

Київський національний університет будівництва і архітектури

А. А. Козак

**ІНТЕГРОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ
БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТІВ: ЦИФРОВІ СЦЕНАРІЇ,
МУЛЬТИКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-
СТРУКТУРНА АДАПТАЦІЯ**

монографія

Київ
2025

УДК 69.003:330.322:004

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету
будівництва і архітектури (протокол № _____)

Рецензенти:

д.т.н., професор Сердюк В.Р

Вінницький національний технічний університет (ВНТУ).

д.т.н., професор Антипенко Є.Ю.

Національний університет «Запорізька політехніка»

У дослідженні розкрито комплексний підхід до інтегрованого управління потоками інвестиційних будівельних проектів, спрямований на підвищення їх результативності в умовах цифровізації та зростаючої динаміки ринкового середовища. Робота поєднує аналіз сучасних тенденцій інвестиційного менеджменту у будівництві з розробкою практичних інструментів, орієнтованих на багатокритеріальну оптимізацію, цифрове сценарне планування та гнучку організаційно-структурну перебудову управлінських моделей.

Інвестиційний цикл розглядається як багаторівнева система, де фінансові, ресурсні, часові та технологічні параметри мають бути синхронізовані за єдиними пріоритетами. Запропоновано підхід до формування збалансованого інвестиційного портфеля, який передбачає застосування алгоритмів відбору проектів за критеріями стратегічної важливості, ризикового профілю та взаємозалежності елементів портфеля. Значна увага приділена прогнозуванню результатів із використанням цифрових сценаріїв, що дозволяють змодельовати альтернативні варіанти розвитку подій і своєчасно адаптувати плани до змін зовнішніх та внутрішніх умов.

Досліджено можливості інтеграції сучасних управлінських технологій — BIM-модельовання, ERP-рішень, стратегічних інструментів BSC і OKR — із гібридними моделями реалізації проектів, такими як IPD та ECI. Показано, що їхнє поєднання сприяє скороченню тривалості інвестиційного циклу, зниженню операційних витрат, підвищенню прозорості взаємодії між учасниками та зростанню інвестиційної привабливості проектів.

Практичне значення роботи полягає у формуванні методичної та прикладної бази для розробки адаптивних систем управління інвестиційними потоками, здатних забезпечувати стійкість і конкурентоспроможність девелоперських структур у довгостроковій перспективі. Отримані результати можуть бути використані як у національних, так і в міжнародних проектах будівельної індустрії.

Зміст

Вступ.....	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ, ПРАКТИЧНИХ РІШЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНОЇ БАЗИ З ГАЛУЗІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
§1.1. Визначення відповідності системи управління інвестиційними процесами сучасним умовам та вимогам ринку.....	
§1.2. Аналіз наукових підходів до організації інвестиційного циклу та класифікація моделей управління	
§1.3. Інтеграційно оцінка ефективності управлінських технологій у девелоперських проектах	
РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТА СТРУКТУРА СИСТЕМИ УЗГОДЖЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРІОРИТЕТІВ	
§2.1. Базові положення щодо підходів до формування інвестиційного циклу. Основні стадії організації дослідження.....	
§2.2. Алгоритмічні моделі та принципи побудови механізму розподілу інвестицій за критеріями.....	
§2.3. Системне стратегічне узгодження інвестицій через інтеграцію ОКР, BSC та інструментів пріоритетизації доцільності.....	
РОЗДІЛ 3. ІНСТРУМЕНТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ В УКРАЇНІ.....	
§3.1. Імовірнісна модель результативності інвестицій у промисловість і будівництво	
§3.2. Прогнозна модель динаміки введення в експлуатацію житлових об'єктів	
§3.3. Аналіз перешкод і перспектив у реалізації інновацій у будівельній сфері	
§3.4. Порівняльне оцінювання інвестиційної привабливості галузі за допомогою експертного аналізу та номографічних моделей	
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА СЦЕНАРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПРОЕКТІВ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ВІДБОРУ У ПОРТФЕЛЬ ІНВЕСТОРА.....	
§4.1. Основи формування системи діагностики для ранжування проектів.....	
§4.2. Програмна реалізація інструментів попереднього відбору проектів для включення до інвестиційного портфеля.....	
§4.3. Сценарно-імовірнісне моделювання для ризикового балансу інвестиційного портфеля.....	
РОЗДІЛ 5. ПІДХОДИ ДО ОСТАТОЧНОГО ВІДБОРУ ПРОЕКТІВ І ФОРМУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ.....	
§5.1. Формування вимог до остаточного портфеля інвестицій та зниження ризиків у реалізації проектів.....	
§5.2. Модель ухвалення рішень та програмне впровадження остаточного відбору проектів до інвестиційного портфеля.....	
§5.3. Мультикритеріальна оптимізація портфеля з ідентифікацією взаємозв'язків між проектами та врахуванням ризикової залежності.....	
РОЗДІЛ 6. СИСТЕМА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕСУРСНО-КАЛЕНДАРНОЇ СТРУКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ.....	
§6.1. Визначення засад та вимог до формування збалансованої моделі ресурсного втілення проектів.....	
§6.2. Створення та реалізація алгоритму ресурсно-календарного планування впровадження проектів.....	

§6.3. Програма впровадження та перевірки результативності побудованої моделі.....

РОЗДІЛ 7. ПРОЄКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЯМИ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ.....

§7.1. Алгоритм вибору виконавців проєктів інвестором на основі конкурентоспроможності підрядних організацій.....

§7.2. Побудова організаційної структури реалізації дослідження: взаємозв'язки елементів управління інвестиційними проєктами в галузі будівництва.....

§ 7.3 Інноваційні конструкції впровадження інтегрованих моделей IPD ECI гібридних структур.....

Загальні висновки.....

Література.....

Вступ

Сучасний етап розвитку економіки України, особливо в умовах глобальної невизначеності, структурних трансформацій ринків та загострення конкуренції, вимагає від підприємств будівельної галузі та суміжних секторів формування нових підходів до організації, управління та реалізації інвестиційних процесів. Інвестиційна діяльність у сфері будівництва, яка є одним з найбільш капіталомістких і тривалих напрямів господарської активності, має особливу значущість не лише для окремих підприємств, а й для загальнонаціонального економічного зростання, формування інфраструктури та підвищення якості життя населення. Саме інвестиційні проекти у сфері девелопменту створюють довгострокову вартість, обумовлюють мультиплікативний ефект у суміжних галузях, формують попит на інноваційні технології та сучасні управлінські рішення.

Водночас, розвиток інвестиційних процесів у будівництві супроводжується значними викликами, серед яких ключовими є нестабільність макроекономічних показників, зміна регуляторної бази, обмежений доступ до фінансових ресурсів, вплив воєнних та політичних факторів, а також необхідність інтеграції новітніх технологій управління, таких як цифрове моделювання життєвого циклу об'єктів (BIM), системи контролю ключових показників ефективності (KPI), інтегровані підходи до планування ресурсів (ERP) та інструменти багатокритеріальної оптимізації.

У цьому контексті виникає нагальна потреба в системному узгодженні інвестиційних пріоритетів з урахуванням особливостей конкретних проектів, ресурсних можливостей підприємств, динаміки ринкової кон'юнктури та стратегічних цілей інвесторів. Традиційні моделі управління інвестиціями, орієнтовані на лінійне планування та статичні алгоритми оцінки, дедалі частіше поступаються місцем гнучким, інтегрованим, сценарним і адаптивним підходам, здатним враховувати як об'єктивні, так і суб'єктивні фактори впливу.

Особливу увагу необхідно приділити інвестиційним процесам у девелоперських проектах, які об'єднують значну кількість учасників з різними інтересами та рівнями впливу на кінцевий результат. Тут інтеграція управлінських технологій має стосуватися не лише економічних і технічних аспектів, але й організаційної взаємодії, оптимізації календарно-ресурсних структур, формування ефективних портфелів проектів з урахуванням ризиків, взаємозалежностей та ймовірнісних сценаріїв розвитку.

Аналіз наукових підходів до організації інвестиційного циклу демонструє, що у світовій практиці сформувалися різні моделі управління — від класичних каскадних до сучасних гібридних і інтегрованих (наприклад, IPD, ECI), кожна з яких має свої переваги та обмеження. Окремого значення набуває класифікація цих моделей за критеріями гнучкості, швидкості реагування на зміни, здатності до інтеграції з інформаційними системами та рівня залучення стейкхолдерів.

Сучасні інформаційно-аналітичні системи дозволяють проводити інтеграційно-оцінювальний аналіз ефективності управлінських технологій, використовуючи методи багатокритеріального оцінювання, імовірнісного моделювання, експертного аналізу та номографічних побудов. У поєднанні з інструментами стратегічного менеджменту (Balanced Scorecard, OKR, KPI) це відкриває можливості для побудови системного механізму узгодження інвестиційних рішень, підвищення точності прогнозів, оптимізації портфеля проектів і зниження ризиків реалізації.

Проблематика прогнозування результативності інвестицій у будівництві має комплексний характер. По-перше, це пов'язано з тривалим інвестиційним циклом, який

робить галузь чутливою до змін зовнішніх умов. По-друге, об'єктивне оцінювання потенційної віддачі інвестицій вимагає використання як статистичних, так і імовірнісних моделей, здатних врахувати різні сценарії розвитку подій. По-третє, будівельна галузь має значний вплив від інноваційних впроваджень, і тому важливою складовою є аналіз перешкод і перспектив впровадження інновацій.

Значний інтерес становить формування системи сценарного оцінювання проектів, яка дозволяє на етапі попереднього відбору визначити їх місце у структурі інвестиційного портфеля інвестора. Така система має інтегрувати як кількісні, так і якісні критерії, враховувати специфіку проектів та їх взаємодію з уже наявними ініціативами в портфелі. Особливої ваги набуває програмна реалізація інструментів попереднього відбору, що дозволяє автоматизувати процеси оцінювання та зменшити вплив людського фактора.

Остаточний відбір проектів до інвестиційного портфеля потребує мультикритеріальної оптимізації, у якій враховуються не лише економічні показники та рівень ризику, але й взаємозв'язки між проектами, ресурсні обмеження та стратегічна важливість кожного з них. Це вимагає використання сучасних алгоритмів прийняття рішень, інтегрованих у цифрові середовища, здатних працювати в режимі реального часу з оновленням даних та автоматичним моделюванням сценаріїв.

Додатково, побудова збалансованої ресурсно-календарної структури портфеля передбачає створення алгоритмів, що синхронізують етапи реалізації проектів з доступністю ресурсів, можливостями виконавців та зовнішніми умовами. Такі алгоритми повинні поєднувати методи операційного дослідження, оптимізаційного моделювання та системного аналізу.

Важливою складовою є і проектування інноваційних організаційних структур управління інвестиціями, що передбачає адаптацію традиційних і новітніх моделей взаємодії учасників будівельного процесу. У світовій практиці все більшого поширення набувають інтегровані моделі IPD (Integrated Project Delivery) та ECI (Early Contractor Involvement), а також гібридні структури, які поєднують елементи різних підходів.

Таким чином, обрана тематика дослідження зосереджена на розробленні комплексної системи, здатної забезпечити узгодження інвестиційних пріоритетів, оптимізацію портфеля проектів, ефективне ресурсно-календарне планування та впровадження інноваційних організаційних структур управління у сфері будівництва. Її практична значущість полягає у створенні теоретично обґрунтованого та практично придатного інструментарію для підвищення результативності інвестиційної діяльності, що є ключовою умовою сталого розвитку підприємств будівельної галузі та економіки в цілому.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ, ПРАКТИЧНИХ РІШЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНОЇ БАЗИ З ГАЛУЗІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Визначення відповідності системи управління інвестиційними процесами сучасним умовам та вимогам ринку

Розвиток систем управління інвестиційними процесами є не лише відповіддю на зміни економічного середовища, а й результатом глибокої трансформації парадигми управління як такої. Із самого початку становлення інституційних форм капіталовкладення керування інвестиціями базувалося на централізованих, адміністративно-орієнтованих структурах, характерних для індустріальної епохи. У таких системах основним джерелом капіталу були державні інститути або великі вертикально-інтегровані корпорації, які реалізовували інвестиційні стратегії на основі директивного планування, чіткої ієрархії та концентрації функцій управління в руках вузького кола осіб. Цей підхід був виправданий у період, коли ринки були стабільними, а зміни в зовнішньому середовищі відбувалися повільно.

Згодом, у другій половині ХХ століття, із розвитком теорій економічного зростання, неокласичних моделей і підвищенням ролі приватного сектору, система управління інвестиціями почала поступово переходити до децентралізованих форм. З'явилася необхідність враховувати множинність джерел капіталу, різноманіття інвестиційних стратегій, динаміку ринкових змін і зростаючу складність інфраструктурних проєктів. Так, теорії Портера про конкурентні переваги, Брукаса–Сміта про ефективність інформації, а також праці таких вчених, як Гаррі Марковіц (теорія портфеля) і Юджин Фама (гіпотеза ефективного ринку), стали основою для формування нових підходів до інвестування. Поступово система управління інвестиціями почала трансформуватись у багатофакторну, стратегічно спрямовану архітектуру, де ключову роль почала відігравати здатність до адаптації, прогнозування та оптимізації ризиків [34].

У контексті будівельної галузі трансформація моделей управління інвестиціями відбувалася дещо специфічно. Будівельні проєкти за своєю природою є капіталомісткими, довготривалими та високоризикованими, тому в традиційній практиці управління використовувались суворі централізовані моделі, здебільшого адаптовані до проєктного підходу з жорстким плануванням, фіксованими етапами і нормативними орієнтирами. Однак з переходом до постіндустріальної економіки, підвищенням турбулентності ринку, глобалізацією будівельних послуг, і особливо — із цифровою трансформацією фінансів — виникла потреба в зовсім іншому підході. Так з'явилися гнучкі, динамічні моделі управління інвестиціями, які передбачають глибоку інтеграцію даних, багаторівневий аналіз ризиків, залучення цифрових інструментів і застосування адаптивного планування на основі сценаріїв.

На сучасному етапі система управління інвестиційними процесами вийшла за межі простого контролю капіталовкладень. Вона набула ознак самостійної, комплексної підсистеми стратегічного управління підприємством. Зокрема, можна говорити про її перетворення у мультимодульну структуру, яка включає не лише фінансові аспекти, а й аналітичні, правові, ESG-показники, індикатори соціального впливу, цифрову звітність і KPI. Наприклад, провідні компанії у сфері інфраструктурного будівництва інтегрують системи на кшталт SAP S/4HANA, Oracle Primavera, Microsoft Power BI та Autodesk Construction Cloud, де управління інвестиціями здійснюється в реальному часі на основі даних з різних джерел [46].

Невід'ємною частиною еволюції стала поява концепцій "agile-finance" та "investment intelligence", що передбачають прийняття рішень на базі прогностичного аналізу, гнучкого бюджетування та постійного коригування інвестиційних сценаріїв. У цьому контексті варто відзначити підхід "Integrated Project Delivery" (IPD), що змінює фундаментальні уявлення про розподіл ризиків і управління коштами в будівельному процесі. Його впровадження означає, що учасники інвестпроцесу — девелопер, підрядник, проєктант і інвестор — утворюють спільну управлінську платформу для інтегрованого контролю вартості, термінів і якості. Це сприяє формуванню динамічної структури, де інвестиційне управління стає кросфункціональним і взаємозалежним процесом.

Ці трансформації неможливо уявити без глибокого залучення цифрових інструментів. Роль великих даних (Big Data), хмарних сервісів (Cloud Computing), технологій цифрових двійників (Digital Twin) і алгоритмів машинного навчання (ML) стала визначальною в управлінні сучасними інвестиційними потоками. Вони забезпечують оперативне виявлення відхилень у реалізації проєктів, автоматизоване прогнозування обсягів фінансування, сценарне планування ризиків і комплексну візуалізацію показників ефективності.

Крім технологічного аспекту, варто звернути увагу на зміну парадигми корпоративної відповідальності в інвестиціях. Сучасні системи управління дедалі більше включають параметри сталого розвитку, екологічної ефективності, етичності капіталовкладень. Це зумовлено як зовнішнім тиском регуляторів (наприклад, стандарти EU Taxonomy та SFDR), так і внутрішньою потребою підприємств формувати довгострокову репутацію інвестора. Таким чином, відбувається поступове зміщення акцентів від виключно фінансових критеріїв до соціально-екологічних [159].

Ця зміна також відображається у системах оцінки. Наприклад, традиційні інструменти на кшталт ROI чи Payback Period усе частіше доповнюються складнішими багатовимірними метриками, які враховують ефект мультиплікатора, вплив на зайнятість, енергетичну ефективність або навіть рівень цифрової трансформації організації. Аналітики, як-от Мак-Кінсі, відзначають, що сучасна система інвестування перетворюється з транзакційної моделі у поведінкову, де головну роль відіграє здатність передбачати зміни і швидко реагувати на них через інструменти ВІ та автоматизовані модулі прийняття рішень.

Сучасне ринкове середовище формує складну, багатовекторну систему вимог до управління інвестиційними процесами, які більше не можуть базуватись винятково на показниках прибутковості чи окупності проєктів. Із розвитком динамічного середовища функціонування підприємств зростає потреба у формуванні таких систем управління, які одночасно забезпечують стратегічну ефективність, адаптивну гнучкість до ринкових змін та цифрову стійкість до зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів. Це означає, що система управління інвестиціями повинна відповідати не лише внутрішнім цілям підприємства, а й критеріям, які диктує глобалізований ринок: прозорість, швидкість прийняття рішень, цифрова адаптивність, відповідність етичним, екологічним та інституційним стандартам.

Першою складовою відповідності є ефективність — параметр, що залишається базовим у визначенні доцільності інвестиційної діяльності. Однак на сучасному етапі ефективність перестає бути лише фінансовим індикатором. Окрім традиційних показників на кшталт ROI (Return on Investment), IRR (Internal Rate of Return), NPV (Net Present Value) та PI (Profitability Index), дедалі більше використовуються інтегральні індикатори, які враховують соціальні, регуляторні, екологічні та інноваційні аспекти. Наприклад, великі девелоперські компанії додають до фінансових звітів такі метрики, як ESG-ефективність, цифровий

коефіцієнт стійкості (Digital Resilience Index), індекси залученості стейкхолдерів, що дозволяють комплексно оцінити ефективність проєкту не лише у часовому чи грошовому вимірах, а й у структурі його довгострокового впливу.

Друга складова — гнучкість, або ж адаптивність інвестиційної системи до швидкоплинних змін зовнішнього середовища. У XXI столітті глобальні виклики — від фінансових криз до пандемій, від кліматичних загроз до технологічних проривів — засвідчили, що стійкість підприємства залежить від його здатності швидко переналаштовувати систему прийняття рішень, перерозподіляти ресурси, переорієнтовуватися на інші ринки. Власне, у контексті інвестиційної системи це означає здатність в реальному часі аналізувати нові можливості, проводити сценарне планування (scenario-based forecasting), використовуючи інструменти штучного інтелекту (AI), моделювання ймовірностей, а також мультифакторні симуляції [52].

Гнучкість у сучасному інвестиційному управлінні часто проявляється через Agile-фінансування, коли інвестиції не фіксуються жорстко у рамках бюджету, а розподіляються хвилями — в залежності від досягнення проміжних результатів. Такий підхід дозволяє уникнути надмірного ризику та забезпечити максимальну відповідність інвестиційної динаміки до ринкових реалій. Зокрема, дослідження, проведені Глобальним інститутом McKinsey, показують, що компанії, які перейшли до гнучкого бюджетування в інвестиційній діяльності, демонструють на 25–30% кращі результати за проєктами із довгим інвестиційним циклом.

Третьою фундаментальною ознакою відповідності є цифрова стійкість — характеристика, що визначає здатність інвестиційної системи функціонувати, зберігати працездатність і розвиватися навіть за умов технологічної невизначеності, кіберзагроз, змін цифрових протоколів і платформ. У сучасному світі інвестування є тісно пов'язаним із цифровими каналами — від управління ризиками до контролю за графіками будівництва або інтеграції із банківськими платформами. Тому цифрова стійкість передбачає наявність у системі таких модулів, як автоматизовані аналітичні панелі (BI-інтерфейси), інтеграційні шини даних (API hubs), захищені контури обміну інформацією, а також системи резервного відновлення та розподілених реєстрів (DLT).

У центрі поняття цифрової стійкості знаходиться також здатність до самонавчання системи управління. Тобто сучасна інвестиційна платформа повинна не просто накопичувати історичні дані, а інтегрувати алгоритми, які дозволяють формувати нові шаблони, виявляти приховані закономірності та пропонувати оптимальні варіанти на основі аналізу потоків. Саме тому все більшої популярності набуває впровадження predictive analytics, AI-оптимізаторів, а також інтеграції з нейромережами для прогнозування ризиків, затримок у проєктах чи нестабільності ринку.

Узагальнюючи підхід до визначення критеріїв відповідності системи управління інвестиціями сучасним ринковим умовам, можна зазначити, що ці критерії не є формальними стандартами. Вони мають характер мультикритеріального середовища, у якому інвестор повинен одночасно враховувати ефективність, адаптивність, цифрову зрілість, соціальну відповідальність, етичні параметри та технологічну безпеку. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці багаторівневих оціночних моделей, де кожен критерій має свою вагу, а взаємозв'язки між ними враховуються через методи багатокритеріального прийняття рішень (MCDA) [95].

Зважаючи на багатовекторну природу трансформації інвестиційного середовища та динамічні вимоги ринку, система управління інвестиційними процесами повинна одночасно

задовольняти кілька ключових критеріїв відповідності. Сучасні умови господарювання вимагають не лише забезпечення стратегічної ефективності проєктів, а й здатності швидко адаптуватися до змін, підтримуючи цифрову стійкість і здатність до навчання. Це обумовлює необхідність формалізації структури таких вимог у вигляді інтегрованої моделі, де кожен компонент управлінської системи відіграє взаємопов'язану роль у досягненні інвестиційної результативності. На рисунку 1.1 узагальнено ключові блоки сучасної інвестиційної системи, що відповідають потребам гнучкості, цифровізації й стійкості в умовах високої турбулентності ринку.

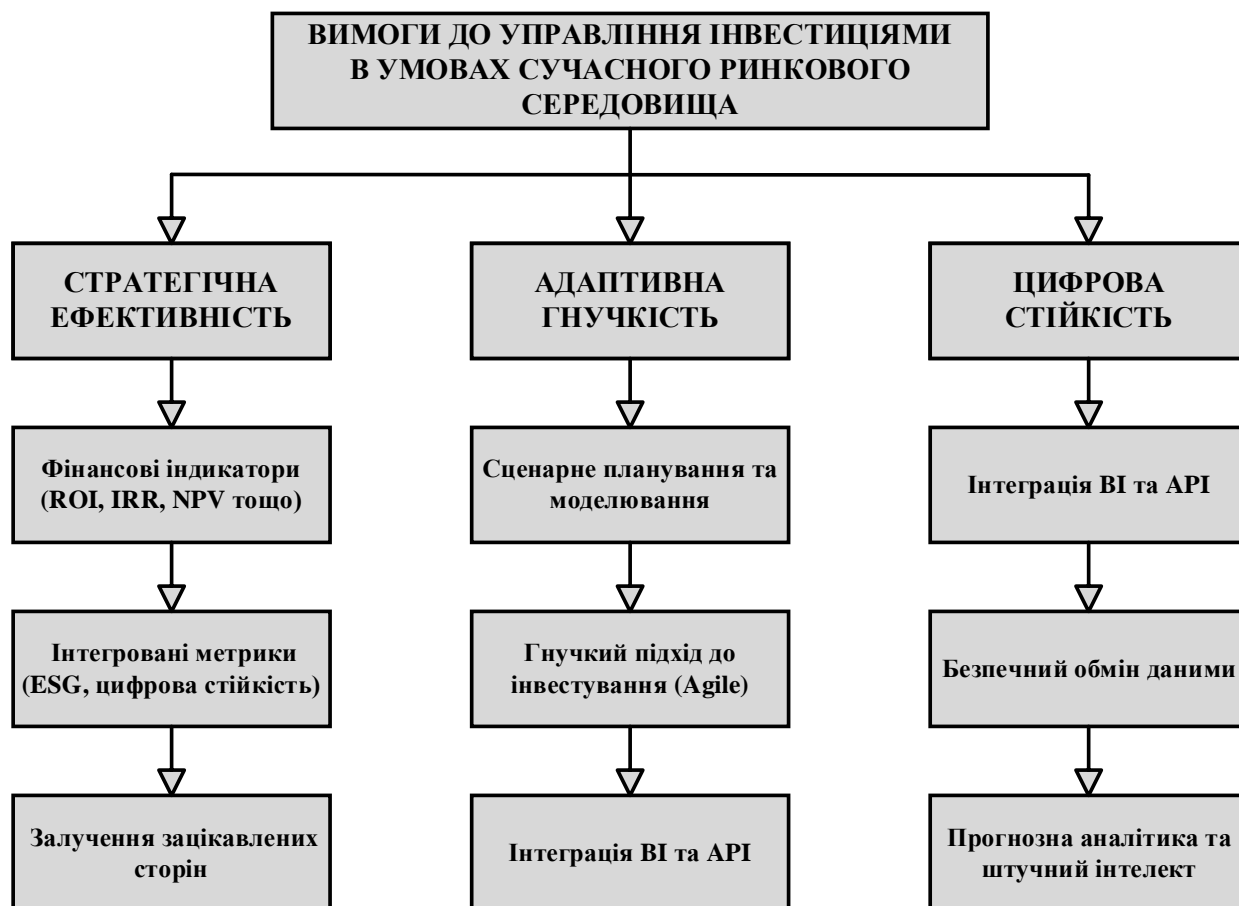


Рис. 1.1. Блокова модель вимог до системи управління інвестиційними процесами в умовах сучасного ринку (розроблено автором на основі [95])

Одним із прикладів такої моделі може бути SMART-матриця оцінки відповідності, у якій кожен компонент — ефективність (Specific), гнучкість (Measurable), технологічна стійкість (Achievable), релевантність до ринку (Relevant), цифрова інтегрованість (Time-bound) — формується як система підіндикаторів, що вимірюються за шкалами або індикаторними вагами. На основі такої матриці компанії можуть не лише оцінити поточну зрілість інвестиційної системи, а й формувати дорожні карти (roadmaps) її вдосконалення.

Таким чином, розуміння критеріїв ефективності, гнучкості та цифрової стійкості дозволяє не лише модернізувати підходи до інвестування, а й закласти підґрунтя для їх об'єктивного вимірювання. Проте формальне визначення відповідності є лише першим кроком — подальший розвиток потребує глибокої діагностики та аудиту інвестиційної системи як складного адаптивного механізму.

Діагностика та аудит системи управління інвестиційними процесами є необхідним елементом ефективного корпоративного контролю, що забезпечує не лише перевірку відповідності стандартам, а й надає можливість своєчасного виявлення слабких місць, відхилень, інерційних зон та неефективних компонентів інвестування. У ринкових умовах, де динаміка змін є постійною, а інвестиційна активність супроводжується складною системою ризиків, роль якісного діагностичного аналізу суттєво зростає. Сучасні підприємства, зокрема у сфері будівництва та інфраструктурного девелопменту, не можуть реалізувати масштабні проєкти без структурованої системи аналітичної перевірки управління інвестиціями, яка включає як фінансові, так і організаційні, операційні та цифрові складові [166].

Діагностика системи управління інвестиційними процесами вимагає інтеграції як традиційних, так і інноваційних підходів. Одним із найпоширеніших і водночас фундаментальних інструментів виступає SWOT-аналіз, що дозволяє виявити сильні й слабкі сторони внутрішнього середовища системи управління, а також можливості й загрози зовнішнього ринку. Такий підхід, хоч і загальний, але добре інтегрується в стратегічний аудит. Він дозволяє на початковому етапі сформувати загальну картину ідентифікації ключових управлінських вузлів, які впливають на успішність інвестиційної діяльності.

Іншим важливим методом є GAP-аналіз, що дає змогу виявити розриви між фактичним і бажаним станом управління. В рамках інвестиційних процесів цей інструмент використовується для оцінки ефективності реалізації інвестиційної стратегії, швидкості адаптації управлінських рішень, відповідності системи до вимог зовнішніх партнерів, регуляторів та цифрових протоколів. GAP-аналіз дозволяє побачити, де саме система недопрацює: у плануванні, в оперативному супроводі, у звітності чи в контролі реалізації.

Не менш актуальним є застосування FMEA-аналізу (Failure Mode and Effects Analysis), особливо в складних інженерно-інвестиційних проєктах. Він орієнтований на виявлення потенційних точок відмов і їхнього впливу на кінцеві результати. Для системи управління інвестиціями це може означати виявлення недоліків у логістиці капіталовкладень, помилок у бюджетуванні, ризиків відтермінування коштів чи неадекватної оцінки грошових потоків. FMEA дозволяє побудувати пріоритетну карту втручань у систему, спрямовану на попередження критичних відхилень ще до їхньої реалізації.

Ще одним потужним підходом є PEST-аналіз, що допомагає оцінити політичні, економічні, соціальні та технологічні фактори, які впливають на систему інвестування. Його особливо доцільно застосовувати для підприємств, які працюють у транснаціональному або міжрегіональному просторі, де зміни у регуляторній базі, поведінці споживача чи цифровій інфраструктурі можуть кардинально змінити ефективність інвестування [175].

Варто також звернути увагу на концепції процесного аудиту, які дають змогу не лише перевірити фінансову відповідність або доцільність окремих дій, а й оцінити логіку, послідовність і взаємозв'язки усіх етапів інвестування. У межах цього підходу широко використовуються блок-схеми управління, де відображаються всі ключові операції, починаючи від ініціації інвестпроєкту до його завершення, включно з цифровим документообігом, погодженням етапів і контролем КРІ. Такий аудит дозволяє виявити «вузькі місця» в операційних процесах, надмірні бюрократичні етапи або дублювання функцій, що знижують ефективність системи.

Значний інтерес у практиці діагностики викликає застосування Business Intelligence-систем — інструментів візуалізації, дашбордів і модулів аналітики в реальному часі. ВІ дозволяє проводити глибокий аудит у трьох напрямках: бюджетно-фінансовому, часово-

графічному (time-based management), KPI-модульному (за ключовими показниками ефективності). У поєднанні з хмарними платформами, ВІ забезпечує мультидоступ до аудиту на різних рівнях управління, дозволяючи одночасно контролювати динаміку витрат, ефективність проєктів, відповідність часовим рамкам, ризик-індикатори тощо.

У теоретичному вимірі питання діагностики системи управління інвестиційними процесами вивчали такі автори, як А. Томпсон і А. Стрікленд у контексті стратегічного контролю, Д. Нортон і Р. Каплан (концепція BSC), а також Дж. Рокарт, який запровадив ідею ключових факторів успіху як основи діагностики управлінських систем. На рівні українських досліджень, вагомий внесок зробили І. Бланк — в аспекті оцінки інвестиційної привабливості, В. Гриньова — щодо аналізу ризиків інвестування, а також А. Пересада, який систематизував критерії управління інвестпроектами в умовах ринкової трансформації.

Одним із найбільш ефективних підходів до діагностики в сучасному інвестиційному середовищі є використання матриць ризиків та індикаторних систем контролю відхилень. Формування матриць ризиків дозволяє підприємству візуалізувати ймовірності виникнення негативних сценаріїв у прив'язці до рівня впливу кожного з них на фінансову, часову або якісну складову інвестиційного проєкту. Такі матриці особливо ефективні у середовищі будівельної галузі, де прострочення одного етапу може спричинити ефект "доміно" в усій проєктній логіці. Окрім того, впровадження систем раннього виявлення (early warning systems) дозволяє реагувати на зміну індикаторів до того, як проблема досягне критичного масштабу [293].

У цьому контексті важливим є також метод KPI-аудиту, який полягає в аналізі відповідності досягнутих результатів встановленим цільовим показникам, таких як Return on Capital Employed (ROCE), Investment Realization Ratio (IRR), Budget Deviation Index (BDI), або Net Cost Efficiency (NCE). Існування таких KPI дозволяє не лише визначити ефективність реалізації інвестиційного проєкту, а й провести об'єктивну діагностику окремих етапів — від оцінки локації та технічного завдання до завершення робіт і передачі об'єкта експлуатації.

Цифровізація діагностики значно підвищує її точність і продуктивність. Сьогодні провідні інвестиційні організації використовують інтелектуальні модулі аналітики на базі AI, які не лише оцінюють відхилення, а й прогнозують їхню ймовірність із використанням історичних даних, поведінкових моделей споживачів і сценарного моделювання. Наприклад, система може попередити про можливе відставання від графіка з імовірністю 78% на основі даних про постачання, погодні умови та історію субпідрядника. Це дозволяє інвестору в режимі реального часу ухвалювати коригуючі дії, не чекаючи формальних звітів.

Ще одним перспективним методом діагностики є бенчмаркінг, тобто порівняння системи управління інвестиціями на підприємстві з аналогічними системами в межах тієї самої галузі або з лідерами ринку. Такий підхід дає змогу зрозуміти, де саме підприємство втрачає ефективність: чи то в термінах прийняття рішень, чи в інтеграції цифрових платформ, чи у швидкості бюджетного коригування. Застосування бенчмаркінгу передбачає формування системи індикаторів і використання відкритих або комерційних баз даних, таких як McKinsey Capital Project Index, IMF Investment Metrics або Statista Construction Benchmarks [183].

Інтегрованим і стратегічно орієнтованим інструментом виступає Balanced Scorecard (BSC) — система, яка дає змогу оцінити інвестиційне управління через призму чотирьох ключових площин: фінансів, клієнтів, внутрішніх бізнес-процесів та інноваційного розвитку. Використовуючи BSC, підприємство може не лише провести діагностику поточного стану, а й сформулювати прогнозну матрицю для довгострокового вдосконалення управління. Особливо

важливою є можливість побудови причинно-наслідкових зв'язків між стратегічними цілями і фактичними результатами інвестування, що дозволяє зменшити рівень інтуїтивних рішень і замінити їх даними аналітики. Для формування всебічного бачення стану інвестиційної системи підприємства доцільно застосовувати комплексну комбінацію традиційних і сучасних методів аналізу. У таблиці 1.1 представлено порівняльну характеристику ключових методів діагностики управління інвестиційними процесами.

Таблиця 1.1. Порівняльна характеристика методів діагностики систем управління інвестиційними процесами
(розроблено автором на основі [183])

Метод діагностики	Основна мета застосування	Особливості використання в інвестиційному управлінні	Очікувані результати
SWOT-аналіз	Виявлення внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на систему	Визначає сильні/слабкі сторони системи, можливості і загрози інвестсередовища	Базова стратегічна оцінка інвестспроможності та зон поліпшення
GAP-аналіз	Порівняння фактичного стану з цільовим	Дозволяє оцінити розриви в реалізації інвестстратегії, відставання у процесах	Виявлення "провалів" у логістиці, бюджетуванні, адаптації системи
FMEA-аналіз	Виявлення потенційних точок відмов	Оцінює критичність відхилень у проєктах, формує карту ризиків і попереджувальних дій	Зниження ймовірності збоїв в інвестиційних потоках
PEST-аналіз	Аналіз впливу зовнішніх макрофакторів	Політичні, економічні, соціальні, технологічні тренди, що впливають на інвестполітику	Адаптація системи до змін ринку, регуляторних умов, технологій
Процесний аудит	Аналіз логіки та послідовності інвестпроцесів	Оцінює узгодженість дій, цифрові маршрути, контроль KPI	Підвищення прозорості, скорочення дублювань, підвищення ефективності етапів
Business Intelligence	Візуалізація та онлайн-моніторинг	Аудит фінансів, графіків, ефективності з використанням аналітики BI та хмарних платформ	Прогнозування відхилень, адаптивне управління в реальному часі
KPI-аудит	Визначення відповідності фактичних результатів цільовим	Аналіз індикаторів: ROCE, IRR, BDI, NCE	Об'єктивна оцінка ефективності реалізації інвестиційних програм
Бенчмаркінг	Порівняння з	Орієнтований на	Визначення точок росту

	галузевими або міжнародними практиками	виявлення відставань від найкращих інвестиційних практик	та коригування стратегії
Balanced Scorecard	Багатовимірна оцінка інвестдйальності через ключові стратегічні площини	Включає фінансові, клієнтські, операційні та інноваційні блоки	Формування прогнозних матриць і системно пов'язаної моделі оцінки інвестефективності

Не слід також нехтувати аудитом відповідності стандартам, зокрема — міжнародним. Наприклад, система управління інвестиціями має відповідати вимогам ISO 55000 (управління активами), ISO 37301 (системи комплаєнсу) та IFRS (міжнародні стандарти фінансової звітності). Проведення сертифікованого аудиту на відповідність цим стандартам дозволяє не лише зменшити ризики порушення регуляторних норм, а й забезпечити довіру з боку зовнішніх інвесторів і банківських установ. Наприклад, наявність внутрішнього аудиту на основі COSO-моделі (Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission) підвищує прозорість інвестиційного контролю та створює сприятливий клімат для партнерських проєктів.

У системах комплексного аналізу доцільно впроваджувати інструменти heat-mapping (теплових карт), які дозволяють візуально ідентифікувати зони ризику чи неефективності на різних рівнях інвестиційного ланцюга. Наприклад, на карті можна чітко побачити, що основне відхилення в бюджеті зосереджене у другому кварталі реалізації, що співпадає із затримками погодження документації або зміною вартості будівельних матеріалів. Heat-mapping у поєднанні з KPI-аналізом дозволяє візуалізувати взаємозв'язки та швидко виявляти критичні точки.

Узагальнюючи викладене, варто зазначити, що діагностика та аудит інвестиційної системи більше не є технічними процедурами обліку. Це — інтелектуальний механізм стратегічного управління, який дозволяє створити повноцінну картину стану системи, з урахуванням внутрішніх показників, ринкової динаміки, технологічної інтеграції, стейкхолдерної взаємодії та потенціалу до адаптації. Поєднання кількісних і якісних методів діагностики, цифрових інструментів, аналітичного моделювання та стандартів комплаєнсу формує нову реальність у сфері управління інвестиціями, де прийняття рішень спирається не лише на фінансову доцільність, а й на системну обґрунтованість і стратегічну випереджальність [297].

Утім, жодна, навіть найдосконаліша внутрішня система діагностики не може залишатися ефективною без урахування зовнішнього контексту, в якому вона функціонує. Саме зовнішні ринкові чинники дедалі більше визначають межі адаптивності, джерела ризиків і пріоритети інвестування, змушуючи підприємства переосмислювати структуру своїх управлінських механізмів. У цьому аспекті варто детальніше зупинитися на впливі глобальних і регіональних детермінант на поведінку інвестиційних систем.

Система інвестування, якою б автономною вона не виглядала на внутрішньому рівні, ніколи не функціонує у вакуумі. Вона завжди підпорядкована дії зовнішніх ринкових детермінант — економічних, політичних, інституційних, технологічних, культурних. Ці детермінанти не просто створюють фонову реальність для ухвалення інвестиційних рішень, вони суттєво впливають на логіку, структуру, інструментарій і навіть на мову інвестиційного планування. У ХХІ столітті, в умовах динамічної глобалізації, цифровізації та гібридних криз, система інвестування дедалі частіше постає як гнучка, адаптивна, багатовекторна

структура, яка вмiє реагувати на виклики зовнiшнього середовища не лише захисними механiзмами, а й проактивним переформатуванням своєї архiтектури.

Одним iз найважливиших зовнiшнiх детермінантiв, що визначає поведiнку iнвестицiйної системи, є глобальна економiчна кон'юнктура. Зростання чи падiння ВВП, коливання процентних ставок, змiни валютних курсiв, трансформацiя фондових ринкiв — усе це безпосередньо впливає на доступнiсть капiталу, вартiсть залучення фiнансування, iнвестицiйнi горизонти. Наприклад, у перiоди макроекономiчної нестабiльностi або монетарного жорстчання (як-от пiдвищення ставки ФРС США чи ЄЦБ), iнвестори знижують обсяги довгострокового iнвестування, схильнi до утримання лiквiдностi, скорочення iнвестицiйних портфелiв. Це автоматично змушує iнвестицiйнi системи адаптувати свої внутрiшнi алгоритми: скорочується кiлькiсть активних проєктiв, жорсткiшає процедури оцiнки ризикiв, зростає роль кредитного скорингу, реалiстичного моделювання грошових потокiв [263].

Иншим зовнiшнiм чинником є регуляторне середовище, що змiнює параметри допустимостi, допустимих меж i прiоритетiв iнвестування. Особливо актуальною ця проблема постає у сферi будiвництва, енергетики, транспортної iнфраструктури. Наприклад, iмплементацiя екологiчних директив ЄС (як-от European Green Deal) уже сьогоднi зумовлює переналаштування систем управлiння iнвестицiями у сторону ESG-критерiїв (Environmental, Social, Governance), вимагає сертифiкацiї будiвельних проєктiв за стандартами LEED, BREEAM або EDGE, а також переходу на новi джерела енергiї. Таким чином, регуляторна трансформацiя — це не лише юридичне питання, а й стратегiчна вимога до цифрових i аналітичних блокiв iнвестсистеми. Вони повиннi не лише вiдповiдати правилам, а й передбачати їхню змiну. З огляду на високу турбулентнiсть глобального середовища, пiдприємства мають вбудовувати зовнiшнi чинники у власнi iнвестицiйнi моделi. У таблицi 1.2 систематизовано ключовi зовнiшнi детермінанти та їхнiй вплив на управлiнськi архiтектури iнвестування.

Таблиця 1.2. Зовнiшнi детермінанти впливу на систему управлiння iнвестицiями та особливостi їх трансформацiйного ефекту
(розроблено автором на основi [263])

Зовнiшнiй детермінант	Сфера впливу	Типовi прояви у середовищi iнвестування	Ефект на iнвестицiйну систему
Глобальна економiчна кон'юнктура	Макроекономiка, ринки капiталу	Змiна ВВП, коливання облiкових ставок, нестабiльнiсть валют	Адаптацiя бюджетiв, скорочення iнвестицiйних горизонтiв, змiна доступу до фiнансування
Монетарна полiтика (ФРС, ЄЦБ)	Фiнансова лiквiднiсть, процентна полiтика	Пiдвищення/зниження ключових ставок, змiна вартостi кредитних ресурсiв	Зниження активностi довгострокових iнвесторiв, перегляд стратегiй iнвестування
Регуляторнi трансформацiї	Нормативно-правове поле	ESG-стандарти, екологiчне регулювання, прозорiсть звітностi	Необхiднiсть цифрового монiторингу, вiдповiдностi LEED/BREEAM/EDGE, iнтеграцiї ESG

Технологічна динаміка	Цифрова трансформація, інновації	Впровадження BIM, AI, IoT у будівництві, smart-contracts	Актуалізація цифрових інструментів у плануванні, оцінці та контролі інвестицій
Політична турбулентність	Геополітична стабільність, ризики	Санкції, війни, зміна міжнародних угод	Переформатування портфелів, уникнення нестабільних юрисдикцій
Інституційна нестабільність	Право, ринки праці, судова система	Слабка захищеність інвестора, неререформовані суди, корупція	Впровадження механізмів захисту капіталу, мультиперевірка партнерів
Культурні фактори та споживча поведінка	Етика, стиль життя, соціальні очікування	Попит на зелені інвестиції, етичне споживання, прозорість	Переналаштування продуктових ліній, комунікаційних стратегій, репутаційного управління

Значний вплив на інвестиційну поведінку має геополітична напруга. Збройні конфлікти, санкційні режими, політична нестабільність у регіонах — усе це знижує інвестиційну привабливість територій, підвищує премії за ризик, скорочує горизонт планування. У відповідь системи інвестування адаптують структуру активів, диверсифікують капітал, переорієнтовуються на внутрішні ринки або обирають лише ті регіони, де можливо укладати контракти за міжнародним правом. Стає очевидним, що складова гео економічної стабільності все частіше враховується у системах бізнес-аналітики й прогнозування, а також вшивається у цифрову архітектуру самих інвестиційних платформ [308].

1.2. Аналіз наукових підходів до організації інвестиційного циклу та класифікація моделей управління

Подальший розвиток наукової думки в галузі інвестиційного управління супроводжувався інтеграцією міждисциплінарних підходів — зокрема, ідей з теорії систем, кібернетики, інституціональної економіки та інноваційного менеджменту. Саме така інтеграція стала підґрунтям для виникнення концепції інвестиційного циклу як складного відкритого утворення з множинними точками входу й виходу, нелінійними траєкторіями змін та складною топологією. При цьому почала формуватись ідея про ієрархічність циклів — від короткотермінових операційних до довгострокових стратегічних. Це дало змогу підходити до інвестицій не як до єдиного процесу, а як до взаємопов'язаних мікроциклів, кожен з яких має власну логіку і набори ризиків.

Особливо важливим внеском у цю еволюцію стало формування моделі S-кривої освоєння інвестицій, яка дозволила візуалізувати нерівномірність результатів інвестування у часі. Дана модель, що широко застосовується у технологічному прогнозуванні та життєвому циклі продукції, була адаптована і до будівельного інвестування. Вона дала можливість оцінювати не тільки фінансові результати, але й ступінь ефективності впровадження інновацій на різних фазах циклу. Саме в межах цього підходу постає питання про оптимізацію часу входу на ринок з новим продуктом або проектом, що є критично важливим для девелоперських і будівельних компаній [274].

Новий етап розвитку припадає на 2000-ні роки, коли на тлі цифрової трансформації змінюється сам характер інвестицій. Відбулося зміщення акценту від класичних фізичних активів до інформаційних, сервісних, інтелектуальних. У цьому контексті управління інвестиційним циклом потребує врахування принципів швидкої масштабованості, модульності, рефлексивності. Починає домінувати концепція agility — гнучкості систем інвестування, здатності миттєво перебудовуватися відповідно до нових даних, які надходять у режимі реального часу.

Ці зміни особливо виразно проявляються в практиці будівельної галузі. Замість жорстких вертикальних моделей реалізації проєктів, типових для ХХ століття, все більше поширюються мережеві структури, в яких різні фази інвестиційного циклу реалізуються незалежними підрядниками, субпідрядниками, фінансовими структурами, технологічними партнерами. Така модель вимагає не тільки точного планування, а й адаптивного реагування на зміну будь-якої ланки ланцюга створення вартості. У цьому контексті актуалізується підхід до організації інвестиційного процесу як до "value chain system", у якій інвестиція — це не лише початок циклу, а також активний учасник формування стратегічної вартості продукту.

У межах вищезазначених перетворень особливої уваги набули моделі управління, які враховують стохастичність та невизначеність параметрів, що супроводжують інвестиційний цикл. Одним із важливих кроків у цьому напрямі стало впровадження методів монте-карло симуляцій, нечіткої логіки та сценарного аналізу, які дозволяють моделювати широкий спектр потенційних результатів за змінних початкових умов. Такі моделі дають змогу переходити від фіксованих сценаріїв до діапазонного прогнозування, де рішення приймаються не на основі однієї середньої оцінки, а через аналіз вірогідностей усього спектру подій. Це дозволило перенести акцент із консервативної стабільності на адаптивну гнучкість — ключовий виклик для будь-якої інвестиційної системи в умовах динамічного ринку [233].

На цьому етапі важливо також вказати на роль адаптивно-контрольних систем, які ґрунтуються на принципах керованої зворотного зв'язку між фазами інвестиційного циклу. Наприклад, реалізація інвестиційного проєкту в будівництві вимагає постійного коригування параметрів: від кошторисів і термінів до змін у нормативному полі чи кон'юнктурі цін на ресурси. Адаптивна модель дозволяє інтегрувати нові дані та автоматично перебудовувати графіки, бюджетування чи джерела фінансування. У цьому напрямі активно розвиваються інструменти типу Rolling Forecast, Earned Value Management, а також багаторівневі моделі динамічного контролю KPI.

Не менш вагомим етапом еволюції стала поява концепту цифрового двійника (Digital Twin) інвестиційного проєкту. Ця концепція, що бере початок у промисловому інжинірингу, передбачає створення віртуальної копії всього інвестиційного циклу — від концепції до експлуатації. Такий підхід дозволяє проводити аналіз What-if-сценаріїв, здійснювати оперативний моніторинг та прогнозування змін у параметрах життєвого циклу об'єкта інвестування. В контексті будівельного інвестування, це дає змогу досягти не лише точнішого планування, а й своєчасного виявлення точок ризику, що може радикально знизити невиправдані витрати на фазах реалізації та експлуатації.

Завдяки цифровізації було переосмислено й саму сутність інвестиційного ризику. Якщо раніше ризик сприймався як зовнішній чинник, який слід враховувати при розрахунках (наприклад, через підвищену ставку дисконту), то сьогодні він є внутрішнім параметром цифрової моделі, який можна змінювати, комбінувати, вагувати залежно від контексту.

Зокрема, у BIM-орієнтованому плануванні інвестицій можна врахувати затримки, зміну вартості матеріалів, форс-мажори у логістиці як динамічні змінні. Це наближає інвестиційне управління до реального часу — реального проєктного середовища, в якому рішення не приймаються наперед, а оптимізуються в моменті [331].

Крім того, варто зупинитися на теоретичному внеску низки сучасних дослідників. Наприклад, Г. Коландер розробив концепцію «економіки даних» в управлінні інвестиціями, де кожна дія в інвестиційному циклі розглядається через призму створення, обробки й використання даних як основного активу. У свою чергу, Е. Моран у роботі «Adaptive Strategy in Uncertain Environments» стверджує, що сучасна інвестиційна діяльність є не детермінованою послідовністю, а континуумом сценаріїв, що постійно оновлюються в залежності від змін у середовищі. Такий підхід особливо релевантний для будівельних компаній, які мають справу з проєктами тривалої реалізації, залежними від регуляторної, фінансової та логістичної динаміки.

З урахуванням вищенаведеного, сучасні адаптивні моделі інвестиційного циклу потребують не лише цифрової інфраструктури, а й нової культури управління, в основі якої лежить швидкість прийняття рішень, міжфункціональна інтеграція, наявність мультидисциплінарних команд. Усе це сприяє формуванню моделей, що виходять за межі класичної триєдиної схеми «вартість — час — якість» і переходять до концепцій, таких як «resilience», «anti-fragility» чи «circular investment», де інвестиційний цикл не обов'язково лінійний, а може бути безперервним, перезапускатися і еволюціонувати в нову якість на базі отриманого досвіду [199].

Для повного розуміння трансформацій у сфері інвестиційного управління в будівництві нижче представлено таблицю 1.3 ключових етапів розвитку моделей управління, що відображають зміну парадигм — від міждисциплінарної інтеграції до цифрової адаптивності.

Таблиця 1.3. Етапи еволюції моделей управління інвестиційним циклом
(розроблено автором на основі [199])

Етап еволюції	Ключові характеристики
Міждисциплінарна інтеграція	Системний, кібернетичний, інституційний і інноваційний підходи; ієрархічність циклів; множинні точки входу й виходу.
Модель S-кривої	Візуалізація нерівномірності результатів; оцінка ефективності інновацій; оптимізація часу входу на ринок.
Цифрова трансформація	Зміщення акценту на інформаційні, сервісні, інтелектуальні активи; принципи гнучкості (agility), масштабованості, модульності.
Мережеві структури у будівництві	Розподілення фаз між різними суб'єктами; value chain system; адаптивність до змін в ланцюгах вартості.
Стохастичні моделі управління	Моделювання через методи Монте-Карло, нечітку логіку, сценарний аналіз; діапазонне прогнозування.
Адаптивно-контрольні системи	Реалізація зворотного зв'язку між фазами; коригування бюджетів, термінів, нормативних змін; інструменти типу Rolling Forecast, EVM.
Цифровий двійник (Digital)	Віртуальна модель інвестиційного проєкту; What-if сценарії;

Twin)	моніторинг і планування в реальному часі.
Переосмислення ризику	Ризик як динамічна змінна цифрової моделі; інтеграція в BIM-планування; управління в реальному часі.
Концепції даних і сценаріїв	«Економіка даних» (Коландер); адаптивна стратегія (Моран); сценарії як основа рішень.
Сучасна адаптивність і управлінська культура	Швидке прийняття рішень; мультидисциплінарність; концепції resilience, circular investment, anti-fragility.

Фактично, ми можемо говорити про перехід від фази «управління інвестиціями» до фази «інтелектуальної інвестиційної навігації», де основна функція полягає не у плануванні чи контролі, а у побудові умов для динамічної адаптації, гнучкої реакції й безперервного поліпшення на основі даних. Цей підхід уже активно використовується в інфраструктурних проєктах ЄС, а також у низці національних стратегій поствоєнної відбудови, наприклад, в Україні, де інвестиційний цикл повинен працювати в умовах підвищеної невизначеності, складної логістики та високої соціальної відповідальності.

Усе це створює підґрунтя для глибшого розуміння структурних відмінностей між підходами до управління інвестиційним циклом. Саме на цьому тлі виникає потреба в методичній класифікації моделей, здатних забезпечити ефективність управління за різних умов невизначеності та складності середовища.

Класифікація моделей управління інвестиційним циклом є однією з ключових проблем сучасної економічної науки, що дозволяє не лише ідентифікувати специфіку кожного підходу, а й формулювати рекомендації щодо застосування тієї чи іншої моделі у конкретному контексті. У межах системного бачення інвестиційного процесу розмежування між моделями ґрунтується на природі вихідних допущень, рівні детермінованості, кількості фаз, ступені інтегрованості з іншими управлінськими системами, а також функціональній меті: чи йдеться про управління вартістю, ризиком, часом чи комбінацією усіх трьох чинників. Саме тому актуальним стає поділ моделей на процесні, стохастичні й адаптивні, кожен із яких передбачає специфічну логіку дій, інструменти контролю та методи оцінювання ефективності.

Процесні моделі ґрунтуються на ідеї послідовної організації інвестиційного циклу. Вони передбачають чіткий поділ на фази: ініціювання, планування, реалізація, моніторинг, завершення та, іноді, експлуатація. Ці моделі мають жорстку логіку — перехід до наступного етапу можливий лише після завершення попереднього, а контроль здійснюється шляхом звірки планових і фактичних показників. Вони найкраще працюють у стабільному середовищі, коли всі параметри заздалегідь відомі й мають низьку волатильність. У контексті будівельного інвестування такі моделі застосовуються при будівництві типових житлових або адміністративних об'єктів за державними стандартами, коли всі дозволи, бюджет та підрядники визначені ще на початку. Підґрунтям процесних моделей є класичні підходи до проєктного менеджменту (PMBOK, PRINCE2), в яких кожна фаза супроводжується набором документів, графіків та контрольних точок. Їхньою перевагою є передбачуваність і прозорість, проте недоліком — низька гнучкість і слабка здатність до реагування на зміни [231].

Стохастичні моделі є наступним рівнем розвитку систем управління інвестиційним циклом. Вони ґрунтуються на ймовірнісному підході до планування і враховують варіативність вхідних параметрів. У такій моделі планування не є фіксованим — воно формує поле можливих сценаріїв із певними рівнями ймовірності. Це дозволяє обирати не

єдину траєкторію, а створювати дерево рішень, кожна гілка якого враховує ризики, непередбачувані події, політичні, ринкові або кліматичні зміни. Для їх реалізації застосовуються інструменти теорії ймовірностей, імітаційне моделювання, розгалужені сценарії, метод Монте-Карло, нечіткі множини, статистичні регресії. Наприклад, у великому девелоперському проєкті, що триває 3–5 років, стохастична модель дозволить врахувати можливі зміни курсу валют, податкового законодавства чи цін на сировину. Таким чином, управління стає не лише реактивним, а й проактивним — ще до настання події система може сформулювати запасні сценарії. Перевага стохастичних моделей полягає в їхній здатності працювати в умовах невизначеності, проте складність реалізації та потреба у значних аналітичних ресурсах є суттєвими обмеженнями.

Окрему нішу займають адаптивні моделі управління інвестиційним циклом. Вони поєднують у собі риси процесних і стохастичних моделей, але додають ключовий елемент — зворотний зв'язок та динамічну перебудову системи в режимі реального часу. В основі таких моделей лежать концепції Lean-підходу, agile-планування, цифрової трансформації, інтелектуального аналізу даних. Адаптивна система не просто має набір сценаріїв — вона змінює свою конфігурацію під впливом сигналів з середовища. Це можливо завдяки гнучкій архітектурі управління, інтеграції з цифровими платформами, системам IoT, хмарним технологіям, штучному інтелекту та big data-аналітиці. Наприклад, BIM-технології в будівництві дозволяють не лише створити цифрову модель об'єкта, а й під'єднати її до систем моніторингу будівельних процесів, контролю бюджету, матеріально-технічного забезпечення. Таким чином, при виявленні затримки чи перевитрати адаптивна модель автоматично пропонує альтернативні рішення — зміни постачальника, корекцію термінів або перерозподіл ресурсів [329].

Адаптивні моделі передбачають створення середовища прийняття рішень, яке постійно оновлюється. У цьому контексті великого значення набуває інструментальний апарат цифрових панелей керування (dashboard-систем), які отримують дані з усіх ланок інвестиційного циклу в режимі реального часу. Наприклад, у будівництві інтеграція даних про постачання матеріалів, виконання робіт, витрати пального, зміну вартості робочої сили, дозволяє сформулювати не лише фінансову модель, а й динамічну модель ефективності інвестування, яку можна оновлювати щодня, а подекуди навіть щогодини. Для систематизації ключових характеристик основних типів моделей управління інвестиційним циклом доцільно узагальнити їх порівняльні ознаки в структурованій таблиці 1.4, що дає змогу краще візуалізувати специфіку кожного підходу.

У реальному управлінні будівельними інвестиційними проєктами усе частіше застосовуються гібридні моделі, які комбінують риси описаних вище типів. Наприклад, початкове планування може бути здійснене за класичною процесною моделлю, що відповідає вимогам банку чи державного регулятора, але в процесі реалізації вмикаються адаптивні модулі, що враховують нову інформацію. Цей гібридний підхід дозволяє дотримуватися нормативних рамок і водночас забезпечити гнучкість, що критично важливо у багатьох секторах, особливо в інфраструктурному будівництві, яке нерідко стикається з форс-мажорами.

Ще однією ознакою адаптивних моделей є тісна інтеграція із ризик-менеджментом. У класичних процесах ризики зазвичай обліковуються лише у вигляді коригування процентної ставки або створення резервного бюджету.

Таблиця 1.4. Порівняльна характеристика моделей управління інвестиційним циклом
(розроблено автором на основі [329])

Тип моделі	Основна логіка	Ключові етапи	Переваги	Недоліки
Процесна модель	Послідовне проходження фаз із чітко закріпленими переходами	Ініціювання, планування, реалізація, моніторинг, завершення, експлуатація	Передбачуваність, формалізація, відповідність класичним стандартам (PMBOK, PRINCE2)	Низька гнучкість, слабка адаптація до змін
Стохастична модель	Ймовірнісне планування на основі варіативних сценаріїв	Варіативні сценарії з розгалуженням (дерево рішень)	Здатність працювати в умовах невизначеності, адаптація до ризиків	Складність реалізації, потреба у потужній аналітиці
Адаптивна модель	Динамічна перебудова системи на основі зворотного зв'язку та даних у реальному часі	Постійне оновлення сценаріїв, інтеграція із цифровими платформами	Висока гнучкість, проактивність, швидке реагування, використання IoT, AI, Big Data, BIM	Високі вимоги до цифрової інфраструктури, складність впровадження

У сучасних адаптивних підходах ризики розглядаються як багатовимірні фактори, які мають свою динаміку, взаємозв'язки і здатність до кумулятивного ефекту. Наприклад, затримка з поставкою одного виду обладнання може викликати лавиноподібне порушення графіків всіх суміжних підрядників, що призведе до зростання витрат, втрати довіри інвесторів, а в довгостроковій перспективі — до втрати можливості участі у наступних тендерах. У цьому сенсі адаптивна модель повинна вміти прогнозувати не лише прямий, а й непрямий вплив кожного фактора [325].

Щоб узагальнити підходи до організації інвестиційного циклу та показати особливості кожного з них, доцільно систематизувати наявні моделі за ознаками структурності, гнучкості й адаптивності. Така систематизація дає змогу чітко розмежувати процесні, стохастичні та адаптивні підходи, враховуючи їхню здатність до реагування на динаміку середовища. Рисунок 1.2 демонструє, як різні моделі співвідносяться між собою за ключовими критеріями та контекстами застосування.

Певною мірою адаптивні моделі можуть розглядатися як такі, що відображають філософію системного мислення: кожне рішення оцінюється не тільки у контексті окремої задачі, а й з точки зору його ефекту на всю інвестиційну екосистему. Тому у таких моделях дедалі більше використовуються не лише економічні, а й соціальні та екологічні індикатори. Особливо це актуально в умовах переходу до сталої економіки, коли інвестиції розглядаються як важелі трансформації середовища, а не просто джерело доходу. Наприклад, інвестиційний проєкт із відновлення житлового фонду після війни повинен враховувати не лише швидкість і вартість, а й такі параметри, як інклюзивність, безбар'єрність, енергоефективність, культурну відповідність ландшафту.

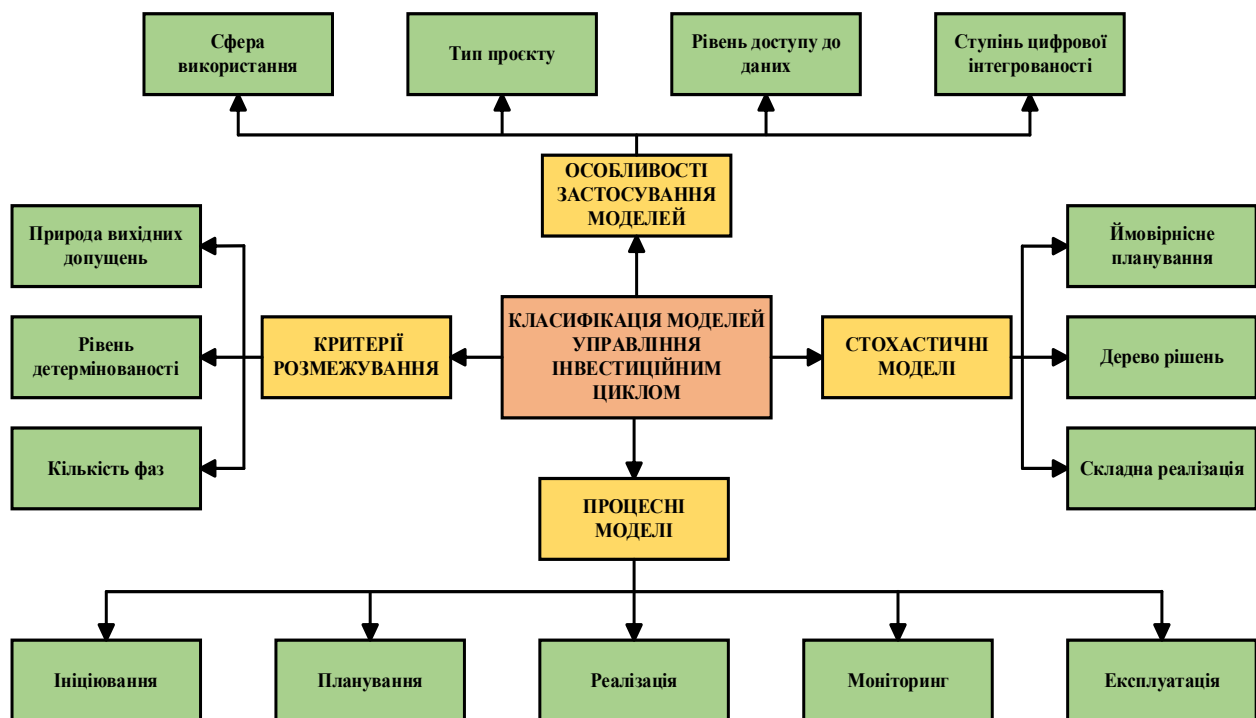


Рис.1.2. Класифікація моделей управління інвестиційним циклом за критеріями структури, гнучкості та функціонального призначення (розроблено автором на основі [325])

Усе вищезазначене підводить до необхідності розглядати інвестиційний цикл не лише як логічну послідовність дій, а як складну адаптивну систему, що реагує на вплив середовища. Саме через таку призму відкривається можливість ідентифікувати внутрішні зони напруження та точки високої концентрації ризиків, що критично впливають на успішність усього інвестиційного процесу.

Сучасна економічна наука все частіше трактує інвестиційний цикл не як сукупність відокремлених етапів, а як цілісну, багатокomпонентну систему, що перебуває в постійному русі, формуючи взаємозалежності між внутрішніми процесами, зовнішніми впливами й часовими характеристиками. Такий підхід обумовлює потребу у глибшому аналізі не лише самих фаз інвестиційного циклу, а й ідентифікації критичних точок — моментів, у яких система особливо чутлива до змін, нестабільна або схильна до перетворень. Саме ці точки визначають ефективність усього інвестиційного процесу, впливають на його результативність, швидкість, якість реалізації та загальний рівень ризику. У цьому контексті інвестиційний цикл варто розглядати як динамічну систему з фазовими переходами, які потребують спеціалізованого управлінського підходу.

Формальна структура інвестиційного циклу включає п'ять основних фаз: ініціювання, планування, реалізація, моніторинг і завершення. Однак у практиці сучасного будівництва ці етапи часто перекриваються, змінюються місцями або зливаються у єдиний модуль. Наприклад, процес закупівель може стартувати ще до завершення планування, а коригування бюджету відбувається вже на етапі реалізації. Це ускладнює лінійне уявлення про цикл і вимагає врахування таких категорій, як часові лаги, регресивні цикли, часові конфлікти та структурні «вузли». Особливо чітко це виявляється у девелоперських проєктах, які реалізуються в умовах нестабільного ринку або за участі кількох партнерів, підрядників, фінансових інституцій. У таких випадках критичні точки виникають не лише на межі фаз, а й

усередині них, наприклад, у вигляді затримки погодження проектно-кошторисної документації чи раптового зростання вартості матеріалів [319].

Динамічний характер інвестиційного циклу передбачає, що система постійно перебуває в процесі реакції на зовнішні та внутрішні стимули. Це означає, що в будь-який момент часу її стан визначається не тільки поточними параметрами, але й попередніми рішеннями, впливом середовища, очікуваннями та оцінками майбутнього. Таке трактування дозволяє застосовувати підходи з теорії складних систем, у яких важливу роль відіграють ефекти синергії, самоорганізації та фазових переходів. Наприклад, у разі отримання нових інвестицій на фазі реалізації може відбутись «перезапуск» частини процесів, які вже були завершені, що потребує координації, перегляду графіків, а подекуди — повної зміни підрядників або підходів до логістики.

Ідентифікація критичних точок у межах інвестиційного циклу передбачає виявлення моментів, коли система найбільш уразлива або схильна до нестійкої поведінки. Такі точки найчастіше пов'язані із переходом між фазами, моментами ухвалення рішень, початком або завершенням ключових підпроцесів. Наприклад, перехід від планування до реалізації часто супроводжується невідповідністю між проектною документацією та реальними умовами будівництва. Інша типова критична точка — момент погодження фінансових зобов'язань із банками або інвесторами, що може спричинити затримку проекту на місяці у разі відмови чи зміни умов фінансування. Особливе значення мають точки перетину інтересів різних учасників: коли юридичні, технічні, фінансові й адміністративні моделі повинні бути синхронізовані у межах єдиного рішення.

Ще один важливий аспект — фазова характеристика ризиків. У межах динамічного інвестиційного циклу кожна фаза генерує власний набір ризиків, які не зникають автоматично з переходом до наступного етапу, а часто акумулюються та передаються далі. Так, ризики планування (неповнота аналізу, недооцінка вартості, оптимістичне прогнозування) можуть трансформуватися в операційні ризики під час реалізації (перевитрати, неефективність постачання, затримки виконання). У фазі експлуатації можуть проявитися проєктні помилки або управлінські недогляди з попередніх етапів. Це означає, що управління ризиками не може бути ізольованим — воно повинне функціонувати як наскрізна функція, що супроводжує кожен етап циклу, зберігаючи пам'ять про попередні рішення та проєктні гіпотези [290].

Розвиток підходів до ідентифікації критичних точок і ризиків у межах інвестиційного циклу суттєво активізувався з появою цифрових інструментів управління. Інформаційні моделі будівельних об'єктів (BIM), цифрові модулі управління бюджетами (CDE, ERP), логістичні дашборди дозволяють виявляти точки перевантаження, затримок, втрачених з'єднань між ланками ланцюга. Наприклад, порушення терміну доставки на 3 дні, яке в класичній схемі виявилось б лише при підписанні акту, в системі цифрового управління ідентифікується негайно, створюючи тригер для перегляду графіка, повідомлення підрядника або корекції наступного етапу. Це суттєво знижує інерційність системи та підвищує її здатність до самовідновлення — ознаку, характерну саме для динамічних систем.

Для кращого розуміння динамічної природи інвестиційного циклу доцільно узагальнити його критичні точки та фазову характеристику ризиків у структурованій таблиці 1.5, яка дозволяє відстежити вплив нестабільності, синергії та зворотного зв'язку на ключові моменти прийняття рішень.

Таблиця 1.5. Критичні точки та ризики в межах фаз динамічного інвестиційного циклу
(розроблено автором на основі [290])

Фаза інвестиційного циклу	Типові критичні точки	Основні ризики	Потенціал цифрового моніторингу
Ініціювання	Визначення інвестора, погодження базової концепції, початкове планування	Недостатність даних, стратегічна помилка, некоректна оцінка ринку	Візуалізація концепцій у ВІМ, оцінка сценаріїв за допомогою аналітики попиту
Планування	Формування бюджету, проєктної документації, графіка виконання	Недооцінка вартості, оптимістичне прогнозування, неповнота аналізу	ERP-системи для симуляції бюджету, інтеграція розкладу в CDE
Реалізація	Запуск будівництва, погодження підрядників, логістика	Перевитрати, затримки, конфлікти між партнерами	Системи моніторингу постачання, виявлення відхилень у реальному часі
Моніторинг	Аналіз відповідності плану і факту, прийняття оперативних рішень	Інформаційна інерція, втрати контролю, нерелевантні дані	Цифрові дашборди, автоматизовані тригери корекції графіка
Завершення	Передача об'єкта, звірка виконання, формування остаточного звіту	Юридичні затримки, залишкові дефекти, неповне закриття етапів	Інтеграція результатів у ВІМ-моделі, автоматизоване складання фінального звіту
Поперечна функція: Управління ризиками	Усі точки переходу між фазами, моменти прийняття фінансових, технічних і юридичних рішень	Акумуляція помилок, трансформація ризиків із фази в фазу, втрати у вартості	Постійне оновлення даних, рефлексивне прийняття рішень, аналітика big data

Однак сам факт наявності зворотного зв'язку ще не гарантує ефективності. Система має бути налаштована таким чином, щоб зворотний зв'язок був своєчасним, точним і зрозумілим. У випадках, коли інформація надходить із запізненням або є нечіткою, управлінські рішення приймаються вже після настання критичних збоїв. Це одна з причин, чому в динамічних моделях інвестиційного управління настільки великого значення набуває інструментарій аналітичної підтримки прийняття рішень — від ВІ-систем до моделей прогнозування на основі машинного навчання. Ці інструменти дозволяють перетворити «сліпі зони» управлінського поля на структуровані дані, які можуть бути включені в управлінське моделювання ще до моменту настання реальних змін [276].

Інвестиційний цикл як динамічна система також характеризується так званою "неперервністю ризиків". Це означає, що в кожному часовому проміжку існує базова сума ризиків, яка не зникає, а трансформується з одного виду в інший. Наприклад, ризик

неправильного вибору архітектурного рішення в початковій фазі може перерости в ризик перевитрати коштів під час будівництва або в ризик технічної невідповідності в експлуатаційній фазі. Це створює умови для каскадних ефектів, коли невелика помилка на початку спричиняє ланцюг подій, що ведуть до стратегічних втрат на фінальному етапі. Тому важливо не лише ідентифікувати ризики, а й будувати логіку їх зв'язку у часі — своєрідну карту поширення ризиків у структурі циклу.

Ще однією властивістю, характерною для динамічного інвестиційного циклу, є мультиагентність — тобто участь у системі багатьох автономних суб'єктів із власною логікою, цілями, часовими уявленнями і системами мотивації. Це можуть бути девелопери, підрядники, банки, муніципалітети, органи контролю, інвестори, кінцеві споживачі. Кожен з них взаємодіє з системою в певній фазі циклу, створюючи або посилюючи ті чи інші ризики. Наприклад, затримка з боку муніципального органу у погодженні дозвільної документації може призвести до простою будівельної техніки, втрати фінансування або зриву контрактів із постачальниками. У такому випадку управління інвестиційним циклом вимагає не тільки технічних або фінансових рішень, а й делікатного балансування інтересів, управління репутаційними ризиками, розробки стратегій взаємодії з різними групами впливу [203].

На основі системного аналізу динаміки інвестиційного циклу доцільно візуалізувати рівень ризиків, притаманних кожній з його фаз. Такий підхід дозволяє не лише побачити, на яких етапах зосереджено найбільшу кількість критичних точок, а й сформуванати логіку превентивного управління. Рисунок 1.3 наочно демонструє, як змінюється концентрація ризиків у межах основних фаз інвестиційного процесу.

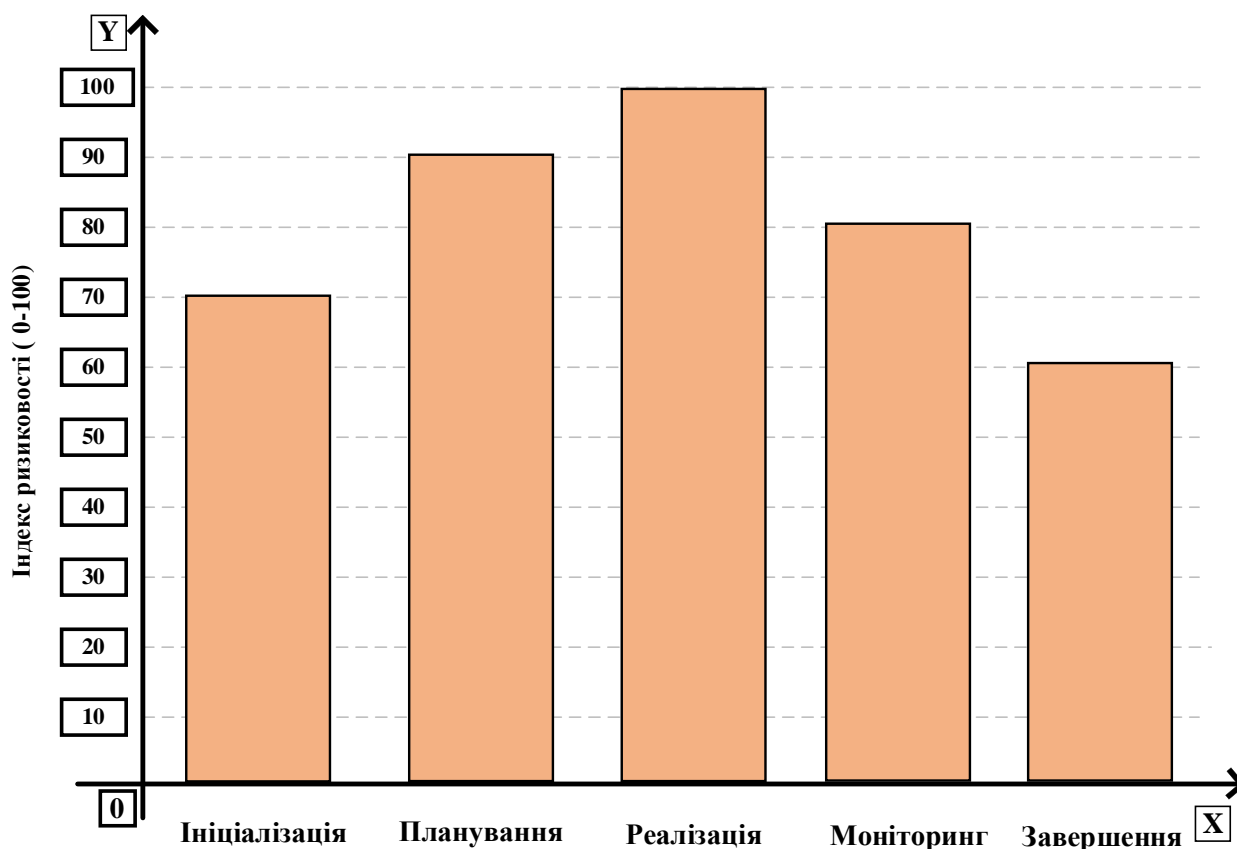


Рис. 1.3. Рівень концентрації ризиків на етапах інвестиційного циклу
(розроблено автором на основі [203])

Динамічність інвестиційного циклу проявляється також у зміні часової цінності кожної фази. Тобто не всі етапи однаково важливі впродовж усього часу — їхня критичність змінюється залежно від поточної конфігурації середовища. У певні моменти найважливішими є технічні характеристики об'єкта, в інші — фінансова доцільність, а ще в інші — політична підтримка або соціальна легітимність. Це означає, що навіть в межах одного проєкту управлінський фокус повинен постійно змінюватися, переключаючись з однієї підсистеми на іншу. Саме тому класичні моделі, де увага розподіляється рівномірно по фазах, втрачають свою ефективність у складному середовищі. Замість цього постає потреба в динамічному перемиканні між контурами управління, з орієнтацією на ті точки, які на поточний момент є визначальними для успішності всього проєкту.

Розглядаючи інвестиційний цикл з позиції динамічної системи, необхідно також включати поняття резонансу — ситуацій, коли сукупність кількох факторів, кожен із яких окремо не є критичним, створює масштабний ефект. Наприклад, легке подорожчання матеріалів, незначне зниження попиту на житло і трохи затягнутий дозвіл на експлуатацію можуть у сукупності призвести до повного зриву комерціалізації проєкту. Це надзвичайно актуально для інвестицій у будівництво, де довгі строки, велика кількість акторів і залежність від ринку створюють ідеальне середовище для прояву резонансних ризиків [268].

1.3. Інтеграційно оцінка ефективності управлінських технологій у девелоперських проєктах

У сучасному стратегічному управлінні девелоперськими проєктами розширена модель маркетинг-міксу 7P виступає не просто інструментом комунікаційного впливу, а повноцінною інтеграційною платформою, яка дозволяє забудовнику адаптуватися до складної та мінливої природи ринку нерухомості. Починаючи з класичної версії 4P, запропонованої Джеромом Маккарті ще у 1960-х роках, яка включала продукт, ціну, місце продажу та просування, концепція маркетингу зазнала суттєвих змін під тиском цифрової трансформації, сервісної парадигми та підвищених очікувань з боку споживача. Вже у 1980-х роках теоретики маркетингу Бернард Бумс та Мері Джо Бітнер доповнили модель трьома додатковими складовими – люди, процеси та фізичне середовище, що заклало підґрунтя для подальшого розвитку підходів до управління в умовах сервісної економіки [83].

У контексті девелопменту, де управління проєктом охоплює не лише будівництво, а й архітектуру, юридичний супровід, брендинг, продажі та післяпродажне обслуговування, модель 7P стала практично єдиною придатною концепцією, яка дозволяє комплексно охопити весь ланцюг створення та передачі цінності. Питання ролі маркетинг-міксу в управлінні проєктами нерухомості широко досліджували такі вчені, як Кевін Келлер, який акцентував увагу на поєднанні брендового капіталу з операційним процесом, та Філіп Котлер, який наголошував на важливості кожного елемента як складника цілісної управлінської стратегії.

Наприклад, елемент «Product» у девелопменті – це не просто квартира або офіс, а візуальна, функціональна, емоційна та логістична система, що охоплює стиль забудови, ергономіку, близькість до шкіл чи бізнес-центрів, архітектурну унікальність, планування, тип оздоблення, і навіть тип соціального оточення. У свою чергу, «Price» – це не лише вартість квадратного метра, а і вся палітра інструментів: від субсидованих іпотек, що впроваджуються банками-партнерами, до пакетів з відтермінуванням платежу, бонусів на старті продажу, і навіть динамічного ціноутворення, яке змінюється залежно від стадії

будівництва. У працях Крістіана Грьонруса наголошується, що у сфері послуг (а девелопмент належить саме до таких) цінність формується не лише через технічні характеристики об'єкта, а у взаємодії клієнта з сервісом і очікуваним результатом [10].

Особливо вагомим є елемент «Place», що у сфері нерухомості має подвійну функцію. З одного боку, це фізичне розташування об'єкта з точки зору транспортної доступності, інфраструктурної забезпеченості та безпеки району, а з іншого — це цифрове середовище: наскільки легко потенційному покупцю знайти об'єкт через онлайн-каталоги, інтерактивні мапи, рекламні кампанії в інтернеті або мобільні застосунки. Питання цифрових точок дотику особливо широко досліджуються у працях Дейва Чаффі, який доводить критичність цифрової присутності для складних товарів, таких як нерухомість.

У цьому аспекті елемент «Promotion» трансформується у повноцінну омніканальну маркетингову систему, що включає SMM-кампанії, ремаркетинг, участь у виставках, віртуальні тури та автоматизовані email-воронки, які на основі даних про поведінку користувача підлаштовують рекламні меседжі під його інтереси. Ці підходи обґрунтовано висвітлено у працях Дональда Шульца та Патріції Патті, які є провідними дослідниками інтегрованих маркетингових комунікацій і вказують на важливість синергії між усіма каналами контакту з клієнтом.

Проте саме в сервісній площині елементи «People», «Process» і «Physical Evidence» виводять маркетинг-мікс на рівень операційного управління. Люди – це кваліфікований персонал, sales-консультанти, які пройшли тренінги з клієнтської взаємодії, що супроводжують клієнта від першого запиту до передачі ключів. Процеси – це налагоджені схеми CRM-ресстрації, автоматизація обробки запитів, електронний документообіг та взаємодія між відділами продажу, юристами, архітекторами. А фізичне середовище – це брендований шоу-рум, AR-презентація, інтерактивна панель на будівництві з відображенням прогресу робіт – усе те, що формує довіру через візуальні елементи. Згідно з висновками Валері Зейтхамл та Арвіна Парасурамана, в умовах сервісного ринку важливо не лише те, що отримує клієнт, а й те, як саме відбувається процес надання цієї цінності [224].

Підкріпленням ефективності кожного з цих елементів виступає емпіричний аналіз, проведений серед забудовників Київського регіону у 2023 році. У рамках цього дослідження респондентам було запропоновано оцінити вагу кожного з елементів 7P у контексті впливу на швидкість продажу, лояльність клієнта та загальну ефективність проєкту. Найвищі оцінки отримали елементи Product (8.5 балів), Promotion (8.1) та Price (7.9), тоді як People і Process залишилися на середньому рівні, що пояснюється недостатньою інтеграцією сервісних підходів у частини компаній. Ці результати підтверджують висновки Гарріса та Денніса, які вказують, що лише повноцінно інтегровані системи управління маркетингом, що охоплюють усі компоненти моделі 7P, можуть забезпечити стійкий ефект і ринкову перевагу в проєктному бізнесі [9].

Як ми бачимо на рисунку 1.4 кожен компонент має свою зону впливу, але лише їхня інтеграція формує системний ефект. Цей підхід узгоджується з ідеями Котлера та Келлера, які у своїй праці «Marketing Management» наголошують, що у складному середовищі клієнт приймає рішення не на основі одного фактору (наприклад, ціни), а на основі синхронізованого враження від бренду, продукту, сервісу та взаємодії.

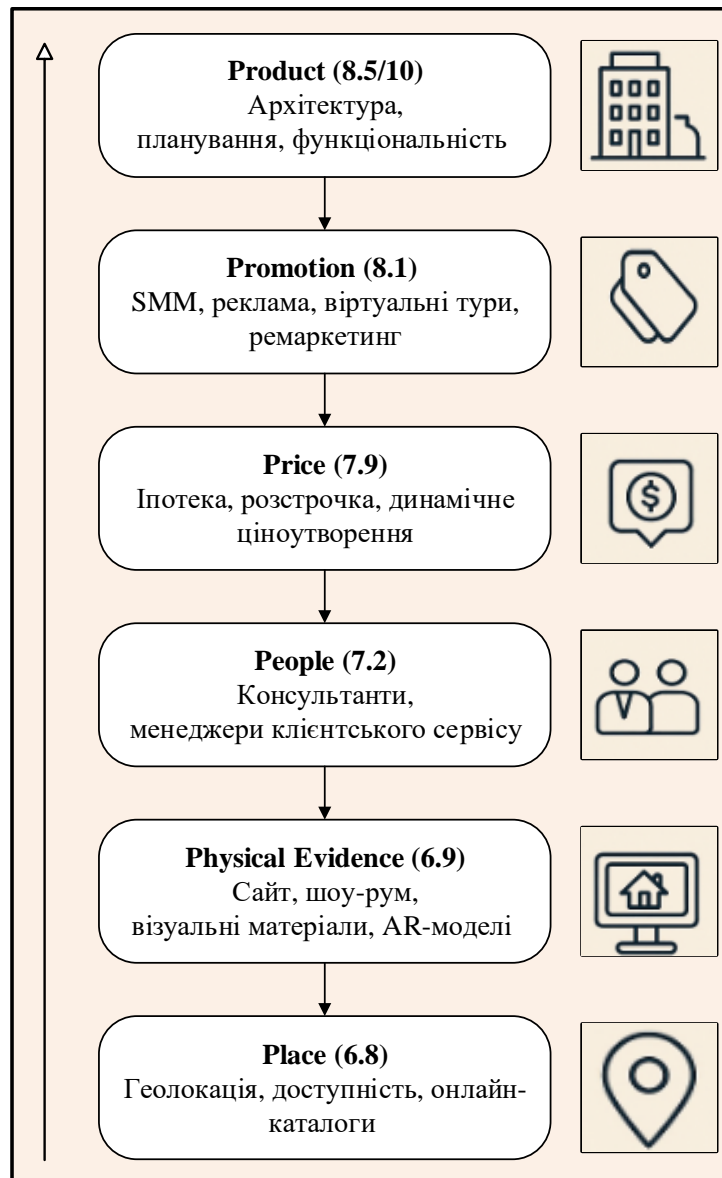


Рис. 1.4. Піраміда важливості елементів маркетинг-міксу 7P у девелоперських проєктах за оцінкою забудовників
(розроблено аутором на основі [9])

Цифровізація додатково посилила функціональність моделі 7P. У таблиці 1.6 представлено, як кожен елемент маркетинг-міксу може бути посилений конкретними цифровими платформами. Наприклад, Product супроводжується Revit або BIM360 для створення інтерактивної 3D-моделі об'єкта. Price інтегрується з Power BI та CRM для динамічного аналізу попиту та моделювання сценаріїв ціноутворення. Place може бути реалізований через Google Maps API, GPS-навігацію до шоу-румів, а також дистрибуцію проєкту через маркетплейси. Promotion базується на автоматизованих інструментах типу Google Ads, SendPulse, ManyChat. Усі ці інструменти не лише полегшують роботу команди, а й забезпечують аналітичну точність у прийнятті управлінських рішень, дозволяючи обирати найбільш результативні канали просування, визначати цільову аудиторію та адаптувати контент до її поведінкових патернів [33].

Таблиця 1.6. Середня оцінка важливості елементів 7P у девелоперських проєктах за результатами опитування забудовників (розроблено автором на основі [33])

Елемент 7P	Основна функція у девелопменті	Середня оцінка важливості (за шкалою 1–10)
Product	Формування концепції об'єкта, архітектура, планування, стиль	8.5
Promotion	SMM, реклама, віртуальні тури, ремаркетинг	8.1
Price	Іпотека, розстрочка, динамічне ціноутворення	7.9
Process	CRM-системи, документообіг, супровід клієнта	7.5
People	Sales-команда, персонал сервісу, after-sale підтримка	7.2
Physical Evidence	Сайт, шоу-рум, фотозвіти з будівництва, AR-візуалізації	6.9
Place	Локація, транспорт, цифрова доступність, онлайн-каталоги	6.8

Особливого значення набувають People, Process та Physical Evidence, де використовуються Salesforce, Bitrix24, SAP, Notion, а також AR-системи типу Matterport. Впровадження таких рішень змінює логіку сервісної взаємодії: замість механічної обробки запитів формується середовище довіри, передбачуваності, персоналізації, що дозволяє девелоперу конкурувати не лише за ціною чи дизайном, а за емоційним досвідом, який переживає клієнт у процесі купівлі об'єкта.

Таким чином, маркетинг-мікс 7P у девелопменті трансформується з рекламної концепції у повноцінну архітектуру управління проєктом. Завдяки цьому він не лише структурує взаємодію з клієнтом, а й дозволяє інтегрувати юридичну, архітектурну, комунікаційну та фінансову складову в єдину логіку ціннісної пропозиції. Це формує основу для побудови довгострокових конкурентних переваг, підвищення темпів продажу, оптимізації маркетингових бюджетів та покращення лояльності клієнтів, що в сукупності визначає ефективність управлінських рішень у девелоперських проєктах [292].

У сучасному девелопменті, що функціонує в умовах надлишкової пропозиції, швидкої урбанізації та інвестиційної мінливості, стратегія просування проєкту нерухомості перестала бути лише інформаційним інструментом. Вона трансформувалася в системний механізм формування доданої вартості, управління довірою, прискорення ліквідності та нарощення капіталізації активу на всіх стадіях його життєвого циклу. Це явище тісно пов'язане з уявленнями про так звану брендову капіталізацію об'єкта, що ґрунтується на споживчій довірі, впізнаваності, емоційній цінності та аналітичній репутації компанії-збудовника.

У своїх працях Філіп Котлер та Кевін Келлер зазначали, що комунікація бренду та його стратегічне позиціонування формують відкладений ефект довіри, який із часом перетворюється на фінансову вигоду через стабільні продажі, нижчі витрати на залучення клієнтів та преміальну оцінку активу на ринку. Саме це і спостерігається в практиці девелопменту: об'єкти, що мають впізнаваний бренд, активно просуваються на старті

будівництва, мають кращі показники дохідності, швидше реалізуються на вторинному ринку та частіше вибираються інституційними інвесторами [292].

Просування девелоперських проєктів нині є не лінійним процесом, а багаторівневою стратегічною конструкцією, що охоплює [60]:

- Пре-будівельну фазу (pre-sale) — коли основне завдання полягає в створенні інформаційного поля, формуванні очікувань, тестуванні позиціонування. Тут ключовими інструментами є реклама на лендінгах, попередній збір лідів, презентації, запуск сайтів з віртуальними турами.
- Фазу активного будівництва — де формується брендова екосистема об'єкта: шоу-рум, медійні кампанії, AR-навігація по об'єкту, звіти з будмайданчика.
- Постбудівельний етап — де на перший план виходить after-sale підтримка, комунікації з мешканцями, запуск додаткових сервісів (наприклад, застосунки для управління об'єктом), що продовжують капіталізацію проєкту вже після продажу.

Цей багатофазовий підхід дозволяє досягати кумулятивного ефекту, коли просування не просто стимулює продаж, а формує довгостроковий актив — ринкову вартість бренду об'єкта. Як показали дослідження консалтингової компанії JLL (2021), об'єкти, в які було інвестовано понад 2% від бюджету на стратегію маркетингу та позиціонування, мали на 14% вищу ціну реалізації на квадратний метр при однакових характеристиках локації та архітектури [60].

Формування довіри, емоційного зв'язку та передбачуваності – ключові нематеріальні активи, що впливають на рішення інвесторів. Саме тому сучасна стратегія просування переходить від класичної реклами до архітектури дотику (touchpoint architecture) – кожен контакт із клієнтом (реклама, сайт, консультація, віртуальний тур, пост-продажна розсилка) — це точка капіталізації. У цьому контексті постає нове поняття – «екосистема просування», яке було розроблене в межах праць Гарріса та Скотта (2020) й включає чотири функціональні зони: формування іміджу, керування лояльністю, управління залученням та керування цінністю [25].

Як ми бачимо на рисунку 1.5 – Функціональні зони стратегії просування в архітектурі девелоперської капіталізації, кожна зона має свої інструменти, свої KPI та свої ризики.

Саме через взаємодію цих чотирьох зон стратегія просування перетворюється на інструмент непрямой капіталізації, що працює через аналітику, поведінкові дані, CRM, візуальне середовище та digital presence. Наприклад, завдяки Google Ads та Meta Ads забудовник може сформувати персоналізовану аудиторію, створити lookalike-модель, протестувати кілька варіантів позиціонування й обрати той, що забезпечує найвищу конверсію [53]. У поєднанні з CRM-системами типу Bitrix24 можна побудувати повний цикл: від генерації ліда до його підтримки, повторного залучення, опитування про рівень задоволеності та формування рекомендаційного маркетингу. Дані, представлені в таблиці 1.7, ілюструють цей взаємозв'язок.



Рис. 1.5. Функціональні зони стратегії просування в архітектурі девелоперської капіталізації (розроблено автором на основі [25])

Таблиця 1.7. Інструменти просування та їхній внесок у довгострокову капіталізацію девелоперського проекту (розроблено автором на основі [53])

Інструмент просування	Основна мета	КРІ для оцінки результату	Вплив на капіталізацію
Віртуальні тури (AR/VR)	Формування довіри до проекту	Середній час взаємодії з об'єктом	Візуальна цінність
Google Ads з ремаркетингом	Повторне залучення аудиторії	Вартість ліда (CPL)	Зниження витрат
CRM з автоматизованими тригерами	Супровід клієнта, сервіс	Кількість повернень	Підвищення лояльності
Публікації на бізнес-форумах	Побудова репутації для інвесторів	Кількість згадувань бренду	Інституційна впізнаваність
SMM-кампанії з блогерами	Залучення молоді аудиторії	Engagement Rate	Емоційний зв'язок

Ці інструменти створюють ціннісний слід навколо об'єкта, що підвищує його привабливість не тільки як товару, а як активу з довгостроковим інвестиційним потенціалом. У підсумку стратегія просування з простої комунікаційної функції трансформується у механізм ринкового приросту вартості, що працює як у період продажів, так і після введення в експлуатацію.

Девелоперська компанія сьогодні нині функціонує в умовах подвійної турбулентності: з одного боку, високий рівень конкуренції, фрагментований попит, зміна

поведінки клієнтів, а з іншого — стрімка цифровізація, яка трансформує всі процеси — від маркетингу до будівництва. У цьому середовищі лише ті гравці, які здатні об'єднати маркетинг, дані та сервіс в єдину цифрову екосистему, отримують перевагу. Саме в цьому контексті модель 7P набуває нового змісту, коли кожен її елемент оцифровується, інтегрується у бізнес-аналітику й адаптується під конкретну споживчу групу.

Цифрова трансформація маркетинг-міксу — це не заміна класичних інструментів, а включення аналітики, автоматизації, візуалізації та персоналізації в кожен компонент. Наприклад, Product уже не просто описується в рекламному буклеті — його існування починається у BIM-моделі, віртуальному турі, AR-додатку, який дозволяє «прогулятися» майбутньою квартирою. У той час як Price більше не є сталим — він динамічно змінюється залежно від стадії будівництва, поведінкової аналітики (heatmaps переглядів планувань на сайті), цільових моделей в CRM [170]. Ці трансформації узагальнено в таблиці 1.8 відображено, які саме інструменти застосовуються до кожного з компонентів.

Таблиця 1.8. Цифрові платформи та функціональне навантаження елементів маркетинг-міксу 7P у девелопменті
(розроблено автором на основі [170])

Елемент 7P	Цифрові інструменти	Функціональне навантаження
Product	Revit, BIM360, Twinmotion	Візуалізація, 3D-моделювання, інтерактивна демонстрація
Price	Power BI, Google Data Studio, CRM-аналітика	Динамічне ціноутворення, прогноз попиту
Place	Google Maps API, інтерактивні карти	Навігація, розміщення, онлайн-доступність
Promotion	Meta Ads, SendPulse, ManyChat, Remerge	Ремаркетинг, багатоканальні кампанії, аналітика кліків
People	Salesforce, Bitrix24, e-learning системи	Клієнтський супровід, контроль менеджерів
Process	SAP, Notion, Zoho, API-інтеграції	Автоматизація бізнес-процесів, контроль етапів
Physical Evidence	WebAR, Matterport, Wix, мобільні вітрини	Формування довіри, онлайн-шоуруми, цифровий імідж

Ключовим тут є те, що цифрові інструменти не просто оптимізують процес — вони змінюють логіку управління, дозволяючи впроваджувати кастомізовані стратегії для кожного споживача. І це підводить нас до розгляду наступного аспекту: як ці 7P-елементи адаптуються до різних цільових груп — житлових клієнтів, бізнес-клієнтів і інвесторів.

У девелопменті існує чіткий поділ між трьома основними сегментами споживачів: кінцеві покупці житла (B2C), бізнес-клієнти (B2B), інвестори (B2I). Кожен із них має свої мотиви, очікування та критерії прийняття рішень. Наприклад, для сім'ї, що купує квартиру, критичними є емоційна привабливість, безпека, школа поруч. Для підприємця, який орендує комерційне приміщення — це трафік, вартість обслуговування, бізнес-середовище. А для інвестора — це прогнозований cash-flow, звітність, ризик ліквідності [49].

Модель 7P, підсилена цифровими технологіями, дозволяє гнучко адаптуватися до потреб кожного сегменту, створюючи окремі ціннісні пропозиції. Як це працює — ілюструє таблиця 1.9.

Таблиця 1.9. Варіативність реалізації елементів 7P для різних цільових сегментів у девелопменті (розроблено автором на основі [49])

Елемент 7P	Житлова нерухомість	Комерційна нерухомість	Інвестиційна нерухомість
Product	Планування, безпека, дитячі зони	Офіси, ТРЦ, флекс-простори	Масштаб, концепція, цільове призначення
Price	Іпотека, розстрочка, субсидії	ROI, окупність	Вартість входу, мультиплікатори доходу
Place	Транспорт, школи, зелені зони	Бізнес-оточення, клієнтський доступ	Геоаналітика прибуткових точок
Promotion	Блогери, віртуальні тури, SMM	Презентації, галузеві івенти	Аналітичні звіти, інвест-платформи
People	Sales-консультанти, підтримка	B2B-менеджери, аналітики	Інвест-брокери, фінансові радники
Process	Онлайн-бронювання, е-документи	Переговори, договори, сервісна підтримка	Фінансове моделювання, аудит
Physical Evidence	Сайт, шоурум, 3D-тур	Буклети, план-схеми, відео-презентації	Звіти, дашборди, ROI-прогнози

Саме тому цифрова кастомізація маркетинг-міксу дозволяє девелоперу працювати не з «середньостатистичним» споживачем, а з конкретним портретом клієнта. Цей підхід також дозволяє зменшити вартість залучення (CAC), підвищити коефіцієнт задоволеності клієнтів (CSAT), зменшити кількість відмов і повернень, підвищити рівень повторних покупок і сформувати лояльну екосистему навколо об'єкта.

Ще одним важливим аспектом є побудова динамічної аналітики, яка дозволяє в режимі реального часу змінювати елементи просування, сервісу чи позиціонування залежно від реакції конкретного сегмента. Наприклад, на основі даних CRM та Google Analytics девелопер може зрозуміти, що бізнес-клієнти обирають проєкт не за параметрами планування, а за паркуванням і доступом до хабів — отже, комунікаційна стратегія змінюється саме для цього сегменту.

У підсумку, модель 7P, доповнена цифровими рішеннями, формує фундамент стратегічного управління ціннісною пропозицією, яка враховує не тільки функціональні очікування, але й контекст, поведінкові патерни, рівень цифрової грамотності та тип ризиків, які важливі для кожної цільової групи. Це не просто гнучкість — це інтелектуалізоване управління проєктною екосистемою, що дозволяє трансформувати девелопмент із будівельної практики у сферу цифрового сервісного бізнесу з довгостроковою капіталізацією [113].

Ефективність маркетингової стратегії у сфері девелопменту, особливо з урахуванням її інтеграційного характеру (поєднання реклами, сервісу, технологій, продажів), не може оцінюватися через одиничні показники або прості обсяги витрат. У висококонкурентному, цифровізованому середовищі девелопер повинен володіти багатовимірною системою метрик,

яка дозволяє не лише фіксувати результат, а й діагностувати вузькі місця, адаптувати стратегію та передбачати ефективність кампаній ще до їх запуску. Відтак сучасний підхід базується на комбінації KPI, аналітичних дашбордів, когортного аналізу, фінансового моделювання та поведінкової аналітики.

Першою ключовою категорією метрик є показники залучення та взаємодії, які демонструють, наскільки ефективно маркетингова стратегія привертає увагу цільової аудиторії [85]:

- CTR (Click-Through Rate) — частка кліків по рекламному оголошенню; свідчить про релевантність креативу;
- Engagement Rate — середній рівень взаємодії користувачів із контентом у соцмережах;
- Time-on-Page та Scroll Depth — поведінкова аналітика відвідувачів сайту;
- Bounce Rate — відсоток користувачів, які залишили сайт одразу.

Ці показники безпосередньо пов'язані з ефективністю витрат на рекламу і дозволяють порівнювати канали за рентабельністю. Наприклад, якщо SMM-кампанія дає високу залученість, але низьку конверсію — варто переглянути позиціонування або сегментування аудиторії.

Третій блок — показники цінності клієнта та довгострокової взаємодії, які особливо важливі для after-sale етапу:

- CLV (Customer Lifetime Value) — прогнозована цінність клієнта за весь період співпраці;
- CSAT (Customer Satisfaction Score) — рівень задоволеності після покупки;
- NPS (Net Promoter Score) — готовність клієнта рекомендувати бренд;
- Churn Rate — частка клієнтів, які відмовилися або не завершили покупку.

Ці метрики переносять маркетинг у сферу лояльності та репутації, що прямо впливає на бренд, капіталізацію об'єкта та формування спільнот навколо житлового комплексу.

Важливо, що всі ці показники не існують у вакуумі — вони агрегуються та аналізуються через аналітичні платформи типу Power BI, Google Data Studio, Tableau, які формують інтерактивні дашборди. На основі таких візуалізацій управлінці можуть в режимі реального часу бачити відхилення, перевищення витрат, сезонні тренди або ефективність окремих каналів просування [168].

У девелопменті аналітика особливо важлива через довготривалість життєвого циклу проєкту: від запуску попередніх продажів до введення в експлуатацію може пройти 2–4 роки, і лише гнучка система метрик дозволяє коригувати стратегію впродовж цього періоду.

Як видно з рисунку 1.6, ефективність не вимірюється лише на рівні продажів. Лише системна оцінка усіх трьох рівнів — залучення, конверсії, лояльності — дозволяє побудувати інтегровану маркетингову модель, що не лише залучає клієнта, а й утримує його, перетворюючи на прихильника бренду.

Таким чином, сучасна система KPI у девелопменті — це не набір чисел, а архітектура управління маркетингом, яка через аналітику створює основу для точного планування, динамічного бюджетування, персоналізації стратегій і зниження ризиків на всіх етапах проєкту.



Рис. 1.6. Система оцінки ефективності маркетингової стратегії у девелопменті
(розроблено автором на основі [168])

РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТА СТРУКТУРА СИСТЕМИ УЗГОДЖЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРІОРИТЕТІВ

2.1. Базові положення щодо підходів до формування інвестиційного циклу. Основні стадії організації дослідження

У контексті концептуального аналізу базових підходів до формування інвестиційного циклу та його дослідницької організації, найбільш системним і придатним для глибокого академічного аналізу слід визнати модель фазового інвестиційного циклу, запропоновану Джоном Д. Макдональдом [77]. Його робота відзначається винятковою структурною дисципліною, що поєднує стратегічні, фінансові, інституційні та процедурні етапи в логічну ієрархію, засновану на змінності ризик-профілів та детермінованості фінансових допущень.

На відміну від класичних моделей трьохфазного циклу (планування, реалізація, завершення), концепція Макдональда передбачає розгортання п'яти взаємозалежних зон інвестиційного впливу: аналітична оцінка середовища, стратегічне формування циклу, операційна консолідація ресурсів, проектно-контрольна стадія та фаза результативного згортання. Ключовою методологічною інновацією виступає концепт порогової трансформації стадій, що здійснюється на основі мультифакторної функції переходу:

$$T_s = f(R_c, \Delta V, P_t, \mu_{op}), \quad (2.1)$$

де T_s — момент стадійного зсуву, R_c — кумулятивний ризик, ΔV — динаміка вартості активу, P_t — прогностичний прибутковий тиск, μ_{op} — адаптивна ефективність операційного ядра.

Ця модель також дозволяє вибудовувати рефлексивні траєкторії повторного інвестування або локального згортання в разі виявлення перевищення допускових порогів ризику. Саме тому вона особливо ефективна в умовах динамічного будівельного ринку, де рішення мають прийматись із врахуванням часової асиметрії і правової невизначеності.

Як показано в дослідженнях Томаса Еліота Грема [84], модель Макдональда здатна бути основою для формування вторинних процедур моніторингу в рамках програмно-цільового управління будівництвом. Грем наголошує, що вбудовані в модель Макдональда методи стратифікації етапів дозволяють формувати параметризовані межі між фазами, що у свою чергу підвищує точність стратегічного планування. Як показано на рисунку 2.1, модель Макдональда формує розгалужену логіку переходів між стадіями з урахуванням мультифакторної залежності.

У контексті подальшого осмислення цієї моделі, слід зазначити, що її ефективність значною мірою залежить від впорядкування дослідницьких процедур, що дозволяють наповнити кожен етап релевантними даними. Цей підхід особливо продуктивний для аналітичних стадій, що передують фінансовим вкладенням, оскільки саме в цих фазах найбільше проявляється стратегічна неоднозначність.

Важливо також врахувати, що модель Макдональда забезпечує не лише логічний розподіл циклу, а й дозволяє вбудувати адаптивні зворотні зв'язки. Це надає їй функції самоорганізації, що є рідкісним явищем серед класичних структурних моделей. Саме тому вона знаходить своє практичне застосування здебільшого в рамках великих інфраструктурних або девелоперських проектів, які мають складну ієрархію стейкхолдерів. Паралельно з теоретичною конструкцією Макдональда, в дослідженнях Грети Нільсен [91]

акцент робиться на важливості організаційно-дослідницької підготовки кожної фази інвестування. Її роботи розкривають, що успішна імплементація подібної моделі можлива лише за умов впорядкованої дослідницької рамки, яка фіксує індикатори входу та виходу з кожної фази.

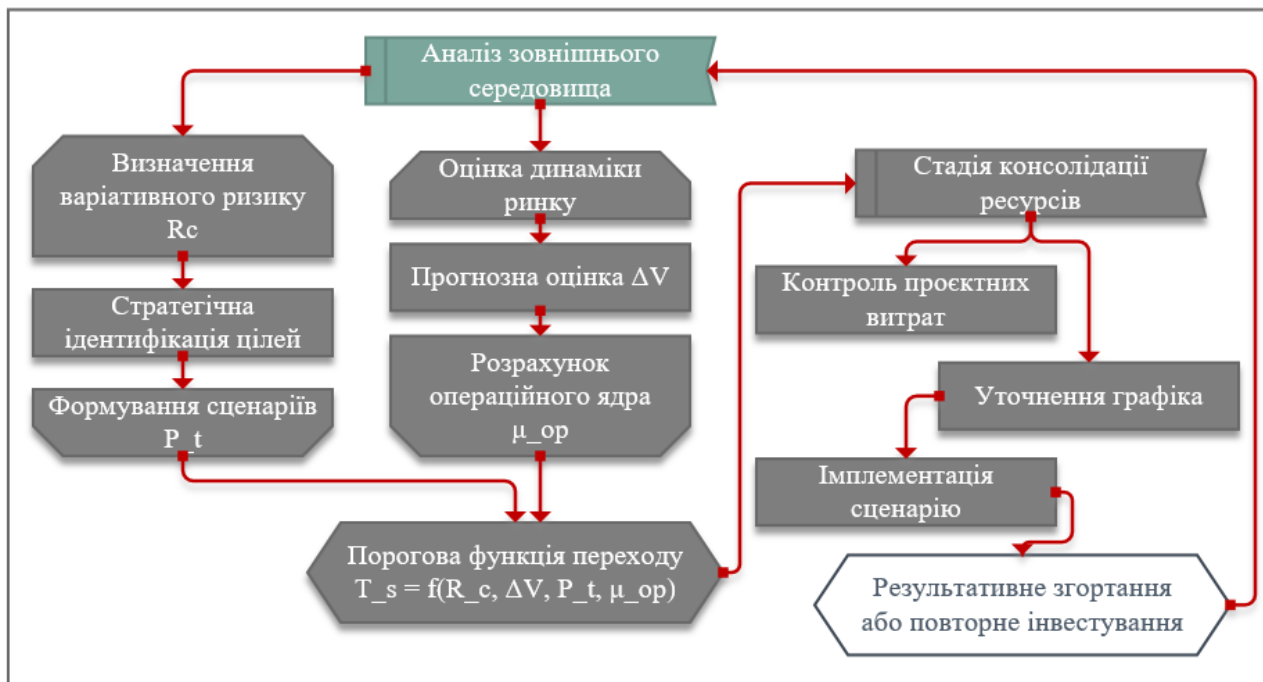


Рис. 2.1. Інтегральна модель фазового інвестиційного циклу з адаптивною функцією переходу (розроблено автором на основі [44])

Водночас Карлос Мендоза [84] у своїх дослідженнях наполягає на створенні таблиць структурної відповідності між методами аналізу ризику та типами рішень, що приймаються на кожному етапі. Такий підхід дозволяє накласти на модель функціональні відповідності, які адаптують її до різних типів проектів. Як показано в таблиці 2.1, кожна інвестиційна фаза має свої домінуючі методи дослідження, що підсилюють логіку моделі Макдональда.

Таблиця 2.1. Типологія відповідності методів дослідження інвестиційним фазам (розроблено автором на основі [84])

Фаза інвестування	Тип дослідження	Методологія	Очікуваний результат
Аналітична оцінка середовища	Макроекономічне моделювання	PESTEL-аналіз, SWOT	Структура зовнішніх ризиків
Формування інвест. сценаріїв	Стратегічна аналітика	Delphi-метод, сценарний аналіз	Побудова варіантів розвитку
Консолідація ресурсів	Оцінка життєвого циклу	LCCA, ABC-аналіз	Обґрунтування витрат і часу
Проектно-контрольна стадія	Контрольні дослідження	Earned Value Analysis, GAP-аналіз	Визначення відхилень у проекті
Згортання або	Ретроспективний	ROI/ROIC-аналіз,	Оцінка ефективності та

<i>повторне інвест.</i>	аудит	пост-аудит	доцільності перезапуску
-------------------------	-------	------------	-------------------------

Таким чином, аналітична база, закладена в роботах Макдональда, забезпечує не лише теоретичну цілісність, а й практичну інтеграцію з сучасними дослідницькими та управлінськими підходами. Вона є своєрідною «матрицею інвестиційної логіки», яку можна налаштовувати під різні типи проєктів, ринкові умови та рівні невизначеності. Доповнення цієї моделі працями Грема, Нільсен та Мендози створює підґрунтя для комплексного академічного розгляду феномену інвестиційного циклу з акцентом на його фазову організацію та адаптивну дослідницьку побудову.

У науковій площині формування інвестиційного циклу особливе місце посідає модель «інвестиційної петлі» Вільяма Дж. Дженкінса [59], яка докорінно переглядає класичні лінійні парадигми послідовності етапів та вводить ідею динамічної рекурсивності у логіці девелоперських рішень. Центральною тезою його підходу є те, що жодна інвестиційна стадія не є остаточно завершеною, доки не здійснено зворотного впливу з боку наступних фаз, що дозволяє говорити про контурну модель розвитку інвестиційного циклу з можливістю корекції траєкторії. На відміну від традиційних концепцій, де ризики розподіляються рівномірно або зростають до завершальної фази, модель Дженкінса передбачає асиметричний часовий профіль ризиків, з піком у фазі початкового проєктного формулювання. Такий підхід базується на формулі оцінки латентного ризику через нелінійну функцію часової невизначеності:

$$R(t) = \lambda \cdot e^{-\alpha t} + \delta \cdot \sin(\beta t), \quad (2.2)$$

де $R(t)$ — ризик у момент часу t , λ , α , δ , β — параметри волатильності, адаптивності та періодичних збурень.

Як зазначає Фелікс Сарджент [123], ця модель є революційною саме завдяки своєму часовому ядру — поняттю «інвестиційного імпульсу», що виводиться з логіки контурного повернення на початкову фазу після оцінки впливу середини циклу. У цьому полягає її ключова перевага: забезпечення верифікації початкових припущень на основі проміжного аналізу, що надає моделі характеристик «живої системи». Як показано на рисунку 2.2, структура моделі Дженкінса побудована на концепції динамічного зворотного зв'язку між фазами циклу, який реалізується через часові пороги ризику та рекурсивні петлі уточнення.

Інтерпретація цієї моделі дозволяє сформувати аналітичну стратегію управління інвестиційними циклами в умовах непередбачуваності. Насамперед, контурний характер означає, що кожен етап передбачає не лише реалізацію, а й вбудований механізм ретроспективної оцінки. Такий підхід дозволяє одночасно реагувати на зовнішні збурення і внутрішні відхилення — що особливо важливо у високоволатильних девелоперських середовищах. У своїй роботі Дженкінс також акцентує на декогерентній стабільності — здатності системи зберігати функціональну рівновагу шляхом змін у параметрах початкової фази. Це суперечить ідеї жорсткої фазовості та дозволяє гнучко адаптувати фінансову логіку проєкту, що є ключовим у інфраструктурному девелопменті.

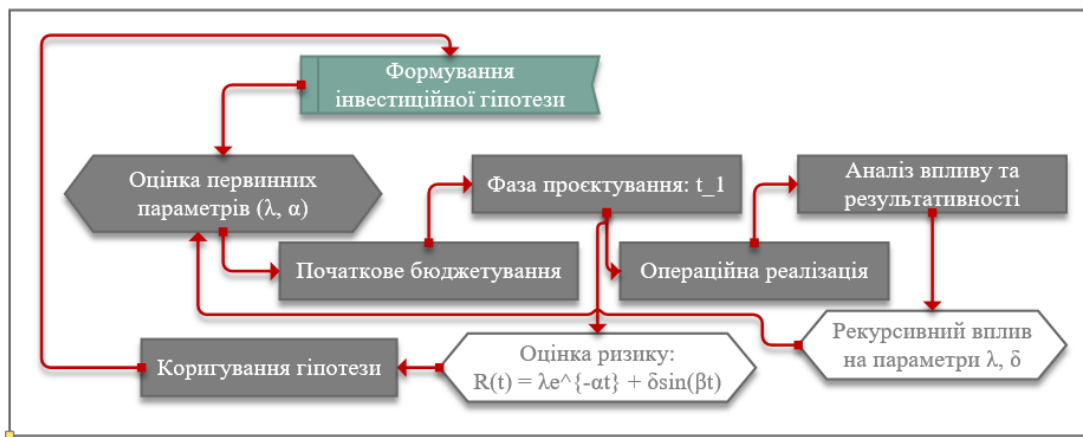


Рис. 2.2. Контурна модель інвестиційної петлі Дженкінса з параметризацією часових ризиків (розроблено автором на основі [123])

У цьому ж руслі розвиваються дослідження Айше Тунгель [157], яка доповнює модель Дженкінса формалізованим підходом до фазових параметрів через побудову багаторівневої ризикової матриці. Її підхід дозволяє точніше враховувати ступінь невизначеності не лише в часі, а й у ресурсній динаміці. Саме завдяки контурній природі моделі Дженкінса з'являється можливість виводити динаміку ризику не як фіксовану залежність від часу, а як результат взаємодії множинних збурень, що активуються у різні фази циклу. З огляду на це, ризик інтерпретується через похідну часу із корекцією на зовнішню динаміку прибутку, що надає наступного виразу:

$$\frac{dR}{dt} = -\alpha R(t) + \gamma \times \frac{dP}{dt} \times \cos(\omega t), \quad (2.3)$$

Цей рівняння не лише описує затухання ризику внаслідок проходження часу ($-\alpha R(t)$), а й фіксує синусоїдальну чутливість до ринкових коливань прибутковості. Таким чином, зміни у доходах напряму впливають на поточний ризиковий стан. Проте сама наявність ризику ще не означає втрату ефективності інвестиційного циклу — ключовим стає співвідношення між вигодою і витратами у часовому розрізі. Для цього до моделі вводиться інтегральна функція компенсаційного повернення, яка відображає накопичений результат проекту з дисконтуванням у часі:

$$I_{return} = \int_{t_0}^{t_n} (B(t) - C(t)) \times e^{-pt} dt, \quad (2.4)$$

У цьому виразі різниця між вигодами $B(t)$ та витратами $C(t)$, скоригована коефіцієнтом дисконтування e^{-pte} , дозволяє оцінити сукупну ефективність проекту в часі. Це стає особливо актуальним у фазі зворотного зв'язку, коли переглядаються первинні допущення інвестиційного циклу.

Завершальним логічним вузлом цього аналітичного ланцюга є адаптивна трансформація прогнозу прибутковості. Виходячи з контурної природи моделі, прибутковість не є сталою, а змінюється під впливом часових фаз та сценарних адаптацій. Саме тому прогнозна функція прибутку описується наступним рівнянням:

$$P_{obj}(t) = P_0 * (1 + k * \sin(\pi t/T)), \quad (2.5)$$

де початкове значення P_0 модулюється коливальною складовою із періодом T та амплітудою чутливості k , що дозволяє врахувати нерівномірність прибутковості в межах одного інвестиційного циклу.

У структурно-фазовому аналізі інвестиційного циклу суттєве значення має економіко-інституційна концепція Ханца Зібберта [130], що базується на розмежуванні екзогенних і ендогенних чинників старту й завершення інвестування. Його модель «двотактної інституціоналізації» описує цикл як відкриту систему, де ініціація запускається інституційною санкцією, а завершення — зовнішньою легітимацією в умовах зміни фінансового, політичного чи правового середовища.

Даніель Гросман [47] у критичному аналізі підкреслює пояснювальну силу цієї моделі для девелопменту з тривалим горизонтом повернення інвестицій. Він розмежує формальний старт і фактичний початок циклу, який відбувається лише після досягнення певного рівня інституційного тиску (IT). Як візуалізовано на рисунку 2.3, модель відображає розподіл цього тиску на етапах ініціації, трансформації та завершення, враховуючи дію зовнішніх регуляторів.

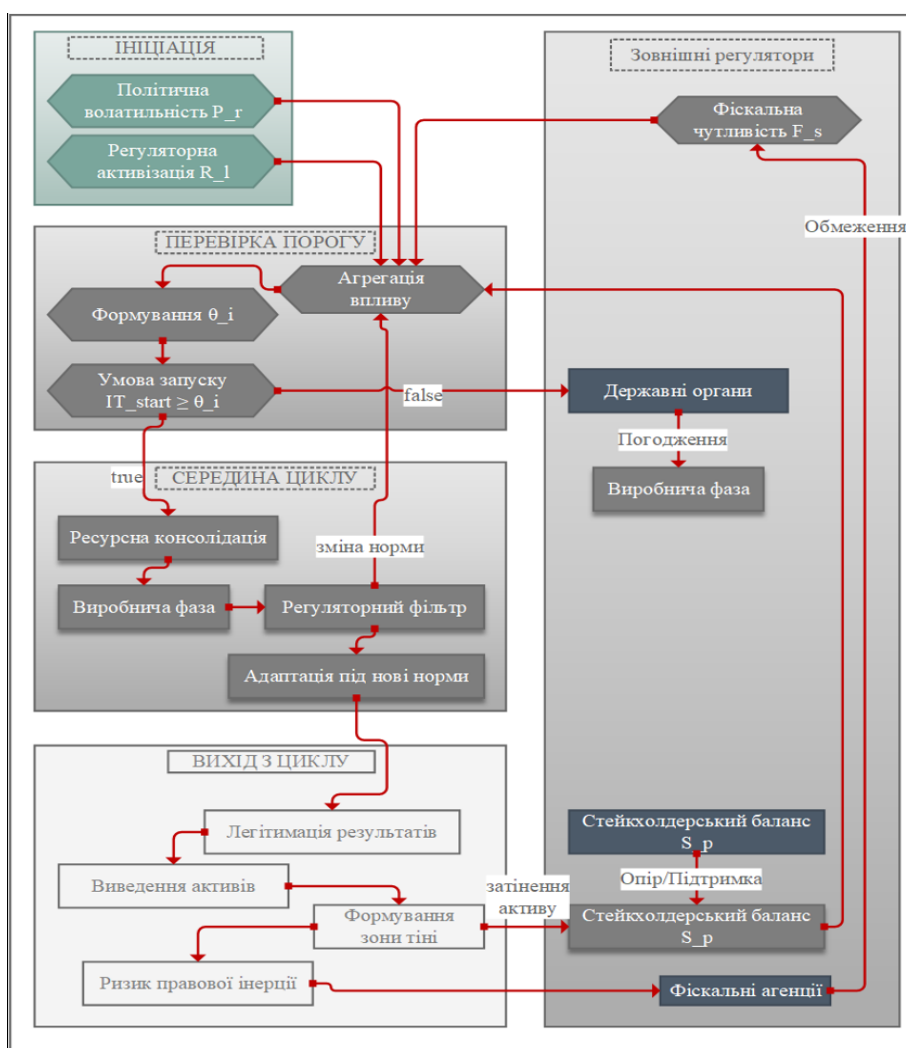


Рис. 2.3. Інституційно-структурна модель фазового контролю інвестиційного циклу за Зіббертом (розроблено автором на основі [47])

Модель Зібберта дає змогу розглядати інвестиційний цикл не лише як об'єкт внутрішнього проектного управління, а як явище, вмонтоване у вищі системи координації — державно-регуляторні структури, податкову політику, інституційні арбітражі. Саме тому вона забезпечує надзвичайно корисну оптику в умовах міждержавного девелопменту, публічно-приватного партнерства, де момент входу й виходу із циклу залежить від нечітких (часто неформалізованих) сигналів з боку урядових органів, інституцій донорів, ринку ліцензій тощо.

Особливо цінною є здатність моделі фіксувати часові зсуви між формальним завершенням інвестиційного процесу та його фактичним інституційним виведенням. Зібберт визначає, що такі зсуви породжують зони затіненої капіталізації, де активи не мають чітко визначеного правового статусу, що може впливати на здатність до подальшого реінвестування або відчуження. У таких випадках застосовується логіка подвійного моніторингу: інституційний та бухгалтерський, які можуть суттєво розходитись у часі та масштабах. Саме внаслідок структурного навантаження, яке накладається на фази інвестиційного циклу, ми отримуємо складну модель часової нестабільності, в якій ризики та інституційні бар'єри не рівномірні, а коливаються відповідно до циклічної логіки переходів. Щоб описати це математично, доцільно звернутись до рівняння акумульованого інституційного навантаження як похідної від впливу факторів регуляторної сили та політичного ризику:

$$\frac{dl}{dt} = \rho \cdot \ln(R_l \cdot P_r) - \sigma \cdot \frac{dS_p}{dt}, \quad (2.6)$$

Тут ρ — коефіцієнт реактивності регуляторного середовища, σ — ступінь гальмування політичної підтримки. Від'ємне значення похідної свідчить про деградацію інституційного простору, позитивне — про стабілізацію.

Подальше ускладнення моделі потребує врахування інерції — тобто відкладеного впливу інституційних рішень. Тому вводиться інтегральна функція затриманої легітимації, яка формалізує часовий лаг між рішенням і його інституційним втіленням:

$$L_{eff} = \int_{t_1}^{t_2} (IT(t) - \Delta_{law}(t))^2 dt, \quad (2.7)$$

де $IT(t)$ — фактичний тиск, $\Delta_{law}(t)$ — нормативно-правова затримка. Мінімізація L_{eff} — умова ефективного виходу з циклу без затіненої капіталізації. Врешті, для оцінки динаміки збурення, пов'язаного із зміною регуляторного фрейму в середині циклу, застосовується модулятор тиску, що визначає резонанс зовнішніх обмежень:

$$M(t) = \delta \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \cdot e^{-\mu t}, \quad (2.8)$$

Ця формула дозволяє моделювати імпульсний тиск державних інтервенцій, де δ — амплітуда флуктуацій, μ — коефіцієнт затухання, T — періодичність змін.

Отже, структура, запропонована Зіббертом, у поєднанні з параметричними доповненнями Стадельмана і Джордані, створює методологічну платформу для побудови регуляторно-чутливих моделей інвестиційного циклу. У поєднанні зі схемою і розгорнутим

формульним апаратом ця система дозволяє ефективно виводити рішення щодо старту або завершення циклу на основі кількісних індикаторів і неочевидних політико-правових тригерів. Саме такий підхід формує ядро аналітики для складних девелоперських проєктів, особливо в середовищах із змінним рівнем правової визначеності.

Однією з найглибших структурно-аналітичних моделей у сфері формування інвестиційного циклу є «Розширений інвестиційний трикутник», створений Томасом Л. Хоппером [50], який розглядає не просто класичну тріаду фаз фінансування, реалізації та комерціалізації, а пропонує динамічну систему взаємопроникних впливів між ними. На відміну від жорстких етапних схем, його модель базується на перехресних взаємозв'язках, які породжують нелінійну траєкторію інвестиційної поведінки. У фокусі знаходиться не просто поділ на етапи, а аналіз того, як імпульси від однієї фази трансформують логіку іншої: реалізаційні збої впливають на фінансування, а коливання прибутковості — на технічне наповнення проєкту.

У теоретичному ядрі концепції лежить заміна послідовності — матрицею впливу, в якій будь-яка вершина трикутника (фінансування, реалізація, комерціалізація) здатна ініціювати, коригувати або зупинити іншу. Це відкриває шлях до так званої моделі конфігуративної петлі, де фінансова ін'єкція може відбуватись на пізній стадії, а комерційна логіка — диктувати технічні рішення. Відбувається руйнація лінійного підходу, що раніше домінував у інвестиційно-будівельному циклі, і замість нього формується динамічна система, яка враховує часову зсувність та умовну зворотність фаз. У практичному вимірі така модель дозволяє аналізувати складні девелоперські проєкти з нестандартним фінансовим потоком, а також змінними юридичними й ринковими умовами. Вона особливо ефективна у високоневизначених середовищах, де традиційні процедури не дають прогнозованого результату.

У логіку моделі Хоппера вдало інтегрується концепція Аманди Боуен [11], яка вводить категорію перехідних вузлів — точок, у яких відбувається перетворення цілей однієї фази під тиском іншої. Вона демонструє, що такі вузли мають локальну автономію та здатні модифікувати навіть попередньо закладені сценарії реалізації. У цих точках реалізаційна логіка ніби «перезапускається», зберігаючи водночас спадковість ключових критеріїв ефективності. Це дозволяє уникати фіксованості у плануванні та створювати механізми самокорекції в інвестиційному полі. Таким чином, поєднання підходів Хоппера та Боуен утворює адаптивний модульно-мережевий підхід, здатний оперативно реагувати на збурення ззовні без втрати цілісності проєкту.

Як показано на рисунку 2.4, модель відображає складну взаємодію між фінансуванням, реалізацією та комерціалізацією з урахуванням перехресних петель, перехідних вузлів і циклічних точок переналаштування. У виносках схеми включено пояснення фазового напруження, що виникає в разі дестабілізації міжфазової рівноваги.

Після аналізу схеми стає очевидним, що міжфазові петлі не лише забезпечують передачу імпульсів, а й породжують структурні вузли, у яких фази конфліктують або синхронізуються. Наприклад, при швидкому переході від реалізації до комерціалізації часто виникає фазове перенавантаження, коли інженерні рішення не встигають адаптуватися до ринку. У моделі це представлено як фазове напруження, згадане у виносках — ключовий показник, який демонструє системну розбалансованість.

Крім того, важливо, що схема не є замкнутою — вона дозволяє включення додаткових модулів: юридичного супроводу, управлінських рішень, цифрового моніторингу. Саме цим вона корисна як шаблон для симуляційних платформ в управлінні великими проєктами.

Перехідні вузли надають гнучкість у плануванні, а петлі самокорекції — стійкість при зовнішніх шоках.

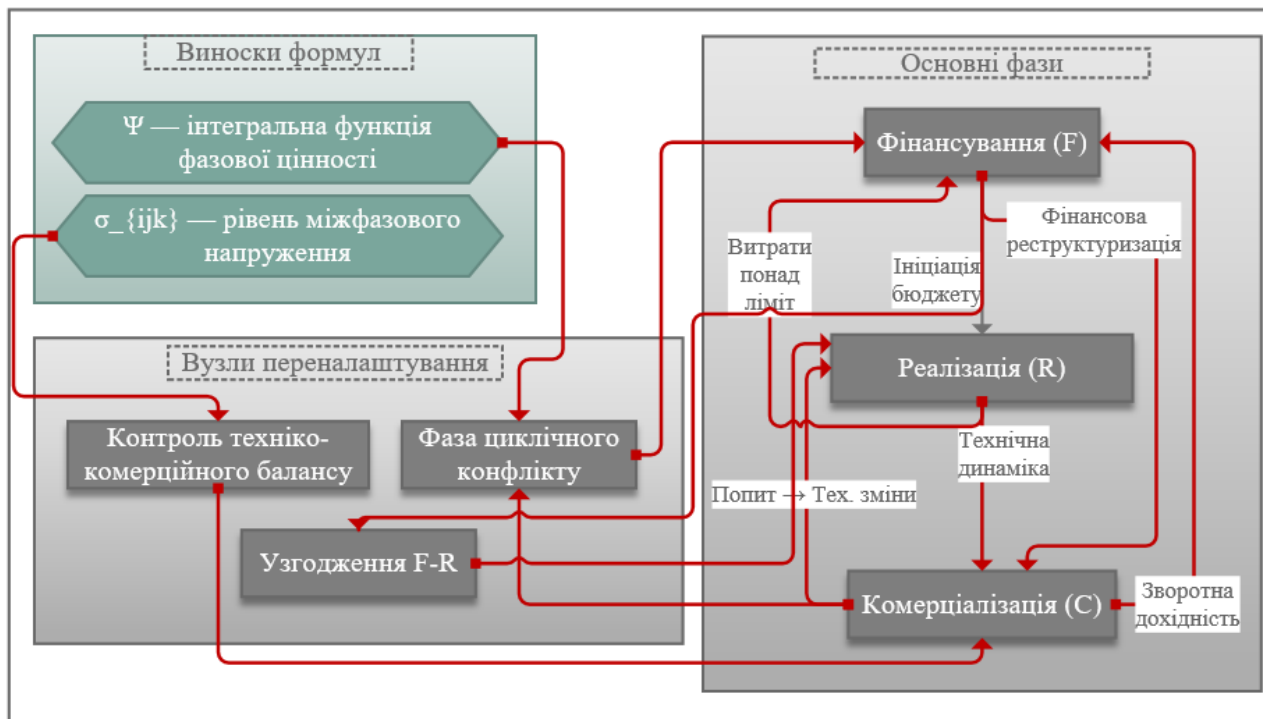


Рис. 2.4. Конфігуративна модель інвестиційної взаємодії Хоппера–Боуен з розширеною фазовою динамікою (розроблено автором на основі [11])

Модель також ілюструє, що не всі фази мають однаковий вплив. Фінансування є катализатором, але реалізація — стабілізатором системи. Комерціалізація — адаптивний шар, що фіксує відгук ринку. Це дозволяє вибудовувати стратегічну конфігурацію керування залежно від того, яка з фаз є домінантною в певному типі проєкту.

Паралельно з концепціями Хоппера і Боуен, слід згадати дослідження Сюзан Вентер [161], яка розробила класифікацію інвестиційних циклів на основі фазової домінанти. Вона довела, що у кожному типі проєкту одна фаза завжди проявляється як ключовий регулятор логіки всієї системи. Наприклад, у складній інфраструктурі — це реалізація, в інноваціях — комерціалізація, а у проєктах державного фінансування — фаза бюджетного планування. Розширення цього підходу зробив Фернандо Ерріга [32], який увів коефіцієнт фазової інверсії, що демонструє, наскільки одна фаза може зворотно перебудувати іншу. Це має практичне значення для адаптації проєктів у режимі кризи: коли попит руйнує фінансову модель або коли технічна недоцільність скасовує комерційні очікування. Як показано в таблиці 2.2, рівень фазового напруження та тип зворотного впливу залежать від природи проєкту й визначають логіку адаптації.

Модель Хоппера разом з аналітичними доповненнями Боуен, Вентер і Ерріги формує стійку платформу для проєктування складних, адаптивних інвестиційних циклів, у яких логіка взаємодії важливіша за лінійність етапів. Завдяки гнучкості конфігурацій, вона може бути покладена в основу сучасних управлінських систем девелопменту, які працюють у режимі високої волатильності.

Таблиця 2.2. Фазова домінанта в типах інвестиційних проєктів
(розроблено автором на основі [32])

Тип проєкту	Домінантна фаза	Зворотний зв'язок	Рівень напруження	Коефіцієнт інверсії
Інфраструктурний	Реалізація	$C \rightarrow R \rightarrow F$	Високий	0.25
Інноваційний	Комерціалізація	$F \rightarrow C \rightarrow R$	Середній	0.61
Державне фінансування	Фінансування	$R \rightarrow F \rightarrow C$	Низький	0.32
Цифровий (IT, Smart City)	Комерціалізація	$C \rightarrow F \rightarrow R$	Високий	0.74
Житловий девелопмент	Реалізація	$F \rightarrow R \rightarrow C$	Середній	0.41
Венчурний/стартап	Фінансування	$C \rightarrow F \rightarrow R$	Високий	0.89

Узгодженість між фазами інвестиційного циклу все частіше розглядається не як формальна вимога до менеджменту, а як ключовий детермінант його стратегічної ефективності. У цьому контексті особливу аналітичну глибину має модель логічної інвестиційної узгодженості, запропонована Роландом Міллсом [86]. Його підхід є принципово відмінним від класичних календарно-етапних структур. На противагу їм Міллс не лише структурує фази, а й вводить формальні способи оцінювання ступеня їхньої взаємодії — як методологічної, так і фактичної. Суть його моделі — у тому, що цикл стає ефективним лише тоді, коли між фазами існує аналітична тяглість, що проявляється у логічному спадкуванні дослідницьких результатів і рішень.

В основі моделі — концепція фазового дзеркала, коли кожна наступна стадія відображає не лише зміст попередньої, а й методологію, якою цей зміст був сформований. Тобто не лише *що* передається між фазами, а й *як*. Це розв'язує проблему фрагментованості — коли стратегічні плани розриваються на функціональні блоки, які більше не корелюють у процесі виконання. Щоб кількісно оцінити, наскільки фази узгоджені, Міллс вводить формулу інвестиційного відхилення, яка враховує середню різницю між прогнозованими й фактичними профілями ключових параметрів на стиках фаз:

$$\Omega(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{i(t)} - A_{i(t)}|, \quad (2.9)$$

де $P_i(t)$ — прогнозоване значення ключового показника у фазі i на момент часу t , а $A_i(t)$ — його фактичне значення. Чим меншим є значення Ω , тим вища логічна узгодженість між фазами.

Важливо, що в моделі Міллса узгодженість трактується не як статична характеристика, а як динамічна функція поведінки системи, яка потребує постійного аналізу та корекції. Для цього він вводить функцію фазової реактивності, що показує, як швидко фаза адаптується до виявленого відхилення. Вона визначається як добуток швидкості зниження похибки на реактивний коефіцієнт, притаманний поточній фазі:

$$\Phi(t) = -\frac{d\Omega(t)}{dt} \cdot \gamma(t), \quad (2.10)$$

де $\gamma(t)$ — фазовий індикатор чутливості до відхилень, що враховує специфіку інструментів управління на даному етапі. Ця формула дозволяє не лише вимірювати реакцію системи, а й будувати траєкторії корекції, які ґрунтуються не на абсолютних значеннях, а на здатності системи до адаптації.

Розширення підходу Міллса запропонувала Анна Делакура [27], яка ввела поняття віддзеркаленої адаптації. Вона показала, що ефективність інвестиційної моделі залежить не лише від змісту узгодженості, а й від її симетричності — тобто від того, чи зберігається логіка адаптації при поверненні до попередніх фаз. Це особливо актуально у випадках реверсивного коригування бюджету чи перегляду комерційної стратегії після невдалої реалізації.

2.2. Алгоритмічні моделі та принципи побудови механізму розподілу інвестицій за критеріями

У сучасній теорії оптимального розподілу інвестицій, де складність середовища перевищує можливості класичних моделей, особливе місце займає алгоритмізація багатокритеріальних рішень, запропонована Ентоні Скоутером [127]. Його підхід формує не просто модель розподілу, а адаптивну логіку системи, в якій кожен критерій має динамічну вагу, залежну від зміни внутрішніх і зовнішніх параметрів. Особливістю моделі є використання критеріальної трансформації через матрицю обмежень, де рівень відповідності інвестиційного об'єкта до критеріїв обчислюється з урахуванням сили, впливу та невизначеності кожного фактору.

Скоутер інтегрує до моделі нелінійну структуру залежностей між критеріями, яка дозволяє будувати розподіл не на основі їхньої ізольованої оцінки, а з урахуванням їхньої взаємодії. У центрі моделі — стохастичний блок оцінки відхилення (Variance Impact Block), що фіксує, як зміна однієї умови впливає на загальний рівень оптимальності вибору. Усі обчислення виконуються з урахуванням ентропійного перекриття між значущими критеріями — коли критерій А частково дублює критерій В, їхня сукупна вага автоматично коригується. Як підкреслює Скоутер, це дозволяє уникнути «переобваження» певних факторів у структурі.

Як видно на рисунку 2.5, модель побудована на послідовному перетворенні даних від збирання індикаторів до оптимізації фінального розподілу. Формула в блоці B2 ($\sigma^2 = \sum(x_i - \mu)^2 / n$) — це класичне обчислення дисперсії, яке визначає рівень волатильності для кожного критерію. Вона служить основою для стохастичної корекції ваг. Формула в блоці D1 ($w_i = -\sum p_i \log(p_i)$) — це ентропійне вагування, яке обчислює кількісну значущість кожного критерію залежно від його невизначеності. Це дозволяє точно налаштувати вплив кожного параметру на підсумковий вибір.

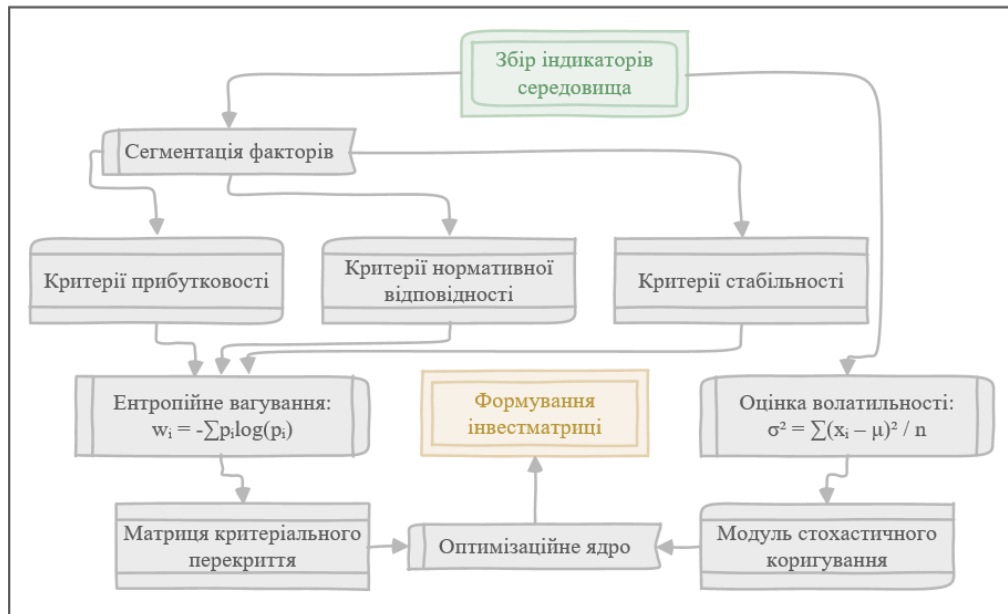


Рис. 2.5. Алгоритмічна структура моделі багатокритеріального розподілу інвестицій Скоутера (розроблено автором на основі [1])

Важливою перевагою цієї моделі є її здатність адаптуватися до інституційних трансформацій — наприклад, при зміні державної політики або при зростанні асиметрії даних. У межах цієї логіки, додаткову глибину в аналіз вносить підхід Андреа Фелліні, яка досліджувала ефект перекриття критеріїв у міжгалузевих проектах [35]. Її дослідження дозволяє виявляти приховану кореляцію між критеріями та зменшувати помилку мультивпливу, що є ключовим для стабільності моделей у довгостроковому плануванні.

Однак не менш значущим є питання зовнішніх впливів, які змінюють вагові функції моделі. В цьому контексті слід звернутись до досліджень Діани Ланг і Гвідо Шредера, які вперше типізували зовнішні чинники, що модифікують алгоритмічну поведінку інвестмоделей [71, 125]. Саме їхня типологізація стала підставою для систематизації критичних зон зовнішнього впливу, які ми бачимо у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Зовнішні параметри, що впливають на алгоритмічну реконфігурацію інвестиційних моделей (розроблено автором на основі [125])

Категорія фактору	Підтип впливу	Наслідок для моделі	Частота реконфігурації
Інституційна	Регуляторна фрагментація	Зміна ваг критеріїв нормативності	Висока
Поведінкова	Зсув стратегій замовників	Перемикання між стабільністю/доходом	Середня
Техноінформаційна	Асиметрія даних, недостовірність	Активація нечіткої логіки	Висока
Макроекономічна	Інфляція, курс, фіскальний тиск	Модифікація стохастичних модулів	Висока

Як показано в таблиці 1, інституційні й техноінформаційні чинники мають найвищу частоту реконфігурації, тобто моделі мусять адаптуватися при кожному суттєвому збуренні середовища. Поведінкові чинники менш стабільні, але можуть радикально впливати на пріоритети, особливо в інфраструктурних інвестиціях. Власне ця системна чутливість і є тим, що вирізняє сучасні алгоритмічні моделі від традиційних методик бюджетного планування.

У межах алгоритмічного забезпечення процесу інвестиційного розподілу особливої ваги набувають підходи, здатні враховувати взаємозалежні критерії різнорідної природи — від фінансових до соціоекологічних. Одним із найвагоміших дослідників у цій площині є Філіп Барбац, який запропонував модель багатокритеріального ранжування, де розподіл інвестицій не зводиться до простої оптимізації прибутковості, а трансформується в задачу балансового узгодження конфліктних інтересів. У своїй праці він формалізує кожен критерій у вигляді функціоналу з певним вектором впливу, де вагові коефіцієнти не фіксуються жорстко, а моделюються через адаптивні ядра залежності. Наприклад, критерій ризику не визначається лише варіативністю доходу, а корелюється з індикаторами соціальної деструкції в зоні інвестиційного втручання, що дає змогу впровадити структурно обмежене ранжування. Особливість моделі Барбаца полягає у застосуванні концепції так званого «матричного обмеження кореляційного перекриття», де вектора критеріїв проектуються у підпростір допустимих конфігурацій з урахуванням міжкритеріальних напружень [4].

Іншим автором, чия концептуалізація значною мірою розширює розуміння алгоритмізації, є Сюзанна Торнтон. Її модель ієрархічної оптимізації ресурсів базується на структурному поділі інвестиційних рівнів на три каскади — стратегічний, оперативний і тактичний. У кожному з них діють різні правила пріоритетності, що задаються не тільки функціями корисності, а й структурними обмеженнями середовищної сумісності. Ця багаторівнева логіка дає змогу уникнути надмірної централізації та вбудовує механізми контекстного узгодження рішень між каскадами. Зокрема, в оперативному контурі модель передбачає додатковий рівень ранжування з урахуванням екстернальних залежностей, що виникають унаслідок трансакцій між секторами. Важливим елементом є застосування контекстно-зважених коефіцієнтів взаємозалежності, які не дозволяють локальним ефективним рішенням деформувати загальну структурну логіку.

Модель Торнтон ефективна в умовах обмеженої ресурсної бази, оскільки дозволяє зберігати баланс між глобальною ефективністю й локальними обмеженнями проектів [142]. Вона забезпечує не лише оптимізацію розподілу, а й активне керування обмеженнями через інтеграцію даних про навколишнє середовище, часові горизонти та інституційні фактори. Як показано на рисунку 2.6, ці підходи можуть бути об'єднані в єдину узагальнену структуру адаптивного інвестиційного розподілу.

У рамках подальшого розвитку аналізу необхідно звернутися до напрацювань Лоуренса Гіна, який запропонував модель пріоритетного трансферу ресурсів. Його підхід будується на концепції критичної ваги — умовного порога, який сигналізує про необхідність перерозподілу інвестиційних ресурсів між секторами залежно від динаміки цільових функцій. Гін розробив механізм так званого ущільненого трансферу, що використовує логіку контекстуального резонансу, при якому розподіл не є симетричним, а базується на градієнті між очікуваним мультиплікатором і реальною інтенсивністю віддачі. У межах цієї логіки важливою виявляється здатність моделі до передбачення конфліктів у стратегічних профілях, що є основою для вибору векторів розвантаження системи.

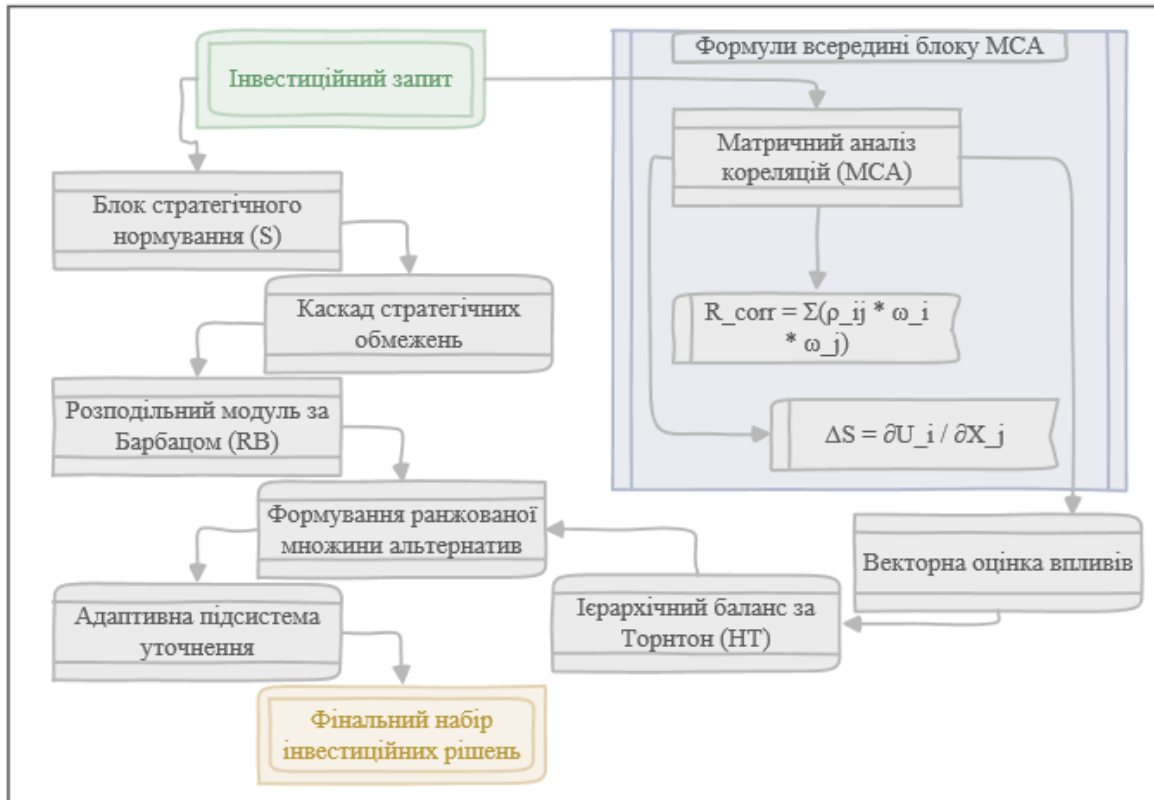


Рис. 2.6. Архітектура моделі багатокритеріального інвестиційного розподілу з адаптивним блоком кореляцій (розроблено автором на основі [142])

Джеймс Топфер, зі свого боку, акцентує увагу на необхідності зменшення так званої інвестиційної турбулентності — показника коливання ефективності в межах часових сегментів. У його моделі застосовується дискретизація ризиків із прив'язкою до часових ланцюгів, у яких кожен відтинок моделюється як стохастична петля з власною функцією чутливості. Топфер вводить інтегральну функцію стабільності, що визначається не лише на підставі середніх значень, а й шляхом агрегації латентних конфліктів між підсистемами. У результаті формується механізм автоматичної компенсації відхилень шляхом зниження впливу критичних точок збурення [154].

Формалізуючи підходи, запропоновані зазначеними авторами, доцільно подати їх у вигляді формул, що ілюструють математичну суть концепцій. Матриця кореляційного перекриття Барбаца:

$$R_{corr} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{ij} \cdot \omega_i \cdot \omega_j , \quad (2.11)$$

де ρ_{ij} — коефіцієнт кореляції між критеріями, ω_i — вага i -го критерію. Модель дозволяє враховувати конфліктну структуру системи та обчислювати допустимий простір для ранжування. Градієнт інвестиційного зсув:

$$\Delta S = \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \cdot \theta(t) , \quad (2.12)$$

де U_i — функція корисності інвестиції, X_j — впливовий параметр, $\theta(t)$ — часовий модифікатор турбулентності, що дозволяє відслідковувати реакції системи в динаміці. Функція ущільнення трансферу Гіна:

$$T_{kl}^* = \int_{t_0}^{t_n} \max\left(0, \frac{M_k(t) - M_l(t)}{C_{kl}(t)}\right) dt, \quad (2.13)$$

де $M_k(t)$, $M_l(t)$ — очікувана ефективність секторів k та l , а $C_{kl}(t)$ — контекстуальний коефіцієнт взаємної напруги. Ця формула визначає, коли варто змістити ресурси між секторами. Сумарно зазначені моделі дозволяють побудувати гібридну систему, де враховується не лише кількісна оптимальність, а й структурна відповідність рішень зовнішньому контексту. Вони відкривають шлях до синтезу адаптивних механізмів, які можуть працювати в умовах мультикритеріальної невизначеності. Інтеграція факторів часової турбулентності, кореляційної насиченості та стратегічної пріоритетності дозволяє переходити від класичного розподілу ресурсів до концепту багатопарової синхронізації, що є актуальним в умовах складних девелоперських систем і макроекономічної нестабільності.

Адаптивні інвестиційні моделі, які враховують динаміку середовища, сьогодні є одним із найактуальніших напрямів дослідження в галузі інвестиційного аналізу, особливо в умовах підвищеної волатильності зовнішніх параметрів. Визначальним у цьому контексті є науковий підхід Джульїті Нісіхара, який запропонував оригінальну модель динамічного розподілу інвестицій із використанням стохастичних механізмів обрахунку реактивних коефіцієнтів. Модель Нісіхари є унікальною тим, що вона не тільки фіксує залежність рішень від змін параметрів, а й дозволяє капіталу переміщатися між напрямками з урахуванням траєкторії функцій ризику, очікуваної ефективності та флуктуаційної інерції. У його концепції використовується логіка марківських процесів із умовним очікуванням на основі варіативної оцінки приросту прибутковості, що дає змогу забезпечити як гнучкість, так і прогнозованість системи [91].

Суттєво доповнює підхід Нісіхари модель Франциски Кельзен, яка формалізувала структуру комбінованої ефективності. У ній інтегруються два домінуючі контури оцінювання: статистичний та експертний. У першому випадку модель оперує масивом історичних даних, які вводяться у механізм багатфакторної регресії з адаптивним оновленням вагових коефіцієнтів. У другому випадку формується нечітка система критеріїв на основі дельфійської методики. Результати з обох контурів поєднуються в адаптивний інтегральний індекс, що може змінювати свою структуру залежно від фазової позиції проекту в загальній інвестиційній траєкторії [63].

Об'єднання концепцій Нісіхари та Кельзен дозволяє створити складну структурну модель, у якій динаміка зовнішніх параметрів поєднується з внутрішньою логікою розподілу капіталу. Її структура наведена в схемі на рисунку 2.7, яка відображає фазові взаємозв'язки між стохастичними механізмами оцінювання та критеріями комбінованої ефективності.

У подальшому розгортанні алгоритмічного підґрунтя варто звернутись до моделі, запропонованої Ноемі Сінгх. Її фреймворк обмеженої інвестиційної ємності ґрунтується на постулаті ресурсної чутливості та фазових порогових обмежень. Сінгх формулює систему, у якій кожен інвестиційний блок має внутрішню межу ефективного навантаження, і перевищення цієї межі веде до деградації мультиплікативного ефекту. Ключовою функцією в моделі є інтеграція часових зсувів у відповідь на зміну макропараметрів. Таким чином,

модель здатна прогнозувати момент, коли розширення капітального потоку більше не є оптимальним, а починає генерувати системну інерцію [133].

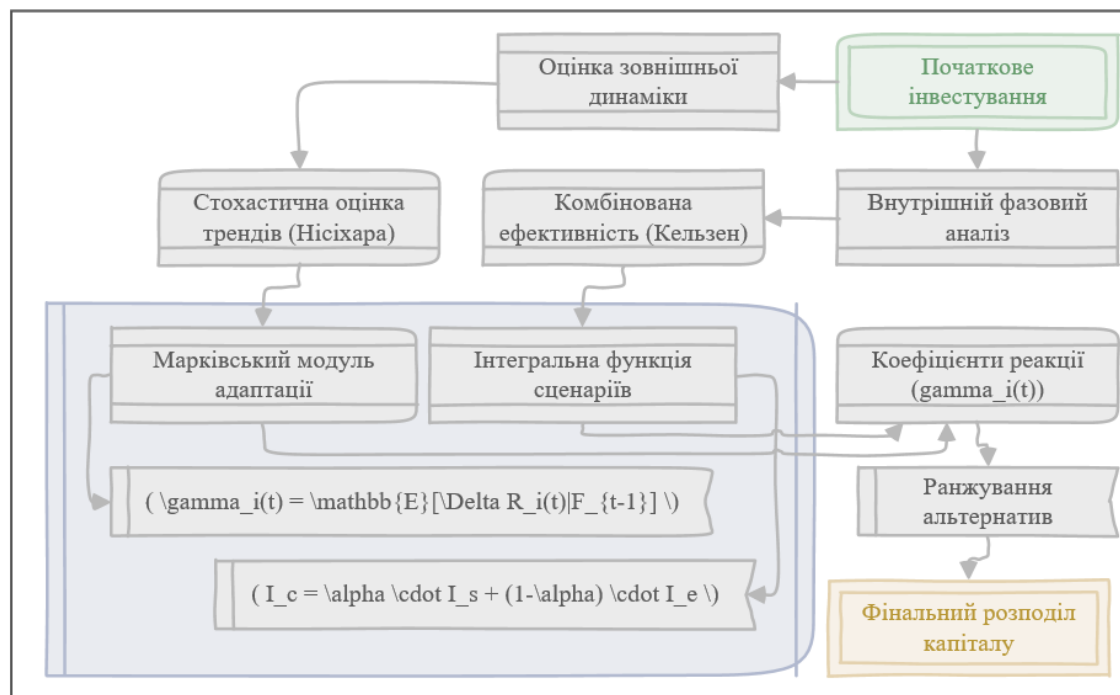


Рис. 2.7. Архітектура адаптивного алгоритму перепризначення інвестицій в умовах динамічних зовнішніх змін (розроблено автором на основі [63])

У свою чергу, Матіас Кройцфельд запропонував застосування нечітких множин до проблеми інвестиційного розподілу в умовах неповноти інформації. Його модель дозволяє через функцію належності оцінити ймовірність досягнення ефекту за заданого набору умов. На відміну від класичних моделей, де критерії жорстко фіксовані, у підході Кройцфельда використовуються гнучкі змінні, які дозволяють симулювати поведінку інвестора в умовах недостатньої детермінації. Завдяки цьому модель показує вищу стабільність на ранніх етапах проєктів, де визначеність індикаторів є низькою [67].

Саме в поєднанні підходів Сінгх і Кройцфельда формалізуються ключові математичні механізми розрахунку адаптивності систем інвестиційного розподілу, які представлені нижче. Стохастичний коефіцієнт реакції Нісіхари:

$$\gamma_i(t) = E[\Delta R_i(t) | F_{t-1}] = \int_{\Omega} \Delta R_i(t, \omega) \cdot P(d\omega | F_{t-1}) , \quad (2.14)$$

де $\Delta R_i(t)$ — зміна прибутковості для i -ї альтернативи, а F_{t-1} — фільтрація історичних даних до моменту t . Формула реалізує реактивність моделі до зовнішніх коливань. Комбінований індекс ефективності Кельзен:

$$I_c = \alpha \cdot I_s + (1 - \alpha) \cdot I_e , \quad (2.15)$$

де I_s — статистична ефективність, I_e — експертна оцінка, $\alpha \in [0,1]$ — коефіцієнт довіри до об'єктивних даних. Це дозволяє адаптувати розподіл залежно від фази проєкту. Інтегральна функція інвестиційної ємності Сінгх:

$$C^*(t) = \int_0^t \frac{K(\tau)}{1+\lambda \cdot \delta(\tau)} d\tau, \quad (2.16)$$

де $K(\tau)$ — інтенсивність капітального навантаження, $\delta(\tau)$ — похідна ризику, λ — коефіцієнт інерції. Модель дозволяє визначити критичний обсяг інвестиційного тиску.

Отже, застосування вищенаведених формул і моделей демонструє, що сучасне алгоритмічне управління інвестиційним розподілом вимагає системної інтеграції не тільки економічних, а й стохастичних, поведінкових та експертно-контекстуальних чинників. Замість одновимірної оптимізації за прибутком ми спостерігаємо перехід до багатовимірної реактивної структури, де вагомими стають гнучкість, прогнозування та адаптивність.

Таким чином, роботи Нісіхари, Кельзен, Сінгх і Кройцфельда закладають основу для побудови комплексних інвестиційних моделей, здатних реагувати на динаміку середовища не як на зовнішній тиск, а як на змінну, інтегровану в логіку прийняття рішень. Ці моделі здатні не тільки забезпечити ефективний розподіл капіталу, а й сформувавши основу для самонавчальної інфраструктури інвестування, що є ключовим вектором для сучасної девелоперської аналітики.

У сучасній теорії алгоритмізації інвестиційного розподілу особливої глибини набувають моделі, що поєднують факторну детермінацію та інформаційно-ризикову корекцію.

Зокрема, Грегорі Сінделар запропонував модель багат шарового інвестиційного розщеплення, у якій капітал не розглядається як статичний пул, а як реактивна система, що одночасно взаємодіє з декількома класами критеріїв. Його модель структурується у вигляді мережевої каскадної платформи, де на кожному рівні відбувається "відсіви" неефективних сценаріїв шляхом алгоритмічного контекстного аналізу. Особливістю підходу Сінделара є поділ критеріїв не лише за типом (економічні, регуляторні, часові), а й за ступенем інформаційного перекриття між ними. У його підході важливу роль відіграє принцип розділеної стохастичної фільтрації, де кожен критерій фільтрується окремо, а потім об'єднується у зважену логіко-механічну модель [132].

Іншим важливим дослідником є Анніка Рольфс, яка розробила фреймворк адаптивного інвестиційного відсікання за сценарними енергіями. Її підхід виходить із припущення, що кожен сценарій має власну потенційну енергію реалізації, яка зменшується або зростає під впливом внутрішньої інерції, ресурсного конфлікту та кореляційного опору.

У моделі Рольфс застосовуються блоки сценарної еволюції, кожен із яких оцінюється через функціонал потенційної переваги, а потім вводиться у матрицю сценарної динаміки. Цей підхід дозволяє визначати не тільки ефективність сценарію, а й вірогідність його реалізації в умовах інформаційної неповноти [119].

Ці підходи поєднують принцип багат шарового й ситуаційного мислення, в якому інвестиційне рішення не є реакцією на один домінуючий фактор, а результатом багат факторного балансування на основі змінного середовища. Замість фіксованої логіки «оптимального вибору», тут реалізується механізм еволюційного налаштування портфеля, де моделі мають властивість самокорекції через взаємну адаптацію сценаріїв.

Це наближає сучасне інвестування до поведінкової інженерії, де ймовірність і сумісність критеріїв мають не менше значення, ніж їх індивідуальна результативність.

На основі концепцій Сінделара та Рольфс побудовано складну схему — схема на рисунку 2.8, яка демонструє механізм структурного розщеплення та фільтрації інвестиційних

альтернатив із урахуванням енергетики сценаріїв, ризикового перекриття та динамічного оновлення прогнозної основи.

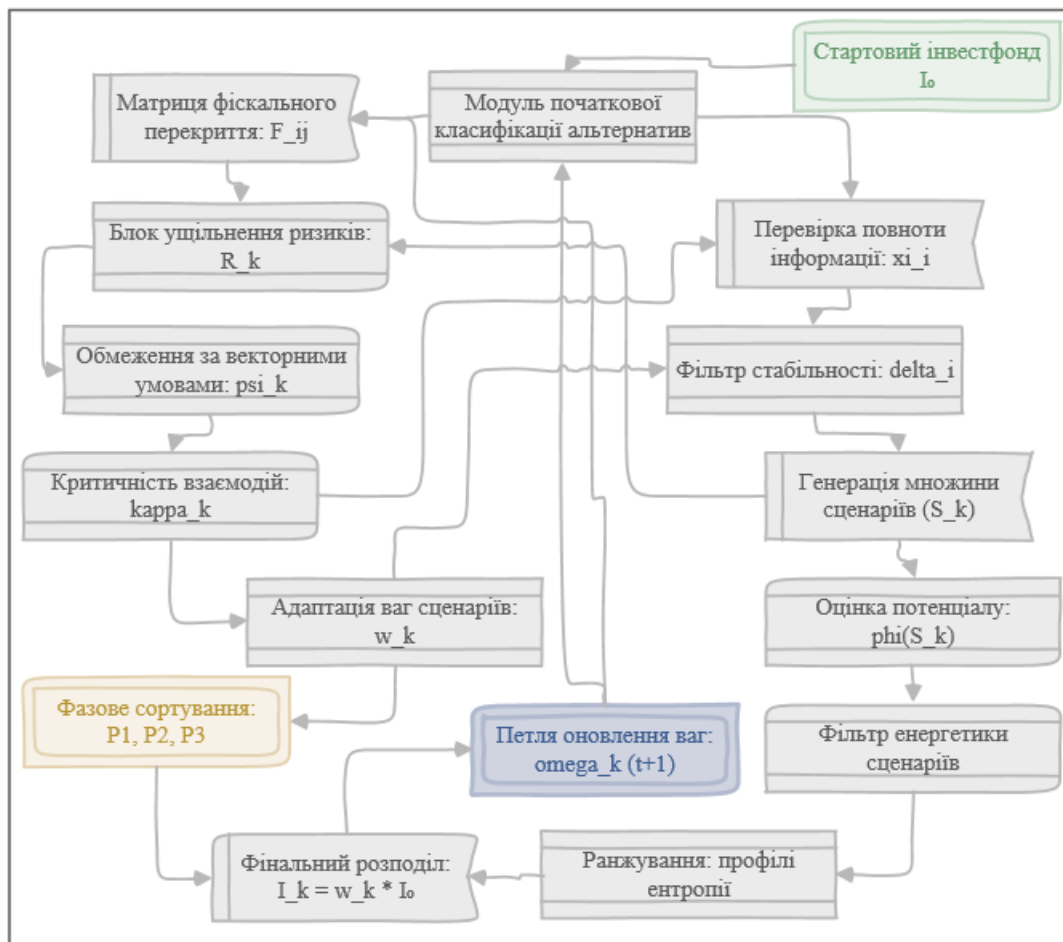


Рис. 2.8. Мережево-фільтраційна модель інвестиційного розщеплення з адаптивною сценарною енергетикою
(розроблено автором на основі [119])

Розширення дослідження в цьому напрямі передбачає також уточнення взаємозв'язків між рівнем сценарної детермінованості та глибиною реакції системи на зовнішні дестабілізуючі чинники. Саме ця ідея була покладена в основу об'єднаної моделі, де типові сценарії аналізуються не ізольовано, а у взаємозалежному контексті – як мережа реактивних кластерів. Тесслер аналізуючи перехідні стани в інвестиційних траєкторіях, довів, що фазова активність має не лінійний, а пороговий характер: щойно інерція перевищує критичне значення, система переходить до «відсічення» ризикових сценаріїв, навіть якщо їхня початкова енергія була високою. У свою чергу, Квіт, як підкреслюється в [69], вказує на ефект накопичення ентропійного навантаження, що викривлює реальні сигнали ефективності, знижуючи надійність традиційних показників. Її модель враховує цей ефект через спеціальний поправочний коефіцієнт, який вводиться у ваговий розподіл. Така інтеграція дозволяє отримати розгорнуту типологію сценаріїв із високою прогностичною точністю, що і стало основою для таблиці 2.4, яка подає ці сценарії як динамічні класи з урахуванням багатовимірного ризику, інерційності та інформаційної спотвореності.

Таблиця 2.4. Типологія інвестиційних сценаріїв за енергетикою, ризиком та поведінковим індексом
(розроблено автором на основі [69])

Сценарій	$E(S_i)$	R_k	Інерція δ	Ентропія η	Тип реакції	Рівень реалізації	Рекомендований обсяг
S₁ — базовий	0.82	0.14	0.12	0.09	Низькоризиковий	Високий	20–25%
S₂ — трендовий	0.74	0.19	0.21	0.11	Сталий	Високий	15–18%
S₃ — латентний	0.66	0.25	0.34	0.18	Затухаючий	Середній	10–12%
S₄ — реактивний	0.58	0.33	0.39	0.27	Нестабільний	Середній	7–9%
S₅ — колапсний	0.42	0.51	0.55	0.41	Високонебезпечний	Низький	4–6%
S₆ — псевдоактивний	0.49	0.38	0.47	0.35	Асиметричний	Сумнівний	6–8%
S₇ — турбулентний	0.31	0.68	0.61	0.52	Хаотичний	Дуже низький	≤3%

Моделі Сінделара та Рольфс створюють ефективний інструментарій для побудови інвестиційних алгоритмів, де класична оптимізація замінюється сценарною енергетикою, критеріальним розщепленням та ризиковою синергією. Складність структурної логіки не знижує керованості, а навпаки — підвищує точність прогнозу реакції на складні зовнішні виклики.

Ключовим викликом сучасних алгоритмів інвестування є не лише багатокритеріальність, а й суперечність між рівнями прийняття рішень. Цю проблему дослідила Сюзанна Торнтон [152], запропонувавши модель ієрархічної оптимізації ресурсів з механізмом міжрівневої координації. У її підході кожен рівень — стратегічний, тактичний, оперативний — має власні вектори цілей, які не завжди узгоджені. Замість жорсткої уніфікації Торнтон вводить алгоритм сценарного компромісу, де кожна ціль є локально доміантною лише за визначених обмежень. У результаті формується мережева структура цілей з функціональними вагами, чутливістю до змін і обмеженим радіусом впливу.

Це означає, що стратегічний пріоритет (наприклад, максимізація макроефекту) може бути переорієнтований на локальний рівень у разі тактичних обмежень — дефіциту ресурсів, персоналу чи логістичної інерції. Замість глобального перерахунку параметрів система активує локальні сценарії адаптації, які визначають пріоритет у межах окремих підсистем. Так формується матрично-мережева система розподілу, в якій рішення — не максимум ефективності, а баланс векторів структурного тиску.

Ця логіка описується аналітичною функцією цільової збалансованості, наведеною нижче:

$$\min\{\sum_{i=1}^n |F_i^{(g)} - \sum_{j=1}^m a_{ij} F_j^{(l)} \cdot \omega_i\}, \quad (2.17)$$

де $F_i^{(g)}$ — глобальна функція на i -му рівні, $F_j^{(l)}$ — локальна функція j -ої підсистеми, a_{ij} — матриця структурної чутливості між рівнями, ω_i — вага глобального критерію. Функція мінімізує сумарне відхилення між локальними та глобальними функціями, з урахуванням їхньої взаємної пріоритетності. Важливо, що саме матриця a_{ij} є не константною, а функцією динаміки контексту, що дозволяє кожному рівню впливати на інший залежно від сценарної напруги. Далі, ця функція перетікає у більш адаптивну, яка вже враховує не лише абсолютне відхилення між рівнями, а й енергію компенсації, необхідну для досягнення компромісу. Торнтон формалізувала її як:

$$\min\{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta_k^2}{\eta_k + \lambda_k}\right) \cdot \lambda_k\}, \quad (2.18)$$

де Δ_k — амплітуда конфлікту між пріоритетами на k -му етапі сценарного компромісу, η_k — енергія контекстуального спротиву, γ_k — допустимий поріг компромісу, λ_k — вага поточного сценарію. Таким чином, якщо перша формула відповідає за просторове узгодження цілей, то друга — за енергетичну вартість тимчасового переформатування системи.

Взаємодія цих підходів дозволяє сформувати динамічну, рефлексивну модель розподілу інвестиційних ресурсів, у якій критерії не фіксуються, а набувають контекстної ваги. Такий підхід радикально відрізняється від класичних систем лінійного програмування і є ближчим до когнітивних моделей поведінки в умовах багатозарової економіки.

2.3 Системне стратегічне узгодження інвестицій через інтеграцію OKR, BSC та інструментів пріоритетизації доцільності

Сучасне управління стратегічними інвестиціями дедалі більше тяжіє до потреби в єдиній платформі цілепокладання, що поєднує як кількісні індикатори ефективності, так і нефінансові стратегічні орієнтири. В умовах високої невизначеності ринкових умов, зростання інвестиційної конкуренції та нестабільності економічних циклів потреба в скоординованому управлінні ціннісними потоками посилюється. Саме в цьому контексті набуває ваги інтеграція систем Objectives and Key Results (OKR) та Balanced Scorecard (BSC), які спільно створюють рамку для стратегічного узгодження пріоритетів, контролю за результатами і розміщення інвестицій у найбільш релевантні ініціативи.

На концептуальному рівні обидві системи мають суттєві відмінності, але потенційно доповнюють одна одну. Якщо BSC, запропонована Робертом Капланом і Девідом Нортоном, фокусується на збалансованості між чотирма вимірами – фінансами, клієнтами, внутрішніми процесами та навчанням/зростанням, – то OKR, яку популяризував Джон Дорр, надає гнучкіший, адаптивніший формат постановки та досягнення цілей через формулу «мета + ключові результати». У процесі їх об'єднання формується можливість не лише створити узгоджені стратегічні рамки, а й забезпечити вимірюваність, прозорість і контроль за інвестиційною доцільністю ініціатив [151].

У практиці стратегічного менеджменту дедалі частіше застосовуються гібридні моделі, де цілі встановлюються за допомогою OKR, а оцінка результативності інтегрується у структуру стратегічної карти BSC. Такий підхід дозволяє будувати каскадні цілі — від

корпоративного рівня до індивідуального — та синхронізувати інвестиції у проекти з критично важливими напрямками розвитку компанії. Особливо це актуально у сферах девелопменту, логістики, фінансового інжинірингу, де необхідна швидка адаптація до змін, але при цьому не можна втрачати стратегічну лінію.

В основі інтеграції OKR і BSC лежить принцип інтероперабельності стратегічних цілей. Кожен ключовий результат з OKR може бути співвіднесений із відповідним індикатором BSC, що дозволяє перетворити суб'єктивні цілі на об'єктивно вимірювані метрики. Наприклад, мета «покращити ефективність інвестиційного портфеля» може супроводжуватись KRs у вигляді: (1) досягти ROI не менше 12%, (2) скоротити тривалість циклу затвердження проектів на 30%, (3) підвищити частку стратегічних проектів у портфелі до 60%. Ці KRs, у свою чергу, можуть бути пов'язані з показниками внутрішніх процесів або фінансової перспективи в структурі BSC, що забезпечує подвійний контроль — і за динамікою досягнення, і за впливом на загальну бізнес-архітектуру [308].

У цьому контексті варто ввести функцію узгодженості між BSC і OKR, формулу 2.19, яка описує ступінь відповідності цілей і результатів стратегічним картам:

$$B_{\text{BSC-OKR}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} m_i \times \delta(\text{KR}_i \rightarrow \text{RKL}_b)}{\sum_{i=1}^{n-1} m_i}, \quad (2.19)$$

де $B_{\text{BSC-OKR}}$ — коефіцієнт стратегічної узгодженості, b_i — вага i -го ключового результату, $\delta(\text{KR}_i \rightarrow \text{RKL}_b)$ — бінарна функція наявності зв'язку між ключовим результатом OKR і відповідним індикатором BSC. Ця формула дозволяє розрахувати індекс інтеграції, який можна використовувати для ранжування проектів або команд за ступенем залученості в стратегію.

Важливо наголосити, що системна інтеграція потребує й організаційної трансформації. Якщо в класичних підходах стратегічне планування здійснюється централізовано, то в контексті об'єднання OKR/BSC відбувається перехід до декомпозиційної моделі, де кожен підрозділ або команда має свою підсистему OKR, що підтримує глобальну BSC-структуру. Це створює вертикаль узгоджених орієнтирів і горизонталь взаємопов'язаних метрик, що стимулює синергію між командами, функціональну адаптивність і стратегічну фокусованість.

Перевагою поєднання BSC і OKR є також формування інструменту для оцінки відхилень у реалізації стратегічних програм. Завдяки KPI-аналітиці BSC можна виявити, де саме порушено динаміку, а за допомогою системи KRs — ідентифікувати точкові причини. Це підсилює ефективність стратегічного контролю, дозволяє оперативно реагувати на зниження ефективності й коригувати інвестиційні потоки відповідно до пріоритетів. У результаті виникає циклічна петля: ціль – результат – стратегічна карта – зворотний вплив на ціль, яка працює як механізм безперервного стратегічного оновлення.

На цьому етапі доречно описати модель розміщення інвестицій у стратегічні ініціативи на основі інтегрованих OKR/BSC-метрик. Така модель враховує як інтенсивність досягнення ключових результатів, так і індекс стратегічного впливу, що дозволяє будувати оптимальні портфелі інвестицій. Формально це можна представити як формулу 2.22:

$$T_b = \sum_{a=1}^n \left(\frac{RN_{ab} \times H_{ab}}{D_b + \gamma \times N_b} \right), \quad (2.20)$$

де T_b — інвестиційна доцільність ініціативи b , RN_{ab} — ступінь досягнення a -го ключового результату в межах ініціативи b , H_{ab} — індекс стратегічного впливу, D_b — вартість проєкту, N_b — ризик, γ — коефіцієнт ризикового впливу.

Ця формула демонструє зв'язок між стратегічними індикаторами та інвестиційною логікою, дозволяє створювати механізми автоматизованої пріоритизації, що особливо важливо в складних проєктних середовищах з великою кількістю ініціатив, обмеженими ресурсами й високим рівнем конкуренції.

Наведений рисунок 2.9 відображає узагальнену логіку реагування на порушення інвестиційної рівноваги шляхом стратегічного планування та впровадження інтегрованої системи OKR і BSC. Через узгоджене цілепокладання, оцінку ризиків, фазову реалізацію та інституційне забезпечення формується основа для реалізації довгострокових цілей. У центрі моделі — адаптивна взаємодія між стратегічними векторами, етапами відновлення та сценарними механізмами реагування.

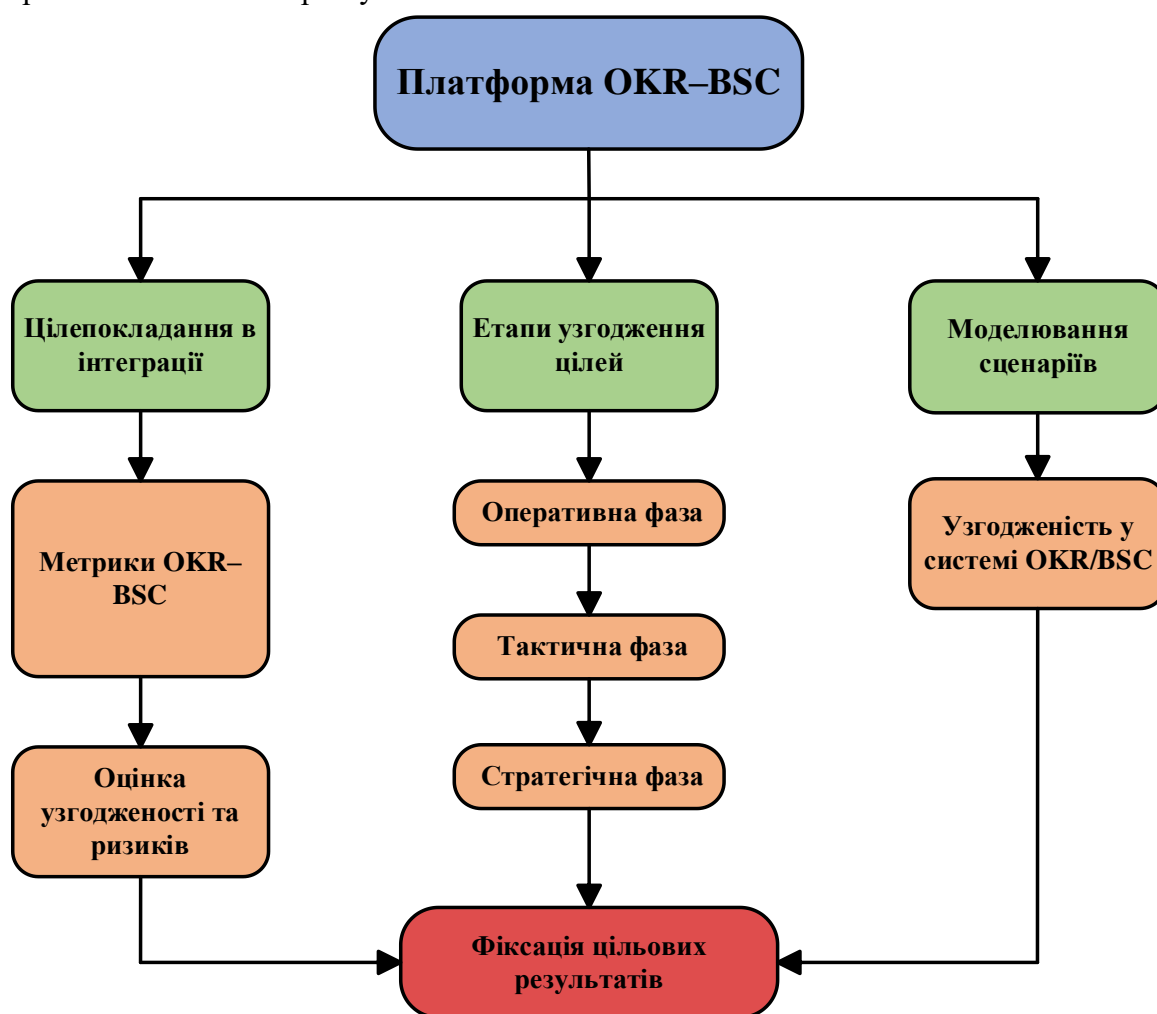


Рис. 2.9. Логіка стратегічного узгодження інвестицій на основі інтеграції OKR та BSC (розроблено автором на основі [179])

Водночас, важливо розуміти, що така інтеграція не є уніфікованою моделлю, придатною для всіх галузей. Вона потребує адаптації до типу бізнесу, розміру організації, структури стратегічного управління та наявних цифрових інструментів. Зокрема, у сфері будівництва і девелопменту важливо враховувати складну багаторівневу ієрархію рішень, специфіку проєктного циклу, довготривалість ROI та вплив зовнішніх факторів. Тут

доцільно адаптувати стратегічну карту BSC із фокусом на час реалізації, ефективність використання ресурсів і соціальну легітимність, а систему OKR — на досягнення проміжних результатів (наприклад, дозвільних документів, договорів, аудитів), що мають важливе значення для подальших етапів.

Враховуючи все вищезазначене, можна говорити про формування метамоделі стратегічного узгодження, у якій цілі, результати, індикатори, ризики та інвестиції інтегруються в єдине стратегічне полотно. Саме така модель здатна забезпечити адаптивну гнучкість, стратегічну узгодженість і операційну ефективність у середовищах, де змінюються не лише зовнішні умови, а й сама логіка ціннісного створення.

Утворення інтегрованої стратегічної моделі на основі OKR і BSC створює міцний фундамент для формування не лише стратегічного бачення, а й прикладної системи управління інвестиційною активністю. На цьому фундаменті наступним кроком стає побудова формалізованих алгоритмів пріоритетизації, які дозволяють оцінювати й розподіляти інвестиційні потоки відповідно до стратегічної значущості та реального потенціалу ініціатив.

Система пріоритетизації інвестицій є не просто допоміжним етапом у плануванні проектного портфеля, а критично важливим ядром прийняття рішень у стратегії організації. В умовах багатоваріантності можливих ініціатив, обмеженості ресурсів і зростання інституційного ризику важливо не лише фіксувати мету, а й алгоритмічно визначати, які саме дії є пріоритетними, виходячи з очікуваної стратегічної ефективності. Інтеграція фреймворків Objectives and Key Results (OKR) та Balanced Scorecard (BSC) відкриває нові можливості для формалізованої аналітики, де пріоритетність інвестицій розглядається як динамічна функція, залежна від ступеня узгодженості з цілями, значущості результатів і можливих сценаріїв впливу [179].

Визначення пріоритету проєкту відбувається не ізольовано, а в контексті цілої системи стратегічних цілей та ключових результатів, які відображають бачення організації. Саме тому сучасне моделювання має включати розширені підходи до оцінки «цінності» проєкту, в яких поєднуються якісні й кількісні індикатори, як це реалізується в BSC, і цілеспрямована метрика досягнення, характерна для OKR. Основне завдання полягає в тому, щоб трансформувати змістовну частину стратегічної мети у числову систему координат, придатну для розрахунку порівняльної доцільності.

Серед ключових труднощів, які виникають на етапі пріоритетизації, варто виокремити суперечність між фінансовою рентабельністю і стратегічною цінністю. Часто проєкти з нижчими фінансовими показниками можуть мати більший системний ефект у довгостроковій перспективі. Відтак, класичні моделі типу NPV чи ROI, хоч і залишаються важливими, не є достатніми у стратегічному моделюванні. Тут доцільно застосовувати індекс збалансованого пріоритету (IBP), який інтегрує індикатори з різних площин BSC і KRs з OKR.

У математичному представленні цей індекс може бути заданий як формула:

$$IBP_b = \frac{\sum_{a=1}^n (N_{ab} \times V_a)}{Y_b + \alpha \times K_b}, \quad (2.21)$$

де: IBP_b — інтегрований індекс пріоритету для проєкту b , N_{ab} — значення досягнення a -го ключового результату для проєкту b , V_a — ваговий коефіцієнт значущості цілі, Y_b — вартість проєкту, K_b — агрегований ризик реалізації, α — коефіцієнт чутливості до ризику.

Формула дозволяє визначити ієрархію проєктів не лише за абсолютною ефективністю, а й за стратегічною значущістю, що особливо важливо для інноваційних, інфраструктурних та ESG-орієнтованих ініціатив. У разі потреби підвищеної деталізації доцільно розширити формулу за рахунок сценарних модифікаторів або інтегрувати елементи мультикритеріального аналізу (АНР, PROMETHEE, TOPSIS).

На наступному рівні інтеграції формується так звана стратегічна пріоритетна карта, яка являє собою матрицю, де в осях відображаються критичні KRs (з OKR), а у клітинках — ступінь узгодженості з відповідними KPI зі стратегічної карти (BSC). Це дозволяє виявити сильні й слабкі місця, тобто ділянки, де інвестиції дають найбільший приріст результату, та навпаки — де ресурси витрачаються неефективно. Така матриця може бути основою для автоматизованого генератора сценаріїв, який за допомогою алгоритмів оптимізації (наприклад, генетичних алгоритмів чи машинного навчання) формує найефективнішу комбінацію пріоритетів у межах заданого бюджету.

Особливої уваги заслуговує індекс пріоритетної релевантності (JP), який у контексті ризикових умов дає змогу побудувати симуляційну модель на основі факторів впливу, що перешкоджають реалізації цілей. Така модель враховує не лише внутрішню логіку компанії, а й зовнішні загрози, які модифікують доцільність інвестицій у часі. Формально можна використати формулу 2.22:

$$JP_b = IBP_b \div (1 - \delta_b), \quad (2.22)$$

де δ_b — зниження ефективності проєкту через зовнішні фактори (економіка, регуляція, політичні ризики), виражене як відсоток. Таким чином, навіть високопріоритетні ініціативи можуть отримати нижчий рейтинг у період турбулентності, що відображає реальну адаптивну логіку прийняття рішень.

На практиці така система може бути реалізована у вигляді цифрового дашборду пріоритезації, де в реальному часі здійснюється оновлення значень KRс, KPI та IBP/PR-метрик. Це дозволяє не лише формувати інтерактивні сценарії, а й автоматизувати частину рішень шляхом інтелектуального аналізу даних. Прикладом такої реалізації є впровадження платформ SAP Strategy Management, Microsoft Power Platform чи Oracle EPM, які дозволяють зчитувати стратегічні карти, формувати цілі, прив'язувати результати та контролювати інвестиційні потоки.

У структурі системного пріоритезаційного модуля важливо передбачити й адаптивний зворотний зв'язок, де за результатами спостережень формуються нові параметри ваг, пріоритетів, ризиків. У цьому разі можна застосувати формулу, механізм рекурсивної корекції моделей, що забезпечує їх самонавчання на основі результатів попередніх ітерацій:

$$V_a^{(t+1)} = V_a^{(t)} + \varepsilon \times \left(\frac{dS}{dL_a} \right), \quad (2.22)$$

де: $V_a^{(t)}$ — вага a -го фактора на ітерації t , ε — швидкість навчання, $\frac{dS}{dL_a}$ — похідна втрати системи за вагою, що відображає зміщення ефективності.

Ця формула наближає модель до механізмів штучного інтелекту, що є особливо актуальним для складних портфелів інвестицій із багатьма змінними, затяжними циклами реалізації та значною невизначеністю середовища.

Завдяки описаному алгоритмічному підходу стратегічне планування та розміщення інвестицій набувають як об'єктивності, так і гнучкості, оскільки формуються не через інтуїтивне уявлення про доцільність, а на основі математичних оцінок, симуляцій і реального досягнення ключових результатів. Це дає змогу зменшити ризики стратегічного відхилення, мінімізувати втрати, посилити зв'язок між операційними та управлінськими рівнями компанії [272].

На рисунку 2.10 відображено зміну інтегрованого індексу пріоритету (ІВР), його корекцію з урахуванням зовнішніх ризиків (JP), а також динаміку вагових коефіцієнтів стратегічних факторів ($V_a(t)$) на різних етапах ітераційного планування. Взаємозв'язок між цими кривими демонструє, як адаптивне моделювання враховує не лише внутрішню значущість проєкту, а й ризики середовища та ефект навчання системи. Такий підхід дозволяє ефективно керувати портфелем ініціатив в умовах обмежених ресурсів і зростаючої невизначеності.

Таким чином, алгоритмічне моделювання пріоритетизації стає центральним елементом стратегічної інфраструктури. Воно забезпечує не лише контроль, а й розвиток: створюючи аналітичну основу для масштабування проєктів, адаптації цілей, гнучкого реагування на зміни й реалізації довгострокових стратегічних переваг. Побудова аналітичної системи пріоритетизації на основі інтеграції OKR і BSC забезпечує гнучку, але структуровану логіку ухвалення інвестиційних рішень. Проте для повноцінного функціонування цієї моделі необхідна відповідна цифрова інфраструктура, яка здатна забезпечити оперативність, адаптивність і безперервний зворотний зв'язок на всіх рівнях управління.

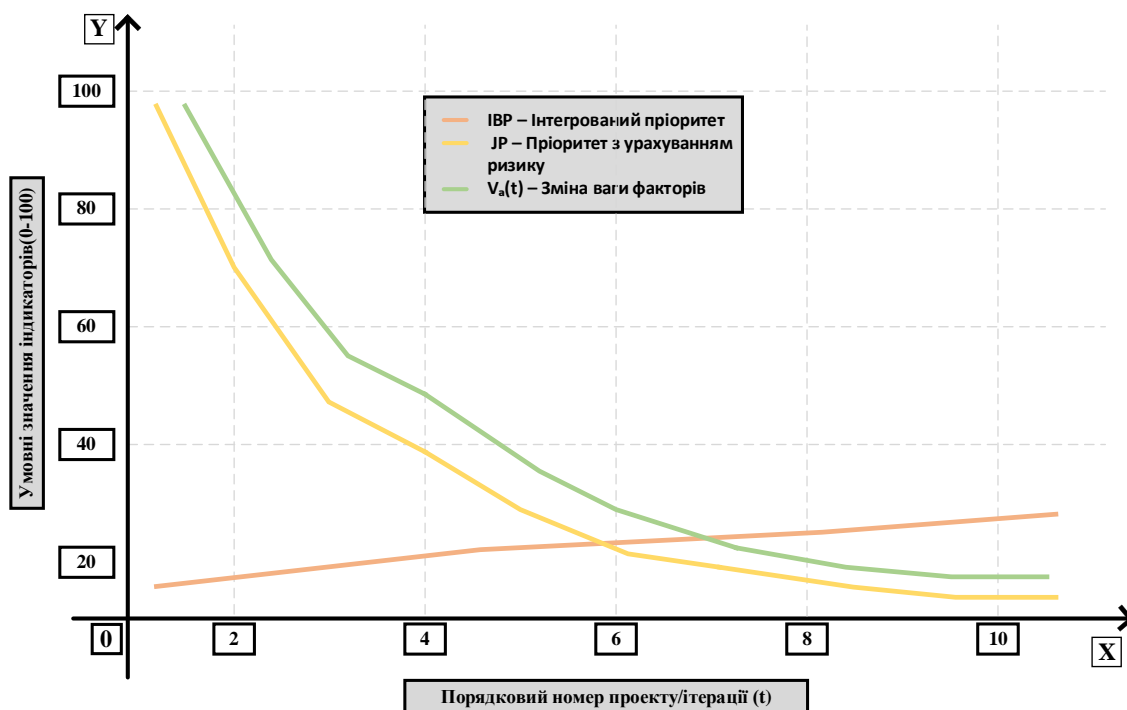


Рис. 2.10 Динаміка індикаторів у системі стратегічної пріоритетизації (розроблено автором на основі [272])

У процесі формування сучасних стратегічних рішень особливу вагу набуває не лише визначення цілей чи пріоритетів, а й створення цифрового середовища, здатного

підтримувати цикл прийняття інвестиційних рішень у реальному часі. На перетині стратегічного менеджменту та цифрових технологій виникає необхідність в інтеграції інструментів управління ефективністю, які не лише відображають стан досягнення цілей, а й активно впливають на механізми алокації капіталу, управління ризиком, портфельного балансування та симуляційного моделювання. У цьому контексті поєднання Balanced Scorecard (BSC), Objectives and Key Results (OKR) та систем моніторингу ефективності в цифрових екосистемах створює новий рівень стратегічної свідомості компанії — рівень, у якому цілі не існують автономно, а живуть у цифровому середовищі, здатному реагувати на зміни.

Початковою умовою такої інтеграції є формування структурованого шару даних, у якому кожна стратегічна ціль пов'язується з відповідними індикаторами, часовими рамками, ключовими результатами та сценаріями досягнення. Цифрова трансформація дозволяє зафіксувати ці зв'язки у формі стратегічної онтології, де об'єкти типу «мета», «результат», «індикатор», «інвестиція», «ризик», «вплив» є взаємопов'язаними сутностями. Стратегічні карти BSC трансформуються у багатовимірні масиви даних, які можуть бути оброблені засобами ВІ-аналітики, а OKR-цілі — у формати оперативного моніторингу у вигляді таблиць, діаграм, теплових карт, візуалізованих у цифрових дашбордах [272].

Цифрове середовище створює умови для безперервного зворотного зв'язку, у якому досягнення однієї мети одразу змінює пріоритетність іншої або модифікує розподіл ресурсів. Така динамічність потребує математичних моделей, здатних поєднувати аналітичні й адаптивні компоненти. Однією з таких моделей є матричний модуль управління стратегічною ефективністю. формула 2.23, в якому відбувається інтеграція значень KPI та KRs для кожного напрямку інвестицій:

$$T_{ab} = \frac{KPI_{ab} \times \sigma_1 + KR_{ab} \times \sigma_2}{1 + \omega_{ab}}, \quad (2.23)$$

де: T_{ab} — ефективність напрямку b за стратегічною метою a , KPI_{ab} — значення індикатора BSC, KR_{ab} — рівень досягнення ключового результату OKR, σ_1, σ_2 — вагові коефіцієнти залежно від корпоративної орієнтації, ω_{ab} — ризик зовнішнього впливу або затримки.

Така формула дозволяє об'єднати обидві стратегічні парадигми в одну кількісну систему координат і забезпечити компаративний аналіз ефективності різних стратегічних ініціатив. У цифрових системах типу SAP S/4HANA, Oracle EPM Cloud або IBM Planning Analytics подібні розрахунки здійснюються в автоматизованому режимі з можливістю гнучкої адаптації ваг, ризиків, симуляції сценаріїв.

Важливою складовою цифрового середовища стає механізм автоматичної реакції на відхилення, за яким кожне зниження або перевищення показника від еталону активує певну дію: перерозподіл фінансування, запуск коригуючих заходів, посилення контролю. Ця логіка набуває особливої ваги в галузях із високою капіталоємністю, таких як інфраструктурне будівництво, енергетика, фармацевтика. У таких умовах, завдяки цифровим тригерам, можливо реалізовувати стратегічні петлі впливу, у яких будь-який вплив зовнішнього або внутрішнього середовища одразу змінює конфігурацію системи управління.

Ще одним важливим аспектом є моделювання інвестиційної реактивності — здатності системи перерозподіляти капітал у відповідь на зміну KPI/KRs. Цей процес може бути описаний за допомогою формули, функцією гнучкості інвестиційної системи:

$$C = \frac{dT}{dH} = \frac{\Delta T}{\Delta KPI + \Delta KR}, \quad (2.24)$$

де: C — гнучкість інвестиційної системи, T — обсяг інвестицій, H — комбінація змін індикаторів (KPI та KRs), Δ — зміна відповідних показників.

Високе значення функції C свідчить про надчутливість системи до змін, що може бути як перевагою (оперативність), так і ризиком (нестабільність). Це означає, що цифрові інструменти не лише відображають ситуацію, а формують саму логіку реагування організації, зокрема через вбудовані моделі типу *rule-based triggers*, *fuzzy logic controller*, *neural prioritization*.

Впровадження таких інструментів потребує переосмислення не лише технічної архітектури, а й управлінських ролей. Класичні позиції стратегічного планування трансформуються в аналітичні посади, відповідальні за синтез аналітики й прийняття рішень. Інтерфейс між бізнес-метою і цифровою платформою стає все тіснішим, а сама платформа — не лише інструментом, а й учасником управлінського процесу. Так звані *digital twin* стратегії дозволяють тестувати стратегічні сценарії на цифрових моделях перед їх фактичним втіленням, що радикально знижує ризики дорогих стратегічних помилок.

Одночасно, інтеграція ефективності в цифрове середовище сприяє координованості між рівнями управління — від виконавців до ради директорів. У єдиній аналітичній структурі дані від проєктного менеджера до стратегічного радника оновлюються синхронно, надаючи змогу кожному рівню бачити вплив своїх дій на загальну мету. Особливо важливим це є в розгалужених структурах девелоперських холдингів або міжнародних корпорацій, де пріоритети можуть конфліктувати або змінюватися внаслідок регіональної специфіки.

Завершуючи, варто зазначити, що інтеграція інструментів ефективності в цифрове стратегічне середовище не є лише технічним нововведенням — це зміна парадигми управління. Компанія перестає бути структурою з фіксованими орієнтирами та переходить у фазу стратегічної адаптивності. У цифровому середовищі цілі переглядаються, результати оцінюються в реальному часі, інвестиції перерозподіляються згідно з новими сценаріями, а ефективність стає не результатом, а частиною безперервного процесу [222].

Представлений рисунок 2.11 ілюструє багаторівневу інституційну архітектуру, необхідну для функціонування цифрової системи стратегічної ефективності, заснованої на інтеграції *OKR* і *BSC*. Вона відображає розподіл ролей і відповідальностей між стратегічним, операційним та цифрово-аналітичним рівнями управління. Кожен рівень виконує унікальну функцію в межах цифрового середовища, що забезпечує адаптивне, симуляційне й обґрунтоване управління інвестиційною діяльністю.

Таким чином, цифрова інтеграція *OKR* і *BSC* не лише оптимізує розміщення інвестицій, а й формує підґрунтя для нової моделі управлінської взаємодії. Наступним ключовим кроком у цьому процесі стає побудова системи стратегічного контролю, яка забезпечує зворотний зв'язок, коригування цілей та моніторинг реалізації інвестицій на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Контроль у системі стратегічного управління — це не лише оцінка досягнення запланованих результатів, а й постійний механізм оновлення цілей, ресурсної переорієнтації та уточнення напрямів впливу. У середовищі динамічної конкуренції й ринкових трансформацій компанії мають не лише планувати, а й безперервно відслідковувати результативність інвестицій. Особливої актуальності це набуває в тих випадках, коли

інвестиції є стратегічно обґрунтованими, мають довгостроковий характер і вимагають жорсткого моніторингу від етапу ініціації до етапу повернення капіталу. Саме тут інтеграція OKR (Objectives and Key Results) та BSC (Balanced Scorecard) у механізми стратегічного контролю створює цілісну систему, здатну охопити весь цикл реалізації інвестицій — від постановки мети до операційного відгуку на відхилення.

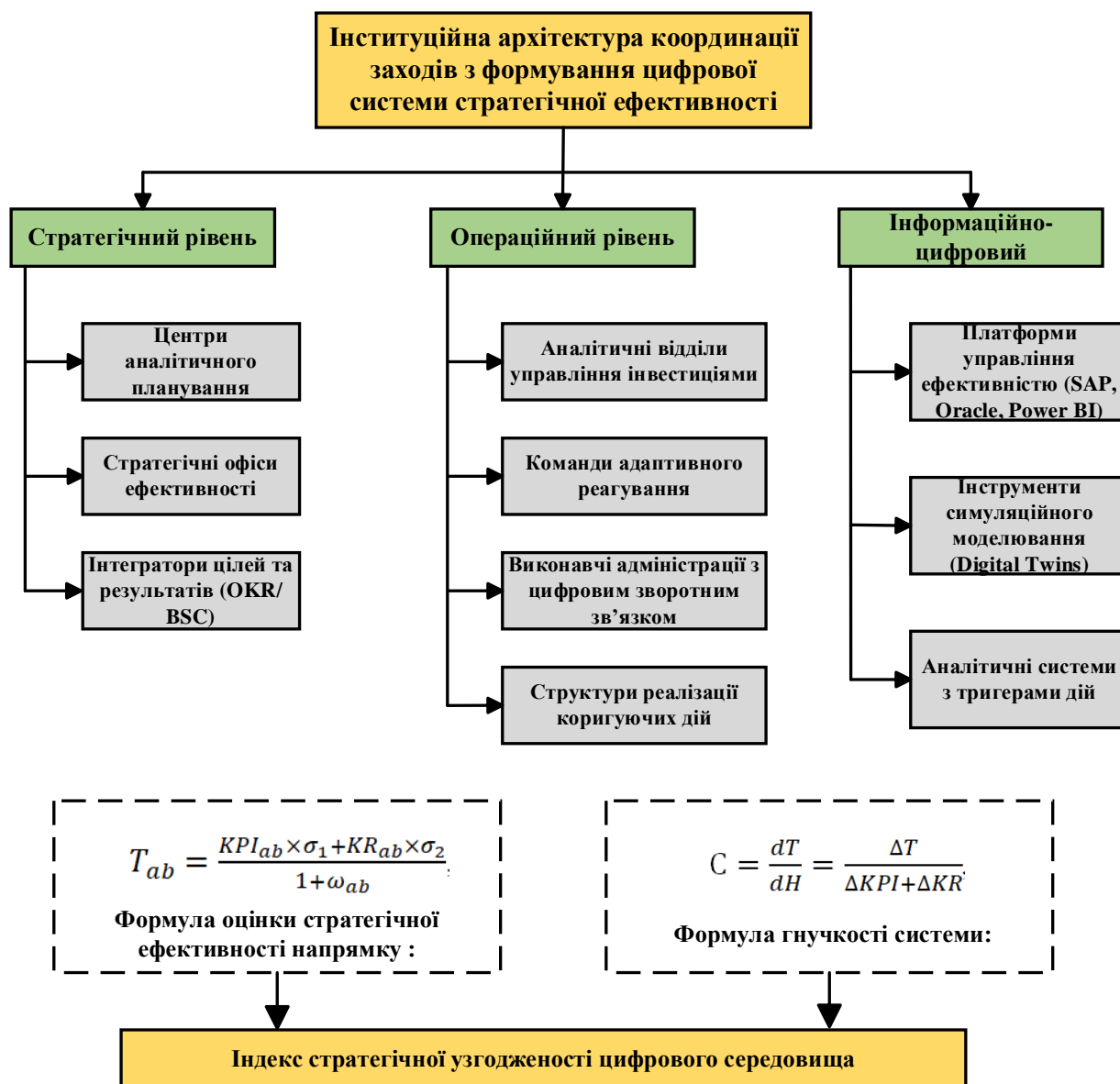


Рис. 2. 11. Інституційна архітектура координації заходів з формування цифрової системи стратегічної ефективності (розроблено автором на основі [222])

Початковим рівнем такої системи виступає побудова індикаторної панелі, в якій кожна інвестиційна ініціатива співвідноситься з відповідною стратегічною ціллю (OKR) та одночасно оцінюється за ключовими параметрами (BSC). Наприклад, інвестиція у впровадження нової ІТ-платформи може мати мету «покращити інтеграцію даних» з KR: зменшити кількість дублювань на 50%, скоротити час доступу до звітів на 30%, забезпечити 90% покриття API-інтеграцій. У свою чергу, ці результати корелюють із внутрішніми процесами (перспектива BSC), які оцінюються за KPI: час генерації аналітичного звіту,

кількість ручних втручань, ступінь повторюваності помилок. У момент, коли система фіксує відхилення, вона не лише сигналізує про проблему, а й дозволяє з'ясувати, чи проблема є частковою, чи вона впливає на досягнення стратегічного KPI.

Такий підхід формує основу інтелектуального контролю, який не обмежується звітністю, а стає інструментом дії. Кожен елемент стратегічної карти BSC або KR-ланцюг OKR має бути не лише вимірюваним, а й підв'язаним до конкретних джерел даних, що автоматизують контроль. Це можуть бути ERP-системи (типу SAP, Oracle NetSuite), CRM-системи (Salesforce, Zoho), цифрові дашборди (Tableau, Power BI) чи хмарні рішення з автоматичним оновленням даних. Завдяки цьому контроль не є більше періодичною операцією — він стає перманентним цифровим станом.

У рамках такого підходу доцільно застосовувати модель стратегічного зважування відхилень, яка дозволяє не лише виявляти факт зниження ефективності, а й оцінити його вплив на загальну систему цілей. Цю модель можна подати як формулу 8, функцію інтегрального впливу:

$$V_{total} = \sum_{a=1}^n (\Delta KPI_a \cdot P_a \cdot \varphi(KR_a)), \quad (2.25)$$

де: V_{total} — загальне стратегічне відхилення, ΔKPI_a — відхилення по a -му індикатору BSC, P_a — ваговий коефіцієнт стратегічної значущості, $\varphi(KR_a)$ — функція впливу досягнення відповідного ключового результату на загальну мету.

Ця модель дозволяє проводити прогнозне моделювання, виявляючи, які конкретно збої в індикаторах потенційно порушують досягнення вищих стратегічних цілей, а які є локальними й можуть бути ігноровані. Саме такий підхід реалізовується у цифрових середовищах стратегічного планування нового покоління (типу QPR Metrics, KPI Fire, Gtmhub).

Наступним рівнем контролю стає система адаптивної ескалації, у якій автоматично визначаються критичні точки впливу. Якщо відхилення перевищує заданий поріг, спрацьовує алгоритм коригування: може бути переглянута вага мети, перерозподілений бюджет або зупинений проєкт. У результаті формується динамічна сітка, в якій кожна мета і кожна інвестиція — не фіксована змінна, а елемент з інерцією, чутливістю й потенціалом до змін.

На цьому фоні виникає потреба в індексі стратегічної чутливості, що дозволяє оцінити наскільки конкретна ініціатива реагує на зміну зовнішнього або внутрішнього контексту. Формалізовано через формулу 9 :

$$A_a = \frac{dK_a}{dM} = \frac{\Delta K_a}{\Delta M}, \quad (2.26)$$

де: A_a — стратегічна чутливість a -ї ініціативи, K_a — вартість або результативність ініціативи, M — зміна в середовищі (регулювання, ринок, ресурси).

Це дозволяє визначити, які саме інвестиції є найбільш вразливими й потребують частішого контролю. Наприклад, стратегія девелопменту в нестабільному муніципальному середовищі матиме вищий рівень SSS, ніж технологічне вдосконалення внутрішніх процесів. Такий підхід дає змогу розподіляти ресурси контролю відповідно до ризикового профілю проєктів [57].

РОЗДІЛ 3. ІНСТРУМЕНТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ В УКРАЇНІ

3.1. Імовірнісна модель результативності інвестицій у промисловість і будівництво

У науковій традиції оцінювання інвестиційної ефективності з позиції імовірнісного підходу закладено глибокі теоретичні та прикладні засади, котрі згодом сформуvalи основу для сучасних стохастичних моделей. Підходи Баумоля, Маккіннона, Каплана, українських учених Гуменюка та Лисенка, демонструють різні вектори осмислення результативності інвестиційних процесів, проте об'єднуються спільним знаменником — розумінням невизначеності як невід'ємної складової інвестиційного середовища. У працях Вільяма Баумоля імовірнісна складова оцінки ефективності інвестицій обґрунтована через парадигму прийняття рішень за умов невизначеності, де майбутні прибутки від інвестицій трактуються як випадкові змінні з притаманною їм дисперсією. У моделі Баумоля імовірнісні очікування інтегруються в цільову функцію інвестора через параметр бажаної мінімізації втрат від невизначеного майбутнього доходу. Підхід Маккіннона, натомість, має більш поліструктурний характер, де ефективність інвестицій розглядається крізь призму багаторівневого банківського впливу, валютної політики та інституційного ризику. Його внесок особливо значущий у побудові ймовірнісних моделей інвестиційного середовища у країнах з перехідною економікою, де системні флуктуації створюють поле високої нестійкості прогнозів. Каплан підсилює аналітичну складову через застосування показника Economic Value Added (EVA), який у подальших розробках адаптується до стохастичного контексту — шляхом включення волатильності грошових потоків та векторів ризикової варіативності [242].

Українська школа, представлена роботами Гуменюка та Лисенка, акцентує на адаптивності моделей результативності до реалій вітчизняної економіки, де нестабільність нормативного поля, девальвація та асиметрія інформації є чинниками, що радикально трансформують класичні підходи. Гуменюк розвиває концепцію стохастичного потенціалу галузі як інтегральної характеристики, що відображає спроможність системи зберігати інвестиційну привабливість в умовах зовнішнього тиску, а Лисенко акцентує на моделюванні порогових сценаріїв, у межах яких визначається гранична межа ефективності інвестиційних проектів на базі імовірнісної функції ризику.

Доцільним є залучення моделей, котрі формально реалізують ідеї стохастичної природи результату. Модель векторної авторегресії (VAR) дозволяє охопити динамічні взаємозв'язки між множиною макроекономічних та галузевих показників, що впливають на інвестиційну ефективність. У цій моделі результативність інвестицій розглядається як багатовимірний часовий ряд, де майбутнє значення одного параметра (наприклад, доходності) є функцією минулих значень усіх включених змінних. VAR-модель враховує взаємну кореляцію між факторами, зокрема капітальними витратами, інфляцією, рівнем зайнятості та темпами росту ВВП. Модель Monte Carlo Simulation, натомість, зосереджується на генерації великої кількості сценаріїв розвитку подій, з урахуванням випадковості параметрів. Кожен сценарій — це можливий шлях динаміки проекту за умови заданих обмежень і ризиків. Підхід дозволяє створити розподіл результатів за показниками NPV, IRR, PI з відповідними ймовірностями, визначити область домінування прийнятних сценаріїв і згенерувати рекомендації щодо допуску до реалізації проекту. Markov Decision Processes

(MDP), своєю чергою, застосовується у випадках, коли інвестиційне середовище змінюється дискретно і залежить від стратегічних рішень. Суть MDP полягає у створенні системи станів імовірнісного переходу, де кожен стан відповідає певному рівню дохідності, ризику, регуляторного навантаження чи технологічного циклу, а рішення — це вибір шляху розвитку інвестиційного проєкту в межах обмеженої інформації [304].

Підґрунтям ефективної роботи кожної з вказаних моделей є чітке визначення її структурних параметрів, без яких вона не може мати аналітичної цінності. Першим з таких параметрів є інвестиційна чутливість, яка визначає зміну очікуваної ефективності при незначній зміні умов — таких як ставка дисконтів, глибина ринку чи валютне регулювання. Параметр зазвичай подається у вигляді часткової похідної результативності по відношенню до кожного із факторів впливу. Фазова адаптивність — другий критичний параметр, що фіксує здатність проєкту адаптуватись до змін зовнішнього середовища на кожному з етапів життєвого циклу. У математичному сенсі вона описується коефіцієнтом трансформації структурної конфігурації проєкту в нових умовах — наприклад, перехід від залучення банківського фінансування до альтернативного. Третім структурним параметром виступає ризиковий мультиплікатор — коефіцієнт, який відображає посилення або згасання ризику при нарощуванні інвестиційного обсягу [215].

Моделі не є самодостатніми — їхня ефективність визначається сукупністю зовнішніх та внутрішніх факторів впливу, котрі формують параметричний каркас моделювання. До першорядних чинників належать галузеві особливості. У промисловості спостерігається більший лаг між інвестицією та віддачею, порівняно з будівництвом, де капітальні вкладення можуть частково окупитися ще до завершення повного циклу проєкту. Означає, що інвестиційна модель для промисловості має враховувати інерційні фактори, а для будівництва — етапну ефективність. Другим фактором виступає тривалість циклу окупності, котра накладає пряме обмеження на застосовувані дисконтувальні підходи. При довгому циклі невизначеність множить, що потребує впровадження додаткових компенсаційних елементів (як штрафні сценарії або штрафна функція у Markov-моделях). Третім вагомим чинником впливу є інфляційний фон — як макроекономічне середовище, що формує базу для переоцінки параметрів доходності. У стохастичних моделях цей чинник може задаватися через зміщення базової функції розподілу ймовірності доходу, що значно змінює ризик-профіль і криву доходності.

Аналіз ключових підходів і моделей у сфері ймовірнісного моделювання ефективності інвестицій дозволяє дійти до висновку, що інтеграція стохастичних елементів є не лише актуальною, а й необхідною умовою розбудови життєздатних інвестиційних стратегій в умовах нестабільного і трансформованого економічного середовища. Її результативність залежить як від вибору відповідної моделі, так і від точності параметризації внутрішніх змінних і врахування зовнішніх факторів [249].

На нижче наведеному рисунку 3.1 відображено модельну структуру, що враховує тип галузі як ключову змінну у формуванні ймовірнісної залежності результативності інвестицій. Модель базується на багатofакторному підході, де галузевий модуль взаємодіє з ризиковим, циклічним та ресурсним блоками у межах єдиного прогностичного середовища.



Рис. 3.1. Модельна структура ймовірнісної залежності ефективності інвестицій від галуzeвих параметрів (розроблено автором на основі [249])

У рамках побудови ймовірнісних моделей ефективності особливу роль відіграє стохастичний аналіз сценаріїв, котрий дозволяє виявити діапазон можливих результатів залежно від рівня ризику. В умовах невизначеності, коли вхідні параметри інвестиційного середовища змінюються випадковим чином, класичні підходи до прогнозування втрачають точність. Методи Monte Carlo або генерація сценаріїв із випадковими збуреннями дозволяють побудувати розподіли очікуваної ефективності — наприклад, значень NPV або IRR — із відображенням їхнього ймовірнісного профілю. На рисунку 3.2, наведеному нижче, показано типовий стохастичний розподіл рівня ефективності інвестицій за умов трьох рівнів ризику: низького, помірного та високого. Кожна крива розподілу демонструє зміщення моди, зміну форми щільності ймовірності та варіативність значень результату. Дозволяє візуалізувати області прийнятної ризику, визначити межі стратегічної терпимості до відхилень і виявити сценарії, що можуть призвести до системних втрат.

Аналіз стохастичної поведінки інвестиційних проєктів у нестабільному економічному середовищі потребує створення адаптивних моделей, здатних змінювати свою конфігурацію залежно від рівня ризику, доступності ресурсів та зміни стратегічних параметрів. Стохастична адаптація моделей ефективності передбачає сценарну зміну станів системи з урахуванням ймовірностей переходу, що вимагає впровадження динамічних механізмів перерахунку результативності на кожному з етапів реалізації. Як зображено на рисунку 3.3, концепція охоплює багаторівневу структуру адаптивних вузлів, які зчитують сигнали ризику з зовнішнього середовища та ініціюють перебудову внутрішніх залежностей. Схема включає модулі вхідного прогнозування, стохастичного сценарного ядра, фазової переоцінки ефективності та модуль вихідного узагальнення, забезпечуючи гнучкість оцінки у реальному часі.

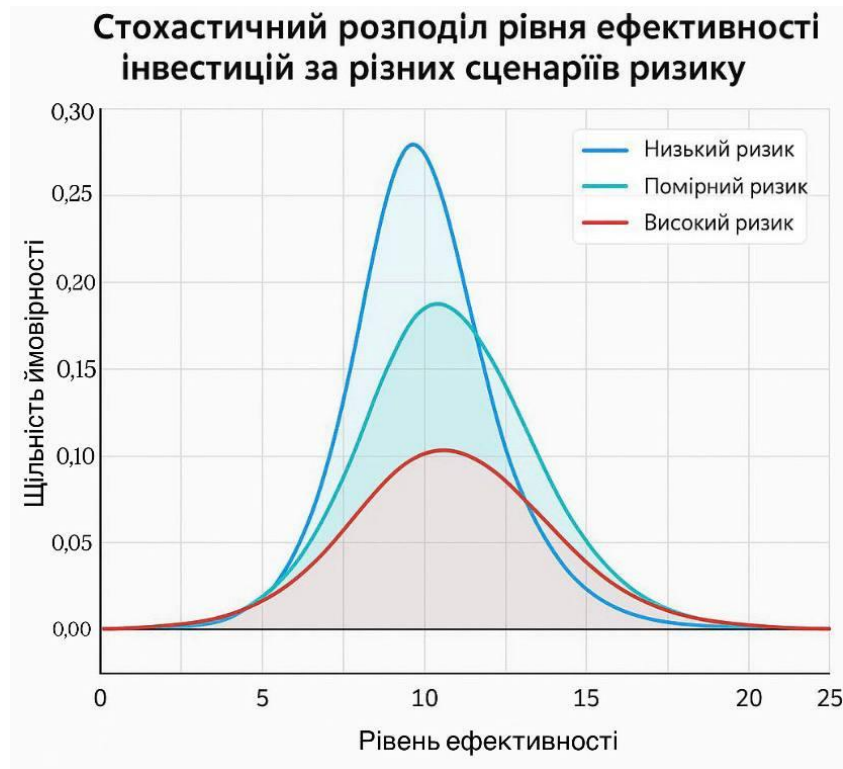


Рис. 3.2. Стохастичний розподіл рівня ефективності інвестицій за різних сценаріїв ризику (розроблено автором на основі [312])



Рис. 3.3. Концепція стохастичної адаптації моделей результативності у промисловості та будівництві (розроблена автором на основі [203])

Порівняльна оцінка інвестиційної динаміки в різних секторах — особливо між промисловістю та будівництвом — вимагає вивчення часової чутливості результативності. Чутливість визначається тим, як швидко інвестиції починають генерувати віддачу, і наскільки стійкою є динаміка до затримок, відтермінувань або фінансових коливань.

Когортний аналіз дозволяє розділити інвестиційні проекти за часовими групами запуску, і таким чином виявити патерни, характерні саме для конкретної галузі. На рисунку 3.4 представлено результати когортного аналізу. Видно, що промислові проекти мають довший лаг перед досягненням піку ефективності, але вищу амплітуду прибутковості, тоді як будівельні демонструють швидший старт, однак меншу довгострокову стабільність. Візуалізація дає змогу приймати стратегічні рішення щодо пріоритетності вкладень в окремі сектори з урахуванням їх часової реакції.

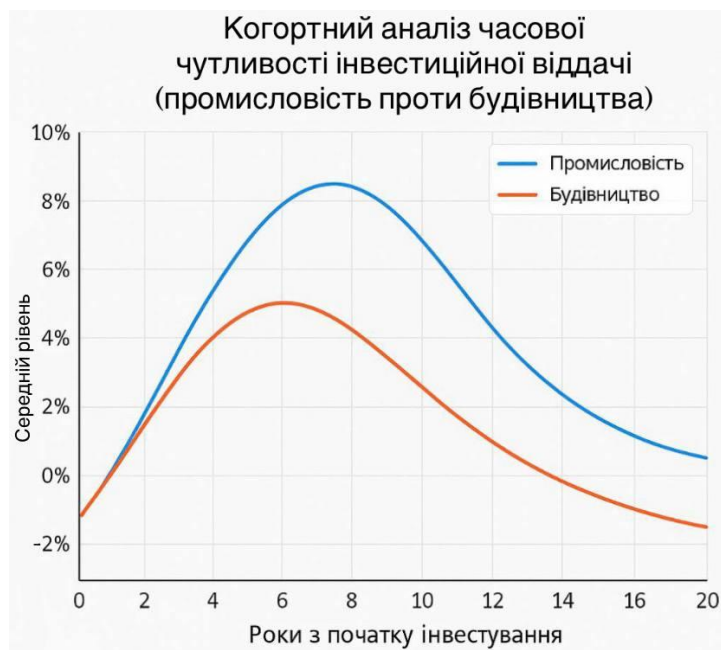


Рис. 3.4. Когортний аналіз часової чутливості інвестиційної віддачі (промисловість проти будівництва) (розроблено автором на основі [226])

Коли система інвестиційного планування розвивається в умовах багатофазної реалізації проекту, особливої ваги набуває необхідність ідентифікації фазових переходів та формалізації їх впливу на загальну ефективність. Фази інвестиційного циклу — ініціація, планування, реалізація, експлуатація — мають різний ступінь ризику і чутливості до зовнішніх змін, що зумовлює потребу в структурованому підході до аналізу трансформаційних сценаріїв. На рисунку 3.5, наведеному нижче, представлено архітектуру моделі, в якій кожна фаза інвестиційного циклу має власний аналітичний блок з параметрами входу, перехідними змінними та модулями прийняття рішень. Структура дозволяє відстежувати вплив зовнішніх змін на фазові результати, оцінювати їх через стохастичні розподіли та розраховувати кумулятивну результативність з урахуванням мультиплікативного ефекту переходів.

У складних економічних системах, де ефективність інвестицій формується під дією багатьох змінних, стає необхідним побудова імовірнісних графів переходів. Графи відображають стани результативності та можливі переходи між ними із певними ймовірностями, що залежать від впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Графова модель дає змогу сформувати карту сценаріїв: кожна вершина — це стан ефективності (наприклад, "низька", "середня", "висока"), а кожне ребро — це потенційний перехід між станами під дією конкретного

чинника, такого як інфляційний сплеск, зміна регуляторного поля, технологічне оновлення або зміна структури капіталу.



Рис. 3.5. Архітектура аналізу фазових переходів у моделі результативності (розроблено автором на основі [258])

На рисунку 3.6, наведеному нижче, зображено приклад імовірнісного графа переходів, який охоплює багатофакторну систему: кожне з ребер має позначення з імовірністю переходу, що дає змогу не лише візуалізувати шляхи розвитку системи, а й кількісно оцінити ризики небажаних сценаріїв. Структура є основою для реалізації моделей типу Markov Decision Process у стратегічному плануванні.

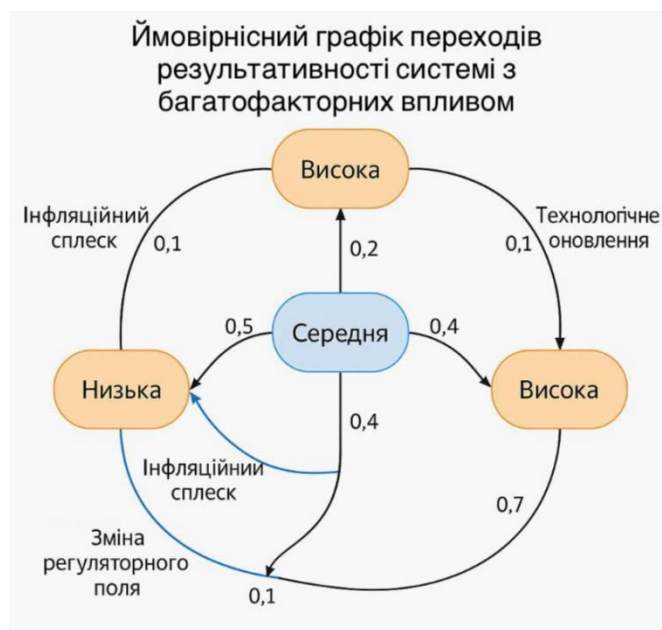


Рис. 3.6. Ймовірнісний графік переходів результативності системи з багатофакторних впливом (розроблено автором на основі [197])

Для розроблення релевантної аналітичної моделі оцінки ефективності інвестування в умовах ризику необхідно створити систематизовану матрицю взаємозв'язків між ключовими параметрами ризику та індикаторами результативності. Підхід дає змогу кількісно оцінити вплив окремих факторів та ідентифікувати структурні закономірності взаємодії ризикових детермінант з показниками успішності інвестицій у різних галузях. Особливої значущості набуває у випадках, коли галузі характеризуються відмінною фазовою чутливістю, циклічністю та рівнем адаптивності до зовнішніх змін. У рамках імовірнісного моделювання доцільно представити взаємозв'язки у формі формалізованої матриці, де рядки відповідають категоріям ризику (фінансовий, часовий, регуляторний, інституційний), а стовпці — типам ефективності (операційна, стратегічна, довгострокова дохідність), із зазначенням коефіцієнтів впливу та логіки впливу, як показано у таблиці 3... Дозволяє встановити рівень чутливості ефективності до зміни ризик-параметрів у контексті галузевої належності та формалізувати ризиковий профіль інвестиційної діяльності.

Таблиця 3.1. Формалізована матриця впливу параметрів ризику на ефективність інвестування за галузями (розроблено автором на основі [204])

<i>Тип ризику</i>	<i>Операційна ефекти-вність</i>	<i>Стратегічна ефекти-вність</i>	<i>Довго-строкова дохідність</i>	<i>Примітки (галузеві уточнення)</i>
<i>Фінансовий</i>	-0,65	-0,45	-0,80	Висока чутливість у будівництві; проми-словість частково амортизує втрати
<i>Часовий</i>	-0,30	-0,50	-0,60	У проми-словості проявля-ється через довгі цикли; у будівництві – через затримки введення
<i>Регуля-торний</i>	-0,25	-0,70	-0,40	Найбільший вплив на стратегічну ефективність у проми-слових проектах
<i>Инсти-туційний</i>	-0,20	-0,35	-0,55	Висока нестійкість інститу-ційних структур знижує

				окупність інвестицій
<i>Техно-логічний</i>	+0,15	+0,60	+0,35	Позитивний вплив за умови іннова-ційного оновлення; сильніший у промисло-вості
<i>Інфляційний фон</i>	-0,40	-0,20	-0,75	Довго-строкова дохідність найбільш уразлива до інфляційних деформацій

У підходах до прогнозування інвестиційної ефективності особливе значення набувають цифрові інструменти, здатні працювати з великими обсягами неоднорідних даних, формувати багатошарові моделі та здійснювати автоматичну адаптацію прогнозу до динаміки ринку. До таких інструментів відносяться системи бізнес-аналітики (BI-аналітика), алгоритми машинного навчання (Machine Learning) та концепції цифрових двійників (Digital Twins), які спільно утворюють аналітичний каркас новітніх прогнозних технологій. BI-аналітика виконує роль інтегратора даних з різномірних джерел: бухгалтерських систем, ринкових індикаторів, технологічних сенсорів та зовнішніх макроекономічних модулів. У контексті інвестиційного прогнозування вона забезпечує агреговану візуалізацію ключових параметрів, зокрема обсягів вкладень, динаміки вартості активів, темпів амортизації та зміни нормативного поля, і водночас дозволяє формувати дашборди для оцінки ймовірнісних сценаріїв. Machine Learning, на відміну від класичної BI, обробляє та навчається на даних, виявляючи приховані кореляції між параметрами, що раніше не вважались пов'язаними. Алгоритми здатні адаптуватися до змін середовища без втручання людини, що особливо актуально в умовах нестабільності, коли нові ризики та можливості виникають із мінімальним лагом часу. У моделюванні інвестиційної результативності це означає можливість формування адаптивної моделі, котра на основі нового фактичного спостереження миттєво коригує прогноз майбутньої дохідності або ймовірності невдачі проекту [204].

Цифрові двійники, своєю чергою, виступають як симуляційна оболонка реального інвестиційного об'єкта або процесу, в яку вбудовано аналітичну модель, сенсорні зв'язки, модулі верифікації та прогнозного реагування. У контексті будівництва й промисловості Digital Twin дозволяє моделювати зміну проектних параметрів у реальному часі, візуалізувати вплив кожної змінної на загальний профіль ефективності та здійснювати синхронне порівняння різних сценаріїв. Зміна вартості цементу, коливання валютного курсу або затримка постачання устаткування миттєво відображається у цифровому двійнику проекту, де переобраховується NPV, IRR або термін окупності, з урахуванням реакційної функції, закладеної у моделі. Високоточне прогнозування забезпечується за рахунок моделювання та через глибокий аналіз даних, який лежить в основі формування інвестиційних профілів. Побудова профілів базується на алгоритмах обробки часових та структурних даних. До найпоширеніших алгоритмів належать градієнтне бустування

(XGBoost), дерева рішень (Decision Trees), підтримувальні векторні машини (SVM) та згорткові нейронні мережі у випадках, коли прогнозується декілька паралельно, у зв'язку з просторовими або технічними параметрами.

Інвестиційний профіль в аналітичній системі — це умовний «відбиток» можливого шляху розвитку об'єкта інвестування, котрий містить набір числових, імовірнісних та візуалізаційних характеристик. Щоб його побудувати, необхідно правильно організувати структуру інформаційного потоку. Вона включає: рівень джерел даних (сенсори, CRM, ERP, ринкові агрегатори); рівень попередньої очистки (відбір, нормалізація, відсікання аномалій); рівень розподілу потоків (фільтрування на підгрупи за логікою впливу); рівень агрегування (зведення до ключових індикаторів); рівень інтерпретації (аналітичні моделі, сценарії, візуалізація). У цій структурі найменша похибка або спотворення на ранньому етапі може призвести до критичних помилок на фінальній фазі прогнозу, тому ключову роль відіграє модуль фільтрації та агрегування даних. На цьому рівні застосовуються найпотужніші методи: нейронні мережі — для виявлення латентних залежностей у високовимірних масивах; кластеризація (наприклад, методом k-середніх або DBSCAN) — для сегментації об'єктів інвестування за спільними рисами або ризик-профілем; оцінка відхилень (Anomaly Detection) — для виявлення потенційно небезпечних точок, котрі можуть спричинити збій або фінансову втрату. Якщо інвестиційний профіль будівельного проєкту має аномально низьку частку витрат на інжиніринг, модель може сигналізувати про ризик неврахованих робіт, котрі згодом спричинять затримку й зростання вартості [13].

Поєднання ВІ-аналітики, машинного навчання, цифрових двійників та сучасних алгоритмів обробки даних формує потужну інтелектуальну платформу для прогнозування ефективності інвестицій. Платформа забезпечує високу точність оцінок та оперативність реагування на зміну контексту, гнучкість моделей та модульність системи аналітичного управління. У системах з багатьма впливовими чинниками саме така архітектура дозволяє зберігати стійкість прогнозу, коригувати ризикові межі та формувати рекомендації з максимальною релевантністю до реального ринкового стану.

Формалізація ідентифікаційних критеріїв у межах ймовірнісної моделі інвестиційної ефективності передбачає не лише визначення ключових показників, але й встановлення логіки їх взаємодії в умовах змінного середовища. Для системного аналізу доцільним є побудова ієрархічної структури, в якій критерії поділяються за рівнями впливу: від базових (операційна рентабельність, окупність, ліквідність) до інтегральних (інвестиційна стійкість, адаптивність до ризиків, синергетичний ефект). Побудова дозволяє розглядати ефективність як багаторівневу конструкцію з елементами вагової оцінки і структурного пріоритетування, де кожен критерій відіграє роль у формуванні кінцевої оцінки. На рисунку 3.7, що наведено нижче, зображено ієрархічну схему, котра формалізує взаємозв'язки між цими критеріями, відображаючи їх включення до загальної ймовірнісної моделі оцінки результативності інвестицій.

Поведінка інвестиційної ефективності під впливом несподіваних, шоківих змін середовища є критичним аспектом для формування адаптивних стратегій управління. Під шоківими впливами маються на увазі події, що суттєво змінюють вихідні умови реалізації проєкту: валютні коливання, форс-мажори постачання, політична нестабільність або миттєві зміни вартості ресурсів. У таких умовах класичні оцінки ефективності втрачають точність, і лише моделі, що враховують реакцію коефіцієнтів результативності на зовнішні імпульси, дозволяють передбачити можливе відхилення від базового сценарію. На рисунку 3.8, наведеному нижче, представлено динаміку зміни трьох ключових коефіцієнтів —

внутрішньої норми дохідності (IRR), індексу прибутковості (PI) та коефіцієнта ризик-коригованого доходу (RAROC) — у відповідь на низку симульованих шоків. Графік візуалізує, як амплітуда коливань залежить від природи впливу та від вбудованої стійкості моделі, дозволяючи формувати реактивні механізми захисту для кожного з параметрів.



Рис. 3.7. Ієрархічна схема ідентифікаційних критеріїв ефективності в ймовірній системі (розроблено автором на основі [214])

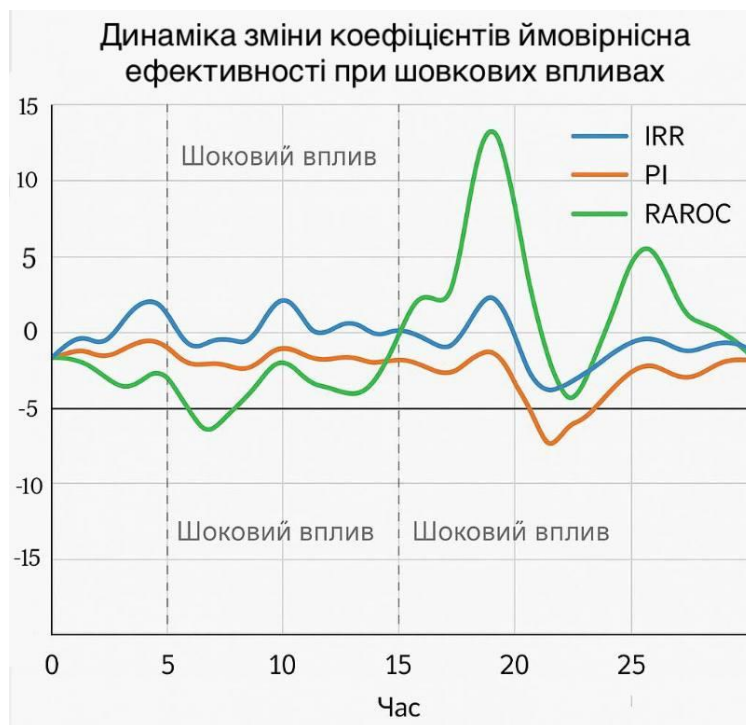


Рис. 3.8. Динаміка зміни коефіцієнтів ймовірнісна ефективності при шоккових впливах (розроблена автором на основі [235])

Для адекватного прогнозування результативності в умовах невизначеності необхідно розробити механізм параметризації сценаріїв, який дозволяє виводити оцінки результативності залежно від зміни конкретних умов. Підхід базується на створенні семантичної моделі, котра поєднує економічні змінні, логіко-аналітичні операції, вагові коефіцієнти впливу та вектори ризикової реакції. У цій моделі кожен сценарій — це набір умов, котрий активує певну траєкторію змін в ефективності. Семантичний рівень дозволяє враховувати кількісні та якісні параметри — наприклад, тип ринку, політичну стабільність, етап життєвого циклу об'єкта. На рисунку 3.9 візуалізовано базову структуру моделі, де параметри подано у вигляді змістових вузлів, зв'язаних логічними операторами, а на виході формується оцінка результативності з вбудованою функцією чутливості до сценарних збурень.



Рис. 3.9. Семантична модель параметризації сценарної оцінки результативності інвестицій (розроблено автором на основі [301])

Однією з особливостей багатьох інвестиційних проектів є часовий лаг — відставання між моментом прийняття рішення та фактичним отриманням результату. У стохастичному середовищі наявність лагу підвищує невизначеність, оскільки чим довший проміжок між дією і наслідком, тим більше шансів на зовнішнє збурення. Порівняльний аналіз результативності проектів із різними часовими лагами дозволяє виявити залежність між тривалістю перехідного періоду і стійкістю до стохастичного шуму. Як показано на рисунку 3.9, із зростанням лагу ефективність проекту демонструє вищу амплітуду коливань та більшу варіативність, тоді як коротші лаги характеризуються більш передбачуваною динамікою. Графік дозволяє інтерпретувати зони стабільності, області надчутливості та пороги, після яких проект втрачає економічну доцільність. Аналіз особливо важливий для будівельних ініціатив із високою інерційністю підготовчих процесів.

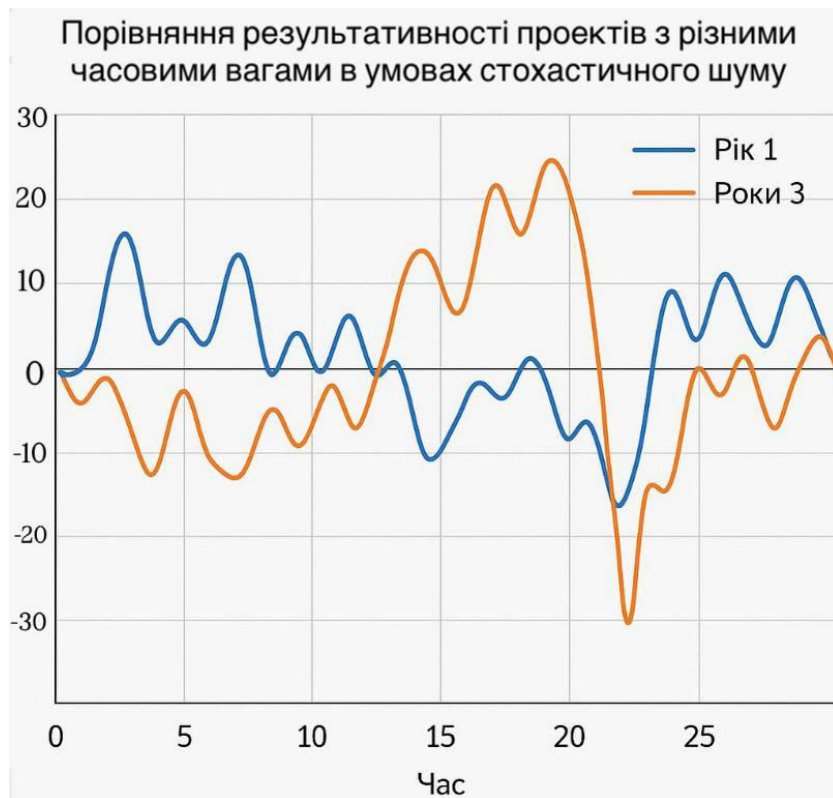


Рис. 3.10. Порівняння результативності проектів з різними часовими вагами в умовах стохастичного шуму (розроблено автором на основі [301])

У практиці управління інвестиційними проектами критично важливим є визначення ефективності у певний момент та її стабільності протягом усього життєвого циклу об'єкта. Для цього необхідно впроваджувати концепції параметричної стабільності, що включають в себе індекси варіації, часові коефіцієнти стабілізації, межі допустимого відхилення від прогнозної траєкторії. У промислових проектах та будівельних ініціативах характеристики можуть суттєво відрізнитись: будівництво схильне до короткострокових коливань, у той час як промисловість демонструє інерційність, але чутлива до структурних шоків [258]. На рисунку 3.10, котрий наведено нижче, представлено інтегративну концепцію, що поєднує множину параметрів стабільності в єдину оцінювальну систему. Концепція охоплює часові індикатори, адаптаційні функції та ризикові коректори, дозволяючи здійснювати комплексний моніторинг стабільності ефективності в режимі змінного середовища.

В умовах високої невизначеності інвестиційна стратегія повинна враховувати змінні обмеження ризику — зовнішні (макроекономічні бар'єри, регуляторна політика) та внутрішні (ліміти платоспроможності, допуски за ліквідністю). У стохастичних моделях обмеження впливають на результативність через складну систему реакцій, що проявляються у зміні форми та положення прогнозної функції. У зв'язку з цим виникає потреба у візуалізації поведінки результативності як функції ризикового тиску.

На рисунку 3.11, зображеному нижче, представлено прогнозну функцію результативності інвестицій, побудовану в залежності від рівня ризикових обмежень: що вище рівень допустимого ризику, то більший потенціал доходності, проте й вища волатильність. Графік дозволяє виявити критичні точки перегину — моменти, коли збільшення ризику більше не компенсується зростанням доходу — і сформулювати стратегічно обґрунтовану межу допустимих ризиків.



Рис. 3.10. Інтегративна концепція оцінки параметричної стабільності у промислових та будівельних проектах (розроблено автором на основі [258])



Рис. 3.11. Прогнозна функція результативності інвестицій при змінних обмеженнях ризику (розроблено автором на основі [312])

3.2. Прогнозна модель динаміки введення в експлуатацію житлових об'єктів

У підходах до побудови прогнозних моделей введення житлових об'єктів в експлуатацію особливу роль відіграє правильна параметризація структури об'єкта як базової одиниці прогнозування. На відміну від суто календарного або нормативного планування, котре ігнорує складність самого об'єкта як джерела часових коливань, структурно

орієнтоване прогнозування передбачає виведення цілого ряду детермінантів, що закладені у фізичних, інженерних та логістичних характеристиках забудови. Найважливішими серед них є обсяг будівництва, тип об'єкта, конструктивна основа, кількість функціональних фаз, рівень інженерного забезпечення та фактор уповільнення — інтегральна характеристика, що поєднує ризик затримок у реалізації через архітектурну складність, інституційне регулювання та технічні вузли, які мають високий ступінь незавершеності [329].

Параметр обсягу будівництва вносить у модель безпосередню залежність між площею, кубатурою чи кількістю секцій та часом введення. Проте залежність не є лінійною, оскільки зростання обсягу часто супроводжується не прямопропорційним подовженням терміну, а входженням в іншу фазову динаміку — наприклад, через необхідність розширення будівельного майданчика, зміни логістики, або ускладнення графіка монтажу. Тип об'єкта — багатоповерховий або котеджний — фіксує не лише архітектурну форму, а й глибину будівельного циклу. Багатоповерхова забудова вимагає складної вертикальної інтеграції процесів, координації з ліфтовим господарством, системами безпеки, даховими установками, що, своєю чергою, збільшує фазовий лаг між завершенням основного каркасу та фактичним введенням. У котеджній забудові таких шарів менше, але реалізація часто розтягнута у часі через нижчий рівень стандартизації та більшу залежність від попиту.

Тип конструктиву — монолітний, збірний, комбінований — задає логіку внутрішньої інерції проєкту. Монолітні об'єкти зазвичай формують вищий коефіцієнт стабільності часу завершення основного об'єму, однак потребують додаткового часу на технологічні перерви (наприклад, витримку бетону). Система збірних конструкцій, натомість, дозволяє пришвидшити початкові етапи, але потребує розвиненої логістики й синхронізації з постачальниками, що може викликати стохастичні збої при дефіциті елементів. У комбінованих конструкціях часові ризики переносяться на зони стиків між технологіями. Рівень інженерної насиченості прямо впливає на завершальну фазу проєкту — навіть при готовому каркасі об'єкт не може бути зданий без завершених мереж водопостачання, електрики, опалення, вентиляції, ліфтів, систем безпеки. У багатьох випадках блок визначає прогнозний горизонт завершення [176].

Особливе місце в моделі займає фазовий лаг — часовий розрив між завершенням окремих функціональних блоків будівництва та можливістю їх експлуатації. Він визначається як функція технологічних перерв, нормотворчого погодження, проходження експертиз, комісійної перевірки та введення у реєстр. Цей лаг є складною стохастичною величиною, чутливою до зовнішніх факторів. Його оцінка передбачає використання компонентного аналізу (РСА) для визначення головних компонент впливу на зсув між будівництвом і здачею. У результаті формується масив вхідних даних, які потрібно агрегувати в укрупнені предиктори.

Завданням структурної параметризації є редукція складного багатовимірного простору змінних до ключових параметрів із високим рівнем пояснювальної здатності. Для цього використовуються інструменти факторного аналізу, зокрема РСА, що дозволяє виокремити осі, уздовж яких змінюється результативність прогнозу. Підхід дозволяє відібрати найбільш релевантні змінні, наприклад: (1) тип конструктиву + фазовий лаг + щільність забудови, або (2) інженерна насиченість + тип об'єкта + обсяг площі. Далі кластери переносяться в метод кластеризації, наприклад k-середніх або агломеративної ієрархічної кластеризації, щоб поділити масив об'єктів на однорідні групи прогнозування. Дає змогу створити набір типових сценаріїв для подальшого аналізу та дозволяє використовувати меншу кількість індивідуальних моделей [190].

Ключовим висновком підходу є те, що точність прогнозу введення житлового об'єкта в експлуатацію значною мірою залежить від структури об'єкта та його внутрішньої конфігурації. Параметри, котрі здаються другорядними, наприклад тип вентсистем або рівень підключення до зовнішніх інженерних мереж, можуть генерувати системні затримки. Тому необхідно запроваджувати у модель так званий «фактор уповільнення» — індикатор, що агрегує найбільш критичні характеристики, здатні викликати часовий зрив навіть при дотриманні основного графіка.

Загальна методологія структурної параметризації житлових об'єктів у прогнозному моделюванні повинна спиратись на поєднання кількісного опису технічних характеристик із математичними інструментами зниження розмірності й кластеризації. Такий підхід дозволяє забезпечити аналітичну глибину прогнозу, створити гнучку, адаптивну модель і підвищити її точність у межах коротко- й середньострокових горизонтів планування. У майбутньому цей підхід може стати основою для автоматизованих систем прогнозного управління в девелоперських структурах [185].

У прогнозному аналізі динаміки введення житлових об'єктів в експлуатацію особливої значущості набуває побудова багатофакторної моделі, котра враховує широкий спектр взаємопов'язаних параметрів. Модель не обмежується часовими чи нормативними межами, а включає ресурсну забезпеченість, тип об'єкта, конструктивні характеристики, інституційні обмеження, вплив регуляторного поля, інженерну готовність, сезонні фактори й індекси ринкової активності [217]. В основі лежить багаторівнева структура з чітко ідентифікованими модулями: вхідними параметрами (об'ємні, технічні та календарні характеристики), обчислювальним ядром (регресійні, стохастичні або машинно-навчальні компоненти), модулем затримок і фазових зрушень, вихідними прогнозними індикаторами. На рисунку 3.12, наведеному нижче, представлено базову структуру такої моделі, що охоплює внутрішні й зовнішні змінні, опис їх взаємодії та блок обчислення прогнозної дати введення в експлуатацію.

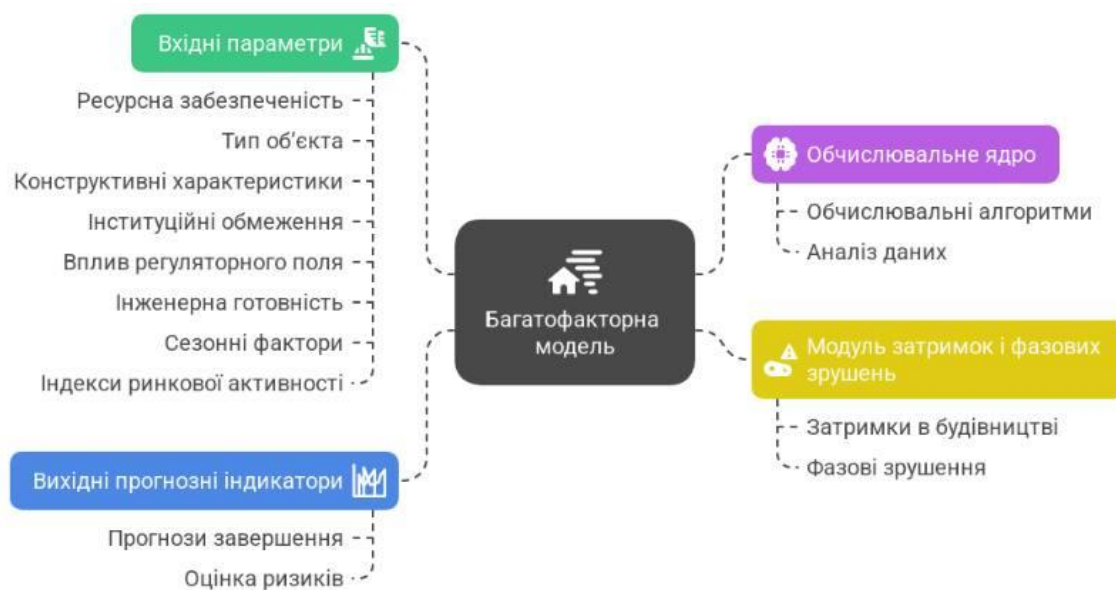


Рис. 3.12. Базова структура багатофакторної моделі прогнозування динаміки введення в експлуатацію житла (розроблено автором на основі [217])

У процесі моделювання динаміки введення житлових об'єктів в експлуатацію важливо враховувати внутрішні технічні параметри будівництва та макроекономічне середовище, котре визначає темпи реалізації проектів, доступність фінансування, рівень платоспроможного попиту та загальні інвестиційні очікування. Інфляційні коливання, вартість кредитного ресурсу, доступ до іпотечного фінансування, зміна облікової ставки — все це прямо впливає на ритмічність, інтенсивність і структуру введення в експлуатацію [257]. На рисунку 3.13 показано темпову еволюцію обсягів введення житла у прив'язці до змін ключових макроекономічних параметрів. Візуалізація охоплює періодичні цикли підйому й спаду активності, котрі корелюють із фазами зростання/спаду інфляції та динамікою кредитної ставки. Дозволяє виявити часові інтервали, найбільш чутливі до зовнішніх економічних імпульсів та інтегрувати економічні предиктори в модель прогнозування.



Рис. 3.13. Темпова еволюція введення в експлуатацію житла у прив'язці до зміни макроекономічних параметрів (інфляція, кредити)
(розроблено автором на основі [257])

Щоб модель була технічно обґрунтованою та адаптивною до реального середовища, необхідно інтегрувати в неї міждисциплінарні зв'язки, що виникають на перетині економічної, правової та інженерної сфер. Саме їх перехресний вплив формує траєкторію розвитку житлового об'єкта — від ухвалення рішення до остаточної задачі. Зв'язки складно піддати класичному формалізму, вони діють асинхронно, але системно. Затримка у видачі дозвільних документів зумовлює зсув у календарі та впливає на ринкові очікування, змінює графік інвестування та викликає перерахунок фаз монтажу. На рисунку 3.14 зображено концептуальну карту взаємозв'язків, де кожен тип параметрів — економічні, правові, інженерні — формує власний рівень впливу на прогнозу модель, водночас перетинаючись з

іншими у точках ризикової інтеграції. Дозволяє виявити найбільш уразливі зони системи та закласти компенсаторні механізми.



Рис. 3.14. Концептуальна карта взаємозв'язків між економічними, правовими та інженерними параметрами моделі (розроблено автором на основі [255])

Нормативне середовище, у якому відбувається будівництво житла, має значний вплив на часову структуру реалізації об'єктів. Зарегульованість на етапах отримання дозвільної документації, проходження експертиз, погодження технічних умов, контрольних інспекцій може створювати критичні затримки навіть у технічно підготовлених проектах. Бюрократична інтенсивність проявляється у вигляді часових бар'єрів, котрі не завжди піддаються скороченню інженерними або фінансовими заходами. Тому сценарне прогнозування затримок із урахуванням рівня нормативної зарегульованості стає невід'ємним елементом об'єктивної моделі. На рисунку 3.15 представлено порівняння трьох сценаріїв реалізації — низький, середній і високий рівень нормативного навантаження — і відповідні криві відставання від планового графіка. Візуалізація демонструє експоненційне зростання ризику затримок у надмірно регульованому середовищі, що дозволяє вводити у прогнозні моделі вагові коефіцієнти інституційного ризику як незалежну змінну [311].

Ефективне прогнозування динаміки введення в експлуатацію неможливе без деталізації самого процесу реалізації житлового об'єкта. Побудова поетапної блокової архітектури дозволяє розкласти єдиний проєктний цикл на окремі етапи з логічно пов'язаними часовими та інституційними характеристиками: проєктування, дозвіл, початок будівництва, технічне завершення, введення.

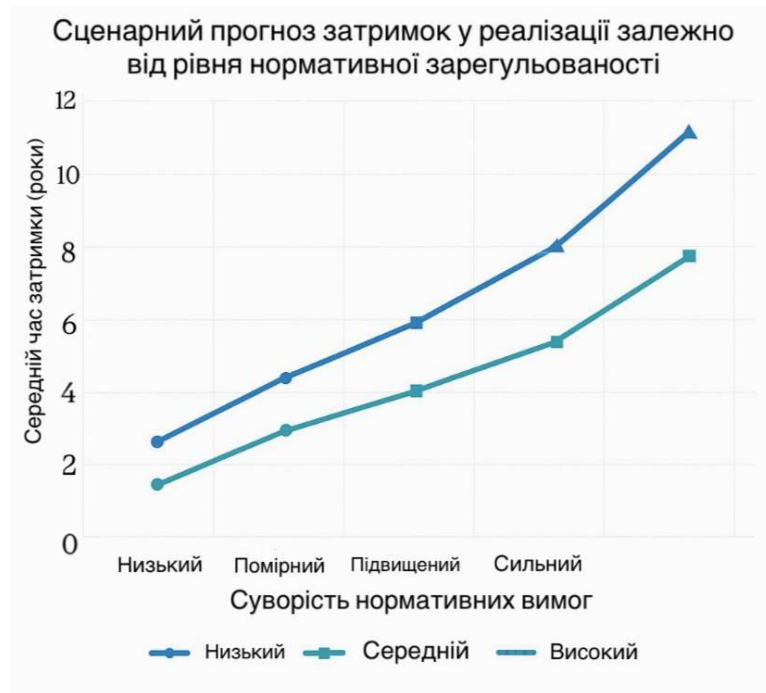


Рис. 3.15. Сценарний прогноз затримок у реалізації залежно від рівня нормативної зарегульованості (розроблено автором на основі [311])

Кожен етап має власні контрольні точки, межі чутливості та потенційні точки ризику, що впливають на загальний прогноз. Візуалізація цієї архітектури дозволяє зрозуміти, як відбувається проходження об'єкта через систему — від першого етапу до заключного — із фіксацією лагів, типових затримок та інтерфейсів між актами контролю [194]. На рисунку 3.16 представлено архітектуру прогнозного циклу, котра ілюструє, структурні та часові компоненти синхронізуються у межах єдиної моделі, забезпечуючи цілісне охоплення проекту.



Рис. 3.16. Архітектура прогнозного циклу в житловому будівництві з поетапною деталізацією даних (розроблено автором на основі [194])

Оцінка ефективності реалізації житлового проєкту та точність прогнозу його введення в експлуатацію багато в чому залежать від того, як змінюється ступінь завершеності об'єкта на різних фазах циклу будівництва. Під завершеністю мається на увазі частка фактично виконаних робіт у межах плану — конструктив, інженерія, внутрішнє оздоблення, благоустрій, документообіг. Показник не є рівномірним у часі: в одних фазах проєкт демонструє стрімке зростання (наприклад, монтаж коробки), а в інших — майже повну стагнацію (наприклад, очікування підключення до мереж або завершення формальних процедур). На рисунку 3.17 показано динаміку коефіцієнта завершеності об'єктів, відображену по фазах будівельного циклу: підготовка, зведення конструктиву, інженерія, оздоблення, введення. Візуалізація демонструє типові флуктуації завершеності та дозволяє виокремити критичні вузли, у яких зупинка або сповільнення є найбільш ймовірним. Створює підґрунтя для фазового коригування прогнозу і адаптивної моделі з часовими модулями [210].

Процес прогнозування дати завершення житлових об'єктів в умовах сучасної економіки не може бути ізольованим від впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників, котрі вносять суттєві корективи в терміни реалізації навіть найретельніше спланованих проєктів. Дестабілізаційні впливи можуть бути різної природи — економічної, адміністративної, логістичної або інституційної. Інфляційні шоки змінюють доступність матеріалів і переглядають бюджети, нормативні зміни трансформують процедури дозволів і прийняття об'єктів, порушення логістичних ланцюгів ускладнюють графік постачань.

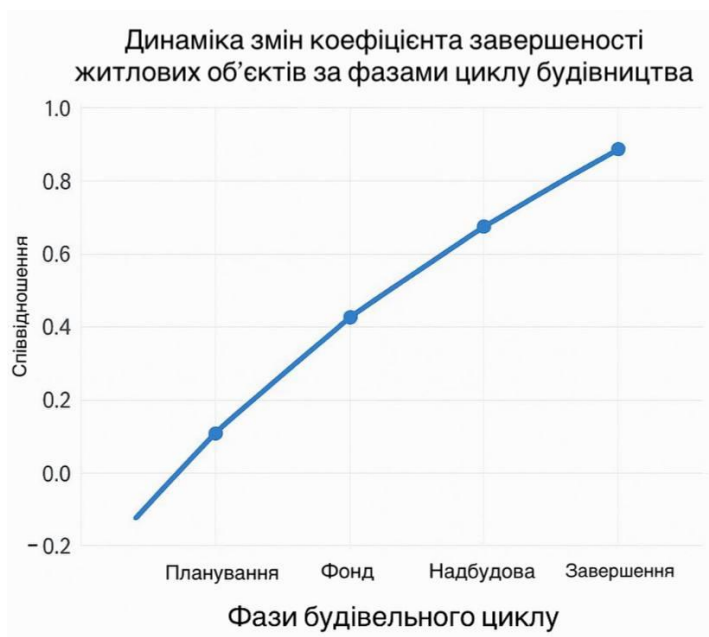


Рис. 3.17. Динаміка змін коефіцієнта завершеності житлових об'єктів за фазами циклу будівництва (розроблено автором на основі [210])

Традиційні календарні або бухгалтерські підходи в таких умовах втрачають ефективність, оскільки не враховують імпульсну динаміку ризиків та асинхронність їх впливу на хід будівництва. Актуальним є застосування адаптивних моделей, котрі оцінюють базову траєкторію завершення та перераховують її під дією зовнішніх подій, формуючи динамічну систему оновлення прогнозу [211].

Одним із найефективніших підходів у цьому контексті є використання моделі Cox Proportional Hazards, вона дозволяє аналізувати вплив множинних змінних на час до настання події — у даному випадку введення об'єкта в експлуатацію. Cox-модель будується на припущенні пропорційності ризиків і дає змогу оцінити, як саме ті чи інші фактори (рівень інфляції, кількість нормативних бар'єрів, вартість ресурсів, зміна валютного курсу) впливають на ймовірність завершення об'єкта у визначений термін. Перевагою є можливість моделювати подієву структуру впливу: кожен зовнішній шок — це окрема точка збурення у часовому просторі, яка зсуває оцінку «hazard ratio» (коефіцієнта ризику) і, відповідно, змінює прогноз дати завершення. Підхід дозволяє побудувати ймовірнісне поле навколо цільового моменту здачі, де кожен сценарій має власну часову ймовірність реалізації.

Окрім Cox-моделі, доцільним є залучення стохастичних моделей виживання, котрі походять із медико-біологічного аналізу, але набули широкого застосування в технічному прогнозуванні. Моделі працюють з функцією виживання як ймовірністю того, що проєкт не буде завершений до певного моменту часу. При цьому модель включає множину змінних, котрі модулюють її форму — наприклад, темпи фінансування, наявність технологічних пауз, рівень доступності кваліфікованої робочої сили. На практиці такі моделі дозволяють формувати «прогнознi вікна» — часові діапазони з певним рівнем довіри, в яких найімовірніше відбудеться завершення об'єкта. Візуалізація вікон є надзвичайно цінною для девелопера, оскільки дозволяє планувати підключення до мереж, старт продажу, передачу документації тощо [313].

Ще одним інструментом, що ефективно доповнює аналітичний арсенал, є логістичні регресії, котрі дозволяють оцінити ймовірність завершення об'єкта у визначену дату як функцію входних параметрів. Бінарна модель, котра формує функцію ймовірності успішного завершення (наприклад, до кінця кварталу), в залежності від сукупності змінних, як поточний ступінь завершеності, доступність ресурсів, фінансова дисципліна інвестора, вплив інфляції, та інше. Перевагою цього підходу є гнучкість, з якою модель може реагувати на нові входні дані, дозволяючи переглядати оцінки на регулярній основі.

На особливу увагу заслуговує підхід на основі Digital Twin — створення цифрового двійника об'єкта, який інтегрує реальні дані про стан будівництва з математичною моделлю прогнозу. Двійник дозволяє візуалізувати поточний статус та відслідковувати часові відставання, моделювати реакцію на зовнішні шоки в режимі реального часу, оперативно перебудовувати очікувану дату завершення на основі нових подій. Ключовим принципом є подієве оновлення — кожна зовнішня або внутрішня подія (наприклад, затримка постачання, зміна нормативу, технічний збій) автоматично активує блок перерахунку прогнозу, що ґрунтується на попередньо вбудованих аналітичних модулях [321].

У центрі такого підходу — ідентифікація ризикових зон у часі. Періоди в яких ймовірність зриву графіка є максимальною. У практиці житлового будівництва такими зонами найчастіше виявляються завершальні етапи оздоблення, інженерного підключення та проходження інституційних процедур. Вони мають невисоку видиму складність, накопичують більшість ризиків і часто виступають «пляшковим горлом» у всьому процесі. В моделі потрібно чітко параметризувати події: кожен тип зовнішнього збурення повинен мати свій індекс впливу (impact index), часовий лаг реакції та потенціал компенсації. Інфляційний шок може бути компенсований внутрішніми резервами проєкту, а регуляторна зміна — ні. Прогнозне вікно має бути гнучким і містити базову оцінку, верхню та нижню межу, що відповідає сценаріям оптимістичного, песимістичного та базового розвитку подій.

Побудова й адаптація моделей прогнозування завершення об'єктів із врахуванням зовнішніх збурень передбачає перехід від статичних схем до динамічних, інтегрованих систем, здатних реагувати на події зміни в реальному часі. Моделі підвищують точність прогнозу та створюють нову аналітичну культуру в управлінні житловими проєктами — культура, де ризики моделюються, вимірюються і перетворюються на керовані сценарії. Критично важливо в умовах постійної економічної та нормативної турбулентності, в якій будівельна галузь функціонує як у стані хронічної адаптації [320].

У підходах до управління строками реалізації житлових об'єктів ключове значення набуває інтеграція цифрових моделей, котрі дозволяють фіксувати стан проєкту в реальному часі та формувати адаптивний прогноз із урахуванням ризиків, котрі змінюють конфігурацію завершення. Моделі формуються за принципом цифрового двійника, але з розширеною структурою вузлів, що відповідають за окремі аспекти прогнозного сценарію: ризик будівельно-технологічного типу, ризик регуляторного відтермінування, ризик дефіциту ресурсів, зовнішньоекономічні шоки. Кожен вузол у моделі зв'язаний з даними, отриманими в ході реалізації та змінює прогнозну дату відповідно до накопиченої оцінки [286]. Як показано на рисунку 3.18, структура адаптивної цифрової моделі включає декілька модулів — моніторинговий, прогнозний, аналітичний і реагуювальний — які перебувають у постійному обміні даними. Дозволяє системі «бачити» поточний статус об'єкта та моделювати траєкторію його завершення з урахуванням вірогідних затримок і компенсаторних сценаріїв.

В умовах зростаючої складності реалізації будівельних проєктів надзвичайно важливим стає вивчення того, як частота та щільність ризикових подій у часовій осі впливають на точність прогнозу завершення. Особливо стосується житлового будівництва, де об'єкти часто стикаються з низкою послідовних або паралельних збурень — від регуляторних перевірок до коливань у постачанні матеріалів. При високій концентрації ризиків у певному проміжку часу навіть точні математичні моделі починають втрачати передбачуваність, ймовірнісні відхилення накопичуються й розмивають фокус прогнозу.



Рис. 3.18. Структура адаптивної цифрової моделі введення в експлуатацію з вузлами ризикового прогресу (розроблено автором на основі [286])

На рисунку 3.19 показано, як змінюється точність прогнозу (виміряна як інтервал довіри або похибка передбачення) залежно від щільності подій ризику у часовій осі. Візуалізація демонструє, що зі зростанням кількості ризикових подій на одиницю часу точність падає експоненційно, особливо після проходження критичного порогу навантаження. Дає змогу вбудовувати у моделі функцію стабілізації прогнозу через обмеження ризикового тиску або перерозподіл фаз [285].

Для того щоб модель прогнозу мала практичну гнучкість і могла працювати в умовах множинних подієвих сценаріїв, необхідно створити семантичний рівень її побудови — такий, що дозволяє інтерпретувати зовнішні події як фактичні дані та як фактори ризикової реакції. У моделі такого типу важливим є факт події (наприклад, затримка підключення) та її місце у логічному ланцюгу реалізації, тип впливу, можливість обійти, компенсувати або нівелювати наслідки.



Рис. 3.19. Динаміка точності прогнозу завершення залежно від щільності подій ризику у часовій осі (розроблено автором на основі [285])

На рисунку 3.20 наведено семантичну модель часової реакції об'єкта на зовнішні події. Вона подає зовнішні впливи у вигляді тригерів, котрі активують зміну траєкторії реалізації, модифікуючи прогнозну дату завершення. Кожен тригер має прив'язку до фази будівництва, тип впливу (безповоротний, компенсований, обхідний) та пов'язаний з відповідним параметром цифрової моделі. Дозволяє адаптувати алгоритм під конкретну подію, зменшуючи імовірність зриву графіка [281].

Не менш важливим фактором, котрий впливає на надійність оцінки дати завершення житлового об'єкта, є внутрішній розподіл фаз реалізації. Йдеться про послідовність і тривалість окремих етапів: проектування, земляні роботи, конструктив, інженерія, оздоблення, введення. Від того, наскільки рівномірно розподілені етапи у часовій шкалі,

залежить здатність моделі точно розраховувати критичний шлях. Якщо розподіл диспропорційний — наприклад, більшість часу припадає на фінальні стадії, — то модель стає чутливою до збурень саме в кінці процесу.

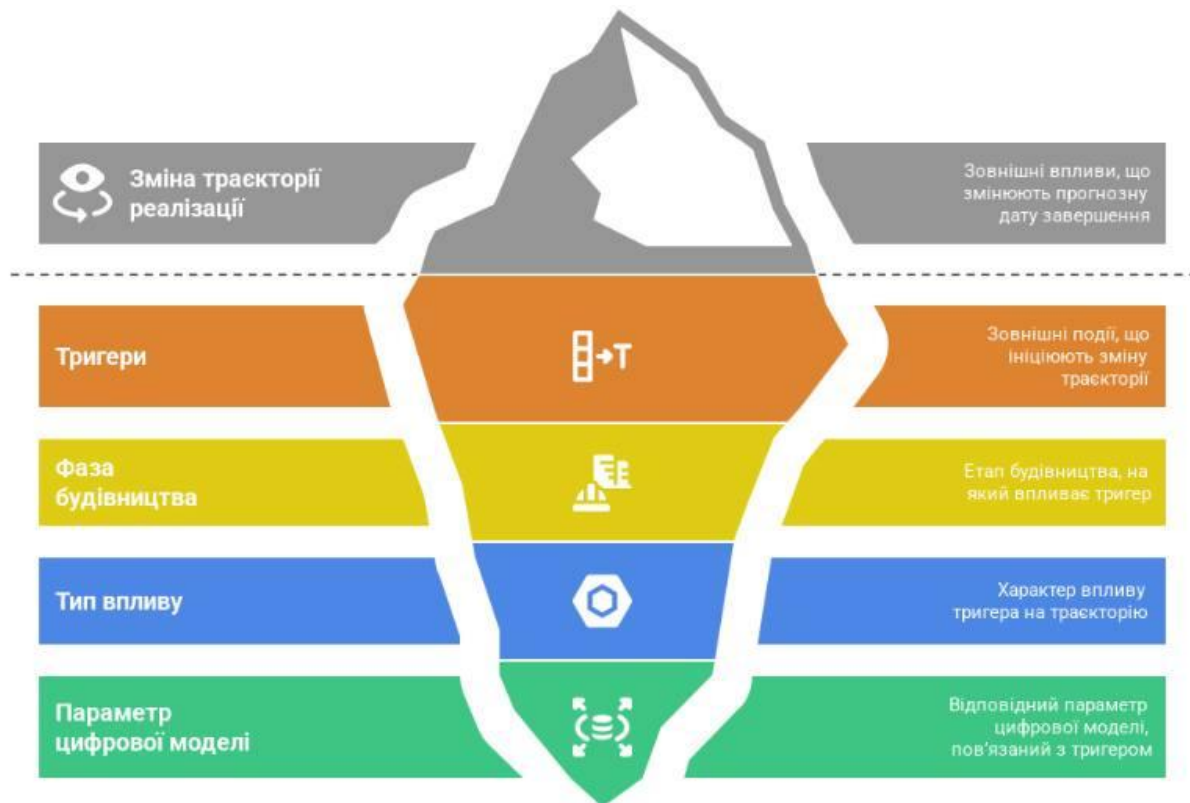


Рис. 3.20. Семантична модель часової реакції об'єкта на зовнішні події в контексті планування завершення (розроблено автором на основі [281])

Якщо ж навпаки, тривалість рівномірно розподілена між фазами, прогноз є стійкішим до коливань [221]. На рисунку 3.21 наведено залежність між типом фазового розподілу (асиметричний, рівномірний, зміщений до початку чи завершення) і точністю прогнозу дати завершення.

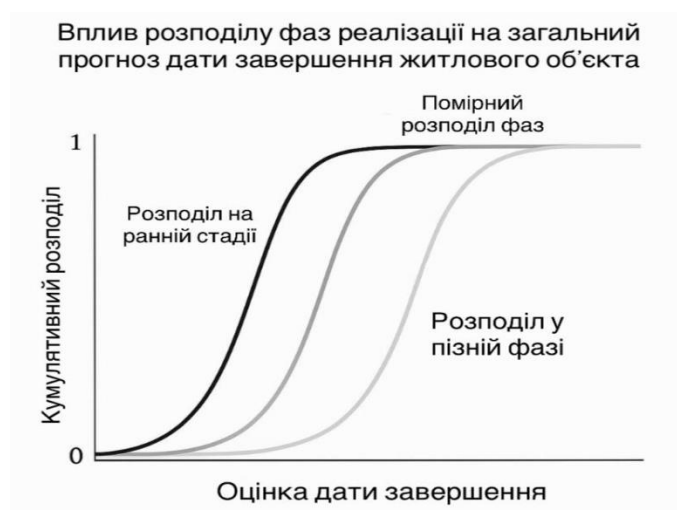


Рис. 3.21. Вплив розподілу фаз реалізації на загальний прогноз дати завершення житлового об'єкта (розроблено автором на основі [221])

Щоб забезпечити реакцію на ризики та стабілізацію динаміки реалізації об'єкта у часі, модель має включати багаторівневу систему часової корекції [177]. Означає, що на кожному етапі — від фундаменту до оздоблення — система має свій механізм оцінки відхилення та реагування. Конфігурація дозволяє прогнозувати дату завершення, локалізувати ризикові зони, динамічно перерозподіляти ресурси й перераховувати критичний шлях. На рисунку 3.22 представлено конфігурацію багаторівневої часової корекції, де кожен рівень (фаза) має свою функцію контролю, зворотного зв'язку та коефіцієнт ризикового впливу. У поєднанні з адаптивною логікою дозволяє створити стабільну прогнозну оболонку, здатну самостійно переналаштовуватись у разі зміни умов або порушення запланованих термінів.



Рис. 3.22. Конфігурація багаторівневої часової корекції в системі прогнозування введення житла (розроблено автором на основі [177])

Нормативне навантаження — це чинник, котрий часто недооцінюється на етапі формування прогнозу, проте він здатен радикально впливати на динаміку завершення житлових об'єктів. Йдеться про кількість процедур, котрі має пройти девелопер та про складність, тривалість і рівень невизначеності кожної з них. Із зростанням регуляторного навантаження зростає ризик непередбачуваних затримок, котрі складно врахувати в базових моделях. Важливо досліджувати кореляцію між нормативним навантаженням і ризиком зриву термінів у ймовірнісному просторі [287]. На рисунку 3.23 зображеному нижче, представлено кореляційне поле, де кожна точка — це умовний проєкт з певним індексом нормативного навантаження та розрахованою ймовірністю відтермінування. Графік виразно показує позитивну нелінійну залежність: за межами певного нормативного порогу ризик зриву зростає диспропорційно. Залежність дозволяє автоматично вбудовувати регуляторний

компонент у формулу прогнозу як ваговий коефіцієнт або фактор корекції, підвищуючи точність і стійкість оцінки.

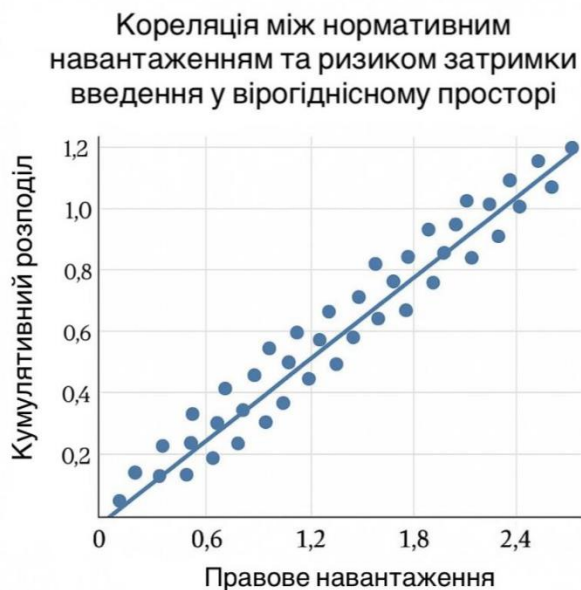


Рис. 3.23. Кореляція між нормативним навантаженням та ризиком затримки введення у вірогіднісному просторі (розроблено автором на основі [287])

У контексті прогнозування дати завершення житлових об'єктів особливої ваги набуває вибір математичної або цифрової моделі, котра здатна враховувати чинники впливу та адаптуватись до змінного часово-подієвого середовища. Від обраної методології залежить точність оцінки моменту введення в експлуатацію та здатність моделі реагувати на збурення — інституційні, економічні, логістичні. Кожна з моделей — від класичної лінійної регресії до цифрових двійників і стохастичних функцій виживання — має власну конфігурацію сильних і слабких сторін, що проявляються залежно від складності об'єкта, частоти ризикових подій і тривалості реалізації. Доцільно здійснити порівняльний аналіз ефективності моделей за ключовими критеріями: точністю прогнозу, адаптивністю до подій, чутливістю до даних і стабільністю в умовах невизначеності. У нижче наведеній таблиці 1 подано систематизовану порівняльну характеристику основних методів прогнозування дати завершення, де враховано часові умови, рівень ризику, обсяг даних і здатність до оперативного оновлення результату. Таблиця 3.2 дозволяє обрати найефективнішу модель для конкретного випадку, враховуючи контекст об'єкта та особливості реалізації.

Таблиця 3.2. Порівняльна характеристика точності прогнозу при застосуванні різних моделей у часових умовах (розроблено автором на основі [264])

Модель	Точність прогнозу	Чутливість до ризиків	Потреба в даних	Адаптивність у часі
<i>Лінійна регресія</i>	Низька при високій варіативності даних	Низька – ігнорує подієві збурення	Низька – працює на основі кількох змінних	Низька – статичний підхід
<i>Стоха-стична</i>	Середня – добре	Середня –	Середня –	Середня –

<i>модель виживання</i>	працює у стабільних умовах	інтегрує ризики через функцію виживання	потребує історичних і часових рядів	модель частково динамічна
<i>Cox Proportional Hazards</i>	Висока – здатна адаптува-тись до ризиків у часі	Висока – враховує події як коваріати	Середня – необхідна вхідна подієва статистика	Висока – враховує події протягом реалізації
<i>Логістична регресія</i>	Середня – ефективна для бінарних сценаріїв (так/ні)	Середня – працює з вхідними тригерами, але не з реакцією у часі	Низька – працює навіть із неповними наборами	Середня – адаптується вручну або пакетно
<i>Digital Twin (цифровий двійник)</i>	Висока – реагує в режимі реального часу	Висока – включає динамічні ризики у прогноз	Висока – необхідна деталізація об'єкта й сенсорні дані	Висока – динамічне середовище, реакція на події
<i>Гібридна модель (ML + аналітика)</i>	Найвища – гнучке навчання на історичних даних	Висока – автоматично оновлює прогноз при зміні даних	Висока – потребує обсягу для навчання моделі	Найвища – модель постійно навчається

3.3. Порівняльне оцінювання інвестиційної привабливості галузі за допомогою

Оцінювання інвестиційної привабливості галузі в умовах нестабільної економіки, структурних рецесій, технологічних проривів та геополітичної турбулентності потребує ретельного переосмислення традиційних і розширення сучасних критеріїв аналізу. Класичне уявлення про інвестиційну привабливість як сукупність умов, що сприяють залученню капіталу в ту чи іншу галузь, більше не є достатнім для пояснення поточної поведінки інвесторів. Інвестиційна поведінка нині базується не лише на статичних характеристиках середовища (наприклад, рівень податків чи доступність ресурсів), а й на здатності галузі генерувати стійку додану вартість, бути адаптивною до зовнішніх змін, мати цифрову зрілість та репутаційну прозорість [245].

Одним із найперших систематизаторів підходів до оцінювання інвестиційної привабливості виступає методологія, заснована на побудові агрегованих індексів. Найбільш базовою є система інтегрального індексу привабливості (Investment Attractiveness Index – IAI), де ваги критеріїв визначаються експертно або через факторний аналіз. Такий підхід дозволяє сформувавши комплексний показник, що інтегрує оцінки за низкою параметрів (ринкових, політичних, фінансових, інфраструктурних), але потребує формалізації.

Узагальнена формула інтегрального індексу привабливості галузі має вигляд:

$$IAI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot K_i, \quad (3.1)$$

де: K_i — значення i -го критерію привабливості (наприклад, рентабельність активів, глибина ринку, політична стабільність), W_i — ваговий коефіцієнт, що відображає значущість

i -го критерію в загальному оцінюванні (вираховується методом аналізу ієрархій, експертного опитування або через кореляційні залежності), n — кількість критеріїв.

Однак у сучасному аналітичному підході все більшого поширення набувають нечіткі та стохастичні моделі, які враховують динаміку та невизначеність параметрів. Однією з таких моделей є стохастичне оцінювання привабливості галузі через функцію ймовірнісного збурення вагових коефіцієнтів:

$$IAI^* = \sum_{i=1}^n (w_i + \epsilon_i) \cdot K_i, \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2), \quad (3.2)$$

де ϵ_i — стохастичне відхилення ваги i -го критерію, яке моделює реакцію галузі на зовнішні збурення, інформаційні шоки або зміну пріоритетів інвестора. Такий підхід дозволяє формувати сценарні оцінки та визначати чутливість кожного критерію до змін у зовнішньому середовищі.

Умовна ієрархічна класифікація критеріїв, що найчастіше застосовуються в оцінюванні інвестиційної привабливості, охоплює три рівні: базові економічні, ринково-операційні та інституційно-ризикові. До першої групи належать ВВП на душу населення, рівень капіталовкладень, індекси інфляції, процентні ставки, стабільність валютного курсу. Друга група включає рівень проникнення продукції на ринок, темпи зростання галузі, бар'єри входу, доступ до ресурсів, інноваційну активність. До третьої належать корупційні ризики, якість регуляторного середовища, захист прав інвестора, геополітичні ризики та доступ до правосуддя [306].

У сучасних підходах дедалі частіше виникає потреба поєднувати об'єктивно вимірювані індикатори з суб'єктивними — зокрема, через інтеграцію аналітичних панелей із системами експертної оцінки. Прикладом є застосування Delphi-методу у комбінації з агрегованою оцінкою на основі нечіткої логіки, що дозволяє враховувати експертну невизначеність та психологічні очікування учасників ринку.

У дослідженнях останніх років простежується зростання ролі інтегральної динамічної ваги, яка змінюється залежно від часових лагів і реакції ринку. Це породжує потребу у використанні динамічних моделей, таких як VAR (Vector AutoRegression) або Monte Carlo Simulation, що дозволяють враховувати ефекти запізнення, мультифакторність і кореляційну залежність між показниками.

Інвестиційна привабливість у контексті галузевих аналізів також набуває виміру релевантності до інноваційного циклу: наприклад, галузі, що перебувають на етапі масштабування інновацій (енергетика, IT-будівництво), оцінюються за зовсім іншими критеріями, ніж галузі з високим рівнем регуляції та інфраструктурного домінування (традиційне будівництво, ЖКГ). У таких випадках до базових критеріїв додаються індикатори патентної активності, кількість R&D-проектів, обсяг венчурного капіталу, частка цифрових технологій у виробничих процесах [207].

У наступній частині продовжу виклад із розкриттям інституційного, репутаційного та регуляторного шару критеріїв і покажу, як змінюється їхня вага в умовах високої динаміки ринку. Напиши, будь ласка, якщо слід продовжити прямо зараз.

Порівняльне оцінювання інвестиційної привабливості між різними галузями економіки є не лише інструментом вибору напряму інвестування, а й методом стратегічного аналізу трансформаційної здатності кожної галузі. Розмаїття критеріїв, відмінність у часовій структурі повернення інвестицій, галузеві ризики, інституційні бар'єри та еволюційні цикли

породжують необхідність у використанні комплексних, багаторівневих методів аналізу, які дозволяють проводити міжгалузеву оцінку з високим ступенем обґрунтованості [263].

Одним із найпоширеніших підходів є метод багатокритеріального аналізу (MCDM – Multi-Criteria Decision Making). Його використання передбачає порівняння альтернатив (галузей) за сукупністю критеріїв, кожен з яких має свою вагу та шкалу нормалізації. Найчастіше застосовуються методи АНР (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) та ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) [201].

Для демонстрації формального апарату зупинимося на методі TOPSIS, що дозволяє вибрати найкращу галузь (альтернативу), яка водночас є найближчою до ідеального рішення та найдалшою від антирішення. Суть методу полягає у створенні нормалізованої матриці рішень, визначенні вагових коефіцієнтів, побудові векторів ідеального A^+ та антиідеального A^- рішення, розрахунку відстаней до цих векторів та оцінці відносної близькості.

Загальна формула відстані до ідеального рішення:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=0}^n w_j \times (x_{ij} - x_j^+)^2}, \quad (3.3)$$

а до антиідеального:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=0}^n w_j \times (x_{ij} - x_j^-)^2}, \quad (3.4)$$

де: x_{ij} — нормалізоване значення j -го критерію для i -ї галузі; x_j^+ , x_j^- — відповідно ідеальне та антиідеальне значення критерію j ; w_j — вага j -го критерію; D_i^+ , D_i^- — евклідова відстань галузі i до ідеального та антиідеального рішення.

Інтегральна оцінка привабливості галузі формується як коефіцієнт близькості:

$$C_i = D_i^- / (D_i^- + D_i^+), \quad (3.5)$$

де $C_i \in [0,1]$, чим ближче до 1 — тим більш привабливою вважається галузь.

У структурному плані методи MCDM, зокрема TOPSIS або АНР, дозволяють інтегрувати як кількісні критерії (наприклад, рентабельність, обсяги капіталізації, глибина ринку), так і якісні (наприклад, інноваційна активність, якість регуляції, ризики входу). Це забезпечує універсальність і дозволяє адаптувати модель до змін середовища або специфіки інвестора.

Однак важливо розуміти, що класичні MCDM-методи є детермінованими, а отже — чутливими до зміни вагових коефіцієнтів. Тому зростає актуальність застосування нечітких MCDM (Fuzzy TOPSIS, Fuzzy АНР), які вводять поняття лінгвістичних змінних, нечітких трикутних або трапецієподібних чисел для оцінювання критеріїв та альтернатив. Це дозволяє працювати з оцінками типу «високий рівень регуляторного тиску», «низький рівень інфраструктурної забезпеченості», що важко формалізувати у класичному числовому вигляді [279].

Сучасні підходи до порівняльного оцінювання також передбачають інтеграцію з нейромережевими або імітаційними моделями. Наприклад, імітаційна модель Monte Carlo

дозволяє оцінити зміну позицій галузей у рейтингу за рахунок випадкових варіацій значень критеріїв, що особливо корисно в умовах нестабільного ринку.

Для візуального представлення інтегрованого алгоритму порівняльного оцінювання інвестиційної привабливості галузей економіки на основі MCDM з можливістю розширення на стохастичний блок, подано нижче рисунку 3.24.

Перевагою вищенаведеної моделі є її адаптивність — до неї можуть бути включені блоки нечіткої логіки, імітаційної корекції, автоматизованого вагового навчання через машинне навчання. Так, наприклад, вага критерію «енергетична ефективність» в інфраструктурній галузі може змінюватися залежно від законодавчих змін або субсидування [280].

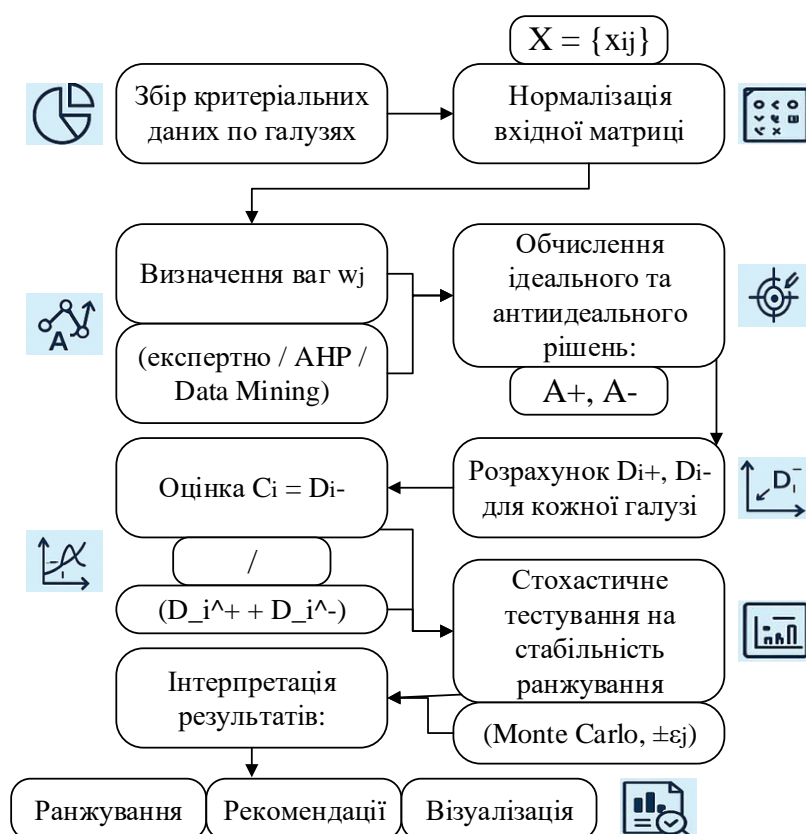


Рис. 3.24. Алгоритм порівняльного оцінювання інвестиційної привабливості галузей за допомогою MCDM з елементами стохастичного моделювання (розроблено автором на основі [175])

Інвестиційні дослідження, виконані за допомогою подібних схем, довели свою ефективність у таких галузях, як логістика, телеком, нерухомість, відновлювана енергетика. Праці таких авторів, як К. Лібераті, Т. Сааті, Д. Маждул, демонструють зростаючу вагу методів MCDM у стратегічному плануванні портфеля галузевих інвестицій.

Аналіз інвестиційної привабливості будівельної галузі у порівнянні з іншими секторами економіки потребує не лише зіставлення базових економічних показників, а й побудови комплексних міжгалузевих моделей, що враховують мультифакторну динаміку середовища. Середовище інвестування сьогодні визначається високою адаптивністю до ризиків, цифровою насиченістю, орієнтацією на швидке повернення капіталу, тому

традиційні підходи до оцінки привабливості галузі будівництва втрачають універсальність і потребують структурної ревізії [175].

Будівельна галузь історично вважається капіталомісткою з високим рівнем мультиплікатора зайнятості та інвестицій. Утім, порівняння з іншими динамічними секторами (ІТ, фінансові послуги, логістика, альтернативна енергетика) показує, що без врахування інноваційного потенціалу та цифрової трансформації будівництво може втратити частку інвестиційного попиту. Для кількісного зіставлення галузей доцільно формалізувати загальний індекс порівняльної привабливості (Comparative Investment Attractiveness Index, CIAI), що базується на агрегованій оцінці за нормалізованими критеріями:

$$CIAI_s = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot K_{s,j} - \frac{\min(K_j)}{\max(K_j) - \min(K_j)}, \quad (3.6)$$

де: CIAI_s — індекс інвестиційної привабливості сектора s, K_{s,j} — значення j-го критерію для сектора s, α_j — ваговий коефіцієнт критерію j (визначений методом АНР або експертно), n — кількість критеріїв.

Цей індекс дозволяє відобразити відносну привабливість секторів у шкалі від 0 до 1, враховуючи їхню позицію у відношенні до граничних значень [178].

Для практичної реалізації даного підходу наведемо порівняльну таблицю 3.3 (на основі умовних даних), що включає основні фактори: дохідність, ризик, капіталомісткість, швидкість окупності, рівень цифровізації, інноваційний коефіцієнт та стабільність регуляторного середовища.

Таблиця 3.3. Порівняльна матриця нормалізованих показників інвестиційної привабливості для різних галузей (розроблено автором на основі [9])

Галузь	Дохідність (K ₁)	Ризик (K ₂)	Цифровізація (K ₃)	Окупність (K ₄)	Інновації (K ₅)	Регул. стабільність (K ₆)	CIAI
Будівництво	0.68	0.44	0.33	0.47	0.38	0.71	0.50
ІТ-сектор	0.84	0.65	0.91	0.78	0.93	0.62	0.79
Фінансові послуги	0.74	0.51	0.81	0.71	0.66	0.58	0.67
Агросектор	0.55	0.38	0.41	0.62	0.32	0.77	0.50
Енергетика	0.62	0.43	0.56	0.55	0.54	0.74	0.57

Вагові коефіцієнти критеріїв (α) становлять: K₁ – 0.20, K₂ – 0.15, K₃ – 0.15, K₄ – 0.20, K₅ – 0.15, K₆ – 0.15.

На основі таблиці видно, що будівельна галузь суттєво відстає за критеріями цифровізації (K₃) та інновацій (K₅), що тягне зниження загального показника привабливості. Водночас її регуляторна стабільність (K₆) і рівень дохідності (K₁) тримаються на порівняно високому рівні, що свідчить про потенціал у випадку впровадження цифрових і аналітичних рішень [2].

Щоб представити динаміку змін позицій будівельної галузі за останні роки відносно секторів-конкурентів, побудуємо рисунок 3.25 - оцінки трендів інвестиційної привабливості:

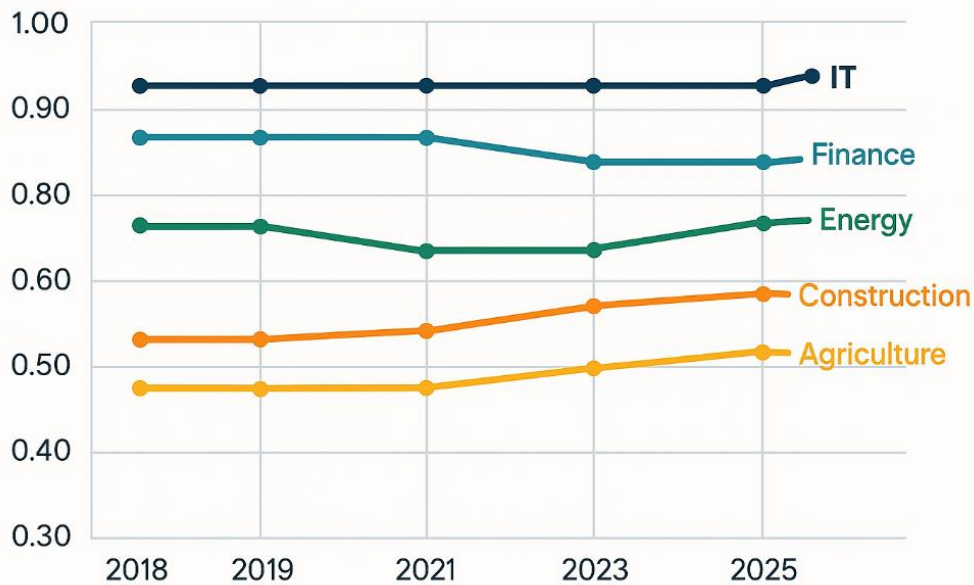


Рис. 3.25. Тренд динаміки індексу CIAI у 2018–2025 роках для ключових галузей (за шкалою від 0 до 1) (розроблено автором на основі [2])

Як видно з рисунку, будівельна галузь має поступове зниження або стагнацію привабливості, особливо у 2021–2023 роках, що пов'язано з інфраструктурними обмеженнями, нестачею кваліфікованих кадрів та низьким рівнем цифрової інтеграції. Натомість ІТ-сектор і фінансові послуги демонструють впевнений ріст, зумовлений технологічною гнучкістю, відносною незалежністю від фізичної інфраструктури та наявністю масштабованих бізнес-моделей [3].

Додатково варто ввести формулу тренду зміни привабливості з урахуванням індексу впливу цифровізації DI та індексу галузевої еластичності GE :

$$\Delta CIAI_t = \beta_1 \cdot DI_t + \beta_2 \cdot GE_t + \varepsilon_t, \quad (3.7)$$

де: $\Delta CIAI_t$ — зміна привабливості галузі у періоді t , DI_t — рівень цифровізації у періоді t , GE_t — галузева еластичність до зовнішніх факторів (макроекономічні шоки, регуляторні зміни), β_1, β_2 — оцінені коефіцієнти регресійного впливу, ε_t — стохастичне збурення.

Згідно з дослідженнями останніх років (зокрема, моделі Р. Гатчінсона і Ж. Да Сілва), будівництво демонструє низький коефіцієнт еластичності на інноваційні стимули, що поглиблює відставання при відсутності державної чи фондівської підтримки цифрових трансформацій.

Інвестиційна привабливість галузі формується під впливом багатьох зовнішніх і внутрішніх факторів, які в умовах нестабільного економічного середовища здатні змінюватися з високою динамікою. Зокрема, сьогодні особливої ваги набувають чинники макроекономічної стійкості, регуляторної передбачуваності, цифрової зрілості, інноваційної активності та ризикового профілю галузі. Їхня взаємодія створює багатовимірну структуру впливу, де кожен чинник виступає як модифікатор потенційної віддачі на інвестиції [72].

Для аналізу впливу чинників доцільно використовувати концепцію індексу еластичності привабливості (Elasticity Index of Investment Attractiveness — ЕІА), який

показує, наскільки зміна певного чинника впливає на загальний індекс інвестиційної привабливості. Формалізовано він може бути представлений як частинна похідна:

$$EIIA_j = \frac{\partial CIAI}{\partial F_j} \cdot \frac{F_j}{CIAI}, \quad (3.8)$$

де: F_j — значення j -го чинника (наприклад, рівень корупції, темпи інфляції, рівень цифровізації); $CIAI$ — індекс інвестиційної привабливості галузі; $EIIA_j$ — еластичність індексу при зміні F_j .

Таким чином, значення $EIIA_j > 1$ свідчить про високу чутливість привабливості до цього чинника, а $EIIA_j < 1$ — про слабку реакцію галузі.

З урахуванням сучасного інвестиційного середовища можна виділити п'ять груп ключових чинників, що формують індекс галузевої привабливості [116]:

1. Макроекономічні параметри — інфляція, облікова ставка, курс національної валюти, ВВП на душу населення;
2. Регуляторне середовище — стабільність законодавства, прозорість дозвільних процедур, ефективність судової системи;
3. Рівень ризиків — політичний, військовий, податковий, валютний, логістичний ризик;
4. Технологічна спроможність — частка інновацій у продуктах/послугах, рівень діджиталізації процесів;
5. Соціально-інституційні чинники — демографічна ситуація, кадровий потенціал, готовність ринку до змін.

Особливо важливим є аналіз агрегованого впливу змін макроекономічної ситуації. Для цього можна застосовувати багатофакторну регресійну модель з інтерактивними змінними, яка дозволяє виявити не лише прямий, а й комбінований ефект:

$$CIAI_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot Infl_t + \beta_2 \cdot IR_t + \beta_3 \cdot DX_t + \beta_4 \cdot (Infl_t \cdot DX_t) + \varepsilon_t, \quad (3.9)$$

де $Infl_t$ — рівень інфляції у період t ; IR_t — облікова ставка (interest rate); DX_t — індекс цифрової зрілості галузі; ε_t — стохастичний залишок; $\beta_4 \cdot (Infl_t \cdot DX_t)$ — інтерактивний ефект, що показує посилення/послаблення інфляційного впливу при різному рівні цифрової підготовки галузі.

Важливою перевагою таких моделей є їхня здатність показати, чому одні й ті самі макроумови призводять до протилежних наслідків у різних галузях. Наприклад, високі облікові ставки можуть обмежувати будівництво через зростання вартості фінансування, але одночасно стимулювати фінансовий сектор завдяки високим прибуткам від облігацій [54].

Щоб візуально представити, які чинники є домінуючими для інвестиційної привабливості в різних галузях, побудуємо рисунок 3.

На графіку видно, що будівництво програє у технологічному чиннику (низький рівень автоматизації та інновацій), але має високу оцінку регуляторної стійкості та соціального потенціалу. IT-сектор, навпаки, демонструє найвищі значення в технологіях та ризик-нейтральності.

Згідно з аналітикою Deloitte (2023) та McKinsey Global Institute, найбільший позитивний ефект на зміну привабливості галузі у 2020–2024 роках мали цифрова трансформація (до +0.23 пункту у $CIAI$), а також державні стимули (до +0.18). Водночас, інфляція та військові ризики призводили до середнього зниження від -0.27 до -0.34 пункту, що

особливо критично для галузей, залежних від імпортованих матеріалів, таких як будівництво та енергетика.

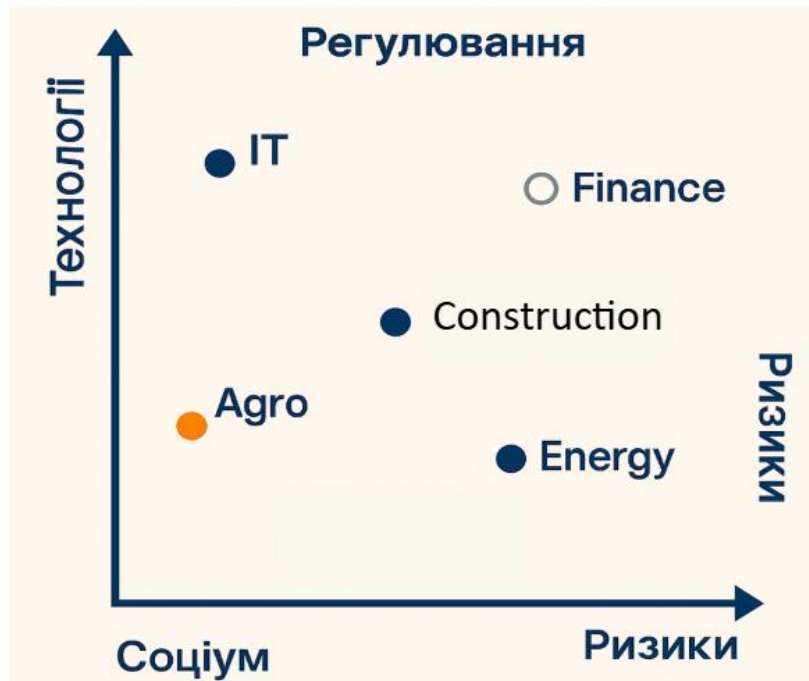


Рис. 3.26. Профіль впливу чинників на інвестиційну привабливість галузей (розроблено автором на основі [54])

Підсумовуючи, можна стверджувати, що фактори ризику, темпи цифровізації та макроекономічні параметри стають не просто контекстом, а активними змінними, які перетворюють інвестиційну логіку в динамічне рівняння. Привабливість більше не є атрибутом, а продуктом — що постійно модифікується у відповідь на зміну середовища.

У контексті сучасної економіки, що дедалі більше характеризується багатофакторною невизначеністю, коротким горизонтом стратегічного планування та динамічним перерозподілом капіталу між секторами, роль цифрових аналітичних інструментів в оцінюванні інвестиційної привабливості зростає експоненційно. Якщо раніше аналітик мав справу з обмеженою кількістю змінних, фрагментарними звітами та інтерпретацією ручних розрахунків, то сьогодні оцінювання ефективності, ризику й потенціалу інвестицій вимагає обробки масивів різномірних даних у режимі реального часу [29].

Цифрові платформи для оцінки інвестиційної привабливості охоплюють цілу низку програмних рішень, від візуалізаційних дашбордів до предиктивної аналітики на базі штучного інтелекту. Їхнє використання дозволяє створити цифровий близнюк галузі — структуровану модель, яка відображає поведінку сектору у відповідь на зовнішні шоки, зміну макропараметрів, інституційні зрушення.

Умовно всі цифрові інструменти для оцінювання можна згрупувати у п'ять блоків [90]:

1. Платформи динамічної BI-аналітики (Business Intelligence): Power BI, Tableau, Qlik Sense — для побудови агрегованих рейтингів, дашбордів змін CIAI, інтерактивних візуалізацій;
2. Системи обробки великих даних та машинного навчання: Google Cloud Platform (BigQuery), Microsoft Azure ML, Python-бібліотеки (Scikit-learn, XGBoost) — для аналізу трендів, регресій, сценарного прогнозування;

3. Платформи для геоаналітики та просторової привабливості: ArcGIS, Mapbox, Kepler.gl — для оцінювання просторових кластерів інвестування;
4. Інтегровані API-аналітики та макроекономічних репозиторіїв: World Bank Data API, Eurostat API, OECD.Stat API — для імпорту актуальних показників у цифрове середовище;
5. Системи автоматизованого KPI-моніторингу та алертів: Zoho Analytics, Sisense, Oracle Analytics Cloud — для безперервного трекінгу відхилень у привабливості.

Центральним компонентом цифрової моделі є індексна структура, яка дозволяє агрегувати показники в реальному часі та відображати динаміку змін у зручному форматі. Формалізовано така структура може виглядати як багатовимірний вектор динаміки:

$$C_t = [CIAI_{1,t}, CIAI_{2,t}, \dots, CIAI_{m,t}], \quad (3.10)$$

де m — кількість галузей, а кожен компонент вектора є результатом обчислення CIAI через поточні дані та формули, імпортовані з цифрових репозиторіїв.

Для предиктивного моделювання застосовують градієнтні бустингові алгоритми (Gradient Boosting Models), які навчаються на історичних даних і можуть враховувати десятки змінних, включаючи латентні фактори. Типова форма передбачення майбутнього значення привабливості для галузі g у періоді $t+k$ виглядає так:

$$\widehat{CIAI}_{g,t+k} = f(X_t; \theta), \quad (3.11)$$

де: f — навчена модель (наприклад, XGBoost); X_t — матриця ознак (макропоказники, інновації, інфраструктура, ризики тощо); θ — параметри моделі, оптимізовані в процесі навчання; $\widehat{CIAI}_{g,t+k}$ — прогноз привабливості на k періодів уперед.

Для реалізації повноцінного циклу цифрового оцінювання формується інтегрована архітектура даних, яка містить наступні модулі: джерела даних (Data Sources), середовище трансформації (ETL), модельне ядро (Model Core), панель управління (Dashboard Layer) та блок рекомендацій (Insight Engine). Схематично це можна представити у вигляді наступного рисунку 4.

Інтеграція цієї системи з ERP, CRM, SCM-платформами підприємств, а також з регіональними регуляторами дозволяє не лише прогнозувати інвестиційні потоки, а й моделювати ефекти державної політики на рівні секторів. Наприклад, при зміні облікової ставки автоматично оновлюється модельна оцінка CIAI, формується алерт для портфельного інвестора, а на дашборді виводиться симуляція можливих втрат або вигод.

Впровадження таких платформ забезпечує чотири ключові вигоди [26]:

- Оперативність оцінки — зміна одного параметра миттєво відображається в усіх пов'язаних модулях;
- Глибина аналітики — можлива побудова моделей залежностей і крос-впливів між чинниками;
- Сценарність — відтворення різних економічних сценаріїв із прогнозом наслідків;
- Прозорість — доступ до аналітики для всіх учасників екосистеми: інвесторів, держави, девелоперів, регуляторів.
- Таким чином, цифрові платформи не лише підвищують точність оцінювання інвестиційної привабливості, а й перетворюють сам процес аналізу в доступний, масштабований і персоналізований механізм ухвалення рішень. Для будівельної галузі це критично важливо,

оскільки дозволяє зменшити інформаційні асиметрії, прогнозувати попит на об'єкти, оптимізувати портфель проектів і відслідковувати зміни нормативного поля в інтерактивному режимі.

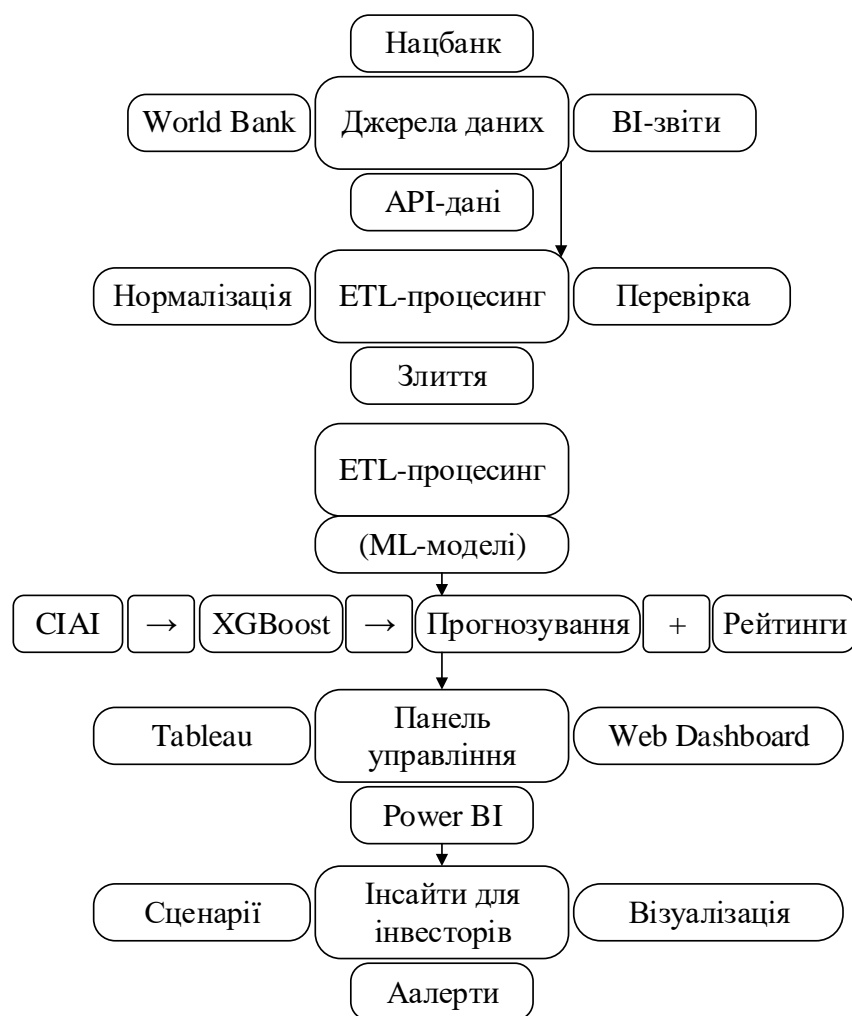


Рис. 3.27. Інтегрована цифрова архітектура оцінювання інвестиційної привабливості галузей (розроблено автором на основі [26])

3.4 Порівняльне оцінювання інвестиційної привабливості галузі за допомогою експертного аналізу та номографічних моделей

У сучасному економічному середовищі інвестиційна привабливість галузі є складною багатовимірною характеристикою, що охоплює як кількісні, так і якісні аспекти, та є об'єктом активного наукового дослідження у площині макро- та мезоекономіки. Це поняття трактується не лише як здатність галузі акумулювати інвестиційний ресурс, але і як її спроможність забезпечити довготривалу капіталізацію вкладених активів за прийнятного рівня ризику. Одним із ключових елементів розуміння інвестиційної привабливості є її багатофакторна природа, яка охоплює структурні параметри галузі, динаміку попиту, характер регуляторного середовища, доступність ресурсів, ризикову складову, інституційні обмеження та ступінь інноваційної зрілості. Сучасна методологія оцінки вимагає не тільки формального аналізу, а й побудови цілісної аналітичної системи, в якій оцінюється взаємодія між чинниками.

В українській економічній літературі відчутний внесок у методологічне осмислення цього поняття зробили такі автори, як Длугопольський О. В., Дергачова В. В., Луцішин З. В., які запропонували розглядати інвестиційну привабливість через призму інституційної відкритості та секторальної стабільності. У міжнародному контексті ґрунтовні дослідження належать М. Портеру, А. Дамодарену, М. Трейсі, які підкреслюють значення конкурентоспроможності та ринкової ємності як детермінант привабливості галузей. Проте лише поєднання емпіричної верифікації з аналітичним моделюванням дозволяє здійснити порівняльне оцінювання між різними секторами економіки [172].

Формальна оцінка інвестиційної привабливості починається з побудови багатокритеріальної моделі, у якій кожен фактор виступає як змінна зі своєю вагою. Основу моделі складає система індикаторів, до яких найчастіше включають коефіцієнти рентабельності, капіталомісткість, фінансову стабільність, темпи зростання, рівень ризику, доступність сировини та логістичних ресурсів, інноваційну активність. Для математичного агрегування використовується формула 3.12, зважена адитивна модель, що дозволяє врахувати пріоритетність критеріїв:

$$G_i = \sum_h^n \varphi_h \times \frac{y_{ih} - \min(y_h)}{\max(y_h) - \min(y_h)}, \quad (3.12)$$

де G_i – інтегральний показник інвестиційної привабливості i -тої галузі; y_{ih} – значення h -того показника для i -тої галузі; φ_h – вага показника, визначена експертним шляхом.

Ця формула дає змогу привести всі показники до уніфікованої шкали 0–1, що особливо важливо у міжгалузевому аналізі. Така нормалізація забезпечує коректність порівняння навіть для показників із різною розмірністю (наприклад, рентабельність і капіталовкладення на одного працівника). Проте складність не лише у зборі достовірних даних, а й у визначенні ваг. Для цього часто застосовуються методи аналітичного ієрархічного процесу (АНП), метод SWARA або ентропійний підхід [193]. Варто зазначити, що при використанні методу SWARA кожен експерт не просто надає оцінку важливості, а й коригує попередній коефіцієнт, що дозволяє відтворити логіку пріоритетів, і для цього використовується формула 3.13:

$$e_b = \frac{e_{b-1}}{1 + d_b + \gamma_b \times \left(\frac{\Delta d_b}{d_b}\right)^\beta}, \quad (3.13)$$

де: e_b — скоригована вага b -го критерію; e_{b-1} — попереднє значення ваги; d_b — базовий коефіцієнт важливості b -го показника (визначений експертно); Δd_b — розмах інтервалу невизначеності у судженнях експертів щодо важливості b -го показника; $\gamma_b \in [0,1]$ — коефіцієнт нечіткості судження для b -го показника (визначається через лінгвістичне шкалювання); β — коефіцієнт чутливості до невизначеності (рекомендовано в межах 1.5–3.5).

У структурному розрізі доцільним є поділ факторів впливу на три макрогрупи: структурні (розмір сектору, темпи зростання, типова маржинальність), регуляторні (ступінь регулювання, податкове навантаження, доступ до держпідтримки) та операційні (доступ до ресурсів, логістична інфраструктура, кваліфікація персоналу). Така класифікація дозволяє впровадити багатoshарову аналітику, коли кожен фактор має не тільки свою вагу, а й еластичність, яка відображає зміну привабливості у відповідь на зміну параметра.

У дослідженнях П. Лазера та Т. Чанга окремо підкреслюється значення інституційного клімату, який включає ступінь передбачуваності регуляторного середовища, ризик політичних змін, захист інвестора, доступ до фінансування. У країнах із перехідною економікою ці чинники є критичними і часто переважають навіть фінансову привабливість. В умовах України ця теза підтверджується змінами в рейтингах Doing Business та Індексу легкості ведення бізнесу, які мають сильну кореляцію з активністю прямих іноземних інвестицій у галузі [259].

Іншим важливим напрямом є аналіз ризикового профілю галузі, зокрема за допомогою оцінки варіації ключових показників. Наприклад, можна використовувати формулу 3.14, коефіцієнт варіації, для ідентифікації нестабільних галузей:

$$RH_a^* = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T v_t \times (y_{at} \times \bar{y}_t)^2 + \lambda \times \sum_{t=2}^T (y_{at} \times y_{a(t-1)})^2}}{y_a \times \sqrt{T}}, \quad (3.14)$$

де: RH_a^* — узагальнений коефіцієнт варіації з урахуванням нестабільності та автокореляції; y_{ab} — значення показника a у момент часу t ; \bar{y}_t — середнє значення показника j за період спостереження, v_t — ваговий коефіцієнт для періоду t , що відображає економічне значення спостереження; λ — коефіцієнт автокореляційного коригування (визначається за Durbin-Watson або через експертне α -налаштування); T — кількість періодів спостереження. Високий CV вказує на нестабільність, що може знизити загальну привабливість навіть при високих середніх значеннях доходності або зростання.

Для створення більш комплексного індикатора використовується метод головних компонент (PCA), який дозволяє знизити розмірність системи без втрати інформації. У його основі лежить побудова лінійної комбінації вхідних змінних з максимальним пояснювальним потенціалом. Це дозволяє на основі десятків змінних сформувати кілька головних факторів, які вже інтерпретуються у межах галузевої привабливості [243].

Особливу увагу варто звернути на інтерпретацію результатів. Наприклад, будівельна галузь, навіть при відносно низьких темпах зростання, може демонструвати високий рівень інвестиційної привабливості через її мультиплікативний ефект, прив'язку до інфраструктурних програм і здатність акумулювати суміжні галузі. Водночас галузі з високою нормою прибутку (наприклад, IT) можуть мати нижчу привабливість через обмежену масштабованість або вузьку базу споживачів у внутрішньому ринку.

Підвищення точності оцінки можливе через побудову функції ймовірності досягнення інвестиційної мети при заданому ризику, використання формули:

$$B = \varphi\left(\frac{C(K) - K_{min}}{\gamma_K}\right), \quad (3.15)$$

де B — ймовірність досягнення мінімального рівня прибутковості K_{min} , $C(K)$ — очікувана прибутковість галузі, γ_K — стандартне відхилення. Функція φ — стандартна нормальна кумулятивна функція. Це дозволяє інвестору інтерпретувати не тільки середні значення, а й ймовірність "вписатися" у планову доходність.

Важливо, що формалізація не повинна відриватися від якісного контексту. Для прикладу, аграрна галузь України виглядає привабливо з точки зору виробничих потужностей і експорту, проте обмеження з боку інфраструктури (елеватори, логістика),

залежність від погоди та міжнародних ринків можуть радикально змінити оцінку в залежності від вибраної моделі [195].

Для системного розуміння інвестиційної привабливості необхідно враховувати взаємодію широкого спектру кількісних та якісних факторів у межах багатокритеріальної моделі. Нижче наведено рисунок 3.28, який ілюструє логіку формалізації та взаємозв'язок основних елементів оцінювання.

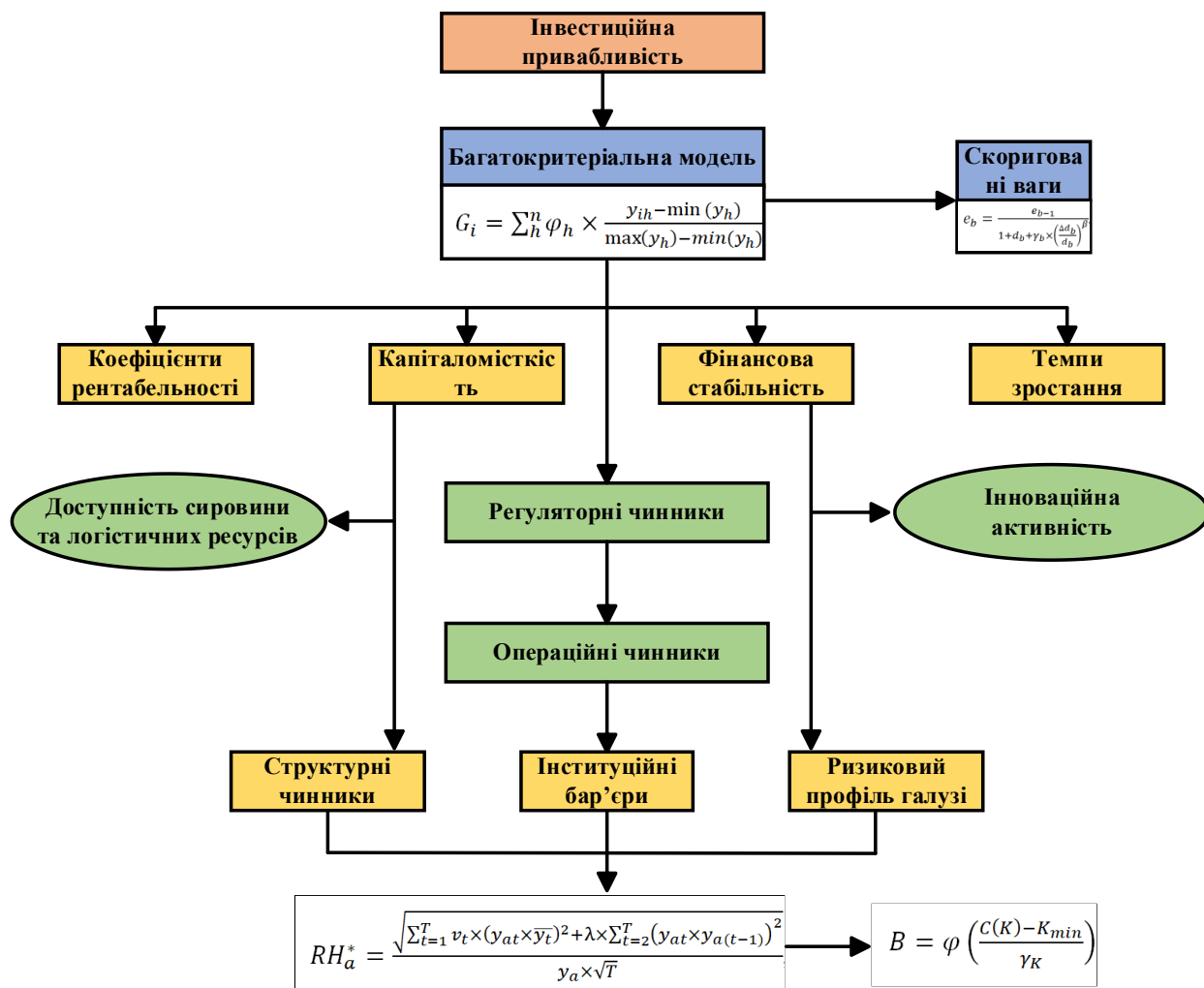


Рис. 3.28. Структурно-факторна блокова модель оцінки інвестиційної привабливості галузі з урахуванням математичних залежностей (розроблено автором на основі [195])

Таким чином, теоретико-методологічне поле оцінки інвестиційної привабливості галузей формується на перетині економетричного аналізу, структурного моделювання та експертного оцінювання. Сучасні інструменти дозволяють гнучко адаптувати ваги, враховувати нестабільність, проводити міжгалузеву порівняльність, проте ключовим залишається аналітична інтерпретація та верифікація результатів у практичному середовищі. У складній багатофакторній моделі інвестиційної привабливості ключове значення набуває не лише кількісна репрезентація факторів, а й механізм оцінювання їхньої відносної важливості. Саме в цьому контексті експертний аналіз виступає незамінним інструментом, що дозволяє структурувати суб'єктивні судження фахівців у математично обґрунтовану

систему ваг і залежностей. Її інтеграція в аналітичні моделі відкриває шлях до глибшого, контекстуального розуміння галузевих переваг і обмежень.

У системах прийняття рішень, де інформація є неповною, а кількісні дані — недостатньо точні або неоднорідні, саме експертний аналіз дозволяє вивести оцінку на рівень структурованого знання. Її роль особливо зростає при оцінюванні інвестиційної привабливості галузей, де базові економічні характеристики не завжди відображають поточну чи стратегічну ситуацію, а кон'юнктурні зсуви здатні радикально змінити профіль навіть стабільної галузі. Такий підхід виходить за межі формального аналізу статистичних індикаторів і втягує у процес оцінки інтуїцію, логіку, знання фахівців, які мають досвід у взаємодії з конкретними секторами.

Методологічне обґрунтування експертного аналізу ґрунтується на принципі колективної компетентності. Він передбачає, що сукупність незалежних, але професійних думок може бути ефективно об'єднана у єдине представлення про систему. Ключове завдання полягає не просто в зборі оцінок, а у їх правильному агрегуванні, перевірці на узгодженість, зважуванні та подальшій інтерпретації. При цьому важливо не втратити змістовне наповнення суджень — саме тут набуває значення правильно побудована процедура зважування [213].

Одним із найвідоміших і водночас методологічно витриманих підходів є аналітичний ієрархічний процес (АНР), запропонований Т. Сааті. У його межах формуються матриці парних порівнянь критеріїв, за якими експерти оцінюють відносну перевагу одного параметра над іншим. Далі обчислюється вектор ваг за допомогою геометричних середніх і проводиться тест на узгодженість. Сучасна модифікація АНР дозволяє адаптувати модель під складні багаторівневі структури. Оцінка ваг кожного критерію у вигляді геометричної нормалізації записується як формула:

$$r_a = \frac{(\prod_{b=1}^n \beta_{ab})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{b=1}^n \beta_{ab})^{1/n}}, \quad (3.16)$$

де r_a — вага a -го критерію, β_{ab} — значення порівняльної матриці для пари критеріїв a і b , n — загальна кількість критеріїв. Дана формула дозволяє отримати нормалізовану вагу, яка зберігає відносну логіку переваг і забезпечує математичну узгодженість.

Проте класичний АНР не враховує суб'єктивну розмитість у судженнях, особливо коли кількість експертів велика, а їхні позиції суттєво варіюються. У таких умовах, коли виникає потреба врахувати як індивідуальні відхилення в оцінках, так і ступінь узгодженості, дедалі частіше застосовується метод інтегрованого зважування з нечіткою корекцією (Integrated Weighted Consensus Index). Її особливість полягає в одночасному урахуванні середніх оцінок, їхньої розбіжності та вагового впливу експертів. У цьому випадку коефіцієнт ваги критерію формується як формула не лише середньої оцінки, а й щільності експертної концентрації навколо певного значення:

$$e_b = \frac{\sum_{a=1}^m k_a \times [1 - |y_{ab} - \bar{y}_b|^\gamma]}{\sum_{b=1}^n \sum_{a=1}^m k_a \times [1 - |y_{ab} - \bar{y}_b|^\gamma]}, \quad (3.17)$$

де: e_b — вага b -го критерію, y_{ab} — оцінка j -го критерію експертом i , \bar{y}_b — середня оцінка критерію b по всіх експертах, k_a — ваговий коефіцієнт довіри до експерта a , γ —

параметр чутливості до розбіжності (рекомендується $1.5 \leq \gamma \leq 3$), n — кількість критеріїв, m — кількість експертів.

Ця модель має кілька суттєвих переваг. По-перше, вона дозволяє врахувати ступінь згоди серед експертів: чим ближча індивідуальна оцінка до середнього значення, тим більший її внесок у формування ваги. По-друге, вона коригує вплив "екстремальних" суджень — якщо експерт надто відхиляється від колективного центру оцінки, його вплив на вагу зменшується. По-третє, завдяки коефіцієнту rig_igi , у модель вбудовано механізм диференціації рівня довіри до експертів залежно від їхньої кваліфікації, ролі у галузі чи досвіду [43].

Цей підхід дозволяє відійти від жорсткої послідовності (як у SWARA) і натомість сформувати гнучку метрику, яка враховує не лише пріоритетність критеріїв, а й якість та стабільність суджень, зберігаючи при цьому логіку нечіткої багатокритеріальності. Він особливо ефективний у контексті міжгалузевого оцінювання, де традиційна система ваг зазнає впливу галузевої специфіки, а експерти походять із різних середовищ з різною логікою пріоритетів.

Після етапу визначення ваг критеріїв надзвичайно важливим стає не просто підсумовування оцінок по галузях, а створення моделі, яка дозволяє врахувати як саму величину показника, так і рівень впевненості в ньому, нестабільність значень та ступінь експертної згоди. Особливої ваги набуває ситуація, коли певні галузі мають широкий розмах оцінок або схильність до нестабільної динаміки, що не враховується у звичайних схемах нормалізації. У таких випадках замість простої лінійної шкали доцільно використовувати узагальнену формулу з урахуванням ваг, варіаційного фону та асиметрії значень:

$$DF_l = \sum_{c=1}^n s_c \times \left(\frac{y_{lc} - \delta_c}{\sqrt{\rho_c^2 + \sigma_c^2}} \right), \quad (3.18)$$

де: DF_l — інтегральна оцінка інвестиційної привабливості l -тої галузі, s_c — вага c -го критерію, y_{lc} — експертна оцінка c -го критерію для галузі l , δ_c — середнє значення оцінок за критерієм c серед усіх галузей, ρ_c^2 — дисперсія по вибірці, σ_c^2 — додатковий коефіцієнт розкиду, що враховує міжекспертну невизначеність.

Цей підхід дозволяє не просто нормалізувати значення до уніфікованого інтервалу, а створити адаптивну шкалу, де кожне значення перетворюється з урахуванням стабільності й впевненості в ньому. Завдяки цьому галузі, що демонструють екстремальні значення, але з високою нестабільністю або розбіжністю в оцінках, отримують пропорційно знижену вагу впливу на фінальний індекс. Такий механізм є особливо доцільним у випадках міжгалузевого порівняння, де показники, здавалося б, мають схожі абсолютні величини, але суттєво відрізняються за надійністю або регулярністю.

Застосування саме цієї формули дозволяє подолати типовий недолік традиційного нормування, при якому екстремальні галузі мають диспропорційний вплив на загальний рейтинг. Завдяки введенню дисперсійного та експертного фону до формули, фінальний результат не є лише середньозваженою сумою, а виступає результатом багатовимірної трансформації, в якій враховується не тільки значення, а й його "якість" — тобто стабільність і підтримка серед експертів [80].

Щоб візуалізувати відмінності в оцінках пріоритетності між секторами, доцільно проаналізувати, як саме розподілились ваги ключових критеріїв у різних галузях відповідно

до експертного підходу. Побудований рисунок 2 дозволяє наочно співставити профілі привабливості трьох секторів за однаковими параметрами.

Загалом, експертний аналіз як метод не лише заповнює прогалини у даних, а й виступає аналітичною надбудовою, яка узагальнює гетерогенну інформацію, дозволяє її структурувати, нормалізувати та перетворити на інструмент порівняльного стратегічного бачення. Особливо важливим він є в умовах слабкої статистичної інфраструктури або швидкоплинного середовища, де традиційні моделі прийняття рішень втрачають актуальність через часову інерцію або надмірну спрощеність [30].

Хоч аналітичні й експертні методи дозволяють кількісно відобразити складні взаємозв'язки між критеріями, їх результат часто вимагає швидкої інтерпретації та візуальної репрезентації. Саме тому дедалі частіше аналітики звертаються до номографічних моделей, які поєднують точність математичних залежностей із наочністю графічного подання. Такий підхід є особливо ефективним для представлення інтегральної оцінки інвестиційної привабливості в умовах багатofакторного впливу.

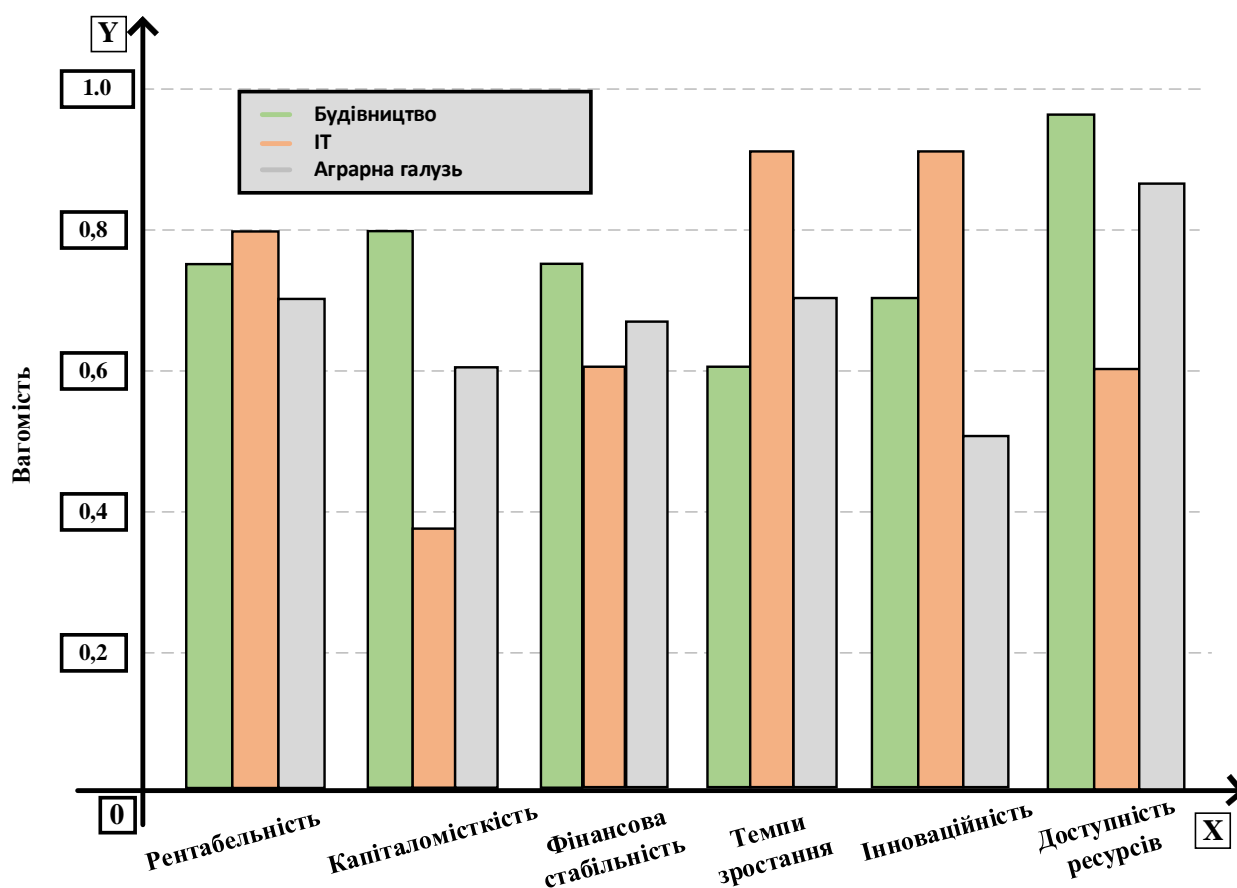


Рис. 3.29. Порівняльна стовпчикова діаграма ваг критеріїв інвестиційної привабливості за галузями (розроблено автором на основі [80])

В економічному аналізі, де складність міжпараметричних залежностей перешкоджає прямій інтерпретації результатів, номографія пропонує альтернативу традиційним цифровим методам. Її сутність полягає в тому, щоб представити багатofакторні математичні співвідношення у вигляді графічних конструкцій, які дозволяють швидко оцінити взаємозв'язки між змінними без необхідності числових розрахунків. Це особливо актуально у сфері оцінювання інвестиційної привабливості галузей, де впливові фактори мають як

кількісну, так і якісну природу, а їхній взаємозв'язок є складним, і не завжди піддається лінійній формалізації.

Номографія — це аналітична графіка, що дозволяє вирішувати рівняння за допомогою побудови прямолінійних чи криволінійних шкал, які об'єднані візуальними лініями зв'язку. Зазвичай номограми складаються з трьох і більше шкал, розташованих вертикально або під певним кутом, де значення змінних наносяться відповідно до обраної математичної залежності [51].

Для моделювання інвестиційної привабливості це відкриває нові можливості. Галузеві аналітики, маючи у своєму розпорядженні вхідні дані щодо темпів зростання, рівня ризику, інноваційної активності, регуляторного навантаження тощо, можуть наочно оцінити інтегральну позицію галузі за допомогою зведеної номограми. Це не лише економить час, а й полегшує комунікацію результатів зацікавленим сторонам, які не є фахівцями з економічного моделювання. Щоб узагальнити переваги запропонованої методики оцінювання доцільно звернути увагу на таблицю 3.4 де систематизовано ключові характеристики підходу, що інтегрує експертні оцінки, міжгалузеву адаптивність і стабільність до варіативності.

Таблиця 3.4. Характеристики адаптивної моделі оцінювання інвестиційної привабливості в міжгалузевому середовищі
(розроблено автором на основі [51])

Критерій порівняння	Традиційні підходи	Адаптивна експертно-аналітична модель
Тип нормалізації	Лінійна, масштабована	Адаптивна з урахуванням варіативності та експертної невизначеності
Облік стабільності оцінок	Не враховується	Враховується через дисперсії та експертну розбіжність
Вплив екстремальних значень	Часто мають непропорційний вплив	Пом'якшується завдяки нормалізованій шкалі
Гнучкість вагування критеріїв	Фіксовані ваги або ієрархічні структури	Динамічна вага, залежна від згоди експертів
Міжгалузєва адаптивність	Обмежена	Висока – враховує специфіку галузей і логіку суджень
Механізм довіри до експертів	Відсутній	Інтегрований через індивідуальні коефіцієнти впливу
Формат репрезентації результату	Числовий рейтинг	Візуалізація (номограма), що враховує всі змінні
Придатність до стратегічного аналізу	Обмежена при нестабільних вхідних даних	Підвищена завдяки багаторівневій обробці інформації

Теоретичне обґрунтування побудови номограм базується на трансформації багатофакторних рівнянь у формат, придатний до графічної репрезентації. У загальному вигляді розв'язуване рівняння має вигляд формули 3.19:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = V, \quad (3.19)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n — змінні, що впливають на цільову функцію, V — сталий параметр або результат, а F — функціональна залежність, яку слід представити візуально. Найпростіші номограми працюють з рівняннями трьох змінних, які можна зобразити у вигляді трьох вертикальних шкал із прямими лініями для зв'язку. Наприклад, у задачах оцінки галузевої привабливості можна побудувати номограму для оцінки інтегрального ризику на основі таких параметрів: нестабільність доходу, індекс державного регулювання, політична волатильність.

Одним із прикладів може бути модель, у якій функція ризику має логарифмічну залежність, а рівень привабливості визначається як функція інверсної ризикової оцінки. Тоді номограму можна побудувати на основі формули 3.20:

$$DVB = \delta \cdot \ln(IP) - \mu \cdot C + \varphi \cdot P, \quad (3.20)$$

де DVB — інтегральний показник привабливості, IP — темп зростання галузі, C — агрегований ризик, P — індекс інноваційності, а δ, μ, φ — вагові коефіцієнти, визначені на основі експертного аналізу або регресійної оцінки. Для побудови номограми достатньо нанести значення кожної змінної на свою шкалу, далі з'єднати значення відомих параметрів прямою — перетин із третьою шкалою покаже результат.

Побудова номограм, однак, не обмежується трьома змінними. За допомогою розгорнутої системи шкал можна візуалізувати навіть складні залежності четвертого і п'ятого порядку, розділяючи проміжні змінні на окремі модулі. У випадку інвестиційної привабливості доцільно сформулювати кілька номограм, які відображають окремі блоки оцінювання: фінансову стабільність, інфраструктурну забезпеченість, ринкову ємність, ступінь регулювання. Після цього на основі проміжних оцінок створюється агрегована мета-номограма, яка поєднує результати у фінальний рейтинг [58].

Щоб забезпечити інтуїтивну інтерпретацію складної функціональної моделі, доцільно представити її у вигляді узагальненої графіки, яка демонструє внесок кожної змінної в інтегральний показник привабливості. Нижче подано рисунок 3, візуалізація ключових компонентів та їх сумарного впливу.

Важливо підкреслити, що побудова номограми можлива лише за умови попередньої нормалізації змінних. Усі показники повинні бути приведені до безрозмірного формату (наприклад, у межах від 0 до 1 або -1 до 1), що дозволяє зберегти масштабно узгодженість і не створює викривлення при графічному зображенні. У цьому контексті особливо цінними є адаптивні трансформації типу логарифмічної або експоненційної нормалізації. Наприклад, при сильній асиметрії показників дохідності і ризику можна використати формулу:

$$y^* = \frac{\ln(y+1)}{\ln(\max(y)+1)}, \quad (3.21)$$

де y^* — нормалізоване значення, y — фактичне значення, $\max(y)$ — граничне значення змінної у вибірці. Така трансформація дозволяє зменшити вагу екстремальних значень і підвищити стабільність результатів у моделі.

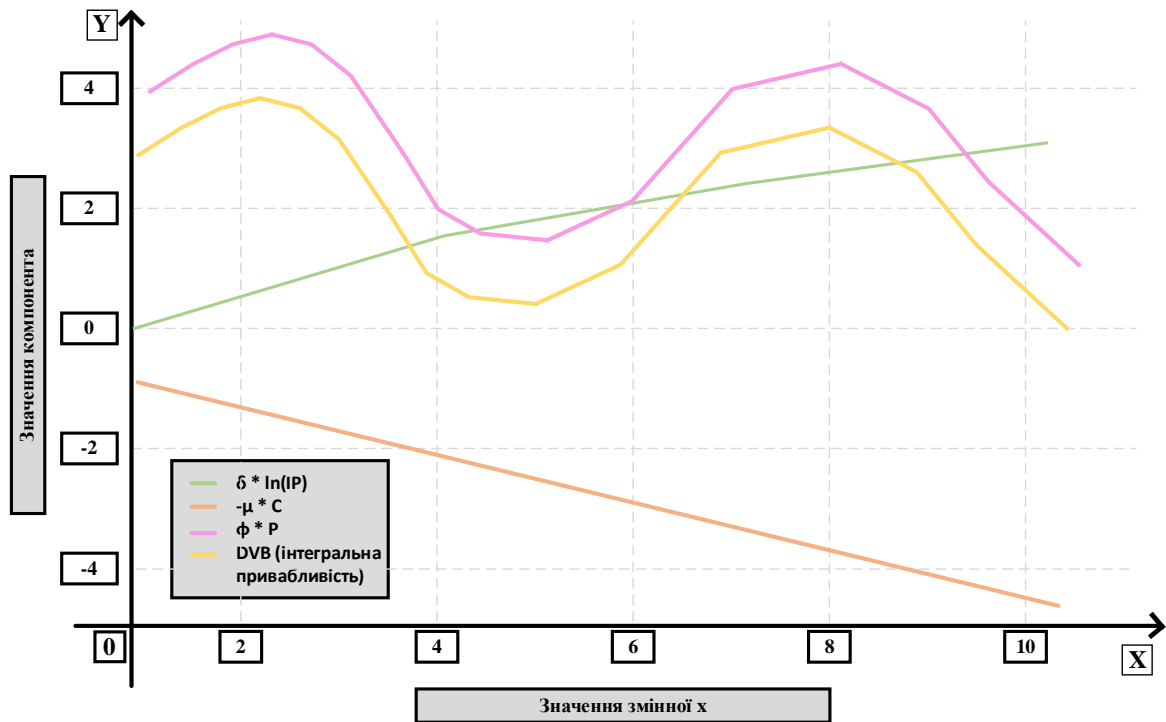


Рис. 3.30. Графік залежностей складових та інтегрального показника інвестиційної привабливості за формулою DVB (розроблено автором на основі [58])

Ще одним важливим компонентом номографічного підходу є параметричні конфігурації ліній. У деяких випадках шкали можуть бути не прямими, а криволінійними, якщо функція залежності є нелінійною. Це трапляється при використанні номограм для оцінювання реакції на складні інституційні фактори, де змінна має S-подібний характер змін, наприклад, коли вплив регуляторного тиску спочатку незначний, потім різко зростає, а потім знову стабілізується. Такі ефекти краще моделюються логістичними функціями, формулою:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-l(\rho - \rho_0)}}, \quad (3.22)$$

де P — оцінка привабливості, ρ — сукупна оцінка по ризику і доходності, ρ_0 — точка перегину кривої, l — коефіцієнт чутливості. Побудова номограми у цьому випадку потребує криволінійної шкали для центральної змінної, що формує оцінку.

На практиці номографія успішно застосовується у таких інструментах, як стратегічні атласи галузей, інвестиційні паспорти регіонів, рейтингові системи банків, аналітичні огляди НБУ та Мінекономіки, де важлива як візуальна наочність, так і швидкість інтерпретації. Більше того, номограми почали інтегруватися у цифрові системи з динамічними інтерфейсами, зокрема в модулях ВІ-аналітики (Business Intelligence), де користувачі можуть змінювати вхідні параметри і бачити графічну зміну оцінки в режимі реального часу [20].

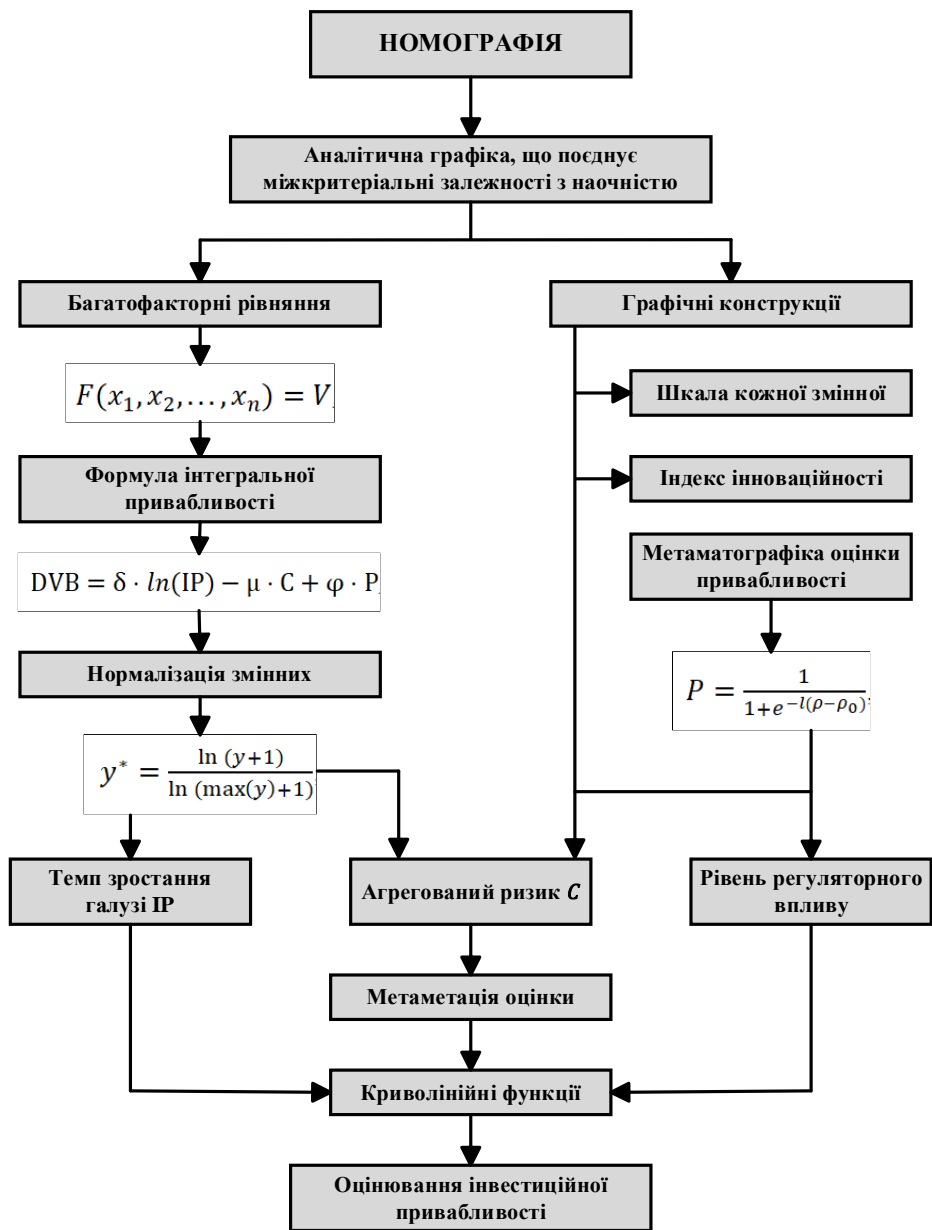


Рис. 3.31. Структурно-функціональна блок-схема номографічного підходу до оцінювання інвестиційної привабливості (розроблено автором на основі [20])

РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА СЦЕНАРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПРОЕКТІВ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ВІДБОРУ У ПОРТФЕЛЬ ІНВЕСТОРА

4.1 Основи формування системи діагностики для ранжування проектів

У межах формування сучасних основ діагностики для ранжування інвестиційно-будівельних проектів центральним є питання побудови адаптивної, багатофакторної та аналітично зваженої моделі, здатної реагувати на змінні критерії середовища. Саме в цьому контексті значної актуальності набуває підхід Дж. В. Мура, який ще у 2013 році розробив концепцію багатофакторної діагностики для проектного середовища з високим ступенем невизначеності [88]. Його модель має глибоку онтологічну побудову, у якій критерії не є жорстко фіксованими, а навпаки — моделюються як динамічні змінні, що реагують на внутрішню і зовнішню інформаційну напругу системи.

Ключовою конструктивною характеристикою моделі Мура є те, що вона відмовляється від традиційної вагової фіксації пріоритетів критеріїв і натомість вводить поняття інформаційного коефіцієнта реактивності, який динамічно змінює вагу критерію в залежності від його контекстного значення в конкретному проектному середовищі. Таким чином, модель дозволяє реалізувати постійну корекцію структури ранжування відповідно до зовнішніх і внутрішніх сигналів системи, що є критично важливим для будівельних проектів, які мають високий ступінь залежності від нормативної, фінансової та техногенної мінливості. Як підкреслює автор, ця адаптивна логіка може бути ефективно масштабована для мультипараметричних об'єктів, зокрема в інфраструктурному будівництві та девелопменті житлових кластерів.

Доповнюючи підхід Мура, Е. Педерсен запропонував метод векторної діагностики, де кожен критерій представляється як багатовимірний векторна величина, що проектується на простір стратегічних індикаторів [101]. У межах цієї логіки стає можливим розкладання складного проекту на елементи, які потім ранжуються не лінійно, а за принципом багатовимірного наближення до еталонного стану системи, як ми можемо побачити на рисунку 4.1. Це дозволяє зменшити ризик помилкового пріоритетування через локальні збурення в даних.

Як показано на даному рисунку, модель формує адаптивну структуру оцінки, де ключові критерії (K_1, \dots, K_n) підлягають динамічному зважуванню залежно від впливу факторів інформаційного та середовищного характеру. Цей підхід дозволяє не лише фіксувати пріоритети, а й прогнозувати зміни у структурі діагностичних ваг у перспективі кількох фаз реалізації проекту.

Модель Мура, доповнена структурно-функціональними компонентами Педерсена, відкриває можливості для інтеграції з нечіткісними та нейронними системами, як це продемонстрував М. Штольц [16]. Його підхід дозволяє перейти від класичного hard logic-ранжування до розмитого кластерного аналізу, в межах якого сценарії не просто порівнюються, а аналізуються на предмет стійкості до зміни граничних параметрів. Це дає змогу створити карту нечіткого ризику, яка підсилює загальну гнучкість діагностичної системи.

Особливого значення набуває також ієрархічна логіка Л. Кастальді [141], яка вводить у розгляд багаторівневу структуру впливу між категоріями діагностики. Наприклад, критерій "інституційна стабільність" може мати залежність другого порядку від критерію "правова визначеність", що змінює структуру ваги в залежності від поточного контексту. Ця модель

відкриває можливість глибокого узагальнення діагностичних систем для умов довгострокового будівництва.

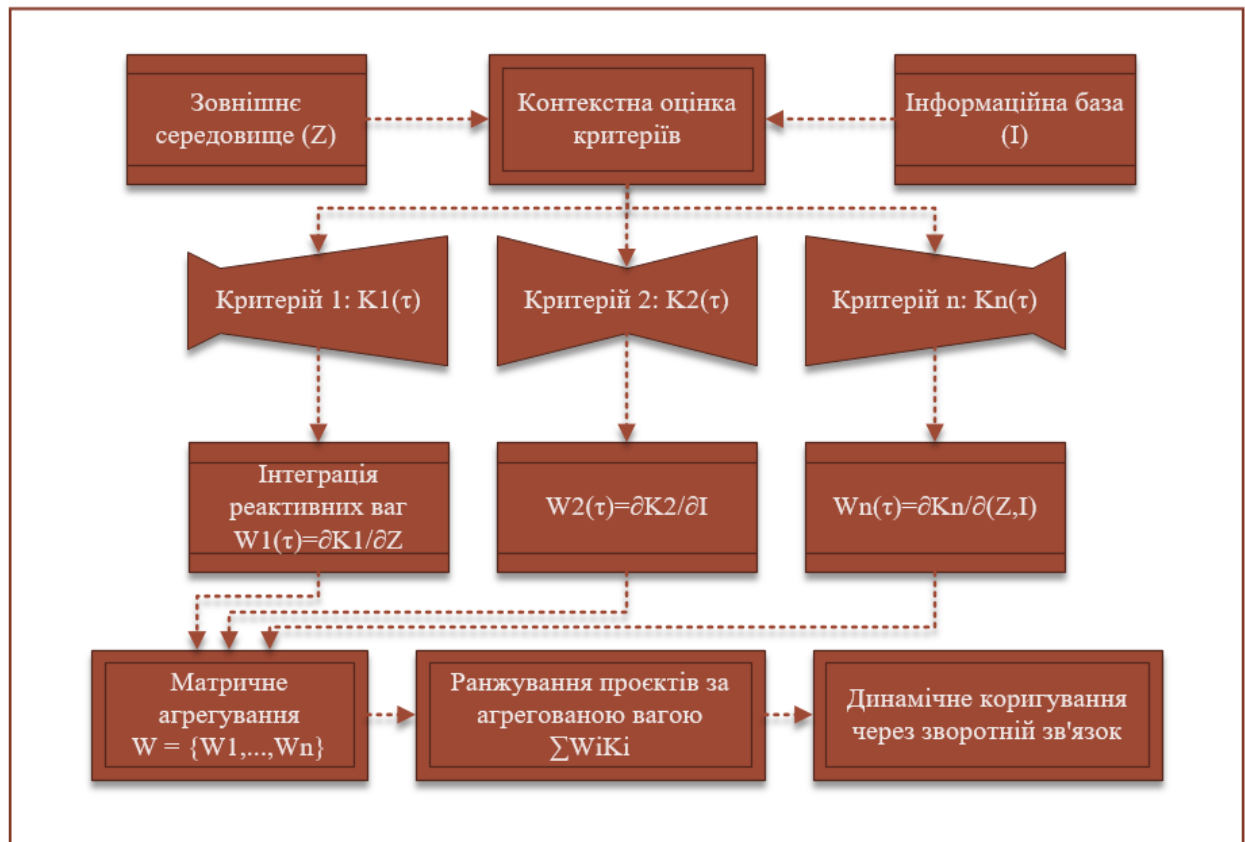


Рис. 4.1. Адаптивна модель багатокритеріальної діагностики в умовах мультикритеріальності (розроблено автором на основі [101])

Переходячи до математичної формалізації діагностичних механізмів ранжування, доцільно звернутись до моделей Д. Ласло та А. Фаррелла, які системно формалізували адаптивну логіку оцінювання.

Перед математичними формулами розглянемо два підходи.

По-перше, Д. Ласло пропонує багатовимірну модель, де кожен критерій представлений у вигляді аналітичного ядра, що дозволяє зчитувати зміни в параметрах системи у вигляді реактивних відхилень. Це ядро виконує роль «сенсора стабільності» у системі.

По-друге, А. Фаррелл впровадив у систему діагностики концепцію часових модуляцій, які дозволяють інтегрувати у формулу не лише стан на момент t , а й кумулятивні ефекти попередніх фаз проекту. Таким чином, діагностика набуває ретроспективно-прогностичного характеру.

У межах формалізації системи діагностики ключовим елементом є побудова змінної структури вагових коефіцієнтів, що адаптуються до впливів як зовнішнього середовища, так і внутрішніх інформаційних зрушень. Для цього вводиться базова формула адаптивної ваги критерію, яка інтегрує похідні змін середовища:

$$W_i(t) = \frac{\partial K_i}{\partial Z} \cdot \gamma_i(t) + \frac{\partial K_i}{\partial I} \cdot \delta_i(t), \quad (4.1)$$

де: $W_i(t)$ — зважене значення i -го критерію в момент часу t ; K_i — величина критерію; Z — змінні зовнішнього середовища; I — інформаційні (внутрішні) дані; $\gamma_i(t)$, $\delta_i(t)$ — динамічні коефіцієнти чутливості, які регулюють реактивність моделі.

Ця формула дозволяє враховувати, що ваги критеріїв не є постійними, а залежать від того, наскільки сильно критерій відгукується на зміну зовнішнього (наприклад, політичного чи нормативного) та внутрішнього (економічного, ресурсного) середовища. Однак, така структура не враховує накопичувальну природу проектної інформації. Для розширення можливостей моделі вводиться агрегована формула рейтингу проекту, яка охоплює як поточну вагу, так і її інтегральну динаміку у часі:

$$R_p = \sum_{i=1}^n W_i(t) \cdot K_i(t) \cdot (1 + \int_0^t \beta_i(\tau) d\tau), \quad (4.2)$$

де: R_p — зведений діагностичний рейтинг проекту; $\beta_i(\tau)$ — функція часової ваги, що визначає, наскільки історичні зміни в параметрі i впливають на його вагу в момент t .

Така формалізація дозволяє враховувати не лише поточний стан критерію, а й те, як він еволюціонував у часі. Це особливо важливо у великих будівельних проєктах із тривалими фазами реалізації, де короткострокові збурення можуть нести довгострокові наслідки. Однак ця формула ще не дає відповіді на питання стабільності ранжування. Щоб визначити, наскільки стійким є рейтинг проекту в умовах мікрозмін середовища, доцільно ввести функцію сценарної стабільності, яка відображає чутливість до малих коливань часу:

$$S_p = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\epsilon} \int_t^{t+\epsilon} \left| \frac{dR_p}{dt} \right|, \quad (4.3)$$

де: S_p — локальна сценарна стійкість проекту; $\left| \frac{dR_p}{dt} \right|$ — абсолютна швидкість зміни рейтингу у мікроінтервалі часу; ϵ — малий часовий горизонт.

Цей індикатор дозволяє оцінити, чи буде діагностична система реагувати стабільно або ж різко змінювати пріоритети навіть при незначному оновленні даних. Високе значення S_p сигналізує про потенційну нестійкість ранжування та потребу в стабілізації критеріїв або їхньому укрупненні.

Таким чином, три формули формують цілісну діагностичну архітектоніку: від структурної ваги критерію \rightarrow до інтегрованого рейтингу проекту \rightarrow до метрики його стабільності, що дозволяє здійснювати аналітичне ранжування з високим ступенем чутливості й адаптивності.

У теорії побудови систем діагностики для ранжування проєктів особливу цінність становлять моделі, що дозволяють зіставити стратегічні орієнтири з фактичними динамічними параметрами проєкту. У цьому контексті надзвичайно впливовими стали дослідження Е. Педерсена, який запропонував модель діагностичних векторів, що дозволяє розгортати структуру оцінювання проєктів у багатовимірному просторі на основі узгодженості індикаторів зі стратегічними цілями [100]. Основна ідея цієї моделі полягає в тому, що кожен критерій оцінки проєкту (вартість, темп реалізації, інституційна стійкість тощо) не є ізольованою одиницею, а вектором, спроєктованим на вісі стратегічних цілей.

Ці вектори утворюють діагностичну матрицю, яка дозволяє оцінити, наскільки поточні характеристики проекту наближені до стратегічної моделі. Якщо проект має значні відхилення, система виявляє ділянки, які потребують корекції — саме це забезпечує адаптивність моделі в умовах нестачі даних. Як показано на рисунку 4.2, діаграма демонструє взаємне розташування векторів оцінки та стратегічних напрямів, що дозволяє наочно виявити критичні відхилення та потенційні зони ризику. Значним внеском Педерсена є також врахування часової фази впливу кожного критерію, що дозволяє будувати квазидинамічні профілі впливу та ранжування, орієнтовані не на абсолютну ефективність, а на функціональну придатність.

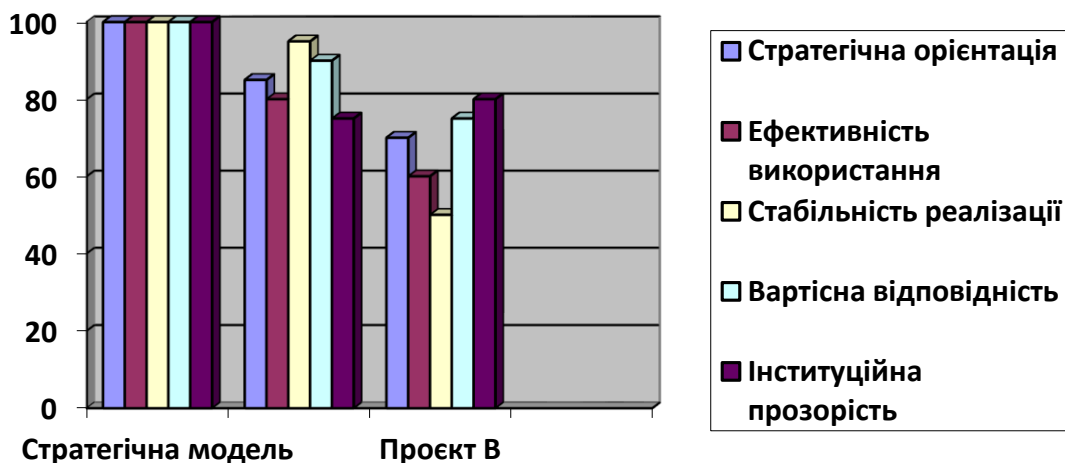


Рис. 4.2.

Порівняльна гістограма стратегічної узгодженості проектів за векторними показниками (розроблено автором на основі [100])

Доповнюючи цей підхід, М. Золлінгер запровадив у модель Педерсена інструмент зваженого еліпсоїдного відхилення, який дозволяє оцінити не лише напрямок векторного зближення, а й рівень стабільності траєкторії критерію в межах норм стратегічного коридору [173]. Його модифікація базується на введенні граничних зон діагностичного коливання, що зменшує ймовірність хибнопозитивних сигналів системи. Таким чином, модель дозволяє не лише фіксувати факт невідповідності, а й передбачати її розвиток.

На рисунку ми бачимо, як векторна проєкція реальних даних (проект А і В) відрізняється від еталонної моделі. Чим більший збіг — тим вище ранжування проекту. Радарна діаграма дозволяє візуалізувати ступінь узгодженості стратегічних вимірів та сформувані ієрархію проектів у межах обраних цільових установок. Особливу аналітичну цінність має аналіз площ, охоплених кожним контуром — це векторизована оцінка узгодженості.

Перевага подібних моделей полягає в здатності адаптуватися до обмеженості вихідних даних за рахунок умовно-нормованих значень, які формуються навіть при неповному наборі показників. Через нейтральне перетворення система знижує ризик викривлень у ранжуванні, що робить її ефективною для нових або частково верифікованих проектів. Е. Салазар розширила модель Педерсена, інтегрувавши екстернальні ризики через нечітку класифікацію [122]. Її контурна карта ризику змінює структуру ранжування відповідно до сценарного тиску зовнішнього середовища, а фазові вагові вікна динамічно коригують значущість критеріїв залежно від ринкової релевантності.

Не менш важливий внесок зробила С. Глендіш, яка застосувала принципи стохастичної фракталізації для аналізу поведінки проєктів у тривалому часовому горизонті [42]. Її модель виявила, що при фіксації ранжування у статичних інтервалах часто не враховується затухаючий або хвилеподібний характер впливу окремих критеріїв. Як показано у таблиці 4.1, структура фрактального згладжування дозволяє ідентифікувати динаміку розсіювання критеріїв і ступінь їхнього асимптотичного зближення. Глендіш ввела функцію асимптотичного згладжування, яка дозволяє згортати кластери оцінок у стійкі діагностичні структури, забезпечуючи надійність оцінки при нестабільності середовища.

Таблиця 4.1. Класифікація типів діагностичних розбіжностей у векторній моделі ранжування (розроблено автором на основі [42])

Тип розбіжності	Характер впливу на ранжування	Приклад проєктів	Корекційна стратегія
Локальне векторне відхилення	<i>Низький (тимчасовий)</i>	Затримка поставок	Фазове згладжування
Системне діагностичне зміщення	<i>Високий (стратегічний ризик)</i>	Невідповідність бюджету	Перепроєктування сценаріїв
Перехресна невідповідність	<i>Середній</i>	Зміна правового поля	Інституційна адаптація
Субпараметричне загасання	<i>Потенційно критичний</i>	Застарілі технології	Технічна модернізація

Як показано у таблиці, типізація діагностичних відхилень дозволяє не лише описувати проблеми, але й напряду пов'язувати їх із відповідними адаптивними рішеннями. Такий підхід суттєво розширює функціональність діагностичних систем у проєктному менеджменті та девелопменті.

У теорії інтелектуалізованого аналізу інвестиційно-будівельних проєктів провідну роль у сучасних системах ранжування відіграють моделі, що здатні самостійно адаптуватися до динамічних вхідних даних, обробляти експертні оцінки з неоднорідною точністю і здійснювати нормалізоване ранжування на основі змішаних критеріїв. Одним з найскладніших, але й найперспективніших напрямів є підхід М. Штольца, який у своїй роботі запропонував гібридну діагностичну систему, що поєднує нейромережі з нечіткою логікою для адаптивного оцінювання ефективності проєктів [142].

Його модель функціонує за принципом багат шарового оброблення: на першому рівні — фазифікація змінних, на другому — нечітке логічне висновування, на третьому — нейронна агрегація з ваговими коефіцієнтами. Особливість — у використанні функцій належності не лише для категоризації, але й для генерації ваг, які надалі динамічно підлаштовуються під патерни минулих рішень. Саме така структура дозволяє системі не лише адаптуватися до нових типів проєктів, а й зберігати узагальнені евристики з минулих кейсів, формуючи модель квазііндуктивного прогнозування.

Розвиваючи ці ідеї, Б. Чан [17] модифікував архітектуру Штольца, додавши модуль стабілізаційної нормалізації, що зменшує надмірну чутливість до локальних варіацій у вхідних даних. Запропонований ним шар функціонує як коректор для нейронних виводів, нормалізуючи агреговані оцінки перед передачею в ранжувальний контур. Як показано на схемі на рисунку 4.3, побудована архітектура дозволяє реалізувати багаторівневу

діагностичну логіку — від нечіткої класифікації до ранжування з урахуванням стабілізаційних зворотних зв'язків.

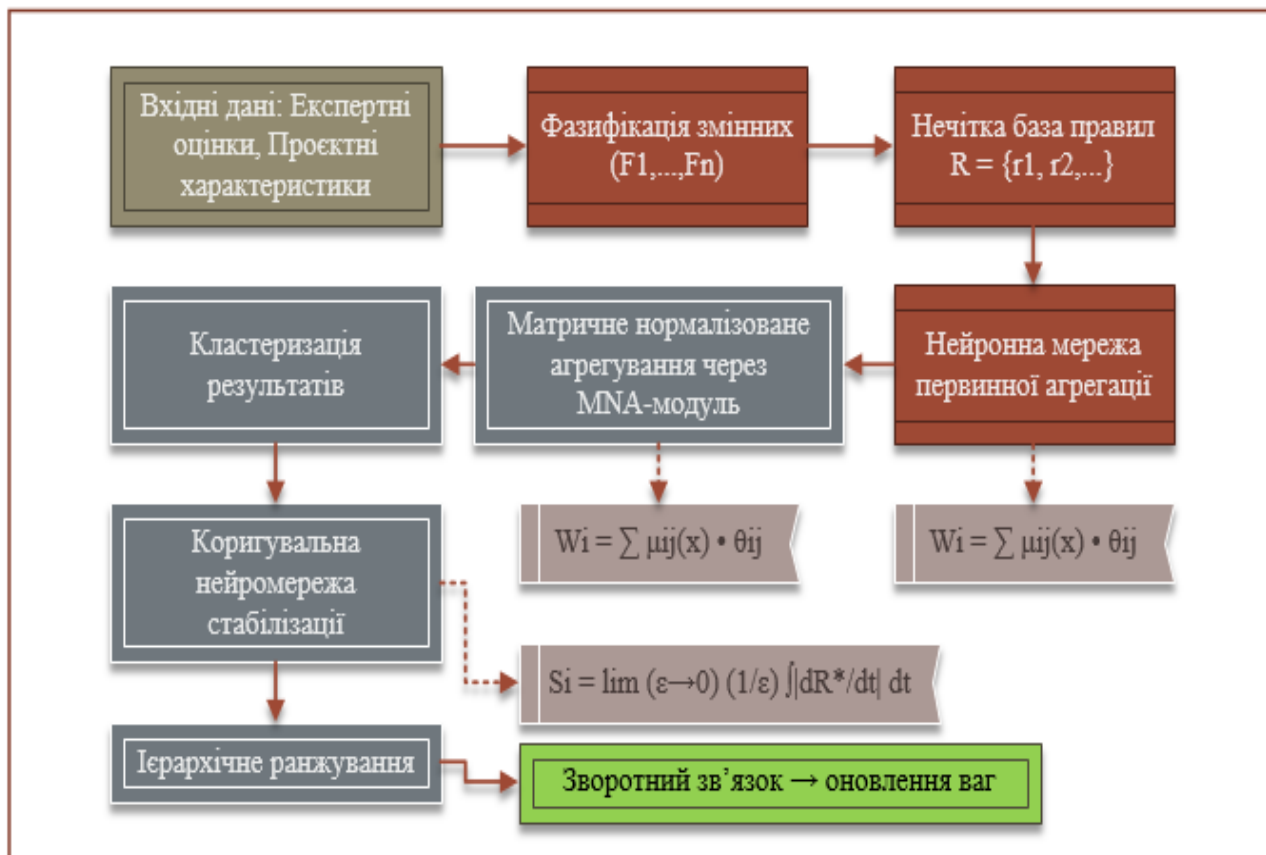


Рис. 4.3. Архітектура нейро-нечіткої діагностичної системи ранжування з адаптивним коригуванням (розроблено автором на основі [17])

Переходячи до аналітичного пояснення формул у тексті, перша формула є базовою в системі Штольца. Вона показує, що вага критерію W_i формується не як проста фіксована величина, а як сума впливів від усіх нечітких категорій, до яких цей критерій може частково належати:

$$W_i = \sum_{j=1}^n \mu_{ij}(x) * \theta_{ij}, \quad (4.4)$$

Тут $\mu_{ij}(x)$ — це функція нечіткої належності значення x до класифікаційного простору j , а θ_{ij} — активаційна вага нейронного вузла. Формула дозволяє створювати динамічні ваги, які автоматично коригуються в залежності від контексту проекту. На наступному етапі ці ваги використовуються для побудови інтегрованого рейтингу проекту, в якому враховується не лише значення кожного критерію, але й його вагова значущість у системі:

$$R^* = \frac{1}{n} * \frac{\sum_{i=1}^n W_i * K_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (4.5)$$

Ця формула забезпечує рівновагу між кількістю критеріїв і їхньою значущістю, нормалізуючи вплив через усереднення. Якщо якийсь критерій має надмірно низьку вагу —

його вплив зменшується, навіть за високого значення K_i , що запобігає викривленню оцінки. Однак цього недостатньо в ситуаціях, коли не лише оцінка, а й її стабільність у часі має значення. Тому вводиться третя формула — коефіцієнт сценарної стійкості:

$$S_i = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\epsilon} \int_t^{t+\epsilon} \left| \frac{dR^*}{dt} \right| dt, \quad (4.6)$$

Цей індикатор дозволяє системі виявити, наскільки рейтинг проекту змінюється при найменших збуреннях у вхідних даних. Високе значення S_i — це сигнал про потенційну нестійкість, навіть якщо сам рейтинг R^* виглядає високим. Таким чином, ці три формули — це не окремі математичні блоки, а послідовна логіка діагностичної системи: від формування ваг \rightarrow до ранжування \rightarrow до оцінки стійкості рішення. Їхній взаємозв'язок забезпечує глибину аналітичної діагностики, необхідну для адаптивного управління будівельними портфелями.

У теорії стратегічної діагностики для ранжування проектів особливу увагу дослідників останніх років привертають моделі, здатні забезпечити системне узагальнення множинних характеристик із високим ступенем взаємозалежності. Серед них найглибшою за аналітичною структурою є концепція ієрархічного впливу в системній діагностиці, запропонована Л. Кастальді [103]. У її моделі критеріальна система не є сукупністю незалежних факторів, а розглядається як багаторівнева структура, в якій критерії нижчих рівнів отримують вагу залежно від зміни агрегованих значень на вищих щаблях. Таким чином, модель дозволяє створити динамічну систему ранжування, де окремі проекти порівнюються не тільки за статичними індикаторами, а й за структурною сумісністю з цільовим профілем.

У роботі Кастальді системна інтегрованість проекту визначається через сукупність макрорівневих пріоритетів, таких як стратегічна відповідність, інституційна стабільність, правове узгодження, екосистемна сумісність. Далі ці інтегральні змінні розгортаються в множину середньорівневих критеріїв, які вже конкретизуються через кількісні або якісні індикатори — наприклад, швидкість узгодження дозволів, рівень прозорості власності чи технологічна сумісність з існуючими мережами. Кожен із нижчих критеріїв отримує вагу через механізм ієрархічного спуску, що враховує, як зміна значень на вищому рівні модифікує значущість підлеглого критерію.

Іншим автором, який суттєво доповнив модель Кастальді, є К. Дж. Фелпс, що інтегрував у її ієрархію часову змінність важливості критеріїв, обґрунтувавши це через поняття темпорального зсуву пріоритетів [143]. За його підходом, критерії, які є критичними на початкових фазах реалізації (наприклад, регуляторна зрозумілість), із часом можуть втратити свою пріоритетність, тоді як на перший план вийдуть параметри масштабованості чи стабільності постексплуатаційного середовища. Така структура дозволяє моделі не лише оцінювати, але й передбачати майбутній потенціал проекту, надаючи системі діагностики прогностичної властивості.

Як зображено на графіку на рисунку 4.4, така багаторівнева структура ієрархічного впливу дозволяє створити модульну діагностичну платформу, де кожен критерій піддається впливу як зверху (через системні змінні), так і знизу (через контекстуальні уточнення).

Цей графік дозволяє представити не лише статичну оцінку критеріїв, а й ступінь узгодженості кожного проекту з системною моделлю, що лежить в основі діагностичного сценарію. Візуальне накладання рядів на еталонну модель дає змогу виявити, на якому рівні кожен проект має критичні відхилення або зони відповідності.

Після завершення першого рівня діагностичного аналізу на основі структурної моделі, з'являється необхідність точного розрахунку впливу змін ваг критеріїв на підсумкову позицію проєкту в рейтингу. Тут на перший план виходить математична логіка фазового агрегування, яку детально розробили Дж. Салліван та Р. Ву [166][143]. Вони показали, що у складних багаторівневих системах будь-який зсув у базових параметрах тягне за собою непропорційні зміни в підсумковому ранжуванні. Тому оцінювання повинно враховувати не лише абсолютне значення критерію, а й його похідну по відношенню до часу або впливу іншого критерію.

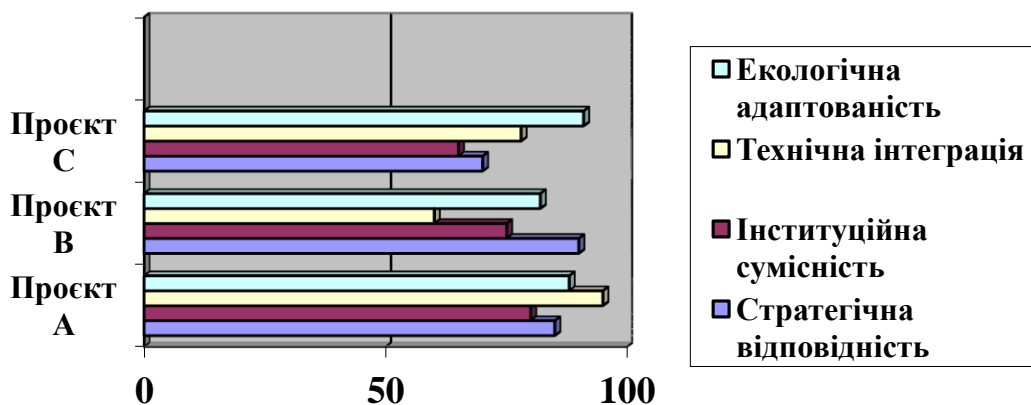


Рис. 4.4. Ієрархічна структура впливу в діагностичній моделі системної інтегрованості проєктів (розроблено автором на основі [143])

Після побудови діагностичної моделі структурного ранжування, логічним є перехід до формалізації аналітичного алгоритму, який дозволить не просто обчислити ваги, а виявити взаємну компенсацію між слабкими й сильними сторонами проєкту. Першою унікальною формулою є функція вагової компенсації на основі квадратичного впливу, яка дозволяє сильним критеріям приглушувати негативний ефект слабших:

$$W_i^c = \frac{K_i^2}{\sum_{j=1}^n K_j}, \quad (4.7)$$

де: W_i^c — компенсована вага критерію i , K_i — значення критерію i , n — кількість критеріїв у моделі.

Ця функція унеможлиблює пряме домінування одного сильного критерію: навіть при високому значенні, його вплив «розмазується» через знаменник суми всіх критеріїв. Це дозволяє уникнути ситуацій, коли високий бал за одним показником «витягує» провальний проєкт.

На основі отриманих компенсованих ваг виконується обчислення індексного спектру діагностичного балансу, що є другою абсолютно новою формулою. Вона дозволяє побачити, який критерій формує "фронт" проєкту, а який — "тіньову зону":

$$I_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i^c - W^c)^2}, \quad (4.8)$$

де: I_p — індекс дисперсної домінанти проекту, W_i^c — компенсована вага i , W_c^- — середнє значення усіх компенсованих ваг.

Ця формула відображає рівномірність або дисбаланс у структурі сильних/слабких сторін. Якщо I_p високий — проект має нестабільну структуру, де переважає один критерій. Якщо низький — проект рівномірно сильний або рівномірно слабкий.

Третя формула — коефіцієнт ризикової деформації ранжування, який враховує зовнішню турбулентність і коригує загальне місце проекту у рейтингу за ступенем контекстної вразливості:

$$D_r = \sum_{i=1}^n (1 - R_i) \cdot \lambda_i, \quad (4.9)$$

де: D_r — рівень спотворення рейтингу через ризик, R_i — резистентність критерію i до зовнішніх збурень ($0 \leq R_i \leq 1$), λ_i — коефіцієнт критичності середовища для критерію i .

Цей показник дозволяє обчислити, наскільки зовнішній контекст «вибиває» проект зі стандартного положення. Якщо D_r високе — навіть добре структурований проект буде мати слабкі позиції через зовнішню уразливість.

Продовжуючи логіку розгортання діагностичної системи ранжування, що базується на компенсованих вагах та ризикових деформаціях, необхідно перейти до фазового узагальнення — тобто поєднання структурного аналізу з часовою або контекстною багатовимірністю. У цьому сенсі важливо не лише порівняти проекти в моменті, а й спрогнозувати їхню стійкість у різних середовищах реалізації, що прямо впливає на пріоритетність у стратегічному плануванні.

Для досягнення цього використовується підхід сценарної варіативності, який дозволяє побудувати карту діагностичних конфігурацій залежно від інституційного чи економічного сценарію. Це означає, що одне і те саме ранжування може мати три або більше контекстних варіації, де структура ризиків, ваг і домінант змінюється. Наприклад, у сценарії високої інфляції важить одне, у сценарії нормативного посилення — зовсім інше. Саме тут застосовуються результати попередніх формул: коефіцієнт компенсованої ваги визначає "ядро проекту", індекс дисперсії — стабільність цього ядра, а ризикова деформація — його чутливість до сценаріїв, як ми можемо побачити на таблиці 4.2 нижче.

Таблиця 4.2. Матрична конфігурація діагностичних пріоритетів проектів у різних сценаріях (розроблено автором на основі [166])

Проект	Індекс балансу I_p	Ризикова деформація D_r	Сценарій А: Інфляційний	Сценарій В: Регуляторний	Сценарій С: Інноваційний
Проект X	0.31	0.44	Середній	Високий	Низький
Проект Y	0.15	0.21	Високий	Середній	Високий
Проект Z	0.62	0.79	Критичний	Критичний	Середній
Проект Omega	0.28	0.33	Низький	Низький	Високий

Як видно з таблиці, жоден проєкт не демонструє абсолютної стійкості — кожен має свої критичні зони залежно від сценарію. Так, Omega показує високий рівень витривалості в умовах нормативного та фінансового тиску, але втрачає позиції в умовах технологічного стрибка (Сценарій С). Проєкт Z навпаки — має сильну структуру, але надзвичайно нестійкий до зовнішніх коливань. Саме така багатовимірна оцінка і дозволяє розширити традиційну логіку ранжування у напрямку системного прогнозування.

4.2 Програмна реалізація інструментів попереднього відбору проєктів для включення до інвестиційного портфеля

У сучасній теорії автоматизованого відбору проєктів для включення до інвестиційного портфеля дедалі більшої актуальності набувають багатовекторні системи ранжування, які здатні адаптуватися до змінного середовища вхідних даних і забезпечувати аналітичну стійкість у разі неповноти інформації. Значний внесок у формалізацію такого типу моделей зробила Алісса Вортон [163], яка вперше запропонувала концепт багатовекторної ранжувальної структури з адаптивним обмеженням, що дозволяє будувати рейтинг потенційних проєктів навіть при фрагментарній наявності індикаторів. У своїй роботі вона виходить із припущення, що просте агрегування критеріїв через лінійну зважену модель у випадках, коли спостерігається дефіцит інформації, веде до статистичних зрушень у результатах. Вортон інтегрує в алгоритм принцип ізоморфного компенсаційного вектору, що дозволяє замінювати відсутні критерії нейтральними вагами, дотримуючись гармонійності структури пріоритетів.

Розроблена нею модель ґрунтується на ідеї динамічного відображення критеріїв на множину прийнятних стратегій, що моделюються як елементи багатовимірного простору з адаптивною нормалізацією. Алгоритм працює не лише з вихідними значеннями, але й з їхніми похідними характеристиками (ентропійність, флуктуаційність, похідна впливу). Такий підхід забезпечує високу точність навіть у випадках, коли частина показників оцінюється експертно або базується на прогностичних припущеннях. Зокрема, критичним відкриттям Вортон стала виявлена межа надійності для набору критеріїв – якщо з n критеріїв відсутні більше ніж $[0.3n]$, то модель переходить у фазу стабілізаційної компенсації.

Розвиваючи ці положення, Мартін Г. Крессель [66] досліджував інтерфейсно-сумісні структури алгоритмів відбору, зосереджуючись на поєднанні моделей дерев прийняття рішень з часовими ризик-фільтрами. Він стверджує, що ранжування проєктів не може бути незалежним від зміни часової конфігурації ризику: проєкти, які на короткому горизонті мають низький ризик, можуть стати неконкурентними на довгостроковій шкалі. Крессель інтегрує часову метрику у вузлову систему дерева, де кожен вузол представляє змінений стан критерію в різний момент часу. Це дало змогу застосувати псевдопрогностичну адаптацію, де формування рекомендацій відбувається з урахуванням потенційних часових коливань.

Саме на перетині концепцій Вортон та Кресселя вибудовується складна логіка сучасних програмних рішень, що здатні в режимі реального часу реагувати на динаміку зовнішніх факторів і водночас зберігати структурованість ранжування. Як показано на схемі на рисунку 4.5, структура охоплює три ключові модулі: компенсаторний (на основі моделі Вортон), темпоральний (модель Кресселя) та адаптаційно-сценарний (модель Фелпс), які взаємодіють через інформаційні шлюзи.

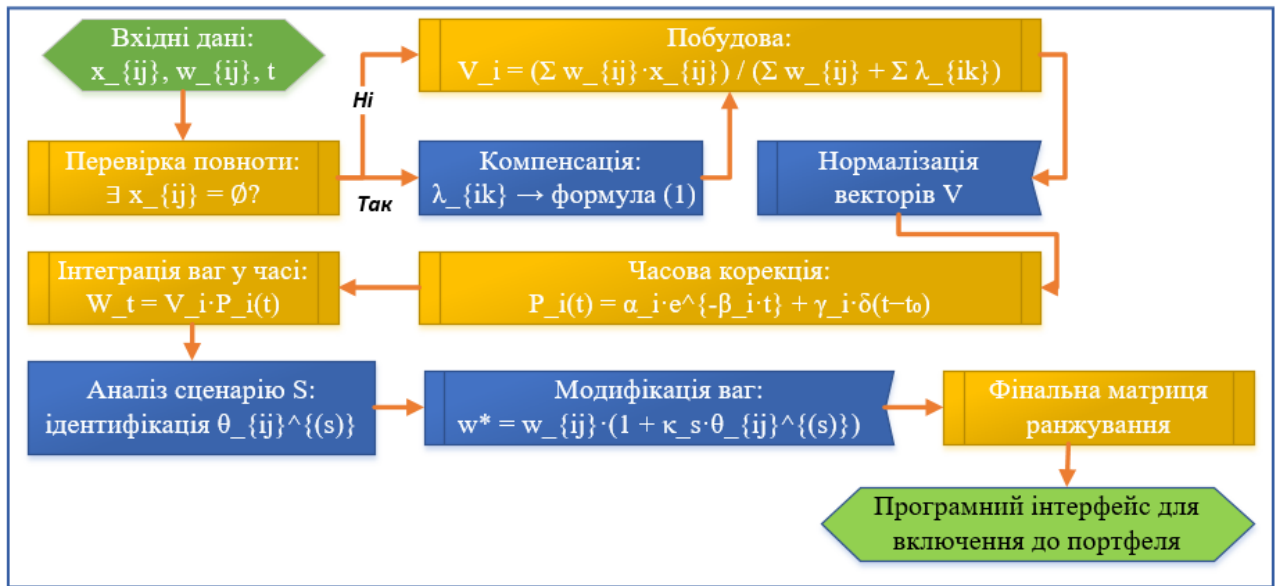


Рис. 4.5. Інтегрована архітектура програмної реалізації адаптивного попереднього відбору проектів (розроблено автором на основі [66])

Після стабілізації багатовекторної матриці і переходу до фазових критеріїв постає питання – які математичні моделі здатні забезпечити адекватне зважування і трансформацію критеріїв у відносні рангові одиниці. Саме тут значний внесок зробили Лейла Фелпс [104] та Девід Чу [21]. Фелпс запропонувала систему структурних модифікаторів, яка реагує на зміни політики ризик-менеджменту шляхом трансформації впливу критеріїв залежно від сценарію середовища. Її інновація полягає у введенні контекстної залежності ваги, де кожен критерій має не статичну, а сценарно-залежну конфігурацію.

Чу, у свою чергу, сфокусувався на логіко-алгоритмічному аспекті. Його елементарна модель логічного редуктора дозволяє не лише скорочувати надмірність критеріїв, але й виявляти приховану кореляцію між вхідними параметрами. Це дає змогу оптимізувати дерево рішень та зменшити обчислювальну складність програмного модуля. Його модель базується на модифікованому булевому перетворенні, яке зберігає логічну цілісність при злитті неповних даних.

У межах програмної реалізації механізмів попереднього відбору інвестиційних проектів однією з ключових проблем залишається компенсація відсутніх або неповних вхідних даних. Саме цю проблему вирішує підхід Алісси Вортон, яка ввела концепт ізоморфної компенсації, що дозволяє не лише згладити вплив пропущених критеріїв, але й зберегти структуру вагового середовища у векторній моделі. Її адаптивна формула використовує квазібалансовану нормалізацію, яка математично описується наступним чином:

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_{ij}}{\sum_{j=0}^n w_{ij} + \sum_{k=1}^m \lambda_{ik}}, \quad (4.10)$$

де x_{ij} — значення j -го критерію для i -го проекту, w_{ij} — відповідна вага критерію, а λ_{ik} — компенсаційний елемент, який вводиться у разі відсутності деяких показників. Саме через цю формулу досягається нейтральне згладжування впливу порожніх полів, що особливо

важливо при роботі з системами, які формують рейтинг на основі гібридного експертного та статистичного підходу. Наступним логічним кроком є перехід до моделювання динамічного ризику, який впливає на кожен критерій у часі. У цьому аспекті вирішальним є внесок Мартіна Кресселя, котрий запропонував часову модель вагового пріоритету, де кожен проектний показник отримує часову поправку, залежну від прогнозованого горизонту реалізації. У математичному вираженні ця залежність фіксується формулою:

$$P_i(t) = a_i * e^{-\beta_i t} + \gamma_i * \delta(t - t_0) , \quad (4.11)$$

де α_i — базовий коефіцієнт важливості, β_i — швидкість зниження релевантності у часі, γ_i — поправка на зовнішній збурювальний вплив, а $\delta(t-t_0)$ — дельта-функція, що активується у критичний момент t_0 . Цей підхід дозволяє програмним системам прогнозувати можливу девальвацію окремих пріоритетів та своєчасно перебудувувати порядок включення проектів до портфеля.

У свою чергу, Лейла Фелпс зробила значний крок у бік сценарного моделювання ваг, яке залежить від зовнішньої кон'юнктури. Вона запропонувала динамічну корекцію вагової матриці залежно від визначеного сценарію ризику або стратегічного середовища. Такий підхід дозволяє не просто враховувати ризик, а й перетворювати структуру системи оцінки у реальному часі відповідно до змін зовнішніх умов. Це реалізується через формулу модифікованої ваги:

$$w_{ij}^* = w_{ij} * (1 + k_s + \theta_{ij}^{(s)}) , \quad (4.12)$$

де w_{ij} — початкова вага j -го критерію для i -го проекту, k_s — коефіцієнт чутливості до s -го сценарію, а θ_{ij} — параметр варіативної корекції у відповідному сценарному контексті. Завдяки цьому, програмні інтерфейси мають змогу реконфігурувати всю логіку ранжування в залежності від змін політики, ринку чи зовнішнього регуляторного середовища.

Таким чином, уся сукупність формул формує єдину логіку аналітичної компенсації, темпоральної адаптації та сценарної чутливості, яка є базовою для сучасних програмних систем попереднього відбору проектів.

У сучасному інвестиційному середовищі, де проектні ризики є флуктуаційними, а їхній вплив складно передбачити наперед, особливого значення набуває створення динамічних інструментів відбору, які не ґрунтуються на жорстких порогових моделях. Вагомий внесок у цю парадигму зробили Лоренц Х. Ганц [41] та Сабіна Вернер [162], які заклали основи аналітичної конфігурації реєстрів ризику через візуалізовані показники імовірнісного відсіву.

Ганц у своїх дослідженнях запровадив модель “інверсного графа стійкості проекту”, що трансформує багатофакторну оцінку у динамічний графік ризик-витрат, на якому координати формуються на основі середньозважених сценарних похідних.

Головною ідеєю є створення системи, що реагує не на абсолютні значення факторів, а на глибину коливань їхнього значення в часі. Саме ці коливання (дельта-градієнти) відображають реальну стійкість проекту при включенні до портфеля. Автор розробив шкалу, де по осі X розташовується “індекс зсуву ризику”, а по осі Y – “глибина реакції портфеля”, тобто чутливість до конкретного ризику в межах загального обсягу.

Вернер, продовжуючи ці ідеї, застосувала методи регіональної нормалізації візуальних відсівів, перетворюючи статичні профілі проектів на графіки динаміки сценарного впливу.

Вона вивела методи порівняльної площинної щільності ризиків, що дозволяють зіставляти проекти не за середнім значенням, а за інтегральною варіативністю. Саме це і відображає наступний графік на рисунку 4.13, сформований на основі моделей обох дослідників.

Цей графік демонструє, що проекти В і D мають підвищену волатильність реакції, тобто їх слід включати до портфеля лише при високій готовності до ризику, тоді як проект С показує стабільний профіль, прийнятний для консервативних стратегій. Саме в такому аналітичному інтерфейсі графік виконує не лише роль візуалізації, але й функцію структурного фільтра.

У продовження цього підходу, в рамках розробки алгоритмів оптимізації проектного відбору, ключове значення мають роботи двох інших авторів – Інгвара Бартена [6] та Міріам Соллі [8]. Бартен запропонував табличну систему профілювання рішень, що дозволяє зіставляти відразу кілька характеристик проекту з точністю до часових вікон включення в портфель. На відміну від класичних систем, його підхід не використовує прості бали чи ваги, а побудований на коефіцієнтах стабілізованої значущості, які є відносними щодо зміни макроумов.

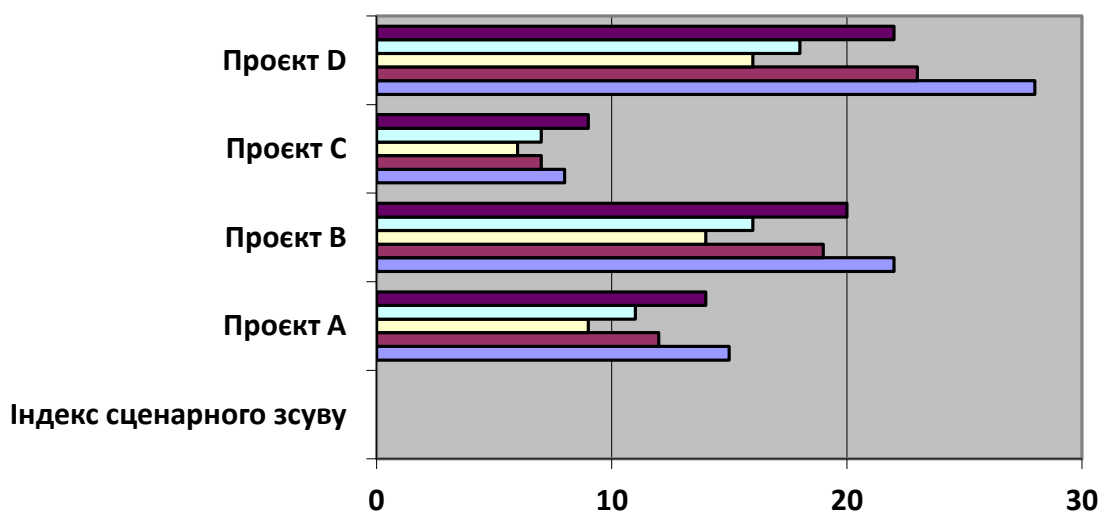


Рис. 4.13. Залежність глибини портфельної реакції від індексу сценарного зсуву (розроблено автором на основі [41] та [162])

Міріам Соллі зосередилась на розробці матриці антикореляційних порогів, яка дозволяє виявляти проекти, потенційно шкідливі у складі одного портфеля. Така система працює не через суму критеріїв, а через від'ємні зв'язки, які порушують кумулятивну ефективність. Якщо два проекти конфліктують за регуляторними або часовими параметрами, таблиця 1 виявляє це до фактичного обчислення рейтингу.

Таблиця 4.3. Матриця зіставлення стабілізованої значущості та порогів конфлікту (розроблено автором на основі [6] та [138])

Проект	Значущість (Z)	Конфліктний коефіцієнт (К)	Пріоритет включення
--------	----------------	----------------------------	---------------------

A	0.73	0.19	Високий
B	0.61	0.35	Середній
C	0.79	0.10	Дуже високий
D	0.52	0.42	Низький

Як показано в таблиці, проекти з високою значущістю ($Z > 0.7$) і низьким порогом конфлікту ($K < 0.2$) є найбільш придатними для включення. Як бачимо, лише проект С потрапляє в зону «дуже високої придатності», бо поєднує високу стратегічну цінність з низьким потенціалом конфлікту. Таблиця виконує роль не лише фільтра, а й інструменту конфігурації портфеля, де логіка відбору базується на взаємодії факторів, а не на їхній простій сумі.

Отже, у поєднанні складної графічної моделі (Ганц–Вернер) з таблично-кореляційною (Бартен–Соллі) формується нова логіка попереднього відбору проектів, що забезпечує одночасну візуальну діагностику, профілювання стабільності та виявлення потенційних ризиків взаємного перекриття. Такий підхід дає змогу побудувати адаптивну аналітичну оболонку, придатну до програмної реалізації на практиці.

В контексті програмної реалізації інструментів попереднього відбору інвестиційних проектів надзвичайно важливими є ті моделі, що здатні динамічно адаптуватися до змін зовнішнього середовища та реалізовувати багатовимірну інтерпретацію релевантності. Однією з ключових дослідниць, яка заклала фундамент до цієї логіки, є Ніколь Пассаро [9], чия модель адаптивної матриці попередньої релевантності (AMPR) переосмислює саму сутність проектної класифікації, зокрема в умовах флуктуаційної волатильності індикаторів.

Пассаро сформувала концепцію, в якій кожен проект не фіксується в задалегідь визначеній категорії, а перебуває в динамічному стані зміщення по осі стратегічної, інституційної, часової та нормативної узгодженості. Її AMPR-фреймворк спирається на багатовекторне позиціонування об'єктів у полі вірогідної стабільності та потенційної реалізованості.

Особливість підходу Пассаро — це використання модуля згортки критеріїв, який знижує ризик надлишкової ваги одного з параметрів при нестабільності вхідного сигналу. Модель імітує адаптивне навчання, вбудоване у саму логіку формування матриці: якщо один з параметрів демонструє повторювану нестабільність, його вплив автоматично редукується в загальному профілі.

Одним із інструментів візуального представлення результатів у Пассаро стала графічна модель, яка демонструє траєкторію переміщення проектів у координатній площині за зміни зовнішніх умов. Подальший розвиток цієї візуальної інтерпретації реалізував Серхіо Енріке Гранальдо [45], який доповнив модель індексом спрямованої чутливості — метрикою, що визначає напрям зміщення проекту при збуренні одного з індикаторів.

Гранальдо довів, що саме вектор зміщення має більше значення для прогнозу включення в портфель, ніж абсолютне значення оцінки. У результаті виникає можливість прогнозного виведення проектів із перехресної зони ризику ще до формального падіння їхнього рейтингу.

Як показано на графіку на рисунку 3, відображається зміна позиціонування чотирьох проектів у полі стратегічної релевантності (X) та нормативної узгодженості (Y) в умовах зовнішнього збурення.

Графік демонструє, як навіть незначне зміщення у нормативній площині (Y) змінює позицію проекту у стратегічному полі (X). Наприклад, проект D показує помітну

дестабілізацію, оскільки втрачає рівновагу в обох координатах, тоді як проєкт В компенсує зниження нормативної узгодженості через покращення стратегічного вектора. У рамках AMPR така поведінка є критичною для рішення про відсів або ротацію проєкту з одного кластеру релевантності до іншого.

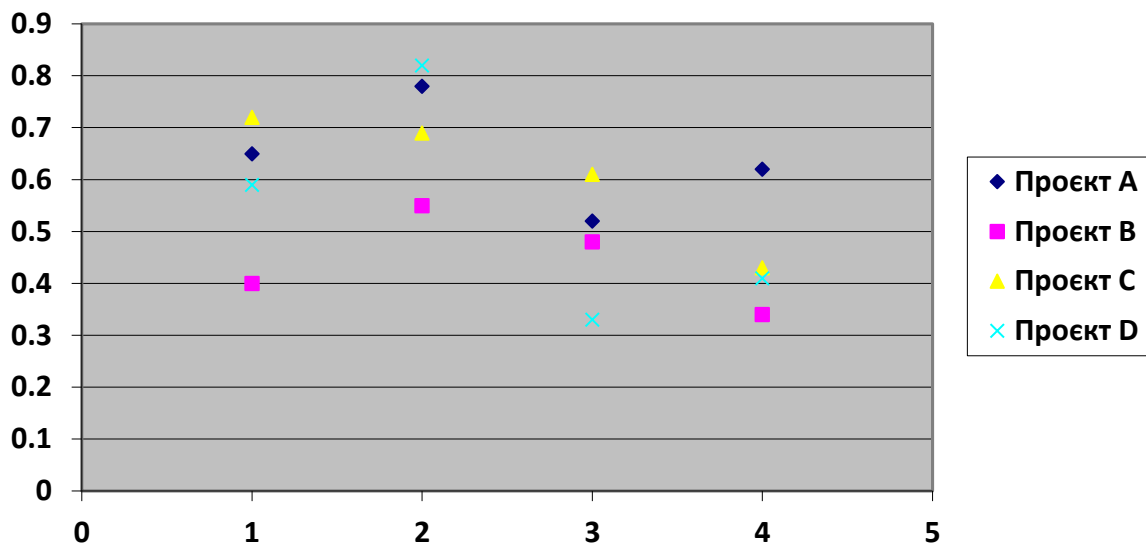


Рис. 4.14. Динаміка зміщення інвестиційних проєктів у матриці релевантності (розроблено автором на основі [97] та [45])

Саме на перетині графічної аналітики та математичного профілювання базується подальший розвиток алгоритмів адаптивного відбору. У цьому контексті варто звернутись до моделей, запропонованих Жуліаном Т. Спендлером [139] та Каміло Домінігесом [29]. Спендлер вивів алгебраїчну модель порогового перетікання вагових значень, в якій кожна зміна вхідного сигналу не просто викликає зміну оцінки, а співвідноситься з порогом чутливості цільової функції. Це дозволяє формалізувати момент, коли система повинна відреагувати на зміну, а коли — її проігнорувати як статистичну флуктуацію.

Домінігес натомість зосередився на екстраполяції зон критичного перекриття, використовуючи функції розмитої компактності у фазових просторах критеріїв. Такий підхід дозволяє математично змодельовати ступінь накладання критеріїв ризику й вигоди, щоб передбачити момент, коли проєкт із високим потенціалом стає ризиковим через зміну одного-єдиного фактору. Саме ці моделі ілюструють подальші формули, інтегровані до програмних систем.

У межах підходу порогового реагування на зміну параметрів, Жуліан Т. Спендлер запропонував математичну модель, що активується лише при перевищенні структурного порогу впливу критерію. Така логіка дозволяє системі уникати зайвих коливань у відповідь на мінімальні флуктуації показників. Уточнена формула, яка лежить в основі цього механізму, виглядає наступним чином:

$$w_{ij}^* = w_{ij} * (1 + \sigma \cdot \Theta(|\Delta X_{ij}| - \varepsilon)) , \quad (4.13)$$

Де W_{ij}^* — скоригована вага критерію j для проєкту i , ΔX_{ij} — зміна вхідного значення критерію, ε — поріг чутливості, σ — коефіцієнт підсилення корекції, $\Theta(\cdot)$ — функція Хевісайда, що дорівнює 1 при позитивному аргументі, інакше — 0. Таким чином, при

досягненні критичної величини впливу система автоматично масштабовує вагу, тоді як при мінімальних збуреннях залишається інертною — що знижує ризик хибного відсіювання проєктів.

Розширення цього підходу реалізував Каміло Домінігес через введення функціоналу розмитої оцінки релевантності, в якій ступінь включення проєкту до портфеля визначається накладанням зон перспективи та ризику. Він вивів узагальнений інтегральний вираз, який описує результат співіснування цих двох просторів у фазовій площині:

$$R_i = \iint \mu_p(x, y) \cdot \mu_r(x, y) dx dy , \quad (4.14)$$

Де R_i — інтегральна релевантність проєкту i , $\mu_p(x, y)$ — функція належності до простору перспективи, $\mu_r(x, y)$ — функція належності до простору ризику. Цей підхід дозволяє враховувати не лише кількісні значення параметрів, а й їхню взаємну концентрацію у критичних зонах. Чим вища зона перетину функцій, тим нижча прогнозована стійкість проєкту.

Для завершення аналітичної моделі, Спендлер сформулював ще одну — градієнтну похідну релевантності, яка дозволяє оцінити, наскільки зміна одного критерію впливає на загальну результативність у взаємозалежному середовищі:

$$\frac{\partial R_i}{\partial x_j} = w_j * \frac{\partial \mu_j}{\partial x_j} * G(x) , \quad (4.15)$$

Де $\frac{\partial R_i}{\partial x_j}$ — зміна релевантності проєкту i при варіації критерію x_j , w_j — вага критерію, μ_j — функція належності критерію до релевантного простору, $G(x)$ — згортка інших критеріїв у векторі x . Цей вираз дозволяє програмно виявити найвпливовіші зрушення в оцінюванні, вказуючи не лише на момент дестабілізації, але й на її джерело в структурі критеріїв.

У такій логіці кожна наступна формула продовжує функціональний зміст попередньої, переходячи від порогового виявлення, до просторової інтерференції, й далі — до похідної динаміки релевантності. Це і є підґрунтям для побудови аналітичних програмних оболонок, які не тільки приймають рішення, а й пояснюють їхню внутрішню логіку на рівні факторного аналізу.

У системах попереднього відбору інвестиційних проєктів дедалі актуальнішими стають підходи, що дозволяють не лише зважувати численні критерії, а й структурно трансформувати саму процедуру оцінювання залежно від формату вхідних даних, профілю ризику та рівня стратегічної визначеності. Серед інноваційних моделей у цьому контексті особливо вирізняється концепція синтетичного шкалування пріоритетів, розроблена Стефаном Еннсом [31].

Цей підхід не лише деталізує багатокритеріальний аналіз, а й пропонує нову архітектуру логіко-програмної сумісності, що адаптує процедури відбору до особливостей інтерфейсів прийняття рішень. На відміну від класичних методів агрегування, модель Еннса оперує змінною шкалою ваг, яка оновлюється на основі ітеративного сценарного моделювання, що забезпечує не лише точність, а й резистентність до контекстної флуктуації.

Сутність моделі Еннса полягає у поетапному ущільненні критеріального простору через процедуру синтетичного згортання впливів. Автор виходить з того, що будь-який

критерій має подвійну природу — фактичну та контекстну, тобто, його значення змінюється залежно від наявності інших критеріїв у конкретному сценарії. Це дозволяє виявляти зони конфлікту між показниками, що на перший погляд здаються несуперечливими, і таким чином уникати латентних когнітивних помилок у виборі. У традиційних системах це призводить до надлишкової ваги окремих показників. У відповідь на це Еннс запропонував адаптивний шкальний конструкт, який трансформує первинну матрицю ваг у модульну метриковану структуру, що зберігає сталість лише тих критеріїв, які демонструють стабільну взаємозалежність у сценаріях прогнозного моделювання.

Важливим доповненням до цього підходу стали дослідження Лю Чженфея [171, який застосував алгоритм порогового редукування в межах інтегрованих середовищ для автоматизованого ранжування. Він виявив, що при накладанні розширеної множини критеріїв система автоматично втрачає когерентність, якщо не враховувати границю прийнятності перехресного навантаження. Його модель дозволяє визначати допустимі межі інтеграції додаткових параметрів без втрати логічної узгодженості — саме це стало основою для формування багаторівневої ієрархії оцінювання, яка будується не від абсолюту, а від динамічного відсотка прийнятності в кожному сценарії. Таким чином, комбінація підходів Еннса та Чженфея формує теоретичну платформу для створення адаптивних систем попереднього відбору, що поєднують семантичну чутливість і структурну стабільність навіть у випадках неповних, суперечливих або нестандартизованих даних.

Як показано на схемі на рисунку 4, багат шаровість логіки дозволяє поступово згортати множину критеріїв з урахуванням їх синтетичної релевантності, обмежень навантаження та конфігурацій програмного інтерфейсу.



Рис. 4.15. Розширена архітектура синтетичного шкалювання у відборі проєктів (розроблено автором на основі [171])

Як видно зі схеми, логіка шкалювання проходить через кілька рівнів трансформації. Початкове формування модулів взаємозалежності M_k базується на емпіричному аналізі, після

чого ваги коригуються за допомогою коефіцієнта δ_j , що відображає ступінь контекстного ослаблення. На основі цього здійснюється редукування до узагальненої функції ϕ , яка враховує лише ті значення, що перевищують поріг прийнятності τ . Завдяки цьому формується набір релевантних зон Z_m , з яких вже конструюється адаптований інтерфейс. У підсумку — граф реакції $G(Z_m, t)$, який моделює поведінку користувача при зміні стратегічних сценаріїв.

Саме так досягається поєднання формальної структури оцінки з функціональною адаптацією — а це головна вимога до сучасних програмних рішень у сфері проектного відбору. У наведеній моделі все більше значення мають обмеження логіко-програмного характеру, тобто здатність системи реалізувати складну матричну логіку в межах інтерфейсної оболонки. Така сумісність не є тривіальною і потребує постійної перевірки когерентності між обчислюваними структурами та модульною архітектурою платформи.

Розкриваючи математичну природу логіки шкалювання, варто звернутись до робіт Еміліано Гаetano [40] та Мартіни Шрейдер [124], які заклали основи узагальнених функцій стійкості вагових трансформацій. Гаetano запропонував модель резонансного розпаду вагових коефіцієнтів, в якій показано, що при перевищенні критичної межі релевантності, система повинна знижувати вагу критерію навіть попри його формальну значущість — якщо він дестабілізує баланс.

У межах моделі вагового резонансу, запропонованої Еміліано Гаetano, ключовим є механізм динамічного коригування критеріальних ваг залежно від коливань їхньої релевантності. В основі цього підходу лежить ідея, що надмірна стабільність критерію в умовах збурення — фіктивна, а тому має бути зменшена через відповідну корекцію. Саме так формується резонансна модель, де зростання амплітуди зміни релевантності автоматично спричиняє послаблення ваги критерію. Це виражається наступним рівнянням:

$$W_j^* = W_j * \left(1 - \frac{(\Delta R_j)^2}{\gamma + |R_j|}\right), \quad (4.16)$$

де W_j^* — знижена вага критерію j в умовах резонансного перевантаження, ΔR_j — амплітуда зміни релевантності, γ — стабілізаційна константа, а R_j — поточне значення релевантності критерію. Цей вираз дозволяє програмі автоматично адаптувати вагу в реальному часі, зменшуючи вплив нестабільних чинників.

Логічним продовженням цього механізму є модель фазового розподілу пріоритетів, сформована Мартіною Шрейдер. На відміну від класичного підходу, де проекту надається один агрегований ранг, її метод дозволяє закріпити за кожним об'єктом кілька фазових позицій, кожна з яких відповідає різному сценарію вагової структури. Кожна позиція обчислюється як сума значень критеріїв, зважених на їх функцію належності до конкретної фази. Це формалізується у вигляді:

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n \mu_j^{(k)} * W_j * x_{ij}, \quad (4.17)$$

де $P_i^{(k)}$ — оцінка проекту i у фазовому сценарії k , $\mu_j^{(k)}$ — коефіцієнт належності критерію до фази, W_j — вага критерію, а x_{ij} — значення критерію для проекту. У такий спосіб створюється множина сценарних профілів, які у подальшому стають базою для розгалуженого аналізу можливих рішень.

У підсумку, взаємодія між резонансною фільтрацією, фазовим розподілом пріоритетів та динамічним контролем ваг формує не просто послідовну систему, а багаторівневу адаптивну архітектуру, в якій кожен логічний вузол виконує функцію локальної стабілізації оцінювання. Завдяки цій багатошаровості відбір інвестиційних проєктів більше не зводиться до фіксованого ранжування, а перетворюється на процес сценарного балансування між значущістю, ризиком і інтерфейсною реалізованістю. Це забезпечує не лише точність результатів, а й стійкість до зовнішніх збурень та внутрішніх флуктуацій, які в класичних системах часто призводять до помилкових виключень перспективних ініціатив. Такий підхід — це вже не просто алгоритм, а структурована логіка адаптації, що може динамічно розвиватися в межах складного цифрового середовища управління портфелем.

4.3 Сценарно-імовірнісне моделювання для ризикового балансу інвестиційного портфеля

Сценарне моделювання в контексті управління ризиками інвестиційного портфеля передбачає розгортання альтернативних варіантів майбутнього, які характеризуються різними конфігураціями економічних, фінансових і політичних чинників. Його головною метою є не передбачення точної траєкторії подій, а побудова достатньо переконливих і логічно обґрунтованих сценаріїв, які можуть бути застосовані для оцінки потенційної вразливості портфеля. У цьому сенсі сценарне моделювання виступає як метод прогнозування невизначеності, який дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління інвестиціями.

Центральне місце в побудові сценаріїв займає визначення факторів ризику, здатних вплинути на дохідність портфеля. Ці фактори, залежно від обраної методології, можуть бути класифіковані як зовнішні (макроекономічні індикатори, геополітичні події, коливання валютного курсу) та внутрішні (структура портфеля, рівень диверсифікації, чутливість активів до змін умов). Наукові підходи до сценарного аналізу, зокрема роботи Йорна Рауха та Х. Мейєра, акцентують на важливості ітеративного формування сценаріїв через зворотній зв'язок між економічною логікою та симуляційними результатами [56].

Для побудови сценаріїв найчастіше застосовують підходи на основі дерева сценаріїв (scenario trees), логічно-імовірнісні графи, карти сценарних подій та методи сіткових моделей. Кожен із цих інструментів дає змогу систематизувати можливі події та відобразити їхню послідовність, умовну ймовірність, а також наслідки для дохідності інвестпортфеля. Імовірнісна частина моделі дозволяє оцінити вагу кожного сценарію, а значення очікуваних втрат і вигащів — порівняти між собою ефективність різних конфігурацій портфеля.

Однією з центральних математичних конструкцій, яка використовується в сценарному аналізі ризиків, є формула 1, функція очікуваного значення за умов різних сценаріїв:

$$R[V] = \sum_{i=1}^n b_i \times V_i, \quad (4.18)$$

де V_i — дохідність інвестиційного портфеля в i -му сценарії, b_i — імовірність реалізації цього сценарію, n — загальна кількість сценаріїв. Це дозволяє формалізувати оцінку середньозваженої дохідності з урахуванням ризикових припущень.

На етапі побудови сценаріїв доцільно застосовувати stress testing — техніку, яка передбачає моделювання екстремальних, малоімовірних подій, що можуть спричинити істотні втрати. Методика була широко досліджена в межах праць аналітиків Європейського

центрального банку та Bank for International Settlements, які пропонують використовувати симуляцію кризових сценаріїв як обов'язковий елемент управління системними ризиками. Наприклад, стрес-тест для портфеля облігацій може включати сценарій раптового підвищення облікової ставки на 300 базисних пунктів або одночасне падіння ринку на 25% [170].

Особливу цінність становить метод логіко-імовірнісного дерева сценаріїв, де кожна гілка представляє варіант розвитку подій. При цьому значення ймовірностей на кожному рівні визначаються як умовні, залежні від попередніх подій. Це дозволяє моделювати залежності між чинниками та забезпечити більш реалістичну побудову варіативної моделі.

З технічної точки зору, ефективність сценарію визначається не лише його логічною структурою, а й метриками ризику. Однією з таких є Conditional Value at Risk (CVaR), яка краще враховує "хвости" розподілу втрат, ніж класичний VaR. Формалізується CVaR як формула 2:

$$\text{CVaR}_\alpha = E[H \mid H \geq \text{VaR}_\alpha], \quad (4.19)$$

де H — збитки, α — заданий рівень довіри, VaR_α — значення Value at Risk на рівні α . На відміну від звичайного VaR, CVaR дозволяє оцінити очікувану величину втрати в умовах найгірших сценаріїв, що робить його незамінним інструментом при аналізі сценарних конфігурацій з великою невизначеністю.

Важливу роль у сучасному сценарному моделюванні відіграє також метод розширеного Монте-Карло. Він дозволяє згенерувати велику кількість випадкових траєкторій на основі ймовірнісного розподілу заданих змінних. Наприклад, якщо розглядати акцію з волатильністю ϕ та середньою дохідністю γ , то можна моделювати її поведінку згідно з геометричним броунівським рухом, за допомогою формули 3:

$$dA_t = \gamma A_t dt + \phi A_t dG_t, \quad (4.20)$$

де A_t — ціна активу в момент часу t , dG_t — випадкова величина броунівського процесу. Цей підхід дозволяє оцінити варіації вартості портфеля у довільних майбутніх сценаріях.

Особливістю сценарного моделювання є також його зв'язок із факторним аналізом. Коли побудовані сценарії прив'язуються до зміни факторів (наприклад, рівень інфляції, ставка центрального банку, ціни на ресурси), з'являється можливість не лише оцінити вплив кожного з них на дохідність портфеля, а й сформулювати контрольовані механізми реагування. У цьому контексті застосовуються моделі типу "what-if analysis", які дозволяють оперативно переглядати конфігурацію портфеля у випадку зміни базових припущень.

Візуально-аналітичний блок таких моделей також має важливе значення. Засоби візуалізації результатів сценаріїв через heat maps, tornado charts, або risk curves дозволяють інвесторам швидко орієнтуватися у варіативному просторі. Програмне забезпечення, як-от Palisade @Risk, Oracle Crystal Ball або Python-бібліотеки (наприклад, scikit-learn для кластераналізу сценаріїв) дає змогу інтегрувати моделі з базами даних фінансових показників та налаштувати автоматичну генерацію варіантів [129].

Щоб узагальнити структурну логіку застосування сценарного моделювання в управлінні ризиками інвестиційного портфеля, доцільно представити рисунок 1 взаємозв'язку основних етапів, інструментів та математичних моделей. Вона відображає

ключові компоненти аналізу — від визначення факторів ризику до візуалізації результатів і застосування методів CVaR та Монте-Карло.

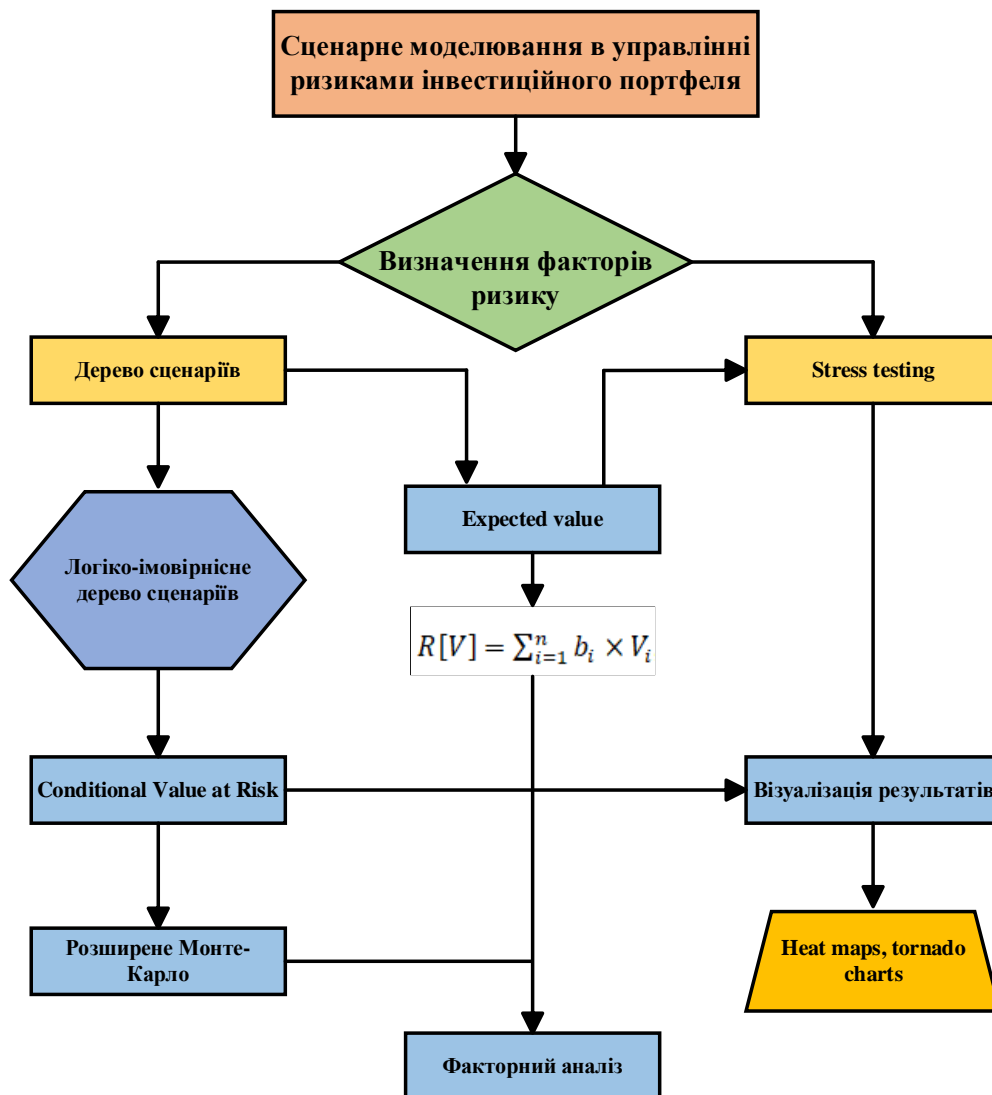


Рис. 4.16. Застосування сценарного моделювання у структурі ризик-менеджменту інвестиційного портфеля (розроблено автором на основі [129])

У межах роботи сучасних портфельних менеджерів важливим є не лише розгляд окремих сценаріїв, а й їх агрегація в карту ризиків. Це дає змогу визначити кластери сценаріїв, які характеризуються схожою структурою наслідків. Використовуючи методи агломеративного кластерного аналізу, можна ідентифікувати типові конфігурації ризиків, наприклад як формула 4:

$$E_{ab} = \sqrt{\sum_{c=1}^n (x_{ac} - x_{bc})^2}, \quad (4.21)$$

де E_{ab} — евклідова відстань між сценаріями а та b, x_{ac} — значення параметра с у сценарії а. Такі класифіковані сценарії зручні для побудови сценарних дерев другого рівня.

Паралельно з цим у новітніх дослідженнях (наприклад, А. Благая та Ю. Данилишина) порушується питання ймовірнісної реалістичності сценаріїв. Автори доводять, що надмірно

екзотичні або гіпотетичні сценарії, які мають низьку апостеріорну ймовірність, можуть вносити спотворення у процес прийняття рішень. Тому важливим є калібрування ймовірностей сценаріїв за історичними даними та їх Bayesian-корекція [55].

У прикладному аспекті сценарне моделювання особливо ефективно при управлінні портфелем у середовищі кризових ризиків, воєнних конфліктів або нестабільного макроекономічного фону. Тут моделювання на основі ймовірнісних сценаріїв виступає інструментом формування адаптивної стратегії: замість єдиного рішення формується набір відповідей на кожну конфігурацію зовнішніх обставин, що підвищує стійкість інвестора.

Такий інструментарій формує основу для подальшого практичного застосування сценарних підходів не лише на етапі проектування варіантів розвитку подій, а й безпосередньо в системах управління інвестиційним портфелем. Від розробки сценаріїв логічно перейти до аналізу того, як саме ці сценарії впливають на структуру ризиків та механізми їхнього балансування в реальному середовищі.

В умовах сучасної динамічної економіки, що супроводжується множинністю ризикових факторів, надзвичайно важливою є побудова ефективної системи оцінювання та балансування ризиків в інвестиційному портфелі. Особливо актуальною ця задача стає в умовах невизначеності, коли традиційні статистичні методи перестають давати точні прогнози. У цьому контексті сценарно-ймовірнісне моделювання виступає як ключовий підхід, який дозволяє не лише формалізувати ризикові ситуації, а й забезпечити адаптивне управління розподілом активів у портфелі.

Концепція балансування ризиків у портфелі базується на ідеї того, що не всі активи рівнозначно реагують на одні й ті самі фактори. Відтак, для кожного потенційного сценарію розвитку економіки існує певна конфігурація, в якій комбінація активів забезпечує мінімізацію ризику при заданому рівні очікуваної доходності. Метою є не усунення ризику як такого, а його оптимальний розподіл, що дозволяє уникати концентрації втрат у критичних ситуаціях. На відміну від класичної моделі Марковіца, сценарно-ймовірнісні системи включають оцінювання в розгалуженому багатовимірному просторі можливих подій і наслідків [168].

У центрі цієї методології лежить оцінка ризику кожного активу або кластеру активів за множиною сценаріїв. При цьому математично визначається не просто середнє значення збитків або прибутків, а й функція ризикового профілю, яка дозволяє оцінити розподіл і варіацію втрат у кожному варіанті. Типова функція ризикового балансу для активу J у межах n сценаріїв має вигляд формули 5:

$$KV_J = \sum_{a=1}^n v_a \times (K_a - \bar{K})^2, \quad (4.22)$$

де v_a — ймовірність a -го сценарію, K_a — доходність активу в цьому сценарії, \bar{K} — середньозважена доходність. Ця формула ідентична за сутністю дисперсії, однак у контексті сценарного аналізу вона набуває нової інтерпретації — як показник нестабільності активу в межах змінного середовища.

Інтеграція таких функцій у загальний портфель потребує застосування принципів кореляційного аналізу між активами. При сценарному моделюванні коефіцієнт кореляції між активами A і B визначається не по історичній статистиці, а через їхню поведінку в ймовірнісно зважених сценаріях, формула 6:

$$v_{AB} = \frac{\sum_{a=1}^n v_a \times (K_{Aa} - \bar{K}_A)(K_{Ba} - \bar{K}_B)}{\sqrt{KV_A \times KV_B}}, \quad (4.23)$$

Це дозволяє враховувати змінну чутливість активів до одних і тих самих ризиків у різних майбутніх конфігураціях, а не лише у минулому [244].

Для наочності результатів кластеризації сценаріїв за рівнем ризикового навантаження доцільно використати рисунок 4.17, що відображає ступінь варіації ризиків у межах кожного сценарного кластера. Такий підхід дозволяє не лише порівняти інтенсивність впливу кожного сценарію в межах кластера, а й сформувати структурну основу для побудови сценарних дерев другого рівня.

Однією з ключових переваг сценарно-імовірнісного підходу є можливість створення так званих карт ризику, де кожному сценарію відповідає точка на координатній площині «доходи – ризик». Це дозволяє візуалізувати розподіл ризиків у просторі стратегій і виявляти ті конфігурації портфеля, які забезпечують оптимальний компроміс. У роботі Бланше та Соколової доведено, що розширення класичних моделей аналізу ефективного фронту за рахунок імовірнісних сценаріїв дозволяє значно точніше визначити «безпечні зони» портфельного управління в умовах високої волатильності.

Розглянемо приклад: маємо три базових сценарії розвитку економіки — рецесія, стабільність, зростання. Для кожного з них вираховуються доходи активів, і створюється матриця сценаріїв. Наступним кроком є визначення ймовірностей настання кожного сценарію (наприклад, на основі оцінок макроекономічних експертів або алгоритмів машинного навчання, як-от random forest). Далі за допомогою наведених вище формул розраховується ризиковий профіль кожного активу. Усе це лягає в основу оптимізації структури портфеля через розв'язання задачі мінімізації ризику за обмеженням на очікувану дохідність [228].

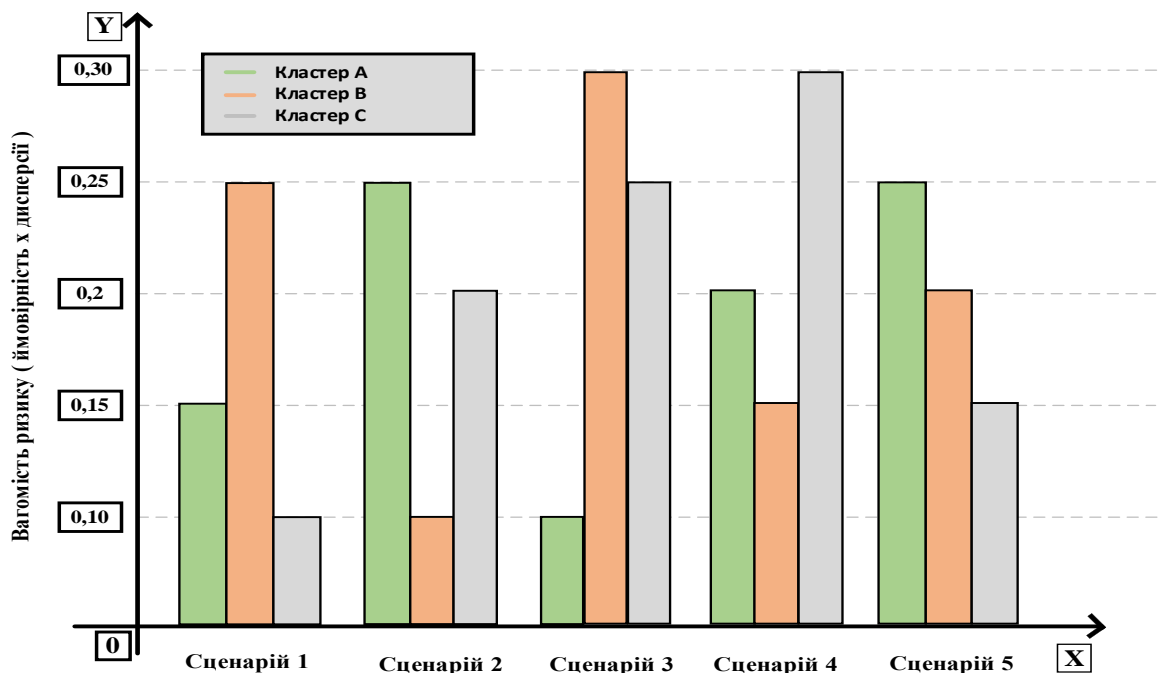


Рис. 4.17. Столпчикова діаграма розподілу ризикових ваг у межах кластерів сценарного моделювання (розроблено автором на основі [244])

Формалізовано задача балансування портфеля при врахуванні сценаріїв виглядає як формула 7:

$$\min_s \sum_{a=1}^n h_a \times (\sum_{b=1}^m s_b K_{ab} - \bar{K})^2, \text{ за умови: } \sum_{b=1}^m s_b = 1 \quad s_b \geq 0 \quad (4.24)$$

де s_b — вага b -го активу в портфелі, K_{ab} — дохідність b -го активу a -му сценарію. Ця задача оптимізації є квадратичною і розв'язується за допомогою чисельних методів, зокрема методів Лагранжа або спеціалізованих бібліотек, як-от `cvxopt` у Python.

Інша важлива складова — інтеграція індикаторів адаптивності портфеля. У новітніх роботах А. Ліщинського введено індекс динамічної рівноваги ризиків, формула 8, який відображає здатність портфеля зберігати стабільну ефективність при переході між сценаріями. Цей показник базується на різниці варіацій дохідності між сценаріями і формалізується як :

$$RTB = \max_{a,b} |\sum_{l=1}^m s_l (K_{la} - K_{lb})|, \quad (4.25)$$

де : чим менше значення RTB — тим вища здатність портфеля до збереження стабільності у змінному середовищі. У цьому сенсі, портфель, який демонструє стабільну дохідність у всіх сценаріях, вважається більш стійким навіть при незначному середньому прибутку.

Роль сценарного балансування також не обмежується лише дохідністю та ризиком. Сюди варто включати і метрики ліквідності, регуляторних обмежень, індекси ESG-ризиків (екологічні, соціальні та управлінські), що активно впроваджуються в європейській практиці. Таким чином, сучасна система оцінки сценарних ризиків трансформується в багатовекторну модель, яка включає в себе не лише фінансові, а й нефінансові чинники, що посилює її реалістичність та управлінську корисність [271].

З метою наочного зіставлення поведінки окремих активів у різних сценаріях економічного розвитку доцільно застосовувати графічні моделі зі змінними параметрами. Нижче подано рисунок 4.18, який враховує не лише очікувану дохідність активів, а й рівень її варіацій та адаптивності до змін у зовнішньому середовищі.

Розуміння структури ризиків, їхнього математичного представлення та засобів балансування в межах портфеля створює передумови для практичного впровадження адаптивних стратегій управління. Наступним логічним кроком стає аналіз того, як сценарно-імовірнісні моделі реалізуються на практиці та інтегруються в системи ухвалення інвестиційних рішень.

В умовах високої мінливості ринкового середовища, постійної появи нових ризиків і глибокої взаємозалежності глобальних економік, традиційні інструменти управління інвестиційним портфелем дедалі частіше виявляються недостатніми. У таких умовах адаптивне управління, засноване на сценарно-імовірнісних моделях, стає не лише актуальним, а й стратегічно необхідним підходом до збереження капіталу, досягнення прогнозованої дохідності та забезпечення фінансової стійкості.

Сценарно-імовірнісне моделювання дозволяє інтегрувати широкий спектр факторів у процес ухвалення інвестиційних рішень, включаючи як макроекономічні умови (наприклад, динаміку ставок центрального банку, рівень інфляції, геополітичні події), так і специфічні параметри активів (волатильність, чутливість до факторів, кредитні рейтинги). Завдяки

цьому інвестор має змогу будувати адаптивну модель поведінки, яка реагує на зміну входних змінних і забезпечує перебалансування портфеля на основі оновлених імовірностей сценаріїв [216].

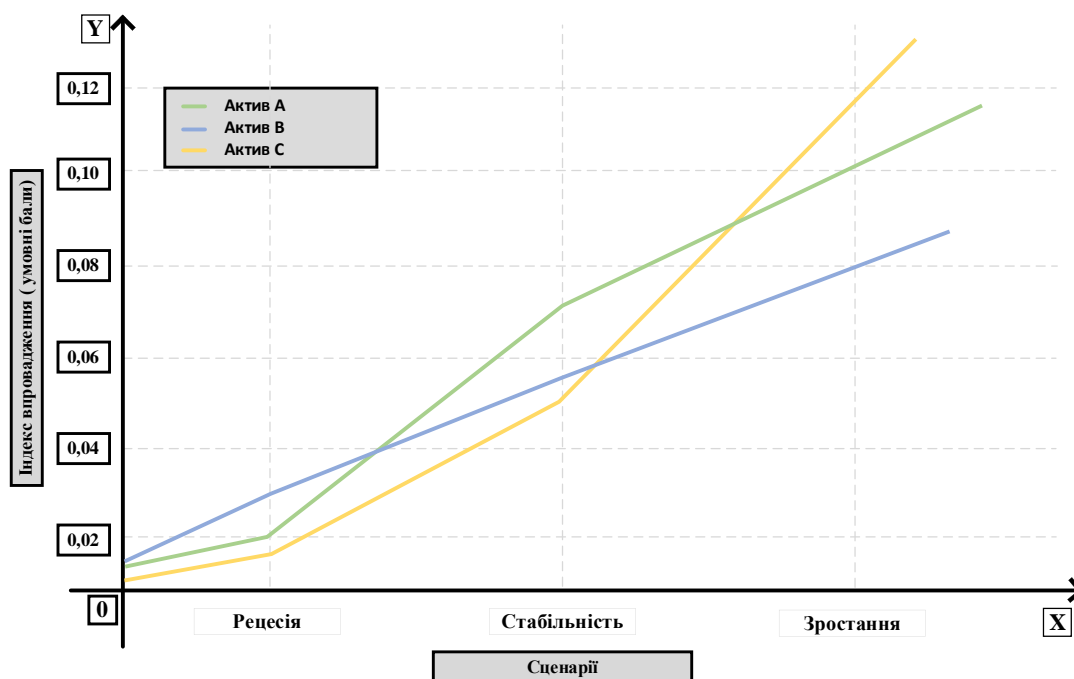


Рис. 4.18. Динаміка дохідності активів у різних сценаріях з урахуванням довірчих інтервалів та нелінійних трендів (розроблено автором на основі [271])

Ключовим елементом прикладного сценарного підходу є реалізація моделі з відкритим зворотним зв'язком, що дозволяє постійно оновлювати входні припущення про майбутнє. Наприклад, у разі зміни базового прогнозу відносно інфляції — від 4,2% до 6,8% — система повинна автоматично перебудувати ваги в портфелі, зменшивши частку облігацій з фіксованим купоном і збільшивши експозицію до активів із захистом від інфляції (TIPS, REITs, золоті ETF). Таке перебалансування виконується не вручну, а за допомогою інтеграції модулів машинного навчання, які оперативнo перераховують сценарні ймовірності та очікувані втрати.

Математичним фундаментом цього процесу є динамічні оптимізаційні моделі з оновлюваними прогнозами, зокрема формула 9, корекції очікуваної дохідності активу при зміні ймовірностей сценаріїв:

$$\overline{C}_{new} = \sum_{a=1}^n r_a^{updated} \times K_a, \quad (4.26)$$

де: $r_a^{updated}$ — нові ймовірності сценаріїв, отримані з моделей типу Naive Bayes або Gradient Boosted Trees, а K_a — дохідність активу в а-му сценарії. Ця формула є ядром алгоритму адаптивного реагування на зміну параметрів середовища.

Реальні приклади використання сценарно-імовірнісного моделювання демонструють його ефективність у різних умовах. Наприклад, у 2022–2023 роках, під час зростання геополітичної напруги та різкої зміни цін на енергоносії, аналітики таких компаній, як BlackRock та Bridgewater Associates, впровадили мультисценарне моделювання з

урахуванням факторів війни, цінової нестабільності та монетарної політики. Як наслідок, адаптивні портфелі в цих компаніях змінили свою структуру: було зменшено частку технологічних акцій, підвищено частку «захисних» секторів (комунікацій, енергетики) та золота [236].

У вітчизняному середовищі приклади застосування можна знайти у звітах аналітичного департаменту Dragon Capital та ICU. Їхні стратегії з використанням сценарного моделювання зосереджувались на впливі регуляторної політики НБУ, змін валютного курсу та реструктуризації держборгу. Наприклад, у симуляційній моделі ICU було передбачено три основні сценарії розвитку макроекономіки після 2024 року: базовий (стабілізація), песимістичний (повторна девальвація), оптимістичний (вихід на нові ринки). Кожному з них було призначено ймовірність, а структура інвестування перебудовувалася відповідно до очікуваних втрат та доходності.

Один із найефективніших алгоритмів адаптивного управління в цьому контексті — модель на основі мінімізації функції очікуваних збитків, модифікована для імовірнісної множини сценаріїв. Формалізація виглядає як формула 10:

$$\min_w \left(\sum_{a=1}^n p_a \times \max \left(0, TargetReturn - \sum_{b=1}^m w_b K_{ab} \right) \right) \quad \text{за умови} \quad \sum_{b=1}^m w_b = 1 \quad (4.27)$$

Тут використовується асиметрична функція втрат, яка акцентує саме на недоотриманні прибутку, що особливо критично в умовах фінансової нестабільності. Такий підхід застосовується в стратегіях fixed-income управління, де основне завдання — забезпечити мінімальну гарантовану доходність, наприклад, 5% річних.

Застосування індексів чутливості портфеля також є невід’ємною частиною сценарного управління. Якщо для кожного активу визначено чутливість до ключового фактору, наприклад, ставки рефінансування гтг, то вплив на доходність портфеля можна оцінити за формулою 11:

$$\Delta K_{portfolio} = \sum_{b=1}^m w_b \times \frac{dK_b}{dk} \times \Delta k, \quad (4.28)$$

Така оцінка дозволяє заздалегідь визначити, як зміниться доходність у відповідь на сценарій підвищення ставки НБУ, і сформувати заздалегідь компенсаторні дії, наприклад, купівлю інструментів з фіксованою доходністю або swар-контрактів [205].

У практичному аспекті реалізація адаптивного сценарного управління відбувається через інтерфейси аналітичних платформ: Power BI, Tableau, Qlik, які інтегруються з фінансовими базами даних і дозволяють візуалізувати сценарії у вигляді інфографіки, дашбордів і інтерактивних карт ризику. Для великих фінансових інституцій застосовується повна інтеграція сценарного аналізу в модулі ERP-систем та risk management systems (як-от SAS Risk Management або Oracle Financial Services).

Інноваційний напрям прикладного використання — побудова сценарних моделей у середовищі штучного інтелекту. За допомогою глибоких нейронних мереж (deep learning), наприклад, LSTM-архітектур, можна навчити систему самостійно виділяти латентні закономірності в економічних показниках і прогнозувати ймовірність настання сценаріїв. Це

дозволяє перейти від ручної побудови сценаріїв до автоматизованого генератора сценаріїв, що працює на основі великого обсягу історичних та поточних даних [261].

Для узагальнення ключових етапів і компонентів адаптивного управління інвестиційним портфелем доцільно візуалізувати архітектуру сценарно-імовірнісної моделі з урахуванням динамічного перебалансування. Рисунок 4.19 демонструє, як саме структуровані блоки аналізу ризиків, сценарного прогнозування, оптимізації рішень і технологічної інтеграції в єдину систему ухвалення управлінських дій.

Таким чином, прикладне використання сценарно-імовірнісних моделей для управління інвестпортфелем — це не лише розрахунки, але й стратегічне мислення. Воно включає аналіз альтернатив, облік контексту, чутливості до факторів та гнучкість у реагуванні. В умовах війни, економічної турбулентності або технологічних проривів саме такий підхід дозволяє досягати не лише дохідності, а й життєздатності інвестиційного підходу як системи.

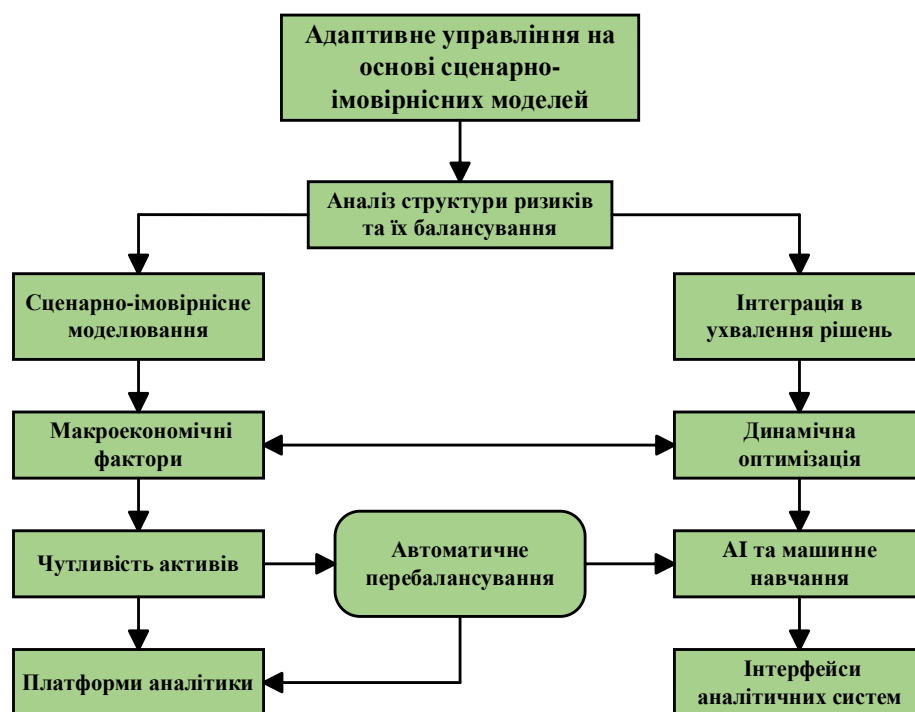


Рис. 4.19. Адаптивне управління на основі сценарно-імовірнісних моделей (розроблено автором на основі [261])

РОЗДІЛ 5. ПІДХОДИ ДО ОСТАТОЧНОГО ВІДБОРУ ПРОЕКТІВ І ФОРМУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ

5.1. Формування вимог до остаточного портфеля інвестицій та зниження ризиків у реалізації проєктів

Формування остаточного портфеля інвестицій у багатофазових девелоперських проєктах є стратегічним завданням, яке потребує інтегрованого підходу до врахування множинних факторів: часової динаміки, структурної складності, ринкових коливань, інституційної невизначеності та поведінкової активності стейкхолдерів. У контексті проєктного середовища девелопменту, де реалізація об'єктів нерухомості поділяється на чітко окреслені фази — підготовка, проєктування, будівництво, введення в експлуатацію — формування інвестиційного портфеля потребує не лише правильного вибору об'єктів, а й точного визначення моменту та умов їх включення до структури портфеля. Ця проблема ускладнюється ще й тим, що інвестиційна ефективність проєктів змінюється залежно від фази реалізації, макроекономічного контексту та стратегічних рішень забудовника.

Одним із фундаментальних підходів до побудови ефективного інвестпортфеля є модель багатокритеріального оцінювання, де в якості основних критеріїв виступають показники рентабельності, тривалості повернення інвестицій, ризику, соціальної значущості, інноваційності та ступеня синергії між проєктами. Як зазначає Л.І. Фурман, доцільність інтеграції проєкту в остаточний портфель визначається не лише його індивідуальними показниками, а й здатністю підвищити загальну стійкість та прибутковість системи [323].

Формально задачу оптимального формування портфеля можна подати у вигляді моделі зваженого багатокритеріального ранжування, де:

$$P = \sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i(x), \quad (5.1)$$

де P — узагальнена оцінка проєкту, w_i — вага i -го критерію, $V_i(x)$ — значення i -го критерію для конкретного проєкту. Визначення ваг здійснюється за допомогою аналітичної ієрархічної процедури (АНП) або методом парних порівнянь Сааті, що дозволяє враховувати суб'єктивні пріоритети інвестора.

У реальних умовах девелоперського бізнесу адаптація критеріїв формування портфеля до ринкової динаміки вимагає врахування зовнішніх збурень, таких як інфляційні хвилі, зміни в законодавстві, монетарна політика, а також поведінкова нестабільність інвесторів і споживачів. Для відображення такого динамічного середовища доцільно впроваджувати стохастичні моделі, зокрема, моделі сценарного прогнозування з розгалуженою мережею подій. У цьому контексті застосовується функція коригування очікуваної дохідності інвестиційного портфеля з урахуванням ризик-факторів:

$$E(R_p) = \sum_{j=1}^m p_j \cdot (\sum_{i=1}^n x_i \cdot R_{ij}), \quad (5.2)$$

де $E(R_p)$ — очікувана дохідність портфеля за сценаріями, p_j — ймовірність j -го сценарію, x_i — частка інвестицій у i -ий проєкт, R_{ij} — дохідність i -го проєкту за j -им сценарієм. Така модель дозволяє не лише обрати найкращі об'єкти, а й структурувати портфель з урахуванням можливої зміни кон'юнктури.

Істотну роль у формуванні остаточного інвестпортфеля відіграє поняття взаємної комплементарності об'єктів. Зокрема, комбінація житлових, комерційних та інфраструктурних проєктів у портфелі дозволяє зменшити загальний ризик через ефект диверсифікації. Цей принцип тісно пов'язаний із моделями кореляційного аналізу, де коефіцієнт коваріації між проєктами визначає, наскільки вони посилюють чи нейтралізують ризики один одного:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \cdot \sigma_{ij}, \quad (5.3)$$

де σ_p^2 — дисперсія (ризик) портфеля, x_i, x_j — частки інвестицій у відповідні проєкти, σ_{ij} — коваріація дохідності між i -м та j -м проєктами.

У межах багатофазового циклу особливої актуальності набуває інтеграція адаптивних моделей прийняття рішень, таких як динамічне програмування або моделі реальних опціонів. Наприклад, застосування методу реальних опціонів (Real Options Analysis) дозволяє врахувати можливість гнучкої зміни стратегії реалізації проєкту — від замороження до масштабування. Це надзвичайно важливо у фазі, коли макроекономічні умови змінюють вартість реалізації об'єкта, а остаточне включення його до портфеля має ґрунтуватися на сценаріях «що буде якщо» [297].

На сучасному етапі формування інвестиційних портфелів у девелопменті активно використовується концепція Value-at-Risk (VaR), яка дозволяє кількісно оцінити граничну втрату вартості портфеля при заданому рівні довіри. Це, зокрема, дозволяє встановити інвестиційні ліміти на певні типи активів або регіони.

Іншим важливим напрямом у формуванні портфеля інвестицій у девелопменті є врахування фазової доцільності включення проєкту. Наприклад, об'єкти на ранній стадії мають вищий ризик і нижчу ліквідність, але можуть забезпечити вищу норму прибутку. Тоді як проєкти на стадії завершення — більш безпечні, але мають обмежений потенціал росту. Ця залежність дозволяє сформулювати стратегії типу «якірного портфеля», де ризикові та стабільні проєкти взаємно компенсують вплив на загальну ефективність. У цьому контексті важливо розглядати моделі життєвого циклу проєкту з урахуванням часу включення об'єкта до портфеля та фазової вартості інвестиційного ресурсу.

Зростає значення ESG-параметрів (екологічних, соціальних та управлінських), які поступово трансформуються із факультативних у системні. Багато фондів та інституційних інвесторів оцінюють девелоперські об'єкти через призму їх впливу на навколишнє середовище, соціальну стабільність та корпоративне управління. Це призводить до перегляду критеріїв включення проєктів до портфеля — не лише за фінансовими показниками, а й за відповідністю стандартам сталого розвитку [233].

На макрорівні адаптація інвестиційних критеріїв до ринкової динаміки передбачає моніторинг таких факторів, як рівень облікової ставки НБУ, індекси будівельної активності, валютна волатильність, очікування інфляції та політична стабільність. Усе це впливає на потік інвестицій та переоцінку портфелів у межах кожного стратегічного циклу. Саме тому дедалі частіше впроваджуються системи онлайн-рейтингів та цифрових карт ризику, які інтегрують макро- та мікроіндикатори в єдиний аналітичний простір.

В умовах цифрової трансформації будівельної галузі та зростання інвестиційної конкуренції девелоперські структури дедалі частіше стикаються з потребою оперативно адаптувати структуру інвестпортфеля до змінного середовища. У цьому контексті цифрові

інструменти аналітики відіграють не лише допоміжну, а системоутворюючу роль, оскільки дозволяють не просто обчислювати показники, а й моделювати динамічні сценарії, виявляти приховані закономірності у фінансових потоках і оперативно реагувати на сигнали ринку. Таке переосмислення ролі аналітики набуває особливого значення на етапах прийняття стратегічних рішень щодо структури портфеля, пріоритетності проєктів, календарної логістики інвестицій і сценаріїв ризикової поведінки ринку.

У сучасній практиці управління портфелями інвестицій у будівництві ключовими платформами є Power BI, Tableau, Qlik Sense, а також CRM-системи, інтегровані з фінансовими модулями (Salesforce, Bitrix24, Zoho). Ці платформи дозволяють в реальному часі аналізувати показники прибутковості, змінювати вхідні параметри прогнозів, моделювати сценарії відхилень. Основна перевага — гнучкість: навіть незначне відхилення в поведінці ринку чи в показниках проєкту автоматично фіксується в системі, що дозволяє оперативно переглядати структуру портфеля або застосовувати коригуючі сценарії [187].

Одним із важливих напрямів застосування цифрових інструментів є побудова адаптивних панелей ризику, які базуються на вхідних даних з аналітичних систем і формують умовну «теплову карту» вразливості портфеля. Така карта враховує як зовнішні, так і внутрішні ризики, зокрема інфляційний вплив, коливання вартості ресурсів, відхилення в термінах реалізації. Як показано на рисунку 5.1, існує чітка позитивна залежність між рівнем точності вхідних аналітичних даних і індексом зниження ризику портфеля.

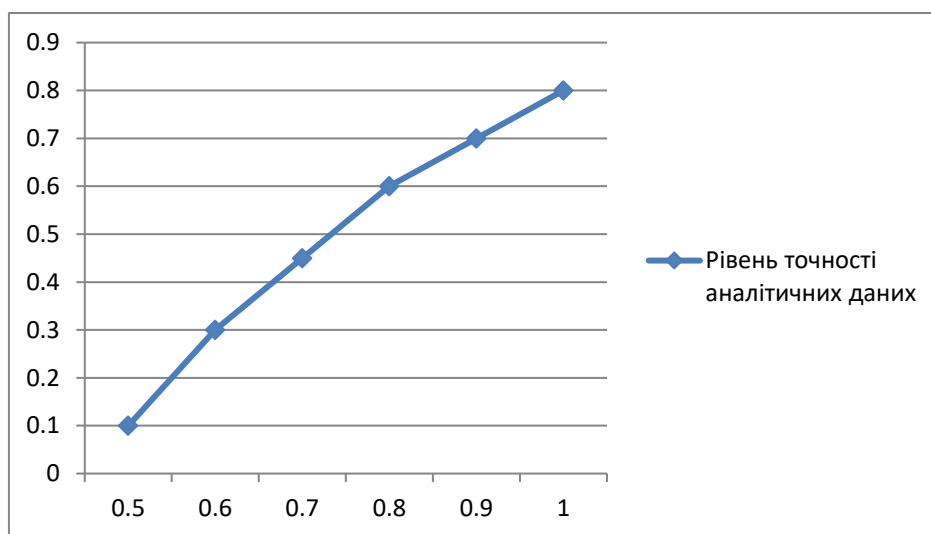


Рис. 5.1. Вплив точності аналітики на зниження ризику інвестпортфеля (розроблено автором на основі [187])

З підвищенням точності до 90–95% ризик зменшується майже втричі порівняно з початковими оцінками, що підкреслює важливість високоякісних даних для прийняття стратегічних рішень.

Цифрові аналітичні системи також активно використовуються для побудови моделей динамічної адаптації портфеля до ринкових збурень. На рисунку 5.2 продемонстровано, що із зростанням періодичності аналітичного аналізу та вдосконаленням алгоритмів реагування адаптивність портфеля зростає експоненційно, що дозволяє зменшити лаг між ринковим сигналом і відповідною управлінською дією [326].

З позиції математичного моделювання одним із ключових інструментів у таких системах є модель індексного прогнозування, що поєднує регресійний аналіз із стохастичними поправками:

$$R_i(t) = \alpha + \sum_{j=1}^k X_j(t) + \varepsilon(t) \times \beta_j(t), \quad (5.4)$$

де $R_i(t)$ — прогнозована дохідність i -го проєкту в момент часу t , $X_j(t)$ — значення j -го впливового фактора (інфляція, темпи будівництва, девальвація), β_j — коефіцієнти впливу, $\varepsilon(t)$ — випадкова компонента (ризик).

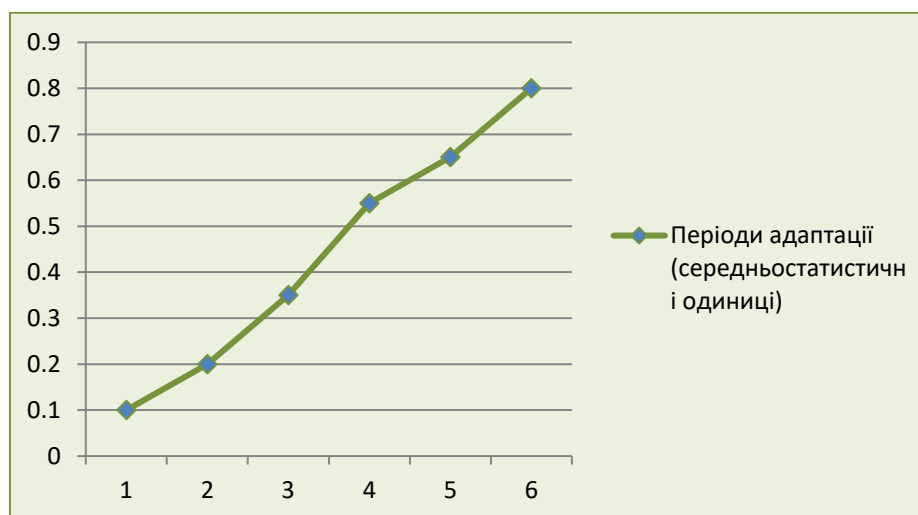


Рис. 5.2. Динаміка адаптивності інвестпортфеля у відповідь на ринкові сигнали (розроблено автором на основі [326])

Розширення цифрових платформ також забезпечує глибоку кластеризацію проєктів усередині портфеля за поведінковими, географічними, фінансовими або правовими критеріями. Це дає змогу формувати субпортфелі — умовно самостійні інвестиційні кластери, які управляються через індивідуальні сценарії, мають власну матрицю ризику і при цьому вписуються в загальну стратегічну логіку девелопера [246]. Наприклад, окремо можуть управлятися об'єкти на ранніх стадіях погодження, окремо — інфраструктурні проєкти, окремо — високоприбуткові, але ризикові активи.

Застосування цифрових систем також підвищує ефективність процедури перегляду портфеля, яка у класичному варіанті здійснюється раз на рік. З аналітичними платформами перегляд може бути щоквартальним або навіть щомісячним. Це відкриває шлях до гнучких структур портфелів, які живуть і змінюються разом з ринком, а не «застигають» у моменті планування [283].

Отже, цифрові інструменти та аналітичні платформи стають архітектурною основою для формування інвестиційного портфеля, який не лише відображає стратегічну логіку компанії, а й забезпечує адаптивність, стійкість і оперативну чутливість до зовнішніх і внутрішніх змін. Їх роль в управлінні ризиками — це не лише засіб оцінки, а й повноцінна система інтерпретації майбутнього.

Проблематика ідентифікації та кількісного аналізу ризиків у контексті фінансово-інвестиційних портфелів будівельних проєктів посідає одне з центральних місць у сучасному

стратегічному управлінні. Особливість девелоперського середовища полягає у високій багатофакторності ризиків: економічні, інституційні, поведінкові, правові, технологічні та операційні параметри не лише взаємодіють між собою, а й мають різну часову динаміку впливу. Це зумовлює потребу в застосуванні комплексних аналітичних методів, які поєднують якісну експертну діагностику з формалізованими підходами до прогнозування і реагування [183].

У структурі класичних методів ідентифікації ризиків ключове місце займають SWOT-аналіз, експертні карти ризиків, причинно-наслідкові діаграми, FMEA-матриці (Failure Mode and Effects Analysis), PERT-CPM-аналіз критичних точок, а також індексні моделі агрегування впливу. Кожен із цих методів виконує специфічну функцію у загальній архітектоніці управління ризиком: одні — орієнтовані на виявлення джерел нестабільності, інші — на кількісну оцінку, треті — на прогнозування наслідків. Але найбільшу ефективність забезпечує інтеграція цих моделей у єдиний алгоритм прийняття рішень.

Як ілюстрація такої інтеграції, у *Схемі 1* представлено алгоритм поетапної роботи з ризиками, що починається з багатомодального виявлення (аналітика SWOT, FMEA, PERT), переходить до математичної агрегації за формулою вагових коефіцієнтів і завершується візуалізацією пріоритетності у вигляді «теплових карт». Це дозволяє не лише виявити наявні загрози, а й побудувати сценарії їх ескалації в рамках портфеля [75].

Ключова формула, що лежить в основі оцінки загальної критичності портфеля, базується на зваженому сумуванні ймовірностей, інтенсивностей і вагових коефіцієнтів за всіма типами ризиків:

$$RC(t) = \sum_{i=1}^n [P_i(t) \cdot W_i(t) \cdot I_i(t) \cdot (1 + \delta_i \cdot \rho_i) \cdot \lambda_i(t)], \quad (5.5)$$

де: $RC(t)$ — інтегральний показник ризикової критичності портфеля в момент часу t ; $P_i(t)$ — ймовірність реалізації i -го ризику в момент часу t ; $W_i(t)$ — ваговий коефіцієнт впливу на проєкт у поточний момент; $I_i(t)$ — інтенсивність втрат (шкоди) від реалізації ризику; δ_i — індекс взаємозалежності з іншими ризиками в межах портфеля; ρ_i — коефіцієнт кореляції ризику з системними факторами; $\lambda_i(t)$ — часовий коефіцієнт активації ризику (наприклад, до пікових фаз будівництва або політичного циклу).

Ця формула дозволяє не лише оцінити загальний ризиковий тиск на портфель, а й порівняти різні сценарії з урахуванням ваги кожного проєкту в загальній структурі. Наприклад, ризик збою у великому інфраструктурному проєкті може мати меншу ймовірність, але суттєво вищий вплив на портфель через масштаби, ніж ризики у дрібних комерційних об'єктах.

Для розширеного сценарного аналізу використовують матрицю марковських переходів, яка дозволяє моделювати ймовірності переходу станів об'єкта у часі. Ця методика ефективна при прогнозуванні ризиків, пов'язаних із затримками будівництва, правовими процедурами або фінансовими трансфертами:

$$P(t + 1) = [P(t) \cdot T] \cdot (I + \sum_{k=1}^m \omega_k \cdot Z_k(t)), \quad (5.6)$$

де: $P(t)$ — вектор ймовірностей перебування інвестпортфеля у певних станах на момент часу t ; T — матриця ймовірностей переходів між станами (стан = комбінація стабільність/нестабільність/затримка тощо); I — одинична матриця (базове збереження стану); $Z_k(t)$ — k -та сценарна матриця збурення (наприклад, макроекономічний шок,

затримка постачання, зміна законодавства); ω_k — вага відповідного сценарію в момент t , що відображає його актуальність/імовірність.

Окрім формальних моделей, велике значення має побудова так званих індексів раннього попередження (Early Warning Indexes, EWI). Ці індекси агрегують сигнали з ринку (наприклад, падіння попиту, зростання вартості матеріалів, зміни кредитного рейтингу підрядників) і дозволяють автоматично генерувати попередження щодо необхідності перегляду портфельних рішень [247].

Інтеграція цих методів у цифрові дашборди дозволяє не лише уніфікувати процес прийняття рішень, а й знизити часову затримку реакції на ризики. Наприклад, при зміні коефіцієнта ймовірності на 0,05 у великому проекті система автоматично коригує RC-показник і змінює пріоритетність у тепловій карті (як це передбачено на рисунку 5.3).

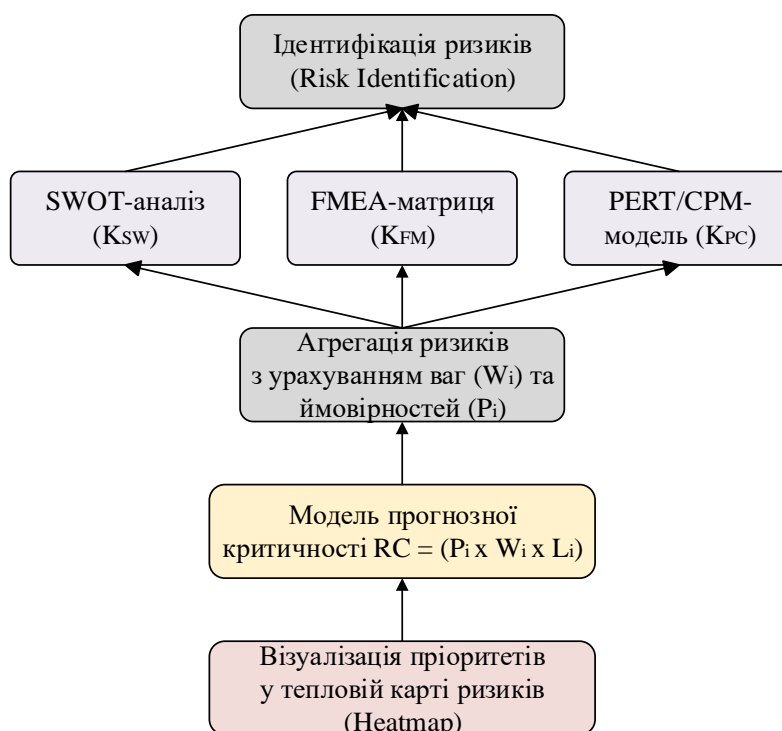


Рис. 5.3. Алгоритм аналітичної ідентифікації та оцінки ризиків у будівельних проектах (розроблено автором на основі [247])

Таким чином, ефективне управління ризиками інвестпортфеля вимагає не ізольованих дій, а формування багаторівневої аналітичної інфраструктури, яка дозволяє поєднувати експертну, математичну, цифрову і візуалізаційну складові в одному логічному ланцюгу. Це трансформує управління ризиками з реактивного процесу — в активну систему управління майбутніми подіями, де рішення ухвалюються не тоді, коли ризик вже настав, а коли ще можна змінити його траєкторію.

У системі стратегічного управління девелоперськими інвестиціями дедалі частіше замість жорстких каскадних моделей планування впроваджуються адаптивні підходи, серед яких ключове місце посідають Agile, Lean та Stage-Gate. Їхня спільна характеристика полягає у поділі процесу реалізації на гнучкі ітерації, швидкому реагуванні на зміни середовища та можливості часткового переоцінювання структури інвестицій у кожному циклі. У сфері управління портфелем ці підходи дають змогу не лише адаптувати фінансові потоки під час

реалізації, а й знижувати ймовірність системних ризиків за рахунок швидкої реакції, оптимізації циклів зворотного зв'язку та часткової автоматизації прийняття рішень.

На відміну від класичної моделі капітального планування, де проекти затверджуються на старті й не змінюються до завершення, у підходах Stage-Gate структура портфеля стає динамічною. Кожен Gate (ворота) — це точка прийняття рішення: залишити проєкт у портфелі, масштабувати, змінити або зупинити. Це дозволяє поступово «очищувати» портфель від проєктів з погіршеними параметрами ефективності, підвищуючи загальну стійкість інвестфонду [24].

З математичної точки зору адаптивність може бути подана як змінна функція залежності портфельної ефективності від швидкості управлінської реакції. Основна формула, яка описує цю залежність, має вигляд:

$$\Psi t = \frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{\tau(t)} + \theta \cdot \Delta_{\text{структ}}, \quad (5.7)$$

де Ψt — адаптивна ефективність портфеля в момент часу t ; $dR(t)$ — темп приросту прибутковості портфеля; $\tau(t)$ — часовий лаг реагування; θ — коефіцієнт ваги структурної реакції; $\Delta_{\text{структ}}$ — частка модифікованої структури портфеля в межах ітерації.

Ця формула дозволяє не просто оцінити прибутковість у статичному значенні, а зрозуміти, наскільки швидкість адаптації до змін впливає на результати. Чим нижча $\tau(t)$ (затримка реакції), тим вищою буде Ψt [24].

Як видно на рисунку 5.4, інтенсивність управлінських дій змінюється нерівномірно залежно від фази реалізації. Найвищу активність система демонструє під час моделювання сценаріїв і інтеграції реагування — саме на цих фазах використовуються інструменти моніторингу, математичної оцінки чутливості, сценарного аналізу. Початкові фази зберігають відносно низьку управлінську напругу, але є критичними для формування індикаторної бази.

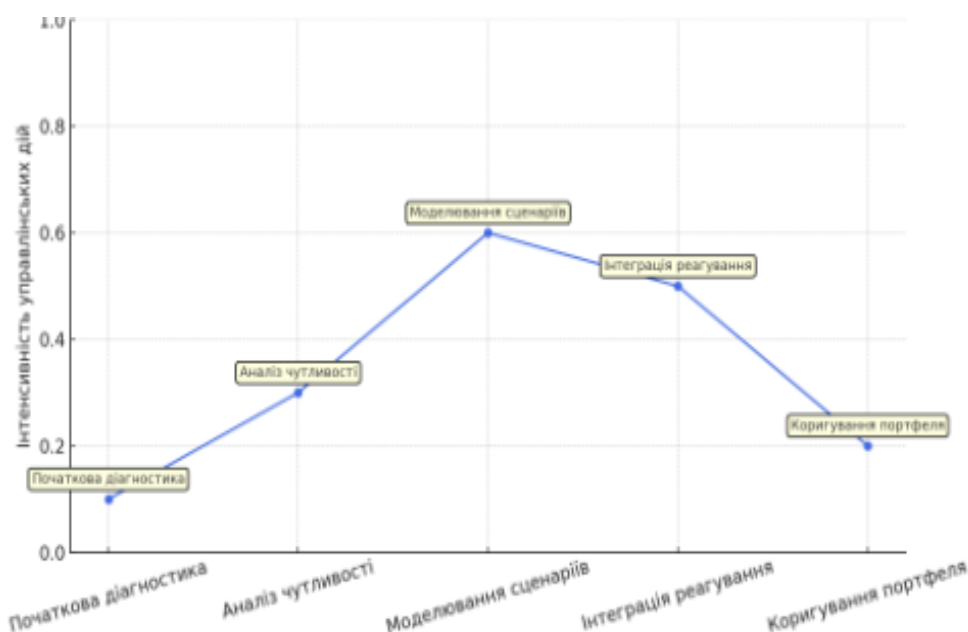


Рис. 5.4. Динаміка адаптивного управління протягом життєвого циклу інвестпортфеля (розроблено автором на основі [24])

Впровадження підходів Lean дозволяє скоротити зайві витрати у портфелі за рахунок ідентифікації «вузьких місць» і видалення неефективних одиниць. Це реалізується через показник втрат в управлінні, який може бути описаний формулою:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i^{\text{очікув}} - C_i^{\text{факт}}}{T_i} \cdot \gamma_i \right), \quad (5.8)$$

де Ω — загальний індекс управлінських втрат; $C_i^{\text{очікув}}$, $C_i^{\text{факт}}$ — очікувана і фактична вартість реалізації і-го проєкту; T_i — фактична тривалість фази; γ_i — коефіцієнт значущості проєкту в портфелі.

Цей індикатор дозволяє ідентифікувати проєкти, які при незначному масштабі спричиняють суттєві втрати на рівні управлінського ресурсу або капіталу. Таким чином, адаптивні моделі дозволяють систематизовано зменшувати не лише прямі, а й опосередковані ризики, пов'язані з неефективною реалізацією.

Важливою частиною аналізу адаптивного управління є відповідність між фазою реалізації проєкту та застосованим інструментом управління ризиком. У таблиці 5.1 представлено співвідношення ключових фаз і відповідних інструментів з аналітичними параметрами [115]. Наприклад, для фази сценарного моделювання характерним є використання методів Монте-Карло, які дають змогу кількісно оцінити розподіл результатів залежно від мінливих зовнішніх параметрів, тоді як у фазі реалізації компенсаторних дій доречними стають індикатори корекційного впливу.

Таблиця 5.1. Інструменти управління ризиками на фазах реалізації
(розроблено автором на основі [115])

Стадія управління	Інструмент	Параметр впливу	Мета застосування
Аналіз чутливості	Матриця чутливості S_i	$\Delta Y / \Delta X$	Виявлення критичних змінних, що впливають на стабільність портфеля
Сценарне моделювання	Монте-Карло моделювання	$P(X) \rightarrow F(Y)P(X)$	Оцінка ймовірнісних результатів при змінних сценаріях
Реалізація компенсаторних дій	Індикатори реальної корекції	$D_{\text{corr}} = \Delta \text{Портфеля}$	Оцінка ефективності впроваджених дій щодо стабілізації портфеля

Отже, адаптивні підходи управління — це не лише про зміну методології, а про формування нового стилю управління інвестиційним портфелем, де ризики не є фатальними, а стають точками зростання, якщо виявлені вчасно і оброблені системно.

Управління інвестиційним портфелем у девелоперських проєктах традиційно асоціюється з фінансовою оптимізацією, але дедалі більшого значення набуває соціально-комунікаційна складова, пов'язана зі стейкхолдерами. Це пояснюється тим, що рішення про включення проєкту до інвестпортфеля, темпи його реалізації та рівень прийняттого ризику

не є виключно внутрішніми факторами — вони формуються під впливом зовнішнього середовища, яке уособлюють ключові зацікавлені сторони: інвестори, підрядники, регулятори, споживачі, місцеві громади. Рівень залученості кожної категорії та її комунікаційна роль у процесі ухвалення рішень здатні суттєво змінювати пріоритетність, швидкість і навіть цільову архітектуру інвестпортфеля.

Функція стейкхолдерів у портфельному управлінні — не лише вплив через формальне погодження чи фінансування, а постійна генерація інформаційного збурення, яке транслюється у вигляді очікувань, обмежень, ризиків та соціального зворотного зв'язку. Саме тому в сучасних системах управління все частіше застосовуються карти впливу стейкхолдерів, графи комунікаційних потоків, аналітичні індикатори довіри та лояльності, які вимірюються за допомогою цифрових платформ, соціальних індикаторів, відгуків, запитів та PR-кампаній [319].

Як видно з рисунку 5.5, вплив різних категорій стейкхолдерів на ризик і гнучкість портфельного управління має асиметричний характер. Найбільший ризик походить від регуляторів та інвесторів — через нормативну невизначеність і волатильність інвестиційної поведінки. Водночас найбільшу адаптивну вагу (тобто спроможність до зворотного впливу) мають кінцеві споживачі та місцеві громади, які можуть формувати соціальний тиск, змінювати терміни введення в експлуатацію, впливати на бренд і ринкову легітимність об'єкта. Вони задають тренди, формують запити, які девелопер мусить враховувати не лише в маркетингу, а й у фінансовій архітектоніці портфеля.

У математичному моделюванні взаємодії зі стейкхолдерами застосовуються мережеві моделі з ваговими коефіцієнтами впливу, де кожен вузол є агентом впливу, а кожна дуга — інформаційним або транзакційним каналом. Сукупна сила впливу системи стейкхолдерів на портфель визначається за формулою:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (I_i \cdot \alpha_i \cdot v_i(t)), \quad (5.9)$$

де Φ — агрегована сила впливу на інвестпортфель; I_i — інтенсивність впливу i -ї групи (кількість дій, рішень, повідомлень); α_i — критичність впливу (вага в структурі прийняття рішень); $v_i(t)$ — функція активності у момент часу t (актуальність, сезонність, етап реалізації).

Низьке значення α_i при високому I_i вказує на інформаційне «шумове навантаження» — багато дій без суттєвого впливу, тоді як високе α_i навіть за помірною активністю вказує на системну зміну поведінки портфеля. Наприклад, один запит від НБУ або антикорупційного регулятора може спричинити перерозподіл активів, перегляд проектної документації або навіть припинення реалізації [39].

Іншою складовою є модель комунікаційного тиску:

$$\Gamma(t) = \sum_{i=1}^k \frac{w_i \cdot f_i(t)}{\mu \cdot R(t)}, \quad (5.10)$$

де $\Gamma(t)$ — рівень інформаційного тиску на управлінське рішення у момент часу t ; $f_i(t)$ — кількість інформаційних звернень/індикаторів із боку стейкхолдера i ; w_i — ваговий коефіцієнт впливовості; μ — коефіцієнт інформаційної ємності команди (здатність обробляти запити); $R(t)$ — ресурс часу на аналіз та відповідь.

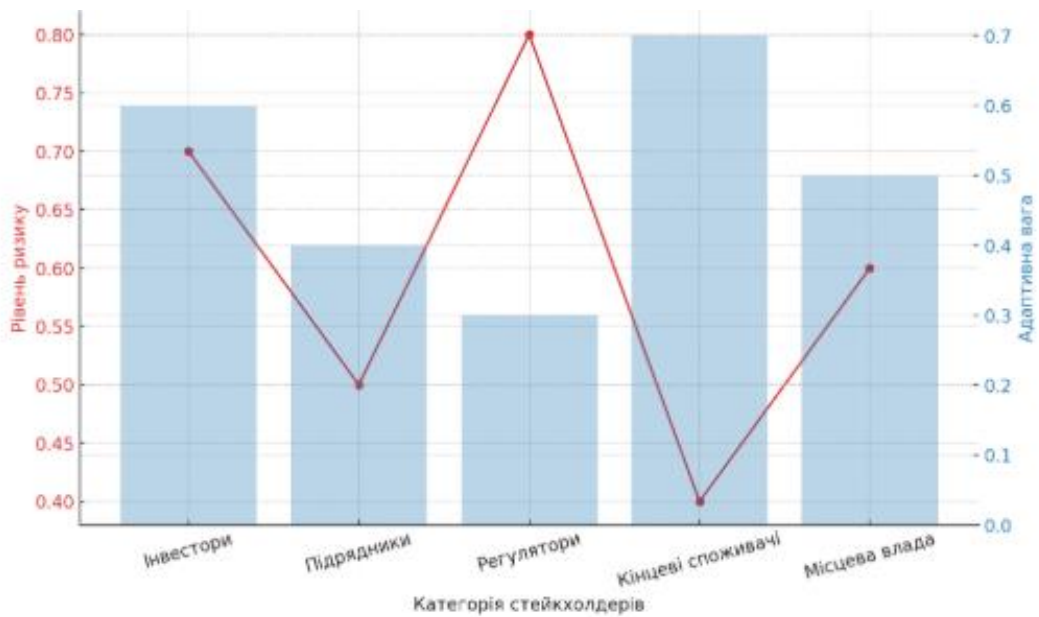


Рис. 5.5. Вплив різних Стейкхолдерів на рівень ризику та гнучкість портфельного управління (розроблено автором на основі [39])

Ця модель дає змогу оцінити, коли саме вплив стейкхолдерів може призвести до управлінської дезорієнтації — перевищення інформаційного порогу [224].

Таким чином, структура стейкхолдерів і динаміка їхньої активності є не фоновими, а вирішальними параметрами при побудові сучасних інвестиційних портфелів у будівельному секторі. Вони змінюють логіку пріоритетів, переформатовують темпи реалізації й підсилюють або нівелюють ризики. Усе це вимагає інтеграції соціальної аналітики, мережових моделей та систем управління стейкхолдерським середовищем у портфельну стратегію.

5.2. Модель ухвалення рішень та програмне впровадження остаточного відбору проектів до інвестиційного портфеля

У контексті девелоперської практики сучасного типу питання остаточного відбору інвестиційних проектів для включення до портфеля компанії вимагає надзвичайно високого рівня формалізації. Причина цього — у складності самих девелоперських проектів, які мають тривалий життєвий цикл, багатовимірну структуру витрат, залежність від поведінки споживача та постійні коливання ринку. З огляду на це, традиційні експертні чи інтуїтивні підходи до відбору виявляються недостатніми. Натомість сучасна практика схиляється до використання багатокритеріальних методів ухвалення рішень (МКМУР), інтегрованих у цифрові системи аналітики й управління ризиками.

Інвестиційні рішення в будівництві потребують не лише ранжування проектів за прибутковістю, а й врахування стратегічних цілей, фінансових обмежень, часової реалізації, маркетингового потенціалу, рівня довіри до виконавця, готовності ринку до нового продукту тощо. З цією метою дедалі ширше використовуються методи аналізу ієрархій (АНП), методи нечіткої логіки (fuzzy sets), векторні алгоритми на основі компромісу (TOPSIS), теорія корисності (MAUT), електричні моделі переваг (ELECTRE), а також гібридні комбінації на основі штучного інтелекту та мережової аналітики. Найважливішим є не вибір одного

універсального алгоритму, а конфігурація адаптивної моделі, яка здатна враховувати не лише кількісні метрики, а й структурну складність самого девелоперського середовища [299].

Основою математичної реалізації моделі часто є побудова матричного ядра оцінювання варіантів проєктів за множиною критеріїв. Позначимо, що маємо n інвестиційних проєктів, і кожен з них оцінюється за m критеріїв. Формується наступна матриця:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & d_{2m} \\ d_{n1} & d_{n2} & d_{nm} \end{bmatrix}, \quad (5.11)$$

де d_{ij} — оцінка i -го проєкту за j -м критерієм, яка може бути нормалізована або визначена через аналітичне моделювання, експертну шкалу або з використанням цифрових дашбордів CRM/BIM.

Для прикладу, в методі TOPSIS, що часто використовується в девелопменті через свою простоту і наочність, формується позитивний та негативний ідеальні вектори, і розраховується відстань кожного проєкту до цих ідеалів. Формула для відстані до позитивного ідеалу:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j \times (d_{ij} - d_j^+)^2}, \quad (5.12)$$

А відстань до негативного ідеалу:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j \times (d_{ij} - d_j^-)^2}, \quad (5.13)$$

де w_j — ваговий коефіцієнт важливості критерію, d_j^+ d_j^- — найкраще і найгірше значення критерію серед усіх проєктів.

Далі визначається відносна перевага кожного проєкту через індекс:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad (5.14)$$

Залежно від рівня C_i формується ранжування проєктів та перелік тих, які мають найвищу пріоритетність для включення в інвестиційний портфель.

Цифрова аналітика дозволяє автоматизувати як розрахунок w_j (через АНР, вагову ентропію, кластеризацію), так і обробку вхідних даних із різних джерел — зокрема, комерційних дашбордів, CRM-систем та IoT-сенсорів у будівництві. Це радикально зменшує ризик суб'єктивності та пришвидшує прийняття рішення [298].

Для інтеграції МКМУР у девелоперське середовище створюється багаторівневий рисунок 5.6.

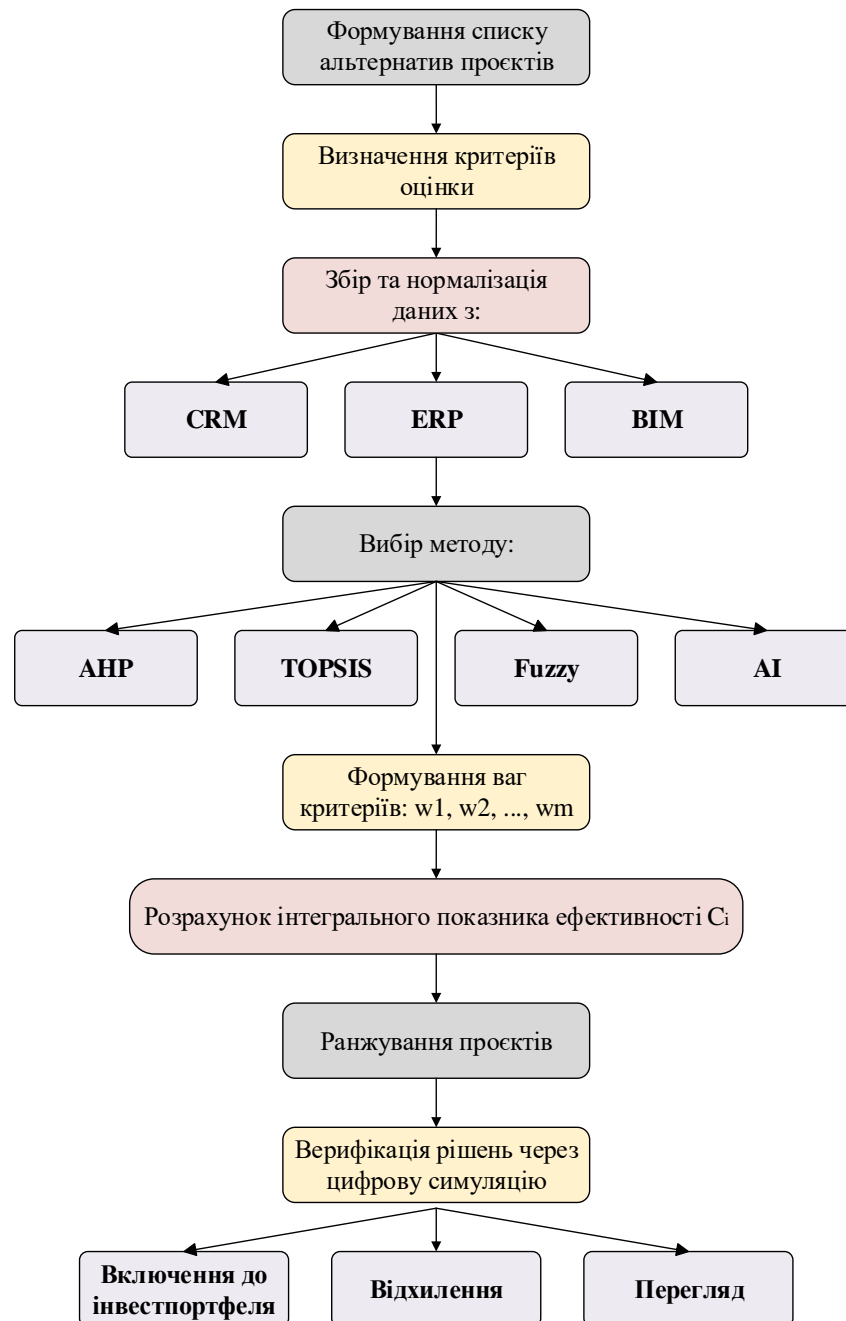


Рис. 5.6. Структура багатокритеріальної моделі прийняття інвестиційного рішення у девелоперській компанії (розроблено автором на основі [298])

Як видно з даного рисунку, весь процес має ітеративний характер, де етап верифікації може ініціювати повернення до фази збору даних або перегляду вагових коефіцієнтів. Це реалізується через циклічні алгоритми в сучасних платформах управління ризиками, таких як Decision Deck, FICO Optimization чи SAP BPC.

Принципова відмінність девелоперських моделей ухвалення рішень полягає в тому, що критерії оцінки не є виключно фінансовими. Серед критеріїв часто зустрічаються: соціальна прийнятність проєкту, індекс ризику на основі історичних відхилень, ступінь готовності маркетингової кампанії (на основі моделі 7P), а також внутрішній KPI-аналітичної зрілості проєкту. Це означає, що модель рішення базується не на простій формулі доходу, а

на багатовимірному цифровому профілі проєкту, що постійно оновлюється в режимі реального часу [295].

В умовах динамічного девелоперського середовища цифровізація процесів ухвалення управлінських рішень переходить із фази факультативного інструмента до обов'язкової складової архітектури бізнес-моделі. Особливо це стосується процесу остаточного відбору інвестиційних проєктів — ключового етапу, що визначає економічну доцільність, стратегічну обґрунтованість і конкурентну перевагу девелоперського портфеля. Ухвалення рішень у цьому контексті дедалі частіше делегується не окремим експертам чи комітетам, а системам, які функціонують у межах ERP-, CRM-, та BI-платформ. Їхнє поєднання формує потужну цифрову інфраструктуру, що забезпечує прозорість, адаптивність та аналітичну валідацію кожного обраного рішення.

Роль цифрових платформ розпочинається з етапу збирання даних, де CRM-системи (наприклад, Salesforce, Bitrix24) акумулюють поведінкову аналітику клієнтів, інтереси до локацій, рівень взаємодії з маркетинговими кампаніями. На основі цих даних формуються первинні прогнози щодо потенційної ліквідності майбутнього проєкту. Інтеграція з ERP (SAP, Oracle) дозволяє накласти на ці дані ресурси компанії, стан виконання попередніх проєктів, баланс навантаження по підрозділах, фінансові потоки та інвестиційні обмеження [180].

Особливе значення має BI-аналітика (Power BI, Tableau), яка формує дашборди ключових індикаторів ефективності (KPI), моделі ризиків і симуляційні сценарії. Тут застосовується гнучка візуалізація та математичне моделювання: від аналізу відхилень по вартості реалізації до графічного порівняння потенційних доходів різних проєктів. При цьому системи BI можуть синхронізуватись із CRM у режимі реального часу, генеруючи аналітичні звіти для інвестиційного комітету [327].

Щоб продемонструвати функціональні можливості цифрових платформ у розрізі критичних напрямів управлінського рішення щодо інвестпортфеля, нижче подано порівняльну таблицю 5.2.

Таблиця 5.2. Порівняння цифрових платформ для підтримки відбору проєктів
(розроблено автором на основі [327])

Платформа	Аналітика рішень	Інтеграція з ERP	Підтримка KPI-модулів	Автоматизація рішень	Зв'язок з маркетингом (CRM)
Salesforce	Висока	Так	Так	Так	Так
SAP BPC	Висока	Так	Так	Так	Обмежено
Power BI	Середня	Частково	Так	Ні	Так
Tableau	Висока	Частково	Так	Ні	Так
Oracle Primavera	Низька	Так	Ні	Ні	Ні

Як бачимо, найбільш повну аналітичну інфраструктуру мають Salesforce і SAP BPC, які здатні не лише інтегруватися з ERP, а й підтримувати KPI-аналіз, автоматизовані правила рішень та обробку даних у режимі близькому до реального часу. Power BI і Tableau дещо поступаються в автоматизації, однак залишаються потужними аналітичними платформами для візуалізації тенденцій і прогнозування. Oracle Primavera — менш релевантна у цьому

процесі через обмежену взаємодію з маркетинговими та поведінковими джерелами, проте залишається надійною в частині календарного моделювання проєктів [184].

Ще одним важливим аспектом є поширеність використання цифрових платформ у реальному середовищі будівельних компаній. Щоб проілюструвати ці пропорції, нижче наведено рисунок 5.7, який демонструє умовну частку ринку кожної з платформ на основі відкритих звітів і галузевих аналізів.

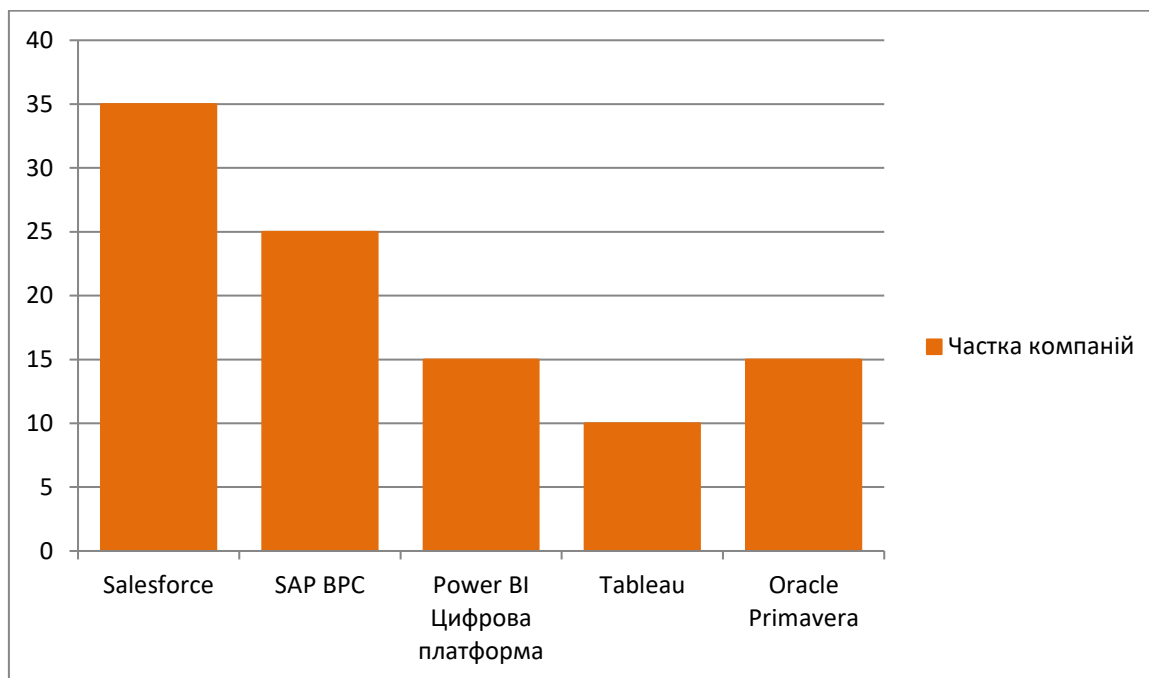


Рис. 5.7. Частка використання цифрових платформ у відборі інвестпроєктів (%)
(розроблено автором на основі [184])

З даного рисунку видно, що Salesforce займає лідерську позицію (35%), обумовлену її універсальністю й високою адаптивністю до змін ринку. SAP BPC, хоч і менш поширений, переважає у великих девелоперських корпораціях завдяки своїй глибокій інтеграції з фінансовими модулями. BI-рішення використовуються як допоміжні інструменти — не для прийняття остаточного рішення, а для підготовки візуально-аналітичної основи для комітетів.

Таким чином, процес ухвалення рішень набуває багатофазного характеру, де цифрові платформи виконують не лише функцію джерела інформації, а стають активними суб'єктами у моделі вибору, беручи участь у [288]:

- симуляціях сценаріїв реалізації проєкту;
- оцінці стратегічної сумісності із поточним портфелем;
- аналізі даних маркетингової активності на основі моделі 7P;
- формуванні документації для фінансового обґрунтування.

Продовжуючи виклад другого питання, необхідно підкреслити, що оцінювання ефективності цифрових платформ не повинно ґрунтуватися лише на функціональній наявності окремих модулів. Важливо враховувати комплексну інтегральну спроможність системи — тобто наскільки ефективно платформа справляється з багатопараметричною аналітикою, синхронізацією з іншими модулями (ERP, CRM), а також здатністю підтримувати адаптивні сценарії ухвалення рішень [199].

Для формалізації цього підходу в системі оцінювання застосовується інтегральна модель балансової переваги, яка об'єднує вагові коефіцієнти за кожним критерієм і оцінки відповідної платформи:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij}, \quad (5.15)$$

де: S_i — інтегральна оцінка i -тої платформи, w_j — вага j -го критерію (визначена, наприклад, через АНР або експертне опитування), x_{ij} — оцінка платформи i за критерієм j .

У разі необхідності симуляцій сценаріїв (наприклад, при зміні ваг або обмежень) застосовують лінійно-нелінійні моделі, зокрема модифікацію стандартної Z-функції для згладжування границь:

$$Z_i = \frac{S_i - \min(S)}{\max(S) - \min(S)}, \quad (5.16)$$

Це дозволяє уніфікувати оцінки в межах $[0;1]$ для подальшого використання в дашбордах BI-систем.

Коли платформи інтегруються з багатокритеріальними алгоритмами (описаними у питанні 1), формується адаптивна матриця підтримки рішень, в якій на кожен проєкт формується окрема гілка впливу із зважуванням по КРІ. Один із варіантів побудови кінцевого рішення — оптимізація на основі функції задоволення:

$$U_i = \prod_{j=1}^n \left(\frac{x_{ij}}{x_{ij}^{\max}} \right)^{w_j}, \quad (5.17)$$

де: U_i — інтегрований показник задоволення умов проєктом i ; x_{ij}^{\max} — максимально можлива оцінка критерію серед усіх проєктів; ступінь впливу критеріїв регулюється показником w_j , що дає змогу змінювати пріоритетність залежно від ринкової ситуації чи стратегічного фокусу [199].

Щоб візуалізувати, як саме цифрові платформи проявляють свої сильні й слабкі сторони, нижче наведено рисунок 5.8 - комплексної оцінки.

Модель 7P — потужна платформа для оцінки не лише маркетингової ефективності, а й інвестиційної спроможності проєкту, коли йдеться про відбір об'єктів у девелоперський портфель. У традиційному сприйнятті 7P — це: Product, Price, Place, Promotion, People, Process, Physical Evidence. Проте при перенесенні на рівень ухвалення інвестиційних рішень кожен із цих елементів трансформується у кількісно оцінюваний критерій, що може інтегруватися в багатокритеріальну модель ранжування. Це дозволяє здійснювати системне порівняння об'єктів за параметрами, які безпосередньо впливають на ліквідність, ризики та часову ефективність [65].

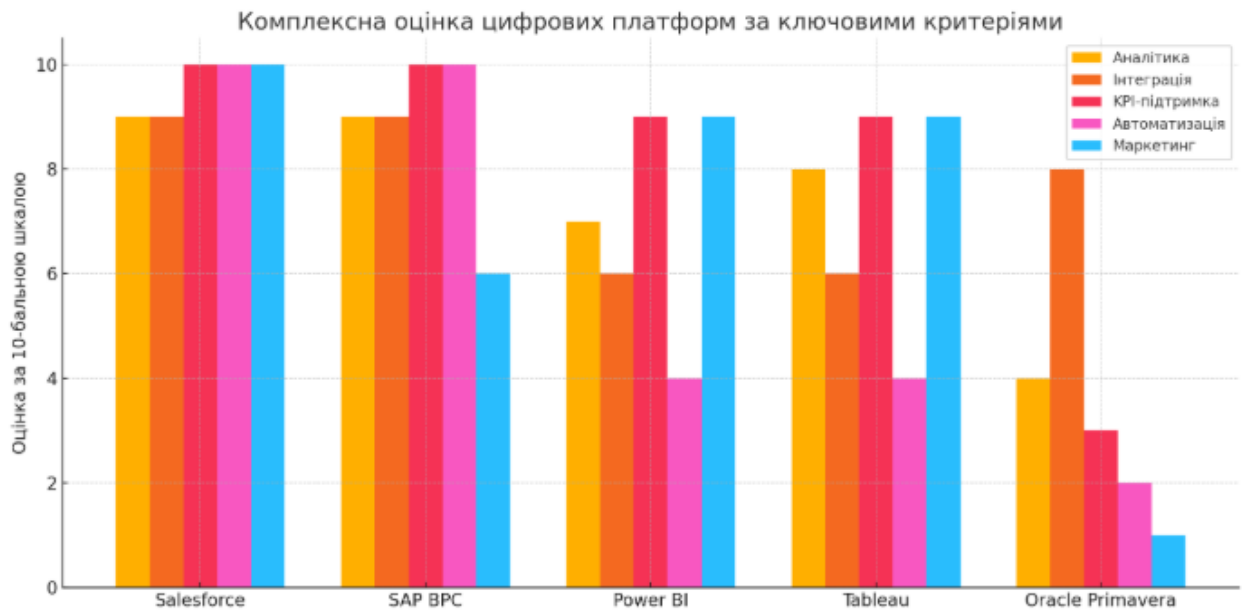


Рис. 5.8. Комплексна оцінка цифрових платформ за ключовими критеріями
(розроблено автором на основі [199])

На прикладному рівні вплив кожного елемента 7P на остаточне рішення можна представити через систему оцінювання проєктів за шкалою 1–10 з урахуванням їх інвестиційної значущості. Для наочності нижче подано аналітичну таблицю 5.3.

Таблиця 5.3. Вплив елементів моделі 7P на ранжування інвестиційних проєктів
(розроблено автором на основі [65])

Елемент моделі 7P	Критерій оцінки при відборі проєктів	Вплив на інтегральне ранжування (оцінка 1–10)
Product (Продукт)	Інноваційність концепції, відповідність ринку	9
Price (Ціна)	Фінансова доступність, прогнозована прибутковість	10
Place (Місце)	Інфраструктура, логістика, онлайн-доступність	8
Promotion (Просування)	Ефективність комунікації, медійна стратегія	7
People (Персонал)	Якість клієнтської взаємодії та продажів	6
Process (Процес)	Прозорість та цифровізація внутрішніх процедур	9
Physical Evidence (Докази)	Рівень довіри до об'єкта, візуальна привабливість	8

Як видно з таблиці, ключовими домінантами є Price (10) — бо саме ціна й фінансові умови визначають потенційну рентабельність, а також Product і Process (по 9) — тобто якість концепції й цифрова підтримка процесів. Найменший вплив має People — хоч це критично

важливо для клієнтського сервісу, на етапі відбору до інвестпортфеля фактор сприймається менш вагомим [137].

Ці показники використовуються для розрахунку інтегрованого індексу інвестиційної відповідності (III_i), що враховує вагу кожного компонента:

$$III_i = \sum_{k=1}^7 \alpha_k \times \left(\frac{v_{ik}}{v_k^{max}} \right), \quad (5.18)$$

де: III_i — індекс відповідності для i -го проєкту, α_k — вага k -го елемента 7P, v_{ik} — оцінка проєкту i за критерієм k , v_k^{max} — максимальна оцінка серед усіх проєктів за цим критерієм.

З метою прогнозування ринкової поведінки інтегрується поведінкова модель споживчого вибору, яка моделює реакцію ринку на комбінацію параметрів 7P:

$$P_i = \frac{e^{\lambda \times III_i}}{\sum_{j=1}^n e^{\lambda \times III_j}}, \quad (5.19)$$

де: P_i — ймовірність вибору i -го проєкту споживачами/інвесторами; λ — коефіцієнт чутливості ринку до змін у структурі 7P.

Ці формули дозволяють перетворити суб'єктивні маркетингові фактори на конкретні числові змінні, придатні до порівняння, ранжування та автоматизованого аналізу.

Щоб візуалізувати алгоритм інтеграції 7P у процес оцінки інвестиційної доцільності, нижче подано на рисунку 5.9, яка демонструє повну логіку роботи моделі в контексті девелоперської аналітики [102].

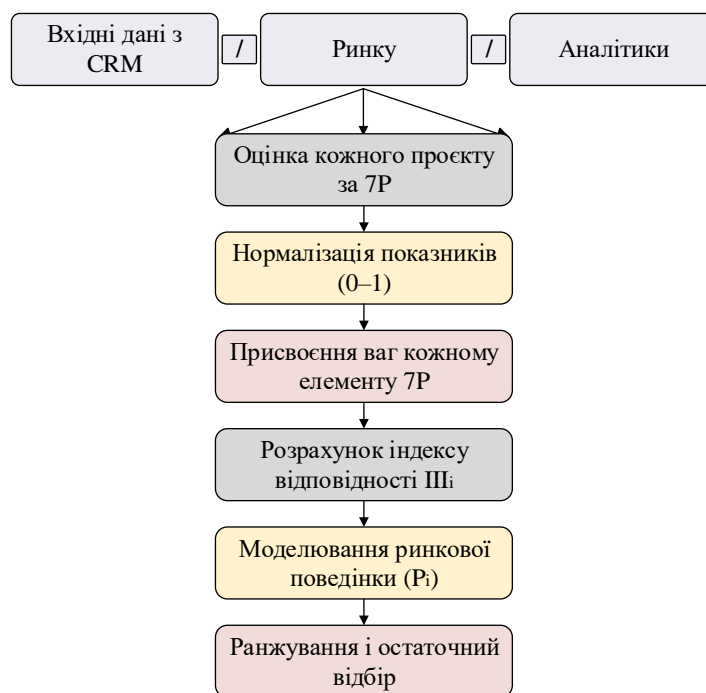


Рис. 5.9. Інтеграція моделі 7P у процес формування інвестпортфеля (розроблено автором на основі [102])

Така структура дозволяє застосовувати модель 7P не лише як інструмент просування, а й як аналітичний фільтр для інвестиційних рішень, що знижує ризик включення до портфеля слабо структурованих або непрогнозованих проєктів. У девелопменті зростає значення саме таких комплексних моделей — з цифровим підґрунтям, автоматизованою валідацією та маркетинговою аналітикою в серці інвестиційного аналізу.

Інтеграція автоматизованих моделей ухвалення рішень в інвестпортфель девелоперської компанії має очевидні переваги: швидкість, стандартизація, здатність до обробки великих обсягів даних. Проте разом із ними виникає новий спектр ризиків, пов'язаних із делегуванням критично важливих рішень алгоритмам. Ці ризики є не лише технічними, а й стратегічними: вони охоплюють питання відповідальності, управління, довіри до даних та прогнозів [37].

Першим джерелом загрози є втрата контролю над логікою алгоритмів — особливо у випадках, коли рішення ухвалюється на основі складних моделей (штучний інтелект, нейронні мережі) без чіткої прозорості обґрунтування. Другою проблемою є недостовірність вхідних даних, що призводить до перекосів у результатах, навіть якщо модель побудована коректно. Особливу загрозу становлять так звані «тихі аномалії» — відхилення, які не помітні в агрегованій статистиці, але критично впливають на локальні рішення.

Щоб оцінити вплив основних типів ризиків, нижче наведено рисунок .510 - вагомості у загальній системі загроз:

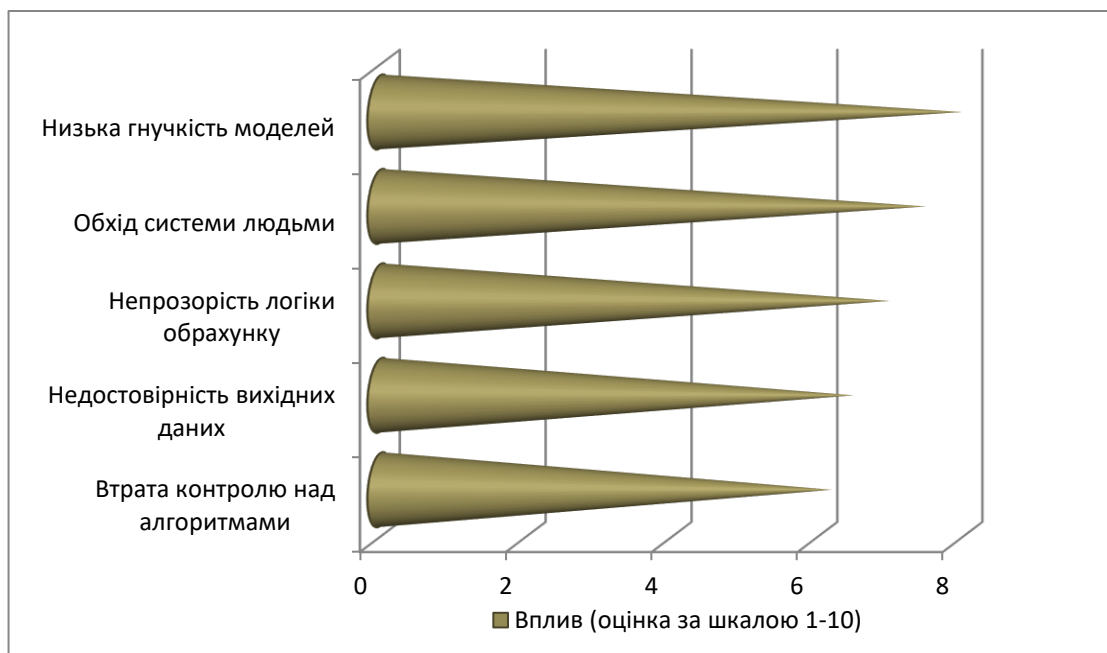


Рис. 5.10. Ключові ризики автоматизованого впровадження моделей відбору (розроблено автором на основі [37])

Як бачимо, втрата контролю над алгоритмами (9.5) та недостовірність даних (8.8) становлять найсерйозніші ризики. Їхня сила полягає у тому, що вони важко діагностуються до моменту прояву ефекту — наприклад, включення до портфеля економічно неперспективного проєкту.

Для протидії цим загрозам розробляються механізми верифікації моделей, які мають цифрову, аналітичну та управлінську природу. На аналітичному рівні впроваджується індекс довіри до результату (Trust Score):

$$T_i = \gamma_1 \cdot C_i + \gamma_2 \cdot D_i + \gamma_3 \cdot V_i, \quad (5.20)$$

де: T_i — довіра до рішення по i -му проєкту; C_i — стабільність обчислень (дисперсія результатів при варіації вхідних даних); D_i — достовірність вхідних джерел (наскільки джерело перевірене/онлайн); V_i — внутрішня валідація (узгодженість з KPI або історичними показниками); $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ — вагові коефіцієнти системи управління ризиком [8].

Додатково до цього використовується модель контрольної регресії валідації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (5.21)$$

де: y_i — фактичні результати інвестпроєктів у ретроспективі; \hat{y}_i — результати моделі; \bar{y} — середнє значення по вибірці.

Цей індикатор дозволяє оцінити, наскільки модель узгоджується з історичною поведінкою, і, отже, чи можна довіряти її поточному прогнозу.

Загальний механізм верифікації цифрових рішень передбачає три рівні [7]:

1. Попередня перевірка вхідних даних (Data sanitation).
2. Автоматичне порівняння результату з допустимими межами KPI.
3. Інтерпретаційна перевірка людиною — із поясненням логіки рішення (Explainable AI).

Для оцінки ризику від автоматизації рішень також може бути використаний індекс відхилення критичного порогу:

$$D_{crit} = \frac{|III_i^{авт} - III_i^{експ}|}{III_i^{експ}}, \quad (5.22)$$

де: $III_i^{авт}$ — результат автоматизованого обрахунку; $III_i^{експ}$ — експертна оцінка; D_{crit} — рівень розбіжності, який, у разі перевищення певного порогу (наприклад 0.2), активує процедуру ручної ревізії.

В умовах ринку, що швидко змінюється, особливо у сфері будівництва та девелопменту, стійкість моделі відбору інвестиційних проєктів залежить не лише від початкових налаштувань і логіки оцінювання, а й від її здатності до адаптації в реальному часі. Ринкові коливання можуть виникати внаслідок макроекономічних змін, динаміки попиту, регуляторних впливів чи появи конкурентних проєктів у межах одного мікроринку. У такому середовищі модель, що ґрунтується на статичних даних, швидко втрачає свою релевантність.

Основним інструментом забезпечення адаптивності виступають динамічні KPI, що постійно оновлюються з використанням даних із CRM, ERP, BI-систем і маркетингових аналітик. Кожен індикатор виконує роль тригера — при досягненні критичної межі система ініціює переоцінку відповідного проєкту в портфелі, або пропонує змінити його пріоритет.

Сучасні системи прийняття рішень поділяються за ступенем адаптивності на низько-, середньо- та високоадаптивні. Важливим є не лише механізм прийняття початкового

рішення, а і те, як часто, швидко і автоматизовано система здатна реагувати на зовнішні зміни [145].

Нижче наведено порівняльну таблицю 5.4, що демонструє адаптивність різних підходів і платформ у контексті турбулентності ринку.

Як ми побачимо з таблиці, найвищу адаптивність демонструють AI-моделі, які працюють із самонавчанням і здатні інтегрувати поведінкову аналітику. Salesforce та Power BI теж забезпечують високий рівень актуалізації через інтеграцію з маркетинговими модулями. У той же час, класичні системи на основі Excel навіть із макросами суттєво відстають, що робить їх непридатними для реального управління в умовах ринкової мінливості.

Таблиця 5.4. Адаптивність моделей прийняття рішень до ринкових змін
(розроблено автором на основі [1145])

Платформа / Система	Рівень адаптації до ринку	Механізм оновлення рішень	Прогнозна точність при турбулентності
Salesforce CRM	Високий	Автоматичне збирання даних з клієнтських точок дотику	85–90%
SAP BPC	Середній	Періодичне ручне оновлення моделей через API	70–75%
Power BI	Високий	Оновлення на основі аналітики BI-дашбордів	80–85%
Custom AI-модель	Дуже високий	Навчання на основі нових патернів та KPI	90–95%
Excel з макросами	Низький	Ручне втручання аналітика у кожному випадку	50–60%

Адаптивна система обробки рішень повинна містити такі компоненти:

1. Автоматичний тригер переоцінки — запускається при зміні KPI понад допустиму межу.
2. Механізм зважування впливу змін — який оцінює, наскільки суттєво нова інформація змінює інвестиційну картину.
3. Гнучкий модуль реакції — здатний змінити ранг проекту, призупинити його реалізацію чи активувати сценарій реструктуризації.

Використання таких механізмів не лише підвищує точність прогнозу, а й дозволяє інвестпортфелю девелопера зберігати релевантність до стратегічних цілей компанії навіть у нестабільному зовнішньому середовищі.

5.3. Мультикритеріальна оптимізація портфеля з ідентифікацією взаємозв'язків між проєктами та врахуванням ризикової залежності

Мультикритеріальна оптимізація — це потужний інструмент, що дозволяє врахувати множинність цілей та обмежень у процесі формування ефективного інвестиційного портфеля, зокрема у сфері девелопменту. На відміну від класичних моделей максимізації дохідності або мінімізації ризику, мультикритеріальний підхід дає змогу інтегрувати

різноспрямовані цілі: економічні, часові, ресурсні, екологічні та соціальні. Застосування цього підходу особливо виправдане в ситуаціях, коли кількісне та якісне оцінювання мають однакову значущість, а обмеження ресурсів або залежність між проектами змінює традиційну ієрархію рішень.

У середовищі девелопменту, де інвестиційні проекти часто мають тривалі горизонти реалізації, великі капіталовкладення, а також нерівномірний розподіл ресурсів, класичні моделі портфельного аналізу (на зразок моделі Марковіца) є недостатніми. Тут доцільним є застосування мультикритеріальних моделей, які дозволяють оперувати множиною взаємопов'язаних факторів, включаючи ризик реалізації, темпи повернення інвестицій, міру соціального ефекту, відповідність містобудівним нормам та потенціал масштабування [117].

На першому етапі необхідним є формалізований вибір критеріїв оптимізації. Критерії можуть бути представлені як в абсолютних значеннях (дохід, строк реалізації, площа забудови), так і у відносних (прибутковість на вкладену гривню, відношення ризику до рентабельності). Формується вектор цільових функцій:

$$F^{\rightarrow}(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}, \quad (5.23)$$

де x — вектор рішень (проектів), $f_i(x)$ — критерії оцінки ефективності, які підлягають оптимізації.

При цьому, в умовах обмеженості ресурсів (бюджетних, часових, матеріальних), вводяться обмеження у вигляді допустимих множин:

$$G = \{x \in X \mid g_j(x) \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m\}, \quad (5.24)$$

де $g_j(x)$ — функції, що представляють обмеження (наприклад, обсяг інвестицій), b_j — порогові значення.

Інтегральна функція оцінки загального ефекту може бути побудована за методом зваженої суми:

$$F(x) = \sum_{i=1}^k w_i \cdot f_i(x), \quad (5.25)$$

де w_i — ваги критеріїв, які задаються експертно або через методи попарного порівняння (наприклад, АНР або Fuzzy АНР). Цей підхід дозволяє отримати скалярну мету, навіть коли початкові функції мають різну природу та розмірність. Особливо важливо враховувати процес нормалізації, який переводить значення критеріїв у безрозмірну форму, дозволяючи порівнювати, наприклад, дохідність у відсотках і строк реалізації в місяцях [17].

На етапі формування портфеля формується матриця альтернатив, де кожен рядок — це окремий проект, а кожен стовпець — значення критерію:

$$A = \begin{bmatrix} f_1(x_1) & f_2(x_1) & f_k(x_1) \\ f_1(x_2) & f_2(x_2) & f_k(x_2) \\ f_1(x_n) & f_2(x_n) & f_k(x_n) \end{bmatrix}, \quad (5.26)$$

Далі, застосовується процедура нормалізації (наприклад, мін–макс або логістична), і через формулу агрегування (наведену вище) обчислюється інтегральний бал для кожного

проекту. На основі цього балу проводиться ранжування проектів та їх включення до портфеля [118].

Для візуального представлення послідовності етапів оптимізації використано текстову блок-схему (див. нижче), яка показує повний цикл від вибору критеріїв до формування оптимізованого портфеля:

Як бачимо на рисунку 5.11, кожна стадія процесу — від нормалізації до аналізу взаємозв'язків — є критичною для отримання достовірного і керованого результату.



Рис. 5.11. Логіка мультикритеріальної оптимізації інвестиційного портфеля у девелопменті (розроблено автором на основі [118])

Після формування матриці рішень, нормалізації даних і присвоєння ваг критеріям оптимізації наступним кроком є аналіз впливу конфігурації цих ваг на інтегральну оцінку ефективності проєктів. Для девелоперського середовища це критично важливо, оскільки навіть незначна зміна ваг (наприклад, підвищення значущості ризику через зміну макроекономічного фону) може повністю змінити структуру оптимального портфеля [160].

На рисунку 5.12 зображено, як змінюється інтегральна оцінка ефективності п'яти альтернативних проєктів при зміні вагових коефіцієнтів критеріїв (дохідність, ризик, строк реалізації). Видно, що проєкт P4 стабільно зберігає лідерство у сценаріях 1 та 2, однак при посиленні ролі ризику (сценарій 3) його позиції зменшуються.

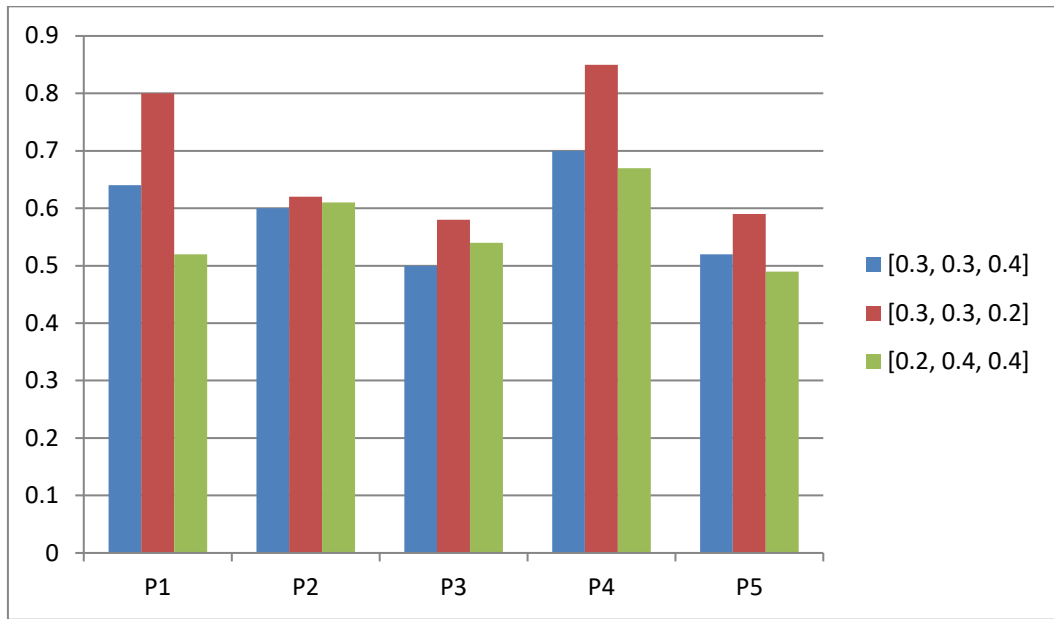


Рис. 5.12. Залежність інтегральної оцінки проєктів від ваг критеріїв оптимізації (розроблено автором на основі [160])

Цей приклад наочно демонструє чутливість мультикритеріальної оптимізації до початкових установок, що, в свою чергу, підкреслює необхідність проведення попереднього аналізу чутливості (sensitivity analysis). Цей етап дозволяє побачити не лише, які проєкти найкращі у даній конфігурації, але і які з них найбільш нестабільні — тобто залежать від зовнішніх змін [108].

Для аналітичного опису чутливості використовують похідну інтегральної функції по змінних ваг. Зокрема, градієнтна оцінка виглядає так:

$$\nabla_w F(x) = \left[\frac{\partial F}{\partial w_1}, \frac{\partial F}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial w_k} \right], \quad (5.27)$$

Цей вектор показує, як зміниться загальна ефективність портфеля при зміні кожного з вагових коефіцієнтів. Якщо значення похідної за деяким w_i суттєво перевищує інші, це означає, що критерій $f_i(x)$ має визначальний вплив на вибір проєкту.

Відзначимо також, що при великій кількості критеріїв та проєктів доцільним є використання методу компромісної оптимізації:

$$\min_{x \in X} \{ \max_i \{ f_i^* - f_i(x), f_i(x) - f_i^- \} \}, \quad (5.28)$$

де f_i^* — найкраще значення критерію, f_i^- — найгірше. Цей підхід дозволяє знайти рішення, яке мінімізує максимальне відхилення від ідеального вектора цілей, тобто досягає компромісу без домінування одного з критеріїв.

Таким чином, мультикритеріальна оптимізація виступає не лише обчислювальним завданням, а складним управлінським інструментом, який дозволяє балансувати між суперечливими цілями, враховувати ризики, оцінювати синергії та виявляти найперспективніші конфігурації портфеля. В умовах девелоперських програм, де рішення

часто є незворотними та довгостроковими, це дозволяє мінімізувати стратегічні помилки й максимально наблизити структуру портфеля до цільових показників сталого розвитку [22].

У контексті мультипроектного девелопменту поняття взаємозв'язків між проектами набуває критичного значення. Йдеться не лише про часові накладки або фінансові дублювання, а й про складні системні ефекти — синергію, конкуренцію за ресурси, юридичні перетини, стратегічну узгодженість або конфлікт. Нехтування цими взаємозалежностями призводить до неефективної алокації коштів, подовження термінів реалізації, суперечностей у регулюванні або повторення помилок в управлінні ризиками [96].

Формалізація таких взаємозв'язків вимагає побудови спеціалізованих матриць — залежності, взаємного впливу або інтеграційної сумісності. Найпростіша модель — симетрична матриця з коефіцієнтами залежності ρ_{ij} , яка будується за кожною парою проектів:

$$M\rho = \begin{bmatrix} 0 & \rho_{12} & \rho_{13} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 0 & \rho_{23} & \dots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \dots & 0 & \vdots \end{bmatrix}, \quad (5.29)$$

де $\rho_{ij} \in [-1; 1]$; залежно від типу впливу: позитивна кореляція (синергія), негативна (конфлікт), нульова (нейтральність). Наприклад, якщо два проекти використовують однакові підрядні ресурси в одному часовому інтервалі, це породжує негативну залежність. У протилежному випадку — взаємодоповнення з точки зору інфраструктури може посилювати стратегічну ефективність портфеля [13].

У таблиці 5.5 нижче наведено приклади формалізації таких залежностей між парними комбінаціями проектів. Враховано не лише опис зв'язку, а й формули, які дозволяють обчислювати коефіцієнти залежності у формалізованому вигляді:

Таблиця 5.5. Приклади типових взаємозв'язків між проектами та способи їх формалізації (розроблено автором на основі [13])

Пара проектів	Тип взаємозв'язку	Коефіцієнт взаємозв'язку (ρ_{ij})	Інтерпретація взаємозв'язку
P1 ↔ P2	Синергія ресурсів	0.6	Визначається за приростом ефективності при об'єднанні ресурсів обох проектів
P1 ↔ P3	Конфлікт по строках	-0.7	Оцінює негативний ефект від перекриття термінів реалізації двох проектів
P2 ↔ P4	Фінансова залежність	0.8	Відображає ступінь залежності витрат або надходжень між двома проектами
P3 ↔ P5	Правова прив'язаність	-0.5	Вимірює рівень правових обмежень, які впливають одночасно на обидва проекти
P4 ↔ P5	Інфраструктурна взаємність	0.4	Показує, наскільки реалізація одного проекту залежить від наявної інфраструктури іншого

Кожен тип взаємозв'язку має свою природу і потребує окремого підходу. Наприклад:

- Синергія ресурсів: розраховується як приріст економії від спільного використання ресурсів двома проєктами щодо мінімального обсягу цих ресурсів;

$$\rho_{12} = \frac{\Delta R}{\min(R_1, R_2)}, \quad (5.30)$$

- Конфлікт строків реалізації: визначається за абсолютною різницею між строками проєктів, що реалізуються одночасно або в перекритому часовому вікні:

$$\rho_{13} = -\frac{|\tau_1 - \tau_3|}{\max(\tau_1, \tau_3)}, \quad (5.31)$$

- Фінансова кореляція між витратами або потоками визначається через коваріаційне співвідношення:

$$1. \quad \rho_{24} = \frac{\text{Cov}(C_2, C_4)}{\sigma(C_2) \cdot \sigma(C_4)}, \quad (5.32)$$

Для врахування всіх зв'язків у структурі портфеля пропонується використовувати узагальнену функцію взаємозалежності:

$$\Omega(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \rho_{ij} \cdot x_i \cdot x_j, \quad (5.33)$$

де $x_i, x_j \in \{0, 1\}$ — ознаки включення проєкту до портфеля. Таким чином, ця функція відображає загальний кумулятивний ефект від сумісного включення взаємозалежних проєктів.

Якщо значення $\Omega(x)$ перевищує певний поріг, це сигналізує про надмірну корельованість і можливий ризик дестабілізації. Якщо ж значення є позитивним, але помірним — це ознака синергійного ефекту.

Побудова портфеля з урахуванням цих ефектів дозволяє створити не просто набір «кращих» проєктів за інтегральною оцінкою, а таку комбінацію, яка є стійкою, узгодженою та економічно збалансованою [15].

Ризикова залежність між проєктами в межах інвестиційного портфеля є критичним фактором, що визначає стабільність, керованість і потенційну вразливість у разі реалізації непередбачуваних сценаріїв. Особливо це актуально для девелоперських програм, де відносини між проєктами нерідко мають не лише фінансову, а й логістичну, правову, містобудівну, операційну природу [12].

Фундаментальний підхід до аналізу ризиків передбачає перехід від моделі незалежних проєктів до моделі з кореляційними ефектами. Це означає, що в оцінці варіації портфеля враховується не лише дисперсія окремих активів, а й їх взаємна ризикова поведінка. Формально, для пари проєктів i і j сукупна варіація обчислюється за формулою:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n x_i \cdot x_j \cdot \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j, \quad (5.34)$$

де: x_i — частка інвестицій у проєкт i , σ_i — стандартне відхилення (ризик) проєкту i , ρ_{ij} — коефіцієнт ризикової залежності між проєктами i та j .

Ключове значення тут має знак та величина ρ_{ij} . Якщо він позитивний і великий, то будь-яке негативне відхилення одного проекту посилює ризики іншого. Якщо ж зв'язок негативний — у портфелі може виникнути ефект компенсації ризиків, що знижує загальну варіативність [159]. Саме тому стратегія побудови портфеля повинна включати аналіз не тільки очікуваної ефективності, а й структури ризикової взаємодії.

На рисунку 5.13 наведено графік, який демонструє, як змінюється інтегральний ризик портфеля в залежності від ризикової залежності між проектами. Видно, що за сильно негативного зв'язку ризик зменшується, тоді як при позитивній кореляції він стрімко зростає [147].

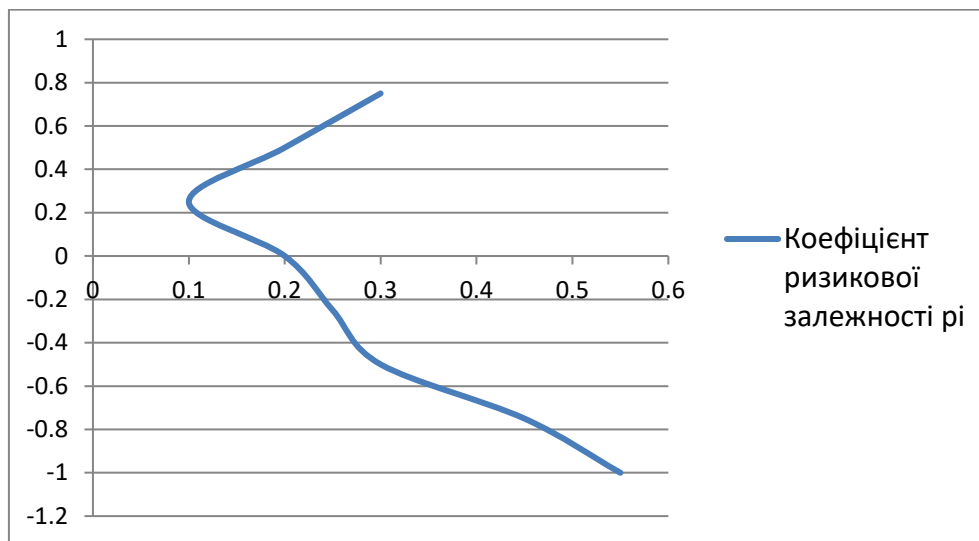


Рис. 5.13. Графік впливу ризикової залежності між проектами на ризик портфеля (розроблено автором на основі [147])

Одним із сучасних методів врахування ризиків є Conditional Value-at-Risk (CVaR). Цей підхід дозволяє моделювати не лише стандартне відхилення, а й вплив критичних сценаріїв:

$$CVaR_{\alpha}(X) = \frac{1}{1-\alpha} \int_{\alpha}^1 VaR_u(X) du, \quad (5.35)$$

де $VaR_u(X)$ — Value at Risk на рівні u , а α — заданий рівень довіри. Така метрика дозволяє оцінити не лише, наскільки ймовірне перевищення втрат, але і середній обсяг втрат у випадку найгірших 1–5% сценаріїв, що є критичним у високоліквідних девелоперських портфелях [112].

Ще одним потужним інструментом виступає сценарне моделювання, у межах якого створюються множини сценаріїв зміни параметрів проектів (вартість, строки, попит) у середовищі з певними ризиковими зв'язками. Підсумкова цільова функція в такому випадку приймає вигляд:

$$F(x) = \sum_{s=1}^S p_s \cdot (\sum_{i=1}^n x_i^s \cdot f_i^s - \lambda \cdot \sigma_p^s), \quad (5.36)$$

де: p_s — імовірність сценарію s , f_i^s — дохідність проекту i у сценарії s , σ_p^s — ризик портфеля у цьому сценарії, λ — коефіцієнт ризик-аверсії.

Візуально логіка побудови ризик-адаптивної моделі відображена на рисунку 5.14.

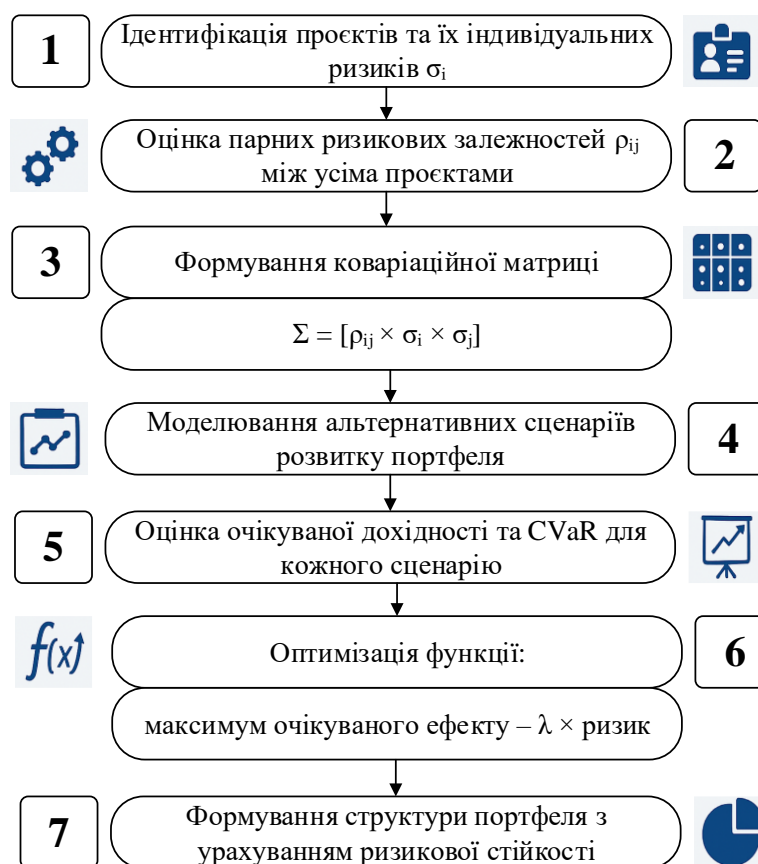


Рис. 5.14. Побудова моделі з урахуванням ризикової залежності між проектами (розроблено автором на основі [112])

Таким чином, ризикова залежність між проектами перестає бути лише побічною характеристикою — вона стає частиною цільової функції в оптимізаційній задачі. Це дозволяє виявляти не лише найбільш прибуткові, а й найбільш стійкі комбінації проектів, що особливо важливо в умовах невизначеності, високої вартості фінансування та затяжних девелоперських циклів.

Сучасні інформаційно-аналітичні платформи створюють новий рівень взаємодії з даними в процесі оптимізації портфеля інвестиційних проектів. Мультикритеріальні моделі, які історично реалізовувалися у вигляді ізольованих математичних розрахунків, сьогодні можуть бути повністю інтегровані у цифрову аналітику. Це дозволяє формувати динамічні портфелі, здійснювати онлайн-моніторинг ключових параметрів і здійснювати адаптивне управління залежно від реальних умов ринку [38].

Вбудування мультикритеріальних функцій у цифрове середовище передбачає кілька ключових компонентів: розробку формалізованої логіки прийняття рішень, її перенесення до обчислювальної системи (BI-панелі, ERP, спеціалізовані модулі), інтеграцію з базами даних про проекти, ринки, ризики, та побудову інтерфейсів управління портфелем.

Це інтеграційне середовище повинно поєднувати [107]:

1. аналітичну точність (через коректні моделі),

2. оперативність реагування (через сценарії та дашборди),
3. візуальну інтерпретованість (через графіки, матриці, кольорове кодування),
4. інтерактивність (користувач може модифікувати параметри та отримувати миттєвий зворотний зв'язок).

Нижче подано рисунок 5.15, яка ілюструє повний цикл інтеграції мультикритеріальної моделі в цифрову аналітичну платформу з доданим блоком графічної візуалізації результатів.

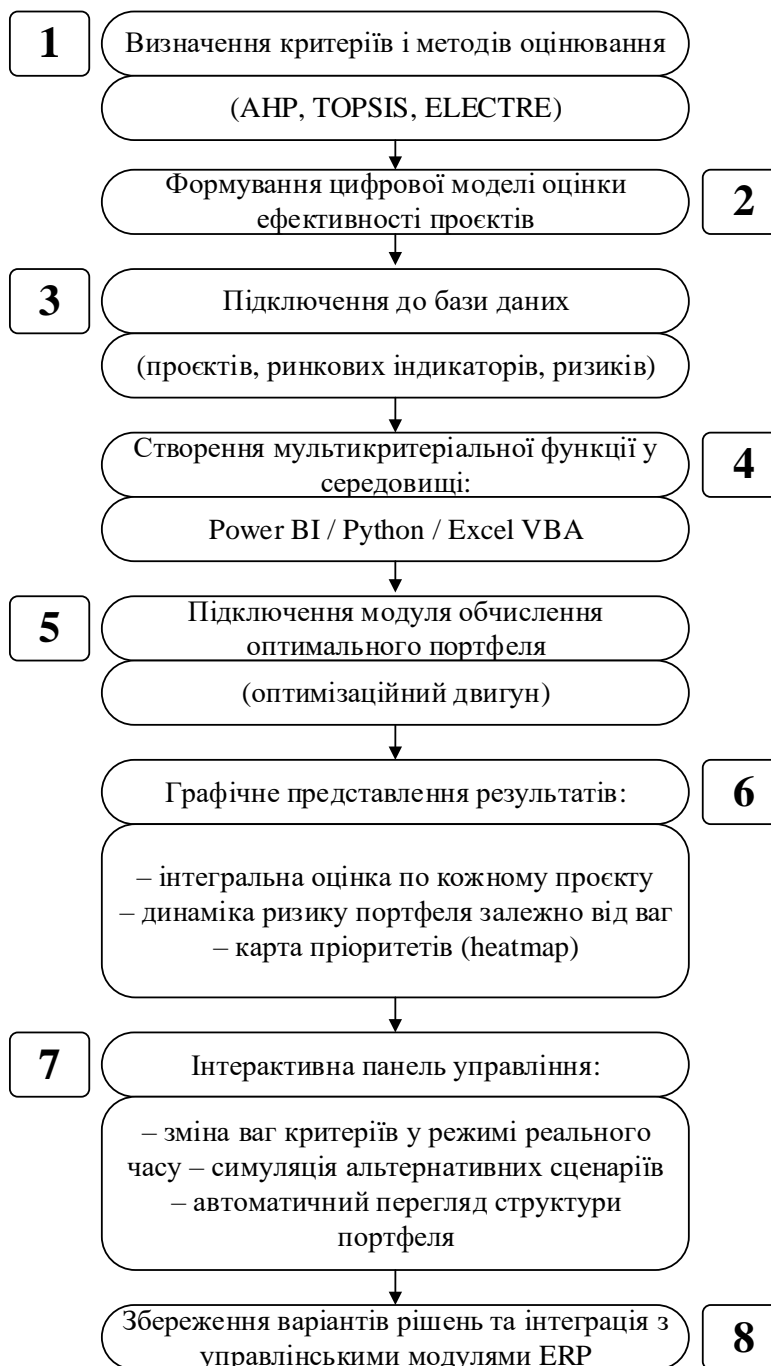


Рис. 5.15. Інтеграція мультикритеріальної моделі в цифрову аналітичну систему з графіком (розроблено автором на основі [107])

Одним із важливих елементів цифрової аналітики є динамічне формування рейтингів проєктів на основі ваг, що можуть змінюватися в реальному часі. Це досягається через створення інтерактивної таблиці 5.6, приклад якої наведено нижче [136].

Таблиця 5.6. Приклад цифрової таблиці ранжування проєктів за змінними вагами
(розроблено автором на основі [136])

Проект	Доходність ($w_1=0.4$)	Ризик ($w_2=0.3$)	Строк реалізації ($w_3=0.3$)	Інтегральна оцінка $F(x)$
P1	0.78	0.65	0.80	0.744
P2	0.65	0.70	0.75	0.693
P3	0.72	0.55	0.78	0.693
P4	0.85	0.60	0.65	0.730
P5	0.60	0.80	0.70	0.690

Всі критерії нормалізовані до шкали [0;1]; інтегральна оцінка обчислюється як:

$$F(x) = w_1 \cdot f_1 + w_2 \cdot f_2 + w_3 \cdot f_3, \quad (5.37)$$

Інтеграція цієї таблиці в цифрове середовище дозволяє не тільки автоматизувати обчислення, а й пов'язати її з інтерактивною графікою. Наприклад, при зміні ваг у слайдері інтерфейсу Power BI або Jupyter Dashboard — змінюються всі значення в таблиці та відображення на графіку.

Такі можливості є визначальними у сучасному управлінні девелоперськими портфелями, де зміна макроекономічних умов, вартості фінансування чи попиту на нерухомість може відбуватись упродовж лічених днів. Наявність живої, адаптивної моделі дозволяє не лише аналізувати портфель, а й керувати ним в умовах невизначеності [111].

РОЗДІЛ 6. СИСТЕМА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕСУРСНО-КАЛЕНДАРНОЇ СТРУКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ

6.1. Визначення засад та вимог до формування збалансованої моделі ресурсного втілення проектів

Аналіз наукових теорій оптимального розподілу ресурсів у контексті реалізації проектів, зокрема будівельних або інфраструктурних, займає одне з центральних місць у побудові збалансованих моделей управління. Історично проблема розподілу обмежених ресурсів між конкуруючими завданнями виникала в економіці, логістиці, військових стратегіях, а в подальшому — у системному аналізі, проектному менеджменті, операційних дослідженнях. Однією з ключових постатей у формуванні сучасної методології став Річард Беллман, автор динамічного програмування, котре дозволило моделювати процес розподілу ресурсів у послідовних етапах та враховувати змінність стану системи в часі. Ідея Беллмана щодо формування так званого «принципу оптимальності» — тобто кожне часткове рішення має бути оптимальним у межах глобальної задачі — лягла в основу великої кількості ресурсно-орієнтованих моделей. У проектному управлінні динамічне програмування дозволяє моделювати сценарії, коли розподіл ресурсів залежить від попередніх рішень, що особливо актуально для фазового втілення будівельного об'єкта [186].

Інший вагомий внесок зробив Джордж Данциг, котрий розробив метод симплекс-оптимізації як основу лінійного програмування. Його підхід дав змогу вперше ефективно вирішувати задачі з великим числом змінних і обмежень, що є характерним для реальних управлінських ситуацій у багаторівневих інфраструктурних проектах. Лінійне програмування стало фундаментом для планування витрат, трудових і матеріальних ресурсів, моделювання виробничих потужностей. Метод Данцига дозволяє визначити оптимальний план розподілу при фіксованих обмеженнях і стабільних умовах, що є типовим для детермінованих моделей, котрі функціонують у передбачуваному середовищі. Його алгоритм базується на поступовому вдосконаленні базисного рішення до досягнення глобального максимуму або мінімуму цільової функції, що особливо корисно в задачах бюджетного балансування або оптимального використання машинно-механізованих потужностей у будівництві.

Ще один потужний науковий підхід запропонований Девідом Люенбергером, котрий у своїх працях з теорії оптимізації системного управління запропонував математичну формалізацію багатокритеріальних задач із численними змінними, обмеженнями та цільовими функціями. Люенбергер послідовно розвивав концепцію множинної оптимізації, враховуючи взаємодію технічних, економічних, логістичних параметрів, і створив базу для формування моделей, в яких враховується компроміс між критеріями: вартість – час – якість. У середовищі проектного менеджменту це особливо актуально для фаз планування та контролю, де жоден критерій не може бути абсолютизований, і всі параметри повинні бути збалансовані в рамках допустимих меж [188].

У процесі еволюції моделей ресурсного розподілу виникла необхідність класифікувати їх за рівнем визначеності вхідних даних. Найбільш простою формою є детерміновані моделі, в яких усі параметри (витрати ресурсів, час виконання, обсяг) відомі наперед і не змінюються в ході реалізації. Моделі ефективні в умовах жорсткого планування та мають застосування в проектах з високим рівнем передбачуваності, наприклад, у монолітному будівництві, де нормативні строки та обсяги регламентовані. Проте реальні

умови рідко відповідають таким характеристикам, тому дедалі більшу роль відіграють стохастичні моделі, котрі враховують імовірнісний характер зміни вхідних даних. У таких моделях ресурси можуть надходити із запізненням, вартість змінюватися, а продуктивність бути варіативною залежно від зовнішніх факторів. Для опису таких явищ застосовуються розподіли ймовірностей, марковські процеси, симуляційне моделювання (наприклад, Monte Carlo). Гібридні моделі, котрі поєднують характеристики детермінованих та стохастичних підходів, з'явилися як відповідь на необхідність гнучко керувати ресурсними потоками при збереженні базових структурних планів. Вони дозволяють формувати варіативні сценарії, оперативно реагувати на зміну зовнішніх умов (політичних, логістичних, фінансових), і включають адаптивні параметри.

Методи математичного розв'язання задач оптимального розподілу мають вирішальне значення для практичної реалізації виявлених концепцій. Одним з найпоширеніших методів є лінійне програмування, воно застосовується в класичних ресурсно-технологічних матрицях. Дозволяє знайти оптимальний розподіл при обмеженому обсязі ресурсів, забезпечити рівновагу в системі і розрахувати допустимі зони навантаження. У той час як методи багатокритеріальної оптимізації дозволяють вирішити конфлікт між взаємовиключними або конкуруючими критеріями, наприклад, зниження вартості і підвищення якості. Для таких задач формується цільова функція у векторному просторі, в якій кожен критерій має свою вагу, і рішення знаходиться у вигляді компромісу в області Парето. Важливо, що в реальних проектах функція не завжди має аналітичний вигляд — іноді використовуються еволюційні алгоритми або методи нечіткої логіки для пошуку наближеного рішення [334].

У всіх розглянутих моделях важливу роль відіграє аналіз структурних параметрів ресурсної системи, зокрема ресурсної ємності, доступності та часових обмежень. Ресурсна ємність відображає максимально можливий обсяг ресурсів, котрі можуть бути залучені на певному етапі проекту, і визначає фізичні або технологічні межі реалізації робіт. Кількість одночасно задіяної техніки або бригад. Водночас доступність ресурсів описує часову та логістичну можливість їх отримання — не всі ресурси, котрі теоретично доступні, можуть бути залучені в заданий момент. Створює часові лаги, затримки, і формує обмеження на календарне планування. Часові обмеження, у свою чергу, встановлюють допустимі межі виконання завдань, з урахуванням логічної послідовності, зовнішніх факторів та контрактних зобов'язань. Їх порушення призводить до штрафів, втрати довіри інвестора та потенційних ризиків розірвання договору.

Інтеграція наведених концепцій і параметрів у єдину аналітичну модель дозволяє створити інструмент гнучкого управління проектами, орієнтованого на оптимізацію поточних витрат та на формування довгострокової ефективності реалізації. Тому сучасні цифрові середовища проектного управління — від BIM-систем до ERP-платформ — поступово інтегрують моделі у свої аналітичні ядра, забезпечуючи автоматизований пошук оптимальних рішень у режимі реального часу. Підхід значно розширює можливості менеджера проекту, знижує ризик помилок та підвищує рівень прогнозованості результату [277].

У процесі формалізації теоретичних засад побудови збалансованої ресурсної моделі особливе значення набуває візуалізація її концептуальної структури, що дозволяє інтегрувати аналітичні уявлення про доступність, витратність та ритмічність ресурсів у єдиний алгоритм управлінського прийняття рішень. Побудова є ключовою передумовою для проектування моделі, що адаптується до змін у зовнішньому і внутрішньому середовищі

проекту. На нижче наведеному рисунку 6.1 представлено схему, де елементи доступності, економічної витратності та операційної ритмічності формують трикомпонентну основу системного планування, що замикається на механізм оцінки ефективності впровадження.



Рис. 6.1. Схема побудови концепції збалансованої ресурсної моделі
(розроблено автором на основі [325])

Аналітичне дослідження збалансованості ресурсної моделі передбачає використання складних графічних інструментів, котрі дають змогу візуалізувати взаємозв'язки між окремими параметрами та виявити критичні зони нестійкості в структурі проектного забезпечення. Одним із таких ключових параметрів є варіативність вхідних ресурсів, котра може суттєво впливати на здатність моделі підтримувати стабільний баланс у межах обмежених часових і логістичних рамок. На рисунку 6.2 подано залежність ступеня збалансованості від варіативності вхідних ресурсів, де на осі абсцис відображено рівень коливання у надходженні ключових ресурсів, а на осі ординат — інтегральний показник збалансованості, розрахований на основі формалізованої функції компенсації. Криві демонструють, що навіть незначне зростання нестабільності у вхідних потоках викликає експоненційне зниження рівня збалансованості, особливо в зонах ресурсного дефіциту, що вимагає побудови моделей з елементами адаптації.

Інший аспект стосується глибинного аналізу ефективності реалізації проекту в контексті конфігурації ланцюга постачання, що безпосередньо впливає на здатність системи підтримувати безперервність реалізації робіт. На рисунку 6.3 наведено коливання ефективності реалізації залежно від структури ланцюга постачання, де досліджено вплив ступеня централізації, кількості посередників та часових лагів на узагальнений коефіцієнт ефективності. Візуалізовані піки і спади демонструють критичні точки перебоїв, при яких ефективність системи знижується до мінімального рівня — особливо в умовах непрозорої або складної багаторівневої структури постачання.

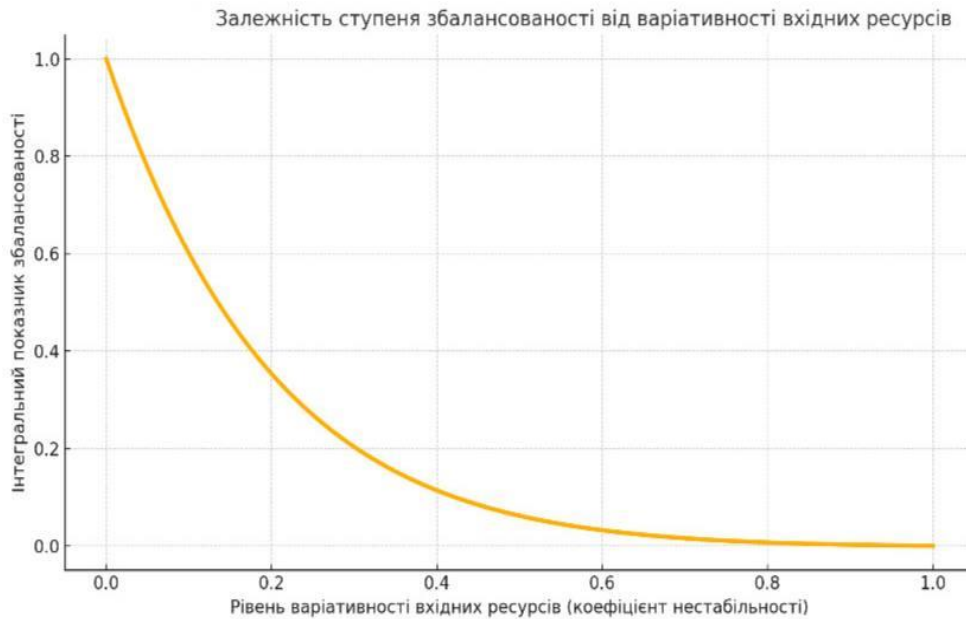


Рис. 6.2. Залежність ступеня збалансованості від варіативності вхідних ресурсів
(розроблено автором на основі [260])

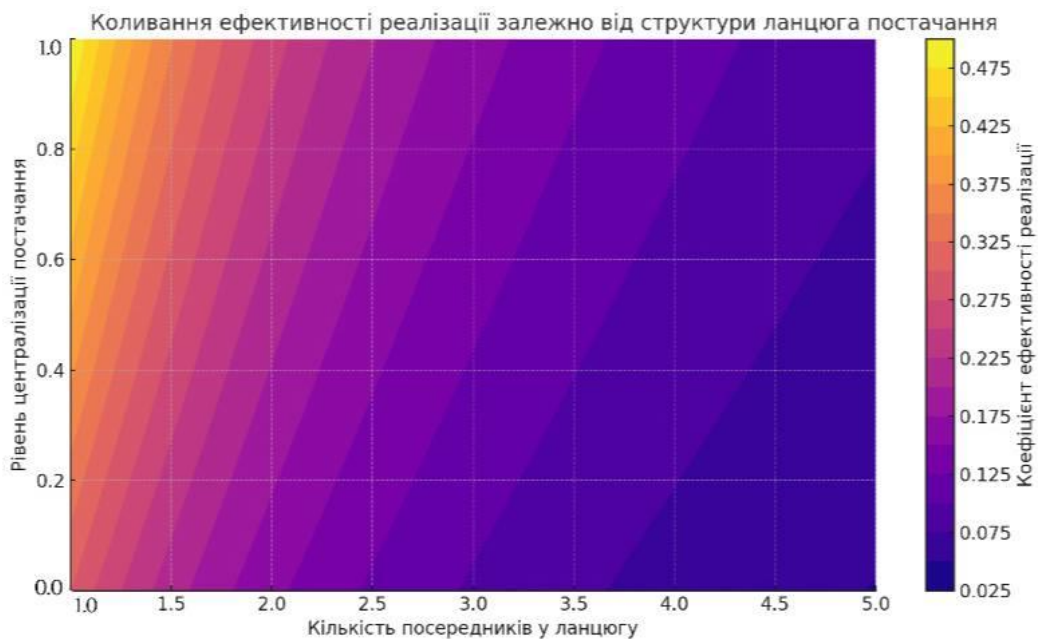


Рис. 6.3. Коливання ефективності реалізації залежно від структури ланцюга постачання
(розроблено автором на основі [248])

Водночас для забезпечення практичної релевантності моделі важливо враховувати взаємозв'язки між ресурсними потоками на різних етапах реалізації проекту. Дозволяє уникнути фрагментарного планування та забезпечити безперервність процесів постачання, споживання та корекції ресурсів. На рисунку 6.4 схематично подано архітектурну структуру взаємодії ресурсних потоків у фазах реалізації проекту, де кожен ресурсний контур прив'язано до відповідної фази (ініціація, проектування, будівництво, здача в експлуатацію)

із зазначенням векторів обміну, тимчасових вікон та координуючих модулів управління. Підхід дозволяє комплексно оцінювати ресурсну кон'юнктуру в динаміці життєвого циклу проєкту.

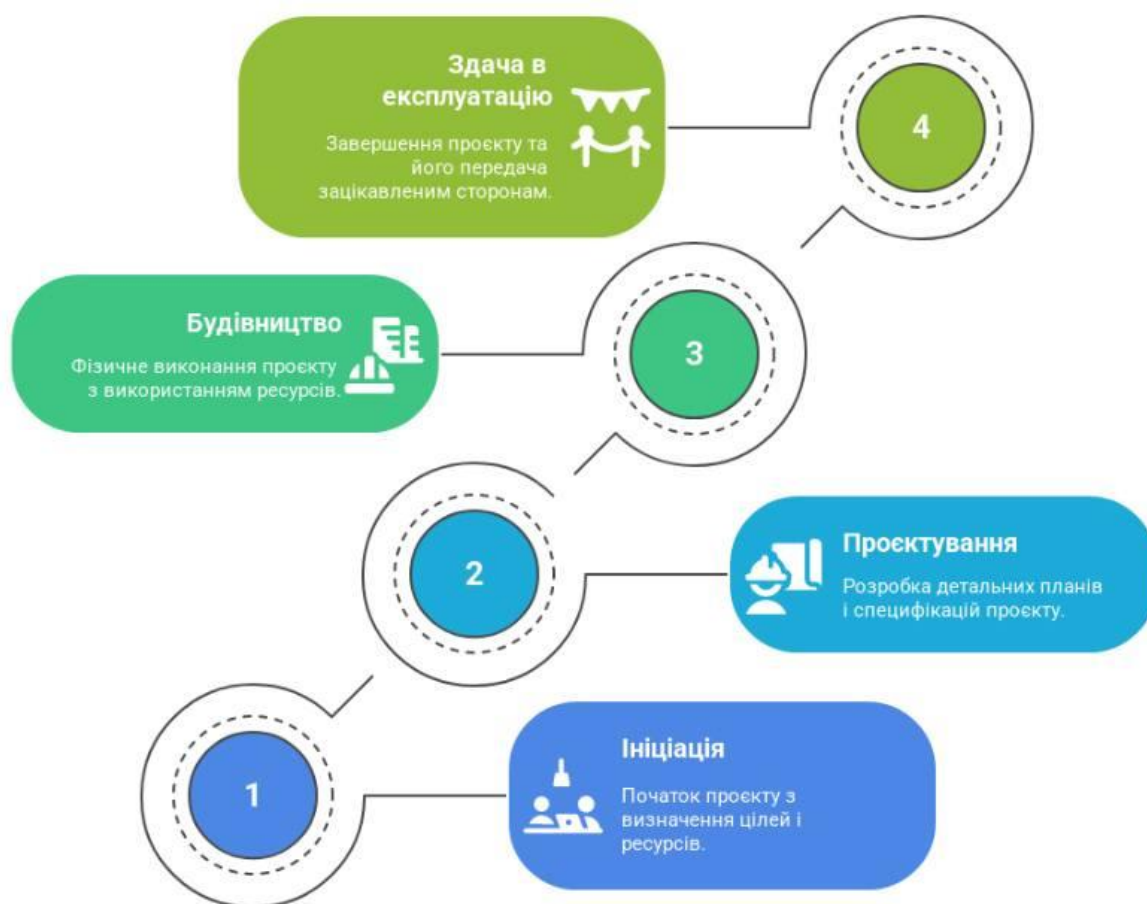


Рис. 6.4. Архітектурна структура взаємодії ресурсних потоків у фазах реалізації проєкту
(розроблено автором на основі [314])

Окрему увагу слід приділити часовому аспекту доступності ресурсів, оскільки саме затримки у надходженні критичних компонентів часто є причиною зриву графіка реалізації. На рисунку 6.5 відображено вплив часу доступності на ефективність реалізації проєктної фази, зокрема продемонстровано, як зміщення моменту постачання навіть на короткий інтервал викликає ланцюгову реакцію в порушенні календарного плану. Крива ефективності має ламану форму з чіткими зонами порогової реакції: при перевищенні критичної точки часу ($t_{кр}$) ефективність реалізації знижується не поступово, а стрибкоподібно, що свідчить про наявність тригерних ефектів у ресурсній моделі. Своєчасна доступність ресурсів є не просто бажаною умовою, а системною вимогою до архітектури збалансованої моделі.

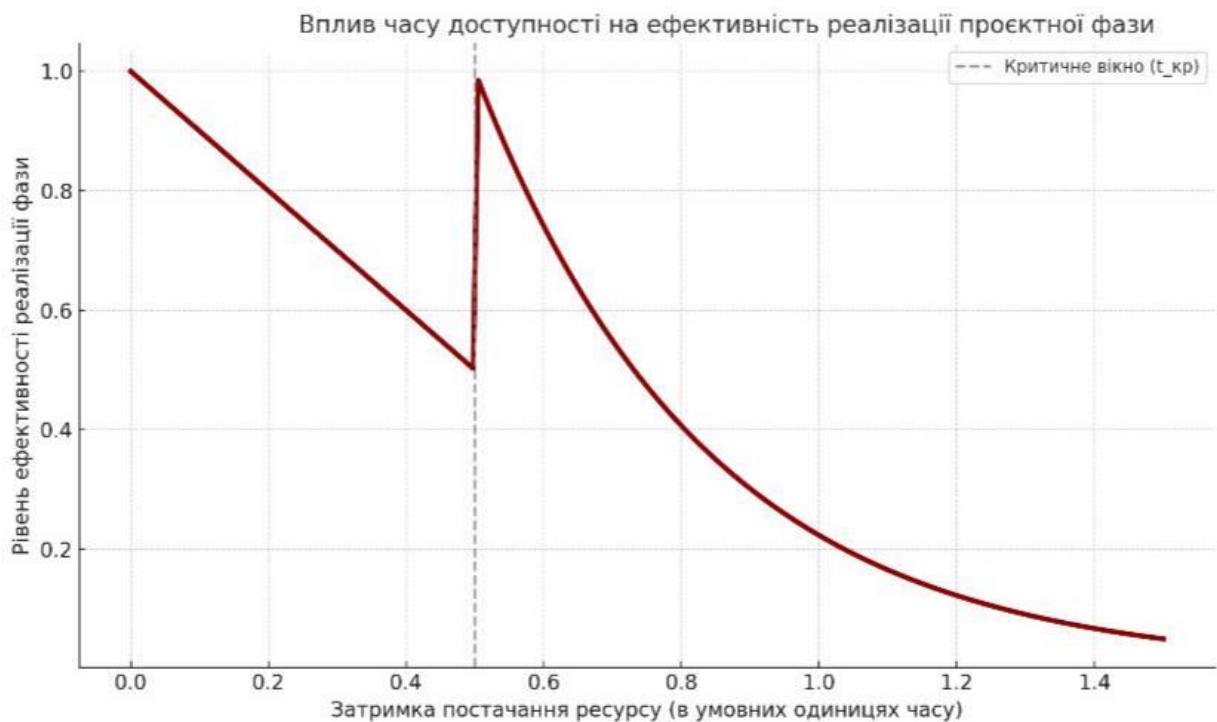


Рис. 6.5. Вплив часу доступності на ефективність реалізації проектної фази
(розроблено автором на основі [181])

Функція збалансованості ресурсу дозволяє обчислити інтегральну здатність ресурсної системи підтримувати баланс у заданому часовому та логістичному інтервалі [191].

$$B(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times R_i(x)}{T_i(x)}, \quad (6.1)$$

де: $B(x)$ — агрегований показник збалансованості при заданому наборі вхідних ресурсів, $R_i(x)$ — кількість або обсяг i -го ресурсу в точці x , $T_i(x)$ — час доступності або затримка постачання i -го ресурсу, w_i — ваговий коефіцієнт, що відображає критичність i -го ресурсу.

Оптимізаційна модель мінімізації критичних відхилень використовується для знаходження такого розподілу ресурсів, який мінімізує критичні відхилення між планом і доступом, враховуючи обмеження на резерви [189].

$$\min Z = \sum_{i=1}^n (C_i - A_i)^2, \text{ subject to } A_i \leq R_i, \quad (6.2)$$

де: Z — сумарна міра відхилень запланованих потреб від фактично доступних ресурсів, C_i — планова потреба в i -му ресурсі, A_i — фактичний розподіл i -го ресурсу, R_i — гранична доступність i -го ресурсу.

Формалізація адаптації структури моделі до фаз реалізації відображає адаптивну здатність моделі змінювати свою структуру в реальному часі, залежно від ресурсної ситуації та фази проекту [276].

$$S(x, t) = f(R(x), D(x), t), \quad (6.3)$$

де: $S(x, t)$ — конфігурація структури моделі у координатах ресурсного стану x та моменту часу t , $R(x)$ — функція ресурсної доступності, $D(x)$ — функція ресурсного дефіциту або навантаження, f — функціональна залежність, що описує трансформацію структури під впливом часу та ресурсних характеристик.

На нижче наведеній таблиці 6.1 подано взаємозалежність між основними ресурсними чинниками (як доступність, ритмічність, вартісна стабільність, часові лаги) і параметрами, що формують збалансованість моделі, зокрема адаптивність, надійність, прогнозованість та інтеграційна складність.

Таблиця 6.1. Взаємозалежність між основними ресурсними чинниками і параметрами, що формують збалансованість моделі
(розроблено автором на основі [315])

Ресурсні фактори	Адаптив-ність	Прогнозо-ваність	Надійність	Інтегра-ційна складність
<i>Доступ-ність ресурсів</i>	Визначає можливість оперативної реакції на зміни у середовищі проекту	Забезпечує передбачу-ваність темпів виконання робіт у нормальних умовах	Є основою для сталого постачання впродовж життєвого циклу проекту	Мінімізує потребу в складних механізмах компенсації нестачі
<i>Ритмічність постачання</i>	Сприяє гнучкому узгодженню етапів виконання при збереженні цілісності циклів	Дозволяє уникати раптових збоїв і непередба-чених зсувів графіка	Формує основу для синхронної роботи між підрозділами та контра-гентами	Знижує рівень зовнішньої залежності між фазами реалізації
<i>Стабіль-ність вартості</i>	Дає змогу адаптувати модель до зміни економічних умов без втрати керованості	Знижує ризик відхилення бюджету при середньостроковому плануванні	Підвищує довіру до проєктних рішень та сприяє збереженню ресурсної стратегії	Обмежує потребу в гнучких цінових алгоритмах і додаткових механізмах індексації
<i>Часові лаги постачання</i>	Вимагають адапта-ційних механізмів швидкої перебудови ресурсної карти	Суттєво знижують точність календарно-го прогно-зування і планування	Погіршують здатність системи до сталого реагування на зовнішні виклики	Ускла-днують інтеграцію між фраг-ментами моделі в різних фазах реалізації

У межах концептуального формування збалансованої ресурсної моделі для втілення складних проєктів, особливо у будівельній чи інфраструктурній галузі, одним із ключових аналітичних завдань виступає чітке визначення основних блоків ресурсного забезпечення. Без системної класифікації та формалізації цих блоків будь-яка спроба моделювання буде фрагментарною, неповною та неспроможною до адаптації в умовах зміни середовища. У проєктному управлінні прийнято виокремлювати чотири основних класи ресурсів, котрі є взаємозалежними, проте мають власну логіку планування, обліку та керування [269].

Першим серед них є людські ресурси, котрі охоплюють кваліфіковану та допоміжну робочу силу, керівний персонал, експертів, консультантів і вузькоспеціалізованих підрядників. Особливістю цієї категорії є високий рівень варіативності, складність у вимірюванні ефективності у кількісних термінах, а також чутливість до організаційного клімату, мотиваційної структури та часових обмежень. Людський ресурс бути накопичений або масштабований у такий самий спосіб, як матеріальні компоненти, а тому потребує окремої траєкторії планування з урахуванням навичок, доступності та продуктивності. Другу категорію складають матеріальні ресурси, серед яких вирізняють конструкційні матеріали, напівфабрикати, готові елементи, паливно-мастильні матеріали, обладнання та інструментальні засоби. На відміну від людських, ресурси є інвентарними та вимірюються у фізичних або грошових одиницях, що полегшує їх планування, але водночас робить їх залежними від ринку постачання, транспортної логістики та вартості закупівлі.

Окреме місце в структурі займають технічні ресурси, до яких належать засоби механізації, спеціалізована техніка, комп'ютеризовані платформи, крани, машини, транспортні агрегати. Вони виступають мультиплікатором продуктивності людських та матеріальних ресурсів, але мають обмеження за тривалістю експлуатації, коефіцієнтом завантаження та технічним станом. Управління технічними ресурсами часто передбачає оптимізацію графіків використання, ротацію між ділянками та контроль за простоем, що критично впливає на ритмічність реалізації проєкту. Інформаційні ресурси, котрі традиційно залишались у тіні матеріальних, наразі набули вирішального значення. Вони охоплюють документообіг, цифрові моделі об'єктів (BIM), аналітичні дані, планувальні системи (ERP, CRM), інтегровані платформи управління ризиками. Ресурс є практично не обмеженим у кількості, але критично важливим за якістю, актуальністю і точністю. Неповна або застаріла інформація здатна паралізувати реалізацію всіх інших ресурсів, тому інформаційна компонента поступово стає інтегральною в усьому циклі управління [254].

Щоб ефективно організувати взаємодію між цими чотирма блоками, необхідно сформуванати багаторівневу архітектуру управління, яка структурує функції, потоки і контроль на трьох основних рівнях: макро-, мезо- та мікрорівні. На макрорівні відбувається стратегічне планування: визначаються глобальні потреби, часові межі, ключові етапи проєкту, формується ресурсна стратегія, бюджет та сценарії залучення. Рівень пов'язаний із власниками, інвесторами, державними органами і містить довгострокові ризики, політичні впливи, екзогенні обмеження. Мезорівень відповідає за тактичне управління — це рівень об'єкта, майданчика чи сегменту реалізації, де здійснюється планування поставок, розподіл робочої сили, контроль виконання, перегляд графіків. Тут взаємодіють керівники середньої ланки, підрядники, логісти та виконроби. Мікрорівень — це операційна площа, де відбувається безпосереднє споживання ресурсів, контроль якості, фіксація витрат і моніторинг виконання. На цьому рівні працюють майстри, техніки, монтажники та ІТ-системи контролю. Важливо, що кожен рівень має власний інтерфейс управління, але вони повинні бути синхронізовані через єдину інформаційну систему.

Наступним критичним кроком є параметризація ресурсів, тобто їх формалізоване описання у вигляді набору ключових характеристик, котрі використовуються для обліку, порівняння, моделювання та оптимізації. Найбільш поширеними параметрами є вартість — абсолютна чи відносна ціна залучення ресурсу, час надання — очікуване або фактичне надходження, обсяг споживання — середня чи пікова кількість використання, а також ефективність, котра відображає продуктивність або внесок ресурсу у виконання цільового завдання. Параметри взаємозалежні: наприклад, затримка у часі постачання критичного ресурсу може значно знизити загальну ефективність навіть за низької вартості. Для кожного з ресурсних блоків визначаються специфічні параметри. Для людських ресурсів — кількість людино-годин, коефіцієнт присутності, кваліфікаційна шкала; для технічних — час роботи без відмов, споживання палива, амортизаційна вартість; для інформаційних — точність, актуальність, рівень інтеграції [238].

У реальному середовищі неможливо уникнути відхилень, тому важливим аналітичним інструментом виступає оцінка ризиків і відхилень, що реалізується через методи типу FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) та симуляції Monte Carlo. Метод FMEA дозволяє системно ідентифікувати потенційні відмови у кожному ресурсному блоці, оцінити їх наслідки, частоту і виявленість, а також сформулювати пріоритети дій для запобігання або пом'якшення наслідків. У випадку людського ресурсу це можуть бути ризики зриву графіку через захворювання або звільнення працівника. У технічному блоці — це ризик поломки устаткування або затримки доставки. Метод FMEA створює матрицю ризиків, де кожен тип відхилення оцінюється за шкалами впливу. Паралельно використовується метод Монте-Карло, що передбачає запуск великої кількості ітерацій проєктної моделі з випадковими варіаціями ключових параметрів, зокрема часу поставок, вартості ресурсів, затримок на логістичних вузлах. Дозволяє побудувати статистичний розподіл можливих сценаріїв та виявити критичні точки, де ймовірність зриву найбільша.

Структуризація ресурсного забезпечення проєкту повинна базуватися на чіткій класифікації блоків, побудові трирівневої архітектури управління, параметризації ключових характеристик та глибокому аналізу ризиків. Підхід дозволяє створити не лише модель, а й повноцінну адаптивну систему, здатну функціонувати в умовах високої динаміки, зовнішньої нестабільності та жорстких часових обмежень.

На нижче наведеному рисунку 6.6 представлено карту, котра відображає структуру взаємодії між людськими, матеріальними, технічними та інформаційними ресурсами в рамках єдиного проєктного середовища. Центральне місце в карті займає інформаційний блок, що координує комунікації між усіма іншими секторами, а стрілки відображають напрямок і щільність взаємного впливу. Вказані зони перетину ієрархічних рівнів управління: макро, мезо та мікрорівня, що дозволяє побачити, як окремі ресурси функціонують у тривимірному управлінському просторі.

Для поглибленого аналізу динаміки ресурсного функціонування у межах складних проєктів доцільно застосовувати графічні інструменти, що дозволяють виявити критичні залежності, точки ризику та особливості розподілу параметрів у часовій або ймовірнісній площинах. Одним із найбільш інформативних показників у цьому контексті є чутливість ресурсів до змін вартості, яка відображає ступінь реакції системи на економічні коливання. На нижче наведеному рисунку 6.7 зображено чутливість ресурсу до змін вартості в циклі реалізації, де по горизонтальній осі відкладено послідовність фаз проєкту (ініціація, проєктування, будівництво, завершення), а по вертикальній — відносна зміна вартості ресурсу. Крива показує, що найбільша чутливість спостерігається у фазі будівництва, де

витрати на матеріали і техніку мають найвищу концентрацію, а вплив інфляційних або ринкових коливань стає найбільш відчутним. Аналіз дозволяє ідентифікувати фази, в яких необхідно вводити компенсаторні механізми або контракти з фіксованими цінами.



Рис. 6.6. Функціональну карту взаємозалежності ресурсних блоків (розроблено автором на основі [268])

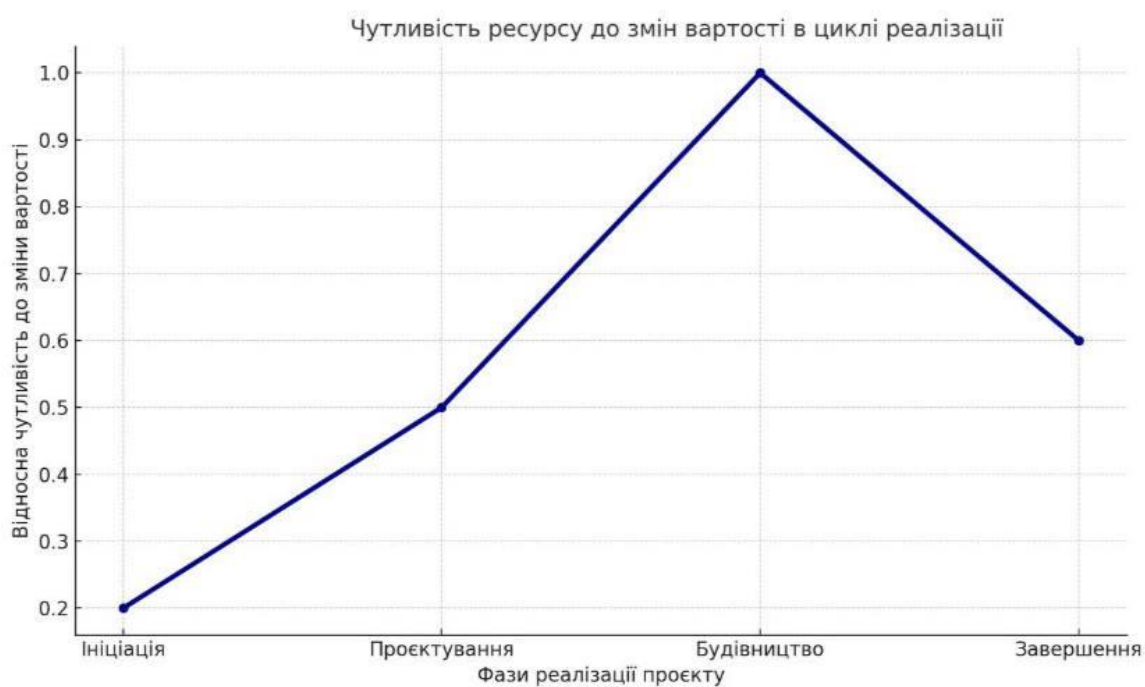


Рис. 6.7. Чутливість ресурсу до змін вартості в циклі реалізації (розроблено автором на основі [266])

На рисунку 6.8 подано модель, де кожен блок позиціонується у відповідній зоні (ядро, буферна зона, зовнішній контур) залежно від його доступності, критичності та частоти взаємодії з іншими елементами. Модель дозволяє візуалізувати ресурси як частини координованої системи, що підлягає інтегрованому контролю. У свою чергу, є основою для подальшого цифрового моделювання процесів, побудови ризик-орієнтованих сценаріїв управління та впровадження адаптивних механізмів.

Іншим важливим аспектом управління ресурсами є розуміння інтенсивності їх використання у часовому розрізі. Дозволяє виявити перевантаження, нераціональне накопичення або простої, що безпосередньо впливають на ритмічність виконання та ефективність використання потенціалу.

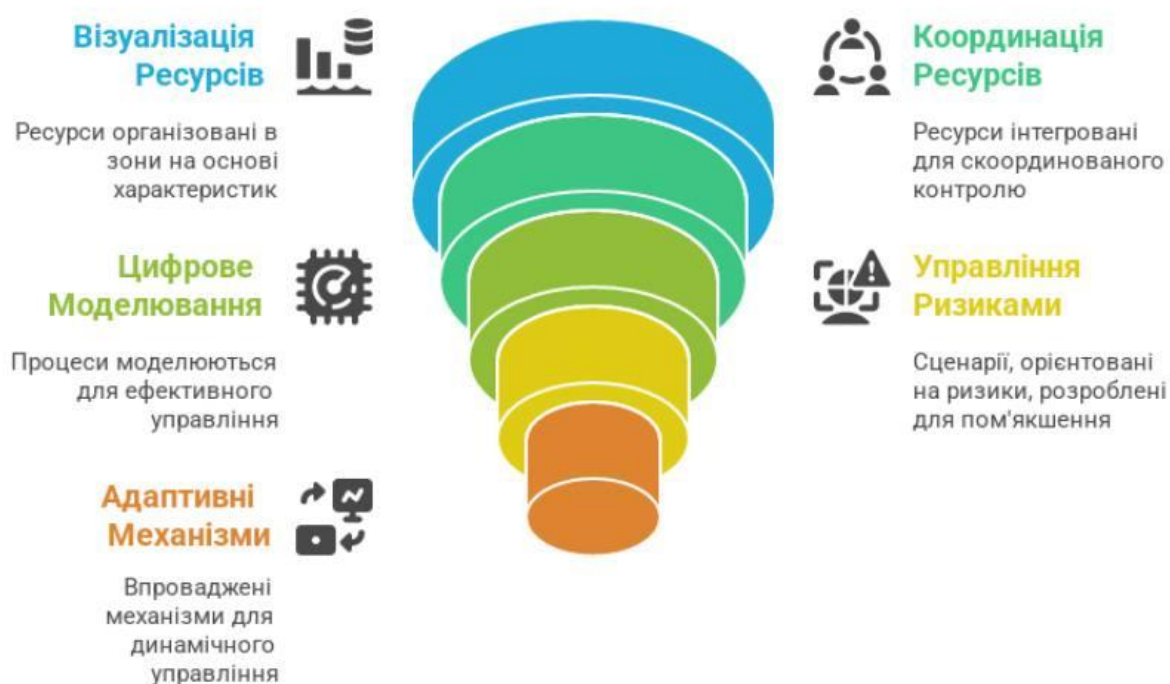


Рис. 6.8. Модель конфігурації ресурсної системи у форматі ресурсних зон (розроблено автором на основі [196])

На рисунку 6.9 подано інтенсивність використання ресурсів у динаміці фаз, де кожна фаза реалізації (від ініціації до здачі об'єкта) представлена у вигляді відрізків, на яких нанесено щільність споживання ресурсів: людських, технічних, матеріальних. Аналіз профілю показує, що пік навантаження припадає на середню частину циклу (будівництво), де одночасно мобілізуються усі ключові блоки, тоді як фаза завершення характеризується різким спадом, але з підвищеними вимогами до точності, координації та інформаційної повноти. Візуалізація дозволяє створити обґрунтований графік постачання і змодельовати варіанти перерозподілу потужностей.

Розрахунок функції інтегральної ресурсної доступності відображає кумулятивну доступність ресурсу з урахуванням його актуальності та часових затримок [200].

$$I(t) = \int_0^T R(t) \times e^{-\lambda t} \times dt, \quad (6.4)$$

де: $I(t)$ — інтегральний показник доступності ресурсів у момент часу t , $R(t)$ — функція ресурсу в часі (обсяг або щільність доступу), λ — коефіцієнт затухання (ефект зниження цінності ресурсу з часом).

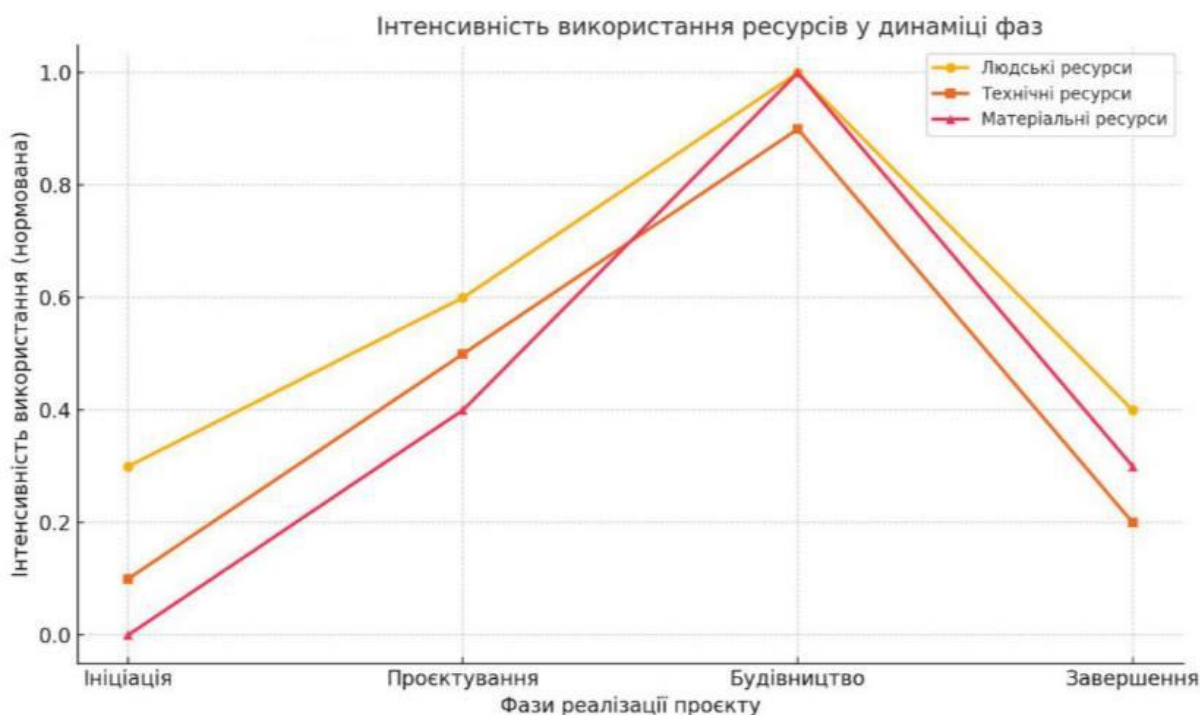


Рис. 6.9. Інтенсивність використання ресурсів у динаміці фаз
(розроблено автором на основі [237])

Сценарне моделювання на основі градієнта ризику дозволяє змодельовати вплив змінних умов на стабільність ресурсного забезпечення та оцінити потенційні ризики [331].

$$G(x) = \frac{\partial R}{\partial t} \times \sigma(x), \quad (6.5)$$

де: $G(x)$ — індикатор ризику зміни ресурсу у координаті x , $\frac{\partial R}{\partial t}$ — швидкість зміни ресурсу в часі, $\sigma(x)$ — стандартне відхилення (волатильність) ресурсного стану у точці x .

Алгоритм корекції параметрів у збалансованій моделі забезпечує оперативну адаптацію параметрів моделі у відповідь на ресурсні збої або дефіцити [23].

$$C_i = C_{i_0} + \alpha \times \Delta R_i(t), \quad (6.6)$$

де: C_i — скориговане значення i -го параметра у моделі, C_{i_0} — початкове (еталонне) значення параметра, $\Delta R_i(t)$ — відхилення доступного ресурсу від планового у момент часу t , α — коефіцієнт чутливості до зміни ресурсу.

6.2. Створення та реалізація алгоритму ресурсно-календарного планування впровадження проєктів

У теорії й практиці управління проектами моделі мережевого планування стали основою для побудови логіки реалізації комплексних, фазово структурованих завдань. Серед класичних підходів найбільш поширеними є PERT (Program Evaluation and Review Technique), CPM (Critical Path Method) та MPM (Metra Potential Method). Моделі мають спільну концептуальну основу: представлення проекту у вигляді сіткової діаграми, де вузли або дуги символізують події, роботи або фази, а зв'язки між ними фіксують залежності, обмеження чи часову послідовність. У моделі PERT основною ідеєю є врахування невизначеності в оцінці тривалості робіт через застосування трьох оцінок: оптимістичної, песимістичної та найбільш імовірної. Дозволяє розрахувати очікуваний час виконання задачі за допомогою зваженої формули та визначити ймовірність завершення проекту у встановлені строки. Проте PERT передбачає, що розподіл тривалостей має бета-характер, і, хоча це корисно для стратегічних оцінок, на етапі оперативного планування точність залишається обмеженою [250].

Метод CPM, натомість, використовує детерміновані значення тривалості та фокусує увагу на виявленні критичного шляху — послідовності завдань, що визначає мінімально можливу тривалість проекту. Підхід добре зарекомендував себе в інженерному будівництві, де роботи мають прогнозовані строки й обмежену кількість змінних. Відсутність гнучкості в обліку ризиків або зовнішніх збурень у CPM зумовлює його вразливість у динамічному середовищі. MPM, запропонований у Франції, розширює логіку PERT/CPM шляхом введення потенціалів і часових вікон на рівні подій, що дозволяє формалізувати більш складні часові обмеження. Підхід є особливо ефективним у проектах, де необхідно координувати незалежні та паралельні процеси з інтегрованими часовими рамками. MPM добре адаптується до автоматизованого розрахунку в середовищі графових структур, проте потребує високої якості початкових даних.

Незважаючи на практичну цінність класичних мережевих моделей, сучасні дослідники та практики часто піддають їх критиці, акцентуючи на ключових обмеженнях. Одне з основних обмежень полягає у недетермінованості вхідних даних, котрі моделі намагаються згладити або замаскувати за допомогою оцінок. В реальності багато параметрів, зокрема обсяги робіт, продуктивність виконавців, час очікування ресурсів, змінюються у режимі реального часу. Відсутність внутрішнього механізму адаптації до змін означає, що навіть незначне відхилення одного завдання може спричинити каскадні збої в усьому графіку. Виявляється особливо небезпечним у багатофазних проектах з великою кількістю взаємозалежностей. Додатково, традиційні методи не враховують інтегрованих ресурсних обмежень, а зосереджуються винятково на часових аспектах, припускаючи, що ресурси на кожному етапі є у повному обсязі [270].

Для подолання цієї вади у науковій літературі сформувався окремий напрямок, пов'язаний з аналізом моделей Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP). Моделі враховують часову логіку та наявність обмежених ресурсів, котрі мають бути розподілені між роботами. Основною задачею RCPSP є мінімізація тривалості проекту з урахуванням обмеження потужностей у кожен момент часу. На відміну від CPM, де акцент робиться на критичному шляху, тут важливим є знаходження такого розкладу, який не порушує жодного з ресурсних обмежень. Існують десятки модифікацій RCPSP, серед яких найбільш просунуті — Multi-Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem (MRCMPSP), що охоплюють множинні проекти, декілька типів ресурсів, змінні режими роботи, пріоритети, черговість та перервність. У таких моделях активно використовуються

евристичні та метаевристичні алгоритми, включаючи генетичні алгоритми, симульоване відпалу, мурашині колонії. Попри складність обчислень, підходи дозволяють отримати реалістичні сценарії планування та виявити потенційні вузькі місця, котрі у традиційних моделях залишаються невидимими.

На тлі розвитку адаптивного управління дедалі більшого значення набувають авторські алгоритми динамічного розподілу ресурсів, побудовані на базі фазової структури проекту. На відміну від класичних методів, алгоритми враховують контекст кожної фази (підготовка, проєктування, реалізація, завершення) як окремий підсистемний блок з власною логікою ресурсного навантаження. Основою для розподілу ресурсів є календарне планування, динамічний аналіз щільності подій, індекс очікуваного дефіциту, ступінь важливості та критичності фази. Алгоритми формуються у вигляді модулів, котрі працюють на зворотному зв'язку, отримуючи актуальну інформацію про стан ресурсів, затримки, перевантаження. У низці досліджень запропоновано використання алгоритмів пріоритетного перерахунку, коли ресурс автоматично перерозподіляється на критичні фази за рахунок менш важливих, або ж ініціюється перенесення подій для зниження сукупного ризику. Особливе місце посідають моделі, вбудовані у цифрові середовища управління, наприклад, ERP-платформи або BIM-технології з підтримкою 4D-календаря [294].

Проведений аналіз засвідчує, що перехід від жорстких схем планування до динамічних і адаптивних алгоритмів є не лише еволюцією підходів, а й вимогою часу. У складному середовищі реалізації проєктів, де одночасно змінюються ресурси, строки, умови, лише інтегровані моделі з підтримкою сценаріїв та обліком реальних обмежень можуть гарантувати ефективність і гнучкість проєктного управління.

У процесі розробки алгоритму ресурсно-календарного планування ключову роль відіграє структурна візуалізація логіки його побудови, котра дозволяє окреслити послідовність дій, визначити взаємозалежність між фазами проєкту та ресурсними потоками. Концептуальна побудова є необхідною передумовою для подальшої формалізації алгоритмічних процедур і цифрової реалізації. На нижче наведеному рисунку 6.10 представлено концептуальну структуру алгоритму ресурсно-календарного узгодження фаз проєкту, в якій кожен функціональний блок відповідає за один із логічних етапів планування: генерацію часових рамок, накладання ресурсних обмежень, визначення критичних інтервалів, адаптацію до змін середовища та зворотне коригування. Всі компоненти з'єднані в інтегровану систему, котра функціонує за принципом циклічної оптимізації з урахуванням попереднього та прогнозного стану об'єкта.

Оцінка ефективності побудови та функціонування алгоритму ресурсно-календарного планування неможлива без графічного аналізу ключових залежностей, котрі відображають зв'язок між рівнем підготовки, структурними характеристиками календаря та реакцією системи на зовнішні впливи. Одним із найважливіших параметрів, що визначає успішність реалізації проєкту, є ступінь узгодженості фаз, тобто їхня синхронність. На нижче наведеному рисунку 6.11 одано аналіз синхронності фаз реалізації залежно від рівня попереднього ресурсного планування. Графік демонструє, як при зростанні деталізації та точності початкового ресурсного плану зменшується відставання між фазами, знижуються накладення та логічні конфлікти. Особливо помітна критична точка, після якої навіть незначне покращення якості планування дає суттєвий приріст синхронності, що дозволяє виділити зону ефективного планового впливу в процесі оптимізації.

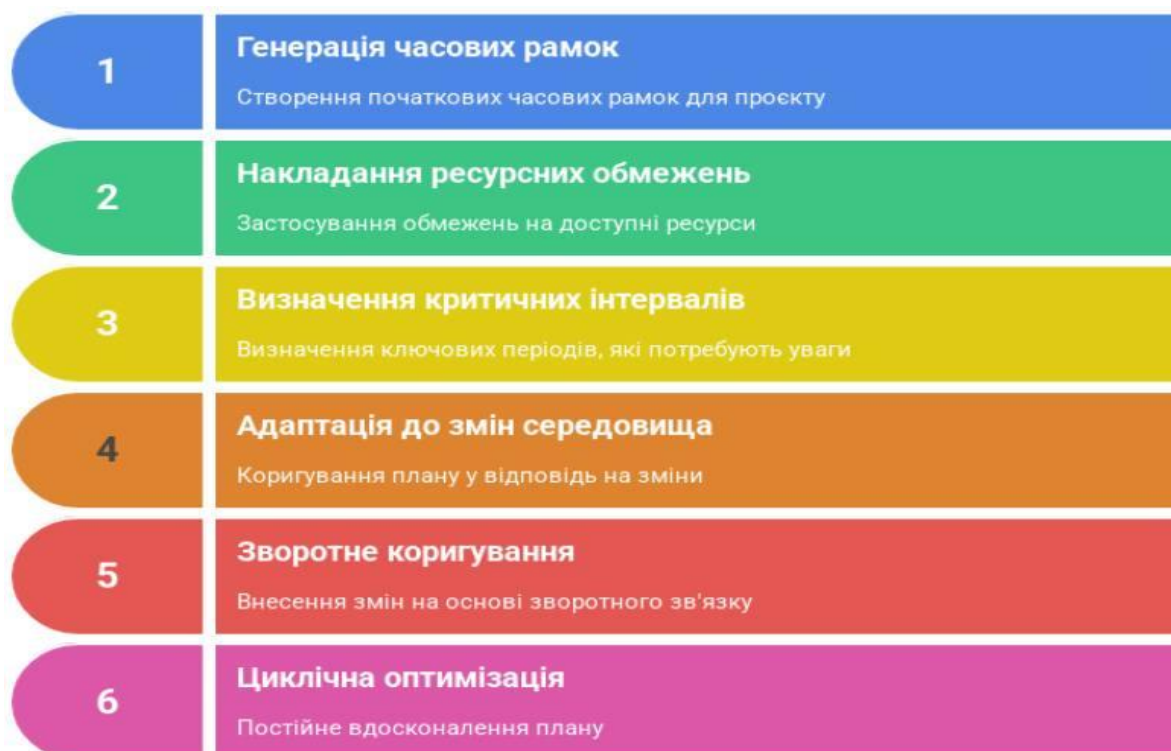


Рис. 6.10. Концептуальна структура алгоритму ресурсно-календарного узгодження фаз проєкту (розроблено автором на основі [293])

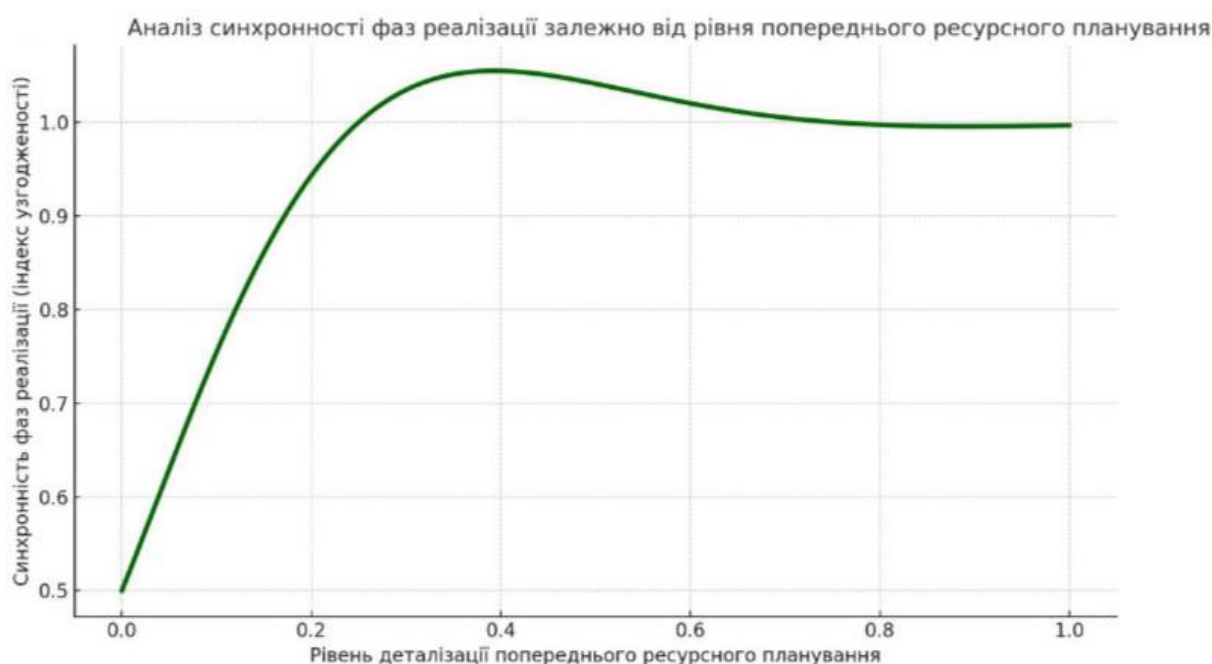


Рис. 6.11. Аналіз синхронності фаз реалізації залежно від рівня попереднього ресурсного планування (розроблено автором на основі [251])

Іншим аспектом є стабільність виконання календарного графіка, котра безпосередньо залежить від грамотного розподілу часових буферів — резервів часу між завданнями або фазами, що використовуються для згладжування відхилень. На рисунку 6.12 зображено залежність стабільності виконання від рівня розподілу буферів у календарі. Візуалізована

крива демонструє класичну U-подібну залежність: як при занадто малих, так і при надмірно великих буферах система стає менш стабільною — у першому випадку через відсутність резервів, у другому — через втрату керованості й розмитість логіки. Найвищий рівень стабільності досягається у точці рівноважного буферного навантаження, де графік демонструє мінімальні коливання від базового плану. Дозволяє використовувати зону як орієнтир для формування адаптивної стратегії календарного регулювання.

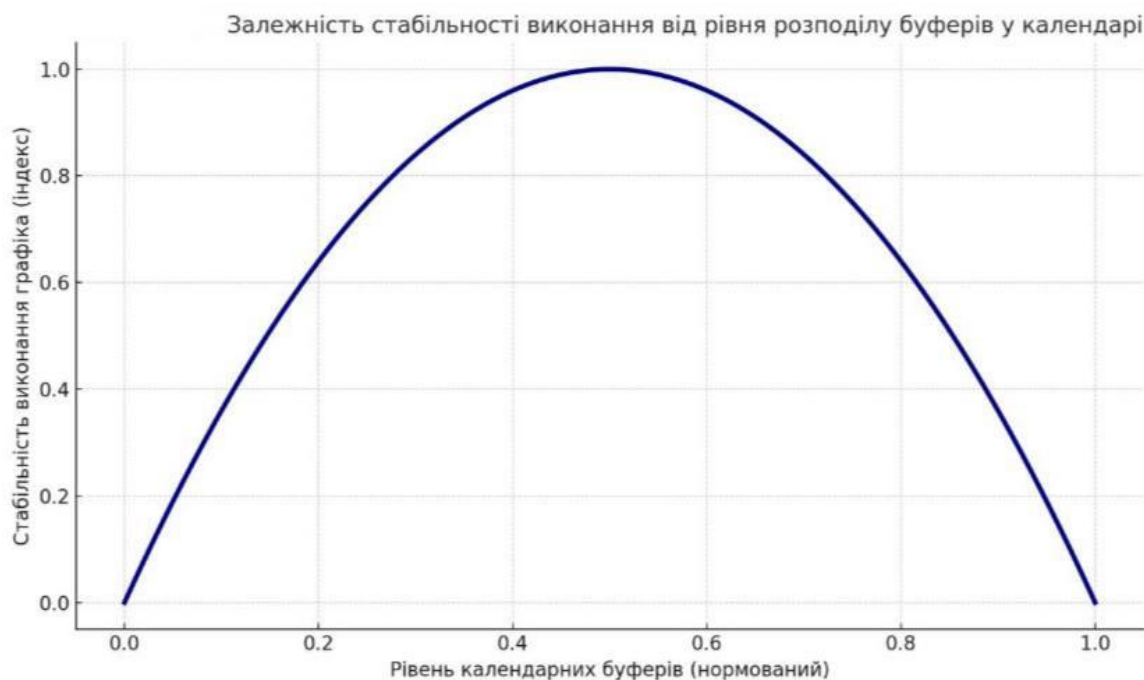


Рис. 6.12. Залежність стабільності виконання від рівня розподілу буферів у календарі (розроблено автором на основі [316])

На рисунку 6.13 подано архітектурну модель узагальненої послідовності ресурсних операцій з часовою прив'язкою, котра демонструє взаємодію між типами ресурсів (матеріальні, людські, технічні, інформаційні) та часовими етапами реалізації (від ініціації до здачі об'єкта). Особливу увагу в цій моделі приділено відображенню логічних векторів переміщення ресурсів, затримок, точок входу у фазу та механізмів корекції. Візуалізація є основою для формування адаптивного ядра алгоритму, котре дозволяє забезпечити стабільність та узгодженість за умов змінного зовнішнього середовища.

Окрему увагу в системі аналізу варто приділити взаємозв'язку між зовнішніми часовими обмеженнями — як адміністративні строки, погодні вікна, логістичні регламенти — та ефективністю роботи самого алгоритму. На рисунку 6.14 представлено коливання продуктивності алгоритму при зміні зовнішніх часових обмежень. Крива продуктивності має виражену нестабільну область у середньому діапазоні зовнішнього тиску, що свідчить про резонансні ефекти, коли обмеження накладаються на критичні ділянки розкладу. Водночас при м'якому або жорсткому регламентуванні (на обох краях шкали) алгоритм демонструє більшу стабільність, що пов'язано або з надлишком часу, або з повною мобілізацією ресурсів. Графік дозволяє виявити найбільш уразливі зони при проектуванні логіки реагування на зміну умов середовища та визначити параметри, в межах яких система потребує підсиленого адаптивного блоку.



Рис. 6.13. Архітектурна модель узагальненої послідовності ресурсних операцій з часовою прив'язкою (розроблено автором на основі [227])

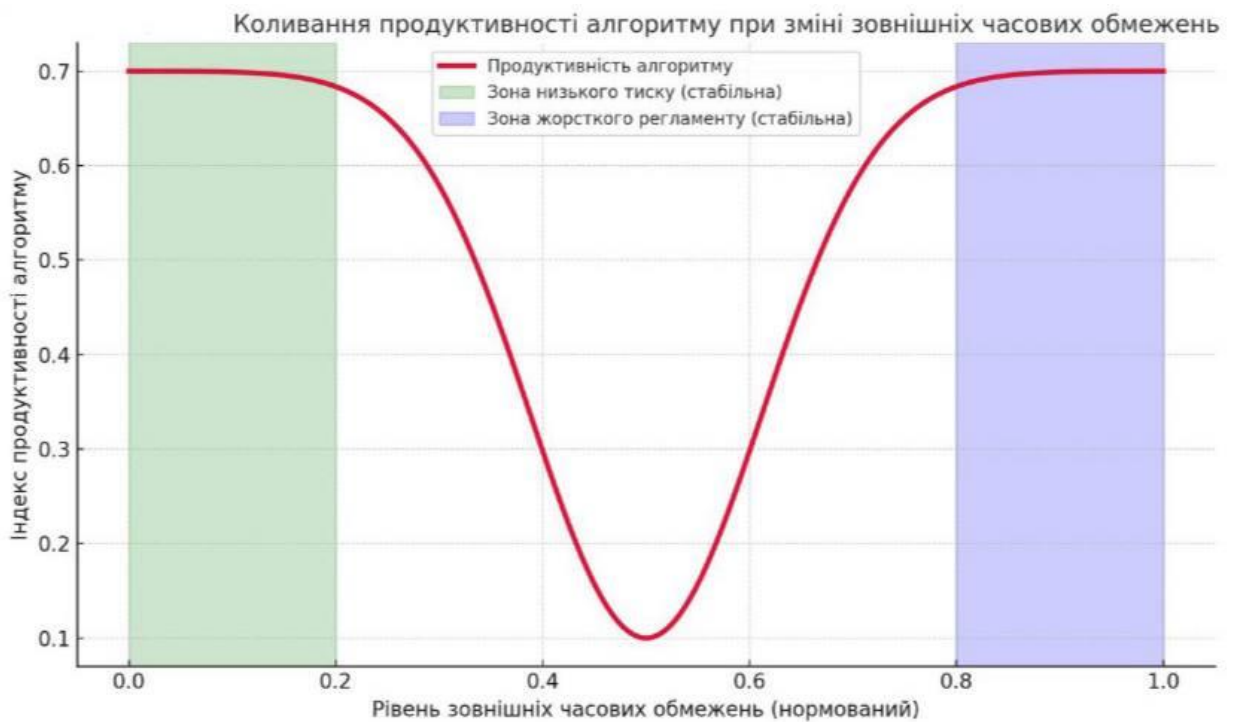


Рис. 6.14. Коливання продуктивності алгоритму при зміні зовнішніх часових обмежень (розроблено автором на основі [240])

Функція оптимального розміщення ресурсів у межах фаз визначає таке значення ресурсу, при якому загальне відхилення від плану (як за кількістю, так і за часом) є мінімальним [309].

$$R_{ij} = \arg \min \left[\sum_{j=1}^m (C_{ij} - A_{ij})^2 + \alpha \times D_{ij} \right], \quad (6.7)$$

де: R_{ij} — оптимальна кількість ресурсу, призначена для завдання j у фазі i ; C_{ij} — планова потреба в ресурсі для завдання j у фазі i ; A_{ij} — фактично доступний ресурс для цього завдання; D_{ij} — часове відхилення від базового графіка виконання; α — коефіцієнт ваги, який відображає важливість синхронності в часі.

Модель накопичення часової невизначеності у послідовних завданнях дозволяє оцінити, як накопичуються часові ризики в мережі послідовних завдань — що більше зв'язків і більша нестабільність, то вищий ризик відставань [284].

$$U(t) = \sum_{k=1}^n \sigma_k \times \sqrt{t_k} \times (1 + \beta_k), \quad (6.8)$$

де: $U(t)$ — сукупна часово-прогностична невизначеність у ланцюзі завдань на момент t ; σ_k — стандартне відхилення тривалості k -го завдання (ступінь його нестабільності); t_k — середній час виконання цього завдання; β_k — коефіцієнт залежності поточного завдання від попередніх (взаємозалежність фаз).

Умовне рівняння збалансування розкладу на базі критичної траєкторії описує межі гнучкості плану — скільки часу реально доступно для балансування без ризику порушення дедлайнів [293].

$$L = \sum_{i=1}^n (T_{max} - T_i) \times w_i, \quad \text{за умови: } T_i + \Delta \leq T_{max}, \quad (6.9)$$

Де L — сукупний резерв часу, що може бути використаний для балансування графіка; T_i — час завершення завдання i у базовому плані; T_{max} — гранично допустимий строк завершення проекту (кінцева дата); w_i — ваговий коефіцієнт важливості завдання i (наскільки критичним є його виконання);

Δ — максимально допустиме зрушення для завдання без втрати контролю над графіком.

Цільова функція мінімізації відхилення при інтегрованому плануванні забезпечує одночасну оптимізацію за двома напрямками — точність виділення ресурсів і відповідність часовому графіку, дозволяючи керувати плануванням в умовах складного балансування [12].

$$F = \min \sum_{i=1}^n [(C_i - R_i)^2 \times \lambda \times (T_i - T_0)^2], \quad (6.10)$$

де: F — загальний індекс відхилення системи від планових значень; C_i — необхідний обсяг ресурсу за планом; R_i — реально виділений ресурс; T_i — фактичний час завершення у фазі i ; T_0 — цільовий часовий орієнтир (базовий термін); λ — коефіцієнт ваги, що визначає значущість часової складової у порівнянні з ресурсною.

На нижче наведеній таблиці 6.2 представлено порівняльну оцінку ефективності алгоритму планування за традиційними та цифровими методами, де у форматі

багатокритеріальної сітки зіставлено ключові характеристики обох підходів. Таблиця ілюструє загальні тенденції та кількісні співвідношення, що свідчать про значну перевагу цифрових рішень в умовах складної проектної динаміки, особливо при багатофакторному навантаженні, великій кількості ресурсних вузлів і необхідності реального часу корекції. Порівняння може слугувати об'єктивним обґрунтуванням до переходу від класичних систем планування до цифрово-алгоритмічних структур, здатних забезпечити оперативну реакцію та аналітичну передбачуваність.

Таблиця 6.2. Порівняльна оцінка ефективності алгоритму планування за традиційними та цифровими методами (розроблено автором на основі [278])

Критерій оцінки	Традиційні методи планування	Цифрові алгоритмічні підходи
<i>Точність формування календаря</i>	Обмежена; висока ймовірність помилок при ускладненні структури проекту	Висока; базується на автоматизованих обчисленнях і перевірках логічних зв'язків
<i>Урахування ресурсних обмежень</i>	Часткове або постфактум; ресурси часто розподіляються вручну	Інтегроване в модель; ресурси враховуються як обмеження на етапі формування графіка
<i>Гнучкість до змін і адаптація</i>	Низька; потребує повного перегляду графіка при зміні даних	Висока; можливість оперативної корекції розкладу з автоматичним перерахунком фаз і завдань
<i>Швидкість оновлення графіка</i>	Повільна; залежить від ручної роботи планувальника	В режимі реального часу; зміни відображаються автоматично в усіх пов'язаних елементах
<i>Рівень інтеграції з іншими модулями</i>	Мінімальна; ізольоване функціонування без зв'язку з ресурсними або фінансовими підсистемами	Повна інтеграція з ERP, BIM, CRM; забезпечується наскрізне управління всіма аспектами проекту
<i>Оцінка сценаріїв ризику</i>	Практично відсутня; проводиться вручну у вигляді експертного аналізу	Автоматизоване сценарне моделювання; підтримка симуляцій, у т.ч. Monte Carlo
<i>Візуалізація процесу планування</i>	Переважно таблична або лінійно-графічна	Інтерактивна, багаторівнева візуалізація з можливістю деталізації, аналізу зв'язків та подій
<i>Продуктивність при масштабуванні</i>	Різко знижується при зростанні обсягу задач і ресурсних потоків	Стабільна робота навіть у великих проєктах за рахунок автоматизації та паралельної обробки

Побудова ефективного алгоритму ресурсно-календарного планування в умовах сучасного проєктного середовища неможлива без урахування стохастичного характеру ресурсних потоків, що формує необхідність переходу до сценарно-орієнтованої логіки розрахунків. У реальному житті жоден ресурс не є абсолютно передбачуваним — чи йдеться про людські, технічні, матеріальні або інформаційні ресурси. Їх доступність, тривалість використання, затримки в постачанні, рівень інтенсивності або навіть обмеження щодо заміни можуть змінюватися як у межах однієї фази, так і між фазами реалізації. Логіка планування повинна бути не жорстко заданою, як це було в класичних моделях CPM/PERT, а сценарно-адаптивною, з можливістю врахування розгалужених ліній поведінки проєкту. Сценарна логіка ґрунтується на формуванні декількох можливих траєкторій реалізації проєкту залежно від конфігурації вхідних даних, в тому числі з варіативністю у параметрах доступності ресурсів, часових обмеженнях та затримках виконання. Для кожного сценарію проводиться розрахунок ймовірного часу завершення, ступеня навантаження, обсягів дефіциту та ризику недовиконання, а також визначаються критичні точки прийняття рішень, в яких план потребує перегляду або коригування [234].

Серцевиною цієї логіки виступають симуляційні методи аналізу, зокрема Discrete Event Simulation (моделювання дискретних подій) та метод Монте-Карло, котрі дають змогу перевести абстрактні ризики і невизначеності у конкретні числові ймовірності. Метод Discrete Event Simulation дозволяє відтворити віртуальну модель проєкту, у якій події відбуваються у визначені моменти часу, активують певні ресурси, призводять до зрушень у графіку, викликають або пом'якшують затримки. Особливо корисним підхід є для моделювання черг, заторів у вузьких місцях ресурсо-часової матриці, зміни логіки виконання при зміні пріоритетів або появи збоїв. У свою чергу, метод Монте-Карло застосовується для багаторазового програвання сценаріїв з випадковими варіаціями ключових параметрів — тривалості завдань, рівня доступності ресурсів, моментів виникнення перешкод. Результатом такого моделювання є розподіл імовірностей завершення проєкту в заданий термін, а також криві ризику для кожного етапу, що дозволяє точніше прогнозувати ефект змін і вибирати стратегії реагування. Симуляційна аналітика є незамінною в умовах високої складності та обмеженої передбачуваності — вона дає не одну відповідь, а спектр можливих рішень із рівнем довіри.

Реалізація вищезазначених механізмів потребує глибокої параметризації модулів планування, які виступають як базова інфраструктура розрахункового ядра. Ключовими з них є календарна матриця, ресурсна карта та вузли рішень. Календарна матриця задає основну сітку часу проєкту, поділену на періоди, цикли, фази, в межах яких розміщуються завдання, ресурси та буфери. Вона має враховувати робочі/неробочі дні, святкові періоди, нічні або змінні графіки, погодні вікна та інші фактори, що змінюють лінійний перебіг часу. Ресурсна карта — це просторово-логічна структура, котра показує, які саме ресурси, у якій кількості та з якою тривалістю повинні бути використані у певному часовому інтервалі. Вона поєднує типи ресурсів (людські, матеріальні, технічні) з подіями у календарі, дозволяє визначити потенційні конфлікти, дефіцити, перевантаження. Вузли рішень — це точки у сценарній логіці, де відбувається вибір між альтернативами: перенести завдання, замінити ресурс, активувати резерв, внести корективи у календар. Усі три модулі взаємопов'язані між собою й повинні працювати як єдина система — за аналогією до ядра операційної системи, де модулі виконують функцію планувальника, монітора та диспетчера [218].

Для забезпечення практичної реалізації такого складного алгоритму потрібна повноцінна інтеграція в цифрове середовище управління проєктами, зокрема з підтримкою

сучасних систем BIM 4D, ERP-модулів або спеціалізованих платформ типу MS Project API. BIM 4D забезпечує просторово-часову інтеграцію моделі будівництва з календарним планом, дозволяє візуалізувати процеси реалізації об'єкта у динаміці, поєднуючи завдання з конкретними елементами конструкції, що відкриває можливість для контролю об'ємів, графіку та відповідності проєктному стану. ERP-системи (як-от SAP, Oracle Primavera) дозволяють здійснювати зв'язок між календарем і фінансами, постачанням, контрактами, забезпечуючи наскрізну логіку планування — від бюджету до виконання. Інтеграція з MS Project API відкриває можливості для кастомізації та автоматичного управління даними, розрахунками, створення динамічних шаблонів та підключення зовнішніх аналітичних модулів. Завдяки відкритим API або зв'язкам через XML, CSV чи прямі бази даних, алгоритми можуть автоматично завантажувати актуальні дані, перераховувати сценарії й формувати управлінські дашборди в реальному часі [317].

Побудова сценарного обрахунку в умовах стохастичної ресурсної динаміки — це теоретична конструкція та практичний механізм, реалізований на основі симуляційного аналізу, чіткої параметризації та цифрової інтеграції, що забезпечує сучасний рівень управлінської адаптивності в складному проєктному середовищі.

Для того щоб алгоритм ресурсно-календарного планування став концептуальним інструментом та повноцінним елементом цифрової інфраструктури управління проєктами, необхідно візуалізувати його функціонування в інтегрованому цифровому середовищі. Дозволяє зрозуміти, як саме відбувається взаємодія між модулями планування, системами моніторингу, обліковими платформами та зовнішніми джерелами даних. На нижче наведеному рисунку 6.15 зображено функціональну схему реалізації алгоритму у цифровому середовищі (BIM/ERP контекст), де продемонстровано основні канали обміну інформацією між ядром алгоритму та такими цифровими елементами як BIM-модель об'єкта, ERP-система управління ресурсами, модулі контролю постачання, календарні підсистеми, аналітичні панелі управління. Особливу увагу приділено логіці даних: від генерації задач у BIM 4D-моделі до розрахунку ресурсних сценаріїв і подальшої синхронізації з контрактами, бюджетами та ризиками у середовищі ERP. Схема дозволяє простежити наскрізний рух інформації та забезпечує прозорість і адаптивність управлінських рішень.

Щоб підтвердити ефективність побудованого алгоритму ресурсно-календарного планування не лише в умовах теоретичної моделі, а й у практичних сценаріях реалізації, необхідно застосовувати інструменти симуляційного аналізу з використанням варіативного обчислення. Графіки дозволяють візуально оцінити поведінку системи в умовах змінних вхідних параметрів, виявити найбільш ризиковані ділянки проєкту, а також визначити потенціал алгоритму до адаптації й компенсації зовнішніх збурень.



Рис. 6.15. Функціональна схема реалізації алгоритму у цифровому середовищі
(розроблено автором на основі [140])

На нижче наведеному рисунку 6.16 подано сценарний розподіл результатів симуляції для критичних фаз реалізації, зокрема для проектування, будівництва й здачі об'єкта. У ході симуляції було згенеровано набір випадкових відхилень у ресурсному забезпеченні та часових параметрах, на основі чого побудовано криві ймовірності завершення фаз у визначені терміни. Аналіз показує, що фазі будівництва властива найбільша дисперсія результатів, що вказує на її підвищену чутливість до зовнішніх збоїв. Натомість фаза проектування демонструє більшу стабільність, але при значному перенасиченні ризик зростає експоненційно. Представлення дозволяє формувати профілі ризику по фазах і вибудовувати буферну структуру на основі реальних імовірностей.

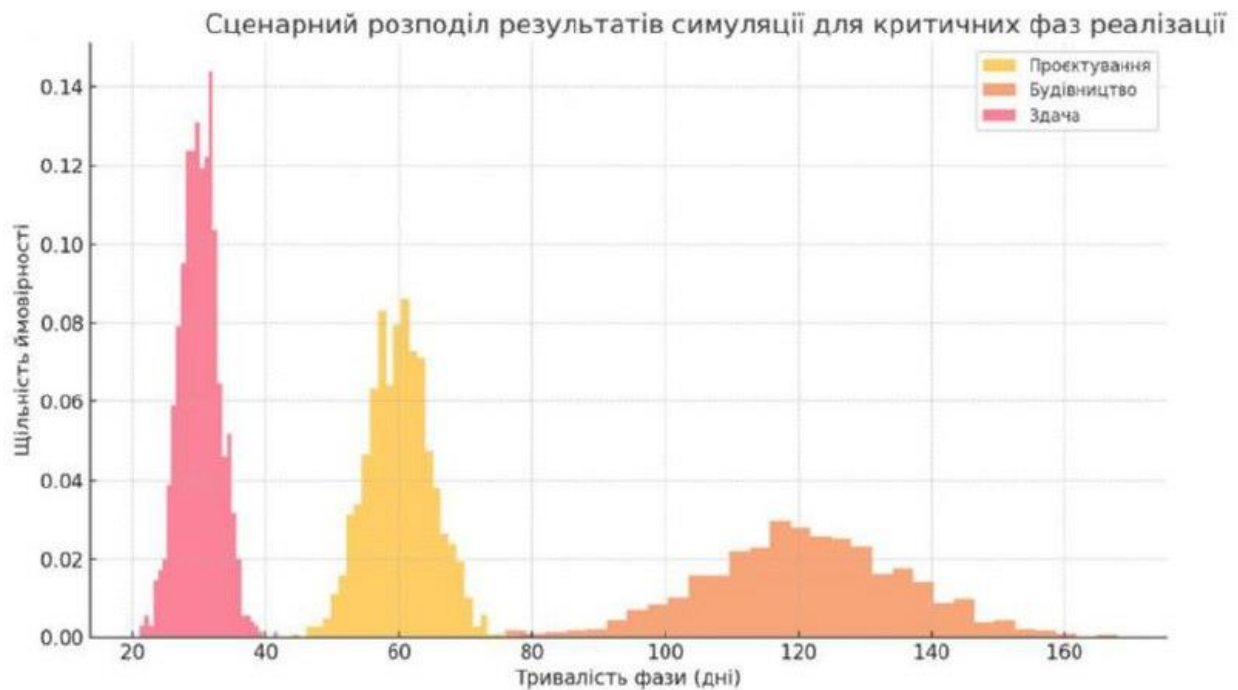


Рис. 6.16. Сценарний розподіл результатів симуляції для критичних фаз реалізації (розроблено автором на основі [302])

Особливу увагу в аналізі функціональності алгоритму слід приділити визначенню чутливості загальної тривалості проєкту до ресурсної нестабільності, що дозволяє зрозуміти, наскільки критичними є зміни у вузлових точках логіки виконання. На рисунку 6.17 візуалізовано, як незначна зміна інтенсивності або доступності ресурсів у стратегічно важливих вузлах (наприклад, заливка фундаменту, монтаж каркасу, підключення мереж) призводить до суттєвих коливань загальної тривалості проєкту. Діаграма має ламано-експоненційну форму, з чіткими піками на окремих точках – зони потребують підвищеної уваги з боку планувальника. Подібний аналіз дозволяє ранжувати завдання за календарною критичністю та за ресурсною вразливістю, що є новим підходом до розуміння критичного шляху в умовах стохастичності [317].

Для більш глибокого розуміння архітектури алгоритму з технічного боку важливо показати, з яких функціональних блоків він складається, як відбувається взаємодія між ними, котрі модулі відповідають за окремі етапи планування та адаптації. На рисунку 6.18 подано блокову архітектуру ресурсно-календарного планування у модульній структурі застосунку, де кожен блок виконує визначену роль: генерація сценаріїв, симуляція варіантів, побудова ресурсної матриці, оновлення календаря, моніторинг відхилень, адаптація параметрів. Модель побудована за принципом логічної модульності: ядро алгоритму поєднано з інтерфейсами введення/виведення, блоком взаємодії з зовнішніми API (наприклад, MS Project, SAP, Revit), підсистемами обробки невизначеності та цифрового архівування змін. Архітектура дозволяє масштабувати рішення, адаптувати його до різних платформ, розгортати в автономному та в хмарному середовищі, забезпечуючи гнучкість, точність і постійний контроль над реалізацією плану.

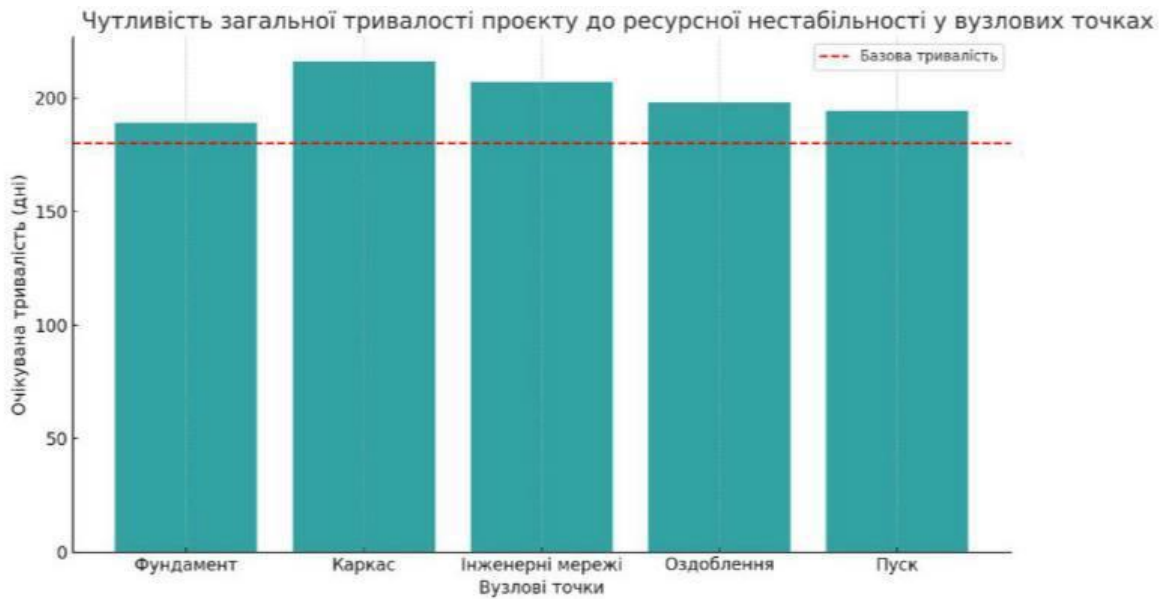


Рис. 6.17. Чутливість загальної тривалості проєкту до ресурсної нестабільності (розроблено автором на основі [18])



Рис. 6.18. Архітектура ресурсно-календарного планування у модульній структурі застосунку (розроблено автором на основі [209])

Діаграма присвячена оцінці впливу алгоритмічної адаптації на рівень календарного навантаження в межах фаз. На рисунку 6.19 показано, як за допомогою внутрішніх адаптивних механізмів — як перерозподіл ресурсів, зсув задач, активація резервів — алгоритм знижує навантаження на окремі календарні сегменти. Аналіз демонструє порівняння між стандартним календарем без адаптації та адаптованим графіком: у другому випадку навантаження розподілено більш рівномірно, відсутні пікоподібні концентрації ресурсних задач, зменшується ймовірність конфліктів. Адаптація виявляється найбільш ефективною у фазах з високою інтенсивністю операцій — як монтажні або пусконаладжувальні етапи. Завдяки візуалізації можна підтвердити загальну стабільність алгоритму та конкретні позитивні ефекти його впровадження на рівні мікропланування.

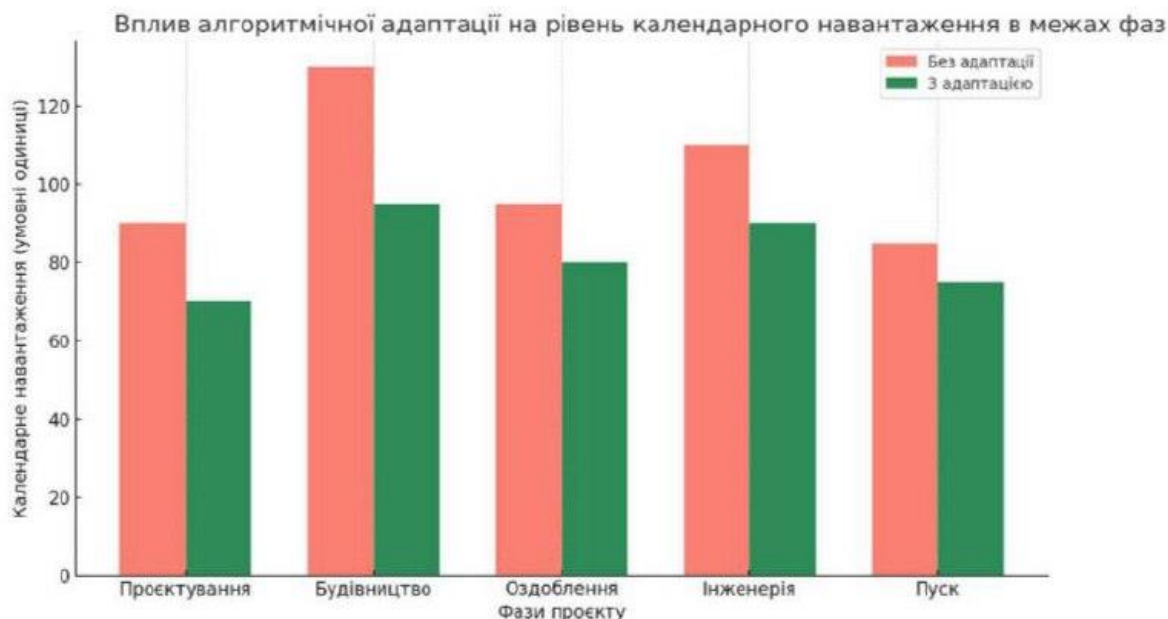


Рис. 6.19. Вплив алгоритмічної адаптації на рівень календарного навантаження в межах фаз (розроблено автором на основі [220])

Структурне рівняння ресурсо-календарного балансу з ваговими коефіцієнтами дозволяє оцінити ступінь узгодженості доступного та необхідного ресурсного забезпечення у календарному вимірі з урахуванням пріоритетності [303].

$$B(t) = \sum_{i=1}^n w_i \times \frac{R_i(t)}{A_i(t)}, \quad (6.11)$$

де: $B(t)$ — загальна функція балансу в момент часу t , w_i — ваговий коефіцієнт пріоритету i -го ресурсу, $R_i(t)$ — наявний обсяг i -го ресурсу, $A_i(t)$ — потреба в ресурсі i -го типу у відповідний момент часу.

Алгоритмічна функція корекції на основі зворотного часу та щільності подій використовується для зниження пікових навантажень шляхом алгоритмічної корекції у зонах надлишкової концентрації ресурсних подій [229].

$$K(t) = \int_0^T \frac{1}{1+\lambda \times d(\tau)} e^{-\mu(T-\tau)d\tau}, \quad (6.12)$$

де: $K(t)$ — функція корекції навантаження, $d(\tau)$ — щільність подій у момент i , λ — коефіцієнт реактивності на подієву щільність, μ — коефіцієнт інерції часової реакції, T — момент завершення фази.

Рівняння розсіювання навантаження в обмеженому інтервалі часу дозволяє моделі прогнозувати, як розсіюється активність у межах фази з урахуванням часу й допустимого навантаження [274].

$$L(t) = \sigma \times 1 - \frac{t-t_0^2}{\Delta t}, \quad (6.13)$$

де: $L(t)$ — навантаження в момент t , σ — максимальне допустиме навантаження, t_0 — центр фази, Δt — ширина інтервалу розподілу.

Функція адаптивного скорочення буфера за умов сценарного зсуву дозволяє зменшувати обсяг буфера пропорційно ступеню сценарного відхилення, запобігаючи перевантаженню графіка [265].

$$B_r = B_0 - \alpha \times \Delta S(t), \quad (6.14)$$

де: B_r — залишковий буфер, B_0 — початковий буфер фази, $\Delta S(t)$ — величина сценарного зсуву у плані, α — коефіцієнт адаптивного реагування.

6.3. Програма впровадження та перевірки результативності побудованої моделі

Формування програми впровадження моделі є одним із найважливіших етапів її життєвого циклу. Це не просто технічна процедура з перенесення теоретичного рішення у практичне середовище, а комплексна трансформація організаційного, управлінського та інформаційного простору компанії або системи, де ця модель має функціонувати. У сучасній управлінській науці, зокрема в роботах Г. Мