально-екологічними коригувальними параметрами. Це дозволило компанії підвищити точність інвестиційних розрахунків, враховувати нефінансові фактори впливу та забезпечити більш збалансовану оцінку ефективності будівельних проєктів у довгостроковій перспективі.

Наступним ключовим результатом впровадження став аналітико-прикладний інструментарій організаційно-технологічного моделювання та коригування циклу будівельно-девелоперського проєкту, який у практиці компанії було реалізовано як багаторівневу цифрово-аналітичну систему. Дана система об'єднала організаційно-технологічну, структурно-адміністративну, цифрово-аналітичну, ресурсно-економічну підсистеми, а також DWH-базу даних, модулі цифрових двійників, симуляційні процеси, ризик-менеджмент та багатовимірну KPI-структуру. Впровадження цього інструментарію забезпечило компанії принциповий перехід від статичного оцінювання ефективності до динамічного сценарно-адаптивного управління будівельними проєктами. Це дозволило здійснювати безперервне моделювання життєвого циклу проєкту з можливістю оперативного коригування параметрів організації, ресурсного забезпечення та технологічної послідовності виконання робіт.

Результати практичного впровадження розробленого організаційно-технологічного інструментарію на прикладі інвестиційно-будівельного проєкту засвідчили його здатність забезпечувати відчутний організаційний та економічний ефект. Зокрема, інтегральний кількісний індикатор успішності процесів організації будівництва та будівельного девелопменту зріс на 11,2 %, що характеризує підвищення якості координації робіт, результативності управлінських процедур та рівня досягнення цільових параметрів проєкту. Водночас впровадження запропонованих рішень сприяло зменшенню собівартості 1 кв. м загальної площі житла на 318 грн, що свідчить про вдосконалення механізмів ресурсного забезпечення та оптимізацію структури витрат. Економічний ефект підтверджується також зростанням індексу рентабельності проєкту з 1,49 до 1,56, що відображає підвищення рівня

віддачі на вкладений капітал та зміцнення фінансової стійкості інвестиційного проєкту в цілому. Також було забезпечено: зменшення загального рівня невизначеності управління на 20 %; підвищення швидкості прийняття управлінських рішень у середньому на 35–40 %.

Таким чином, результати дисертаційного дослідження мають суттєву практичну цінність і можуть бути рекомендовані до подальшого впровадження в діяльність підприємств будівельної галузі, орієнтованих на цифрову трансформацію управлінських процесів.

Директор компанії



Кравченко А.М.



ТОВ «Фомальгаут-Полімін»

17.03.2026 № 23-1

Голові Вченої ради КНУБА
д.е.н., професору Кулікову П.М.

Інформація про впровадження результатів науково-прикладного добробку дисертанта Зяхора Д.О.

Компанія «Фомальгаут-Полімін» повідомляє про суто позитивний характер співпраці зі здобувачем КНУБА Зяхором Д.О., автором дисертаційної роботи на здобуття ступеня доктора філософії на тему: «Трансформація організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів». Створений здобувачем інструментарій надав компанії потужний поштовх до системної цифрової трансформації процесів організації будівництва, розширив можливості багатофакторного аналізу життєвого циклу проєктів та забезпечив інтеграцію підготовчих, організаційних і виробничих етапів у єдину аналітичну платформу.

Використання науково-прикладних розробок Зяхора Д.О. дозволило компанії при впровадженні проєкту ЖК «Novanog» площею 28,5 тис. м² із багатофункціональною забудовою досягти таких системних поліпшень:

- скорочення тривалості інвестиційно-будівельного циклу з 29 до 24 місяців (-13,8 %) за рахунок сценарного планування та цифрового коригування графіків;
- зниження загального рівня організаційно-технологічних ризиків (Risk Exposure Index) на 18,2 % завдяки застосуванню моделей VaR/CVaR;
- підвищення точності прогнозування бюджету проєкту (Cost Forecast Accuracy) до $\pm 3,5$ % порівняно з базовим рівнем $\pm 8-10$ %;
- зростання інтегрального індексу ефективності проєкту (Project Efficiency Index, PEI) з 0,74 до 0,86;
- скорочення простоїв ресурсів будівельного майданчика на 12,5 % через інтеграцію ERP-BIM-HR-аналітики.

Окремий практичний ефект отримано від розширення методичного інструментарію ризик-аналізу на основі моделей VaR (Value at Risk), CVaR (Conditional Value at Risk) та функціоналів чутливості. У впровадженій системі ці підходи дозволили компанії більш точно оцінювати потенційні

фінансові втрати, моделювати ризикові сценарії та підвищити стабільність управлінської системи в умовах стохастичної невизначеності будівельного ринку.

Значним досягненням практичного впровадження стало формування інтегрованого дашборда ефективності управління проектами, який виконує функцію оперативного аналітичного центру прийняття рішень. У межах компанії цей інструмент забезпечив можливість багаторівневого моніторингу KPI, оцінювання сценаріїв реалізації проектів та оперативного вибору оптимальних управлінських стратегій. Це суттєво підвищило швидкість реакції управлінського персоналу на зміни зовнішнього та внутрішнього середовища проектів.

Таким чином, впроваджені наукові результати забезпечили не лише якісну трансформацію системи управління будівельними проектами, але й створили вимірюваний економічний, організаційний та технологічний ефект, що підтверджує високу практичну цінність дисертаційного дослідження для підприємств будівельної галузі, орієнтованих на цифрову трансформацію управління.

Директор



Єршов С.А.

Додаток 2. Список праць здобувача

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, які індексуються в міжнародних наукометричних базах:

1. Зяхор Д.О. Характеристика традиційних методик оцінки ефективності у практиці будівельного інвестування. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2026. Вип. 57(1). С. 3–16. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57\(1\).3-16](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2026.57(1).3-16). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/355478>.
2. Зяхор Д., Зіньков О. Удосконалення проектних показників у будівництві через інтеграцію цифрового інструментарію та новітніх методологій. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 56(1). С. 3–10. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).3-10](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).3-10). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/347663>.
3. Зяхор Д.О. Оцінка недоліків і обмежень діючих організаційно-технологічних підходів в оцінюванні проєктів. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 15. С. 325–337. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.15.325-337>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/366941>.
4. Зяхор Д., Молодько О. Застосування інноваційного інструментарію для ефективного управління девелоперськими проєктами в сучасних умовах. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 55(2). С. 166–173. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(2\).166-173](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(2).166-173). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/336009>.
5. Зяхор Д.О., Грабчак Д.В., Устинов Є.Б., Сокуров А.В. Визначення критеріїв та індикаторів ефективності реалізації будівельно-інвестиційних проєктів у сучасних умовах. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 14. С. 122–132. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.14.122-132>. URL: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/361199>.
6. Малихін М.О., Данілов С.Ю., Іванина О.М., Зяхор Д.О. Трансформація економічних підходів до диверсифікації підприємницької діяльності в контексті будівництва. Просторовий розвиток. 2025. Вип. 13. С. 358–373. DOI:

<https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.13.358-373>.

URL:

<https://spd.knuba.edu.ua/article/view/360269>.

7. Зяхор Д., Зіньков О. Методологічне забезпечення організації будівництва промислових об'єктів зі збірного залізобетону як чинник ефективності реалізації проєктів. Будівельне виробництво. 2025. № 81. С. 124–129. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.124-129>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/576>.

8. Грабчак Д., Зяхор Д., Устинов Є., Сокуров А. Теоретичні та методичні основи організаційно-технологічної оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Будівельне виробництво. 2025. № 80. С. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.29-42>. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/article/view/549>.

9. Тугай О., Дворнічен І., Олійник В., Зяхор Д., Молодько О. Використання теоретико-прикладного інструментарію для оптимізації інвестиційно-будівельних проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2024. Вип. 54(1). С. 156–163. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).156-163](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).156-163). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/320264>.

10. Тугай О., Єсипенко А., Пилипчук О., Молодько О., Зяхор Д. Удосконалення організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2023. Вип. 51(1). С. 234–240. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51\(1\).234-240](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.51(1).234-240). URL: <https://ways.knuba.edu.ua/article/view/284961>.

Публікація в іноземному періодичному індексованому в WoS/Scopus виданні:

11. Malykhin M., Dvornichen I., Ziakhor D., Tugay A., Dubynka O. Assessment of the Development Project Management Efficiency under Conditions of Uncertainty. International Journal of Accounting and Economics Studies. 2025. Vol. 12, No. 2. P. 392–401. DOI: <https://doi.org/10.14419/actqg061>. URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/IJAES/article/view/33511>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (тези доповідей на конференціях):

12. Зяхор Д.О. Оцінка ефективності та практична реалізація будівельних інвестиційних проєктів. Круглий стіл «Налаштування освітніх траєкторій в підготовці менеджерів будівництва в контексті відбудови України» (адаптація освітньо-наукового процесу підготовки магістрів з менеджменту до вимог роботодавців, стейкхолдерів будівельного ринку), 30 травня 2023 р. Київ: КНУБА, 2023. Програма круглого столу. URL: <https://cf.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2026/03/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-%D0%BA%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%83-30.05.2023.pdf>.

13. Зяхор Д.О. Розробка концептуальної моделі вдосконалення оцінки будівельно-інвестиційних проєктів. V Міжнародна науково-практична конференція «Енергоощадні машини і технології», 22–24 травня 2024 р. Київ: КНУБА, 2024. Програма конференції. URL: https://cf.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2026/03/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97_2024_22-24_05.pdf.

14. Боштан А.В., Зяхор Д.О. Удосконалення механізмів диверсифікації та організаційно-технологічного інструментарію оцінки ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на ґрунті науково-освітнього процесу. Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України: матеріали VIII Міжнародної конференції (12 листопада 2025 р.). Київ: Ліра-К, 2026. С. 580–581. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/28/zbirnyk-materialiv_8_mizhnarodnoyi-konferentsiyi-2025.pdf. ISBN 978-617-520-492-4

15. Боштан А.В., Зяхор Д.О., Тугай О.А. Удосконалення механізмів диверсифікації та організаційно-технологічного інструментарію оцінки

ефективності будівельно-інвестиційних проєктів на ґрунті науково-освітнього процесу. Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України: матеріали VIII Міжнародної конференції (12 листопада 2025 р.). Київ: Ліра-К, 2026. 836 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/28/zbirnyk-materialiv_8_mizhnarodnoyi-konferentsiyi-2025.pdf. ISBN 978-617-520-492-4

Додаток 3. Перелік умовних позначень. Наведено символи формул (3.1)–(3.8).

Позначення	Зміст	Діапазон / одиниця
CF_t	чистий грошовий потік періоду t	тис. грн
r	ставка дисконтування (реальна)	частка од.
I_0	початкові інвестиції	тис. грн
B	горизонт оцінювання	роки (кількість періодів)
PI, NPV	індекс прибутковості; чиста приведена вартість	безрозм.; тис. грн
$\gamma(D_t)$	коефіцієнт реалізованості грошового потоку	$(0; 1]$
D_t	вектор ознак великих даних періоду t	—
I_{eff}, E_{int}	інтегральні показники ефективності (3.2), (3.6)	$[0; 1]$
$\tilde{E}_{fin}, \tilde{E}_{env}, \tilde{E}_{soc}, \tilde{E}_{beh}, \tilde{E}_{eco}, \tilde{E}_{mot}$	нормовані субіндекси складників	$[0; 1]$
$\omega_{fin}, \omega_{env}, \omega_{soc}, \omega_{beh}, \omega_{eco}, \omega_{mot}$	ваги критеріїв (метод АНР)	$\omega \geq 0, \Sigma \omega = 1$
$\hat{R}_t$	оцінка інтегрального ризику (3.5)	$(0; 1)$
σ_t, β_t	волатильність та індикатор ринкової турбулентності	нормовані
a, b, c	параметри логістичної моделі (3.5)	оцінюються MLE
M	мотиваційно-управлінський індекс (3.7)	$[0; 1]$
$\tilde{P}_i, \tilde{C}_i$	нормовані продуктивність та відповідність стратегії	$[0; 1]$
λ_{dig}	коефіцієнт цифрової узгодженості	$[0; 1]$
k	кількість управлінських одиниць	ціле, $k \geq 1$
$\theta_{eco}, \theta_{soc}$	екологічна та соціальна премії (3.8)	$\theta_{eco} + \theta_{soc} < 1$
r_{adj}	скоригована ставка дисконту (3.8б)	частка од., $r_{adj} > 0$
NPV_{soc}	соціально скоригована NPV (3.8а)	тис. грн
B_t^{eco}, B_t^{soc}	тіньові оцінки екологічних і соціальних вигід	тис. грн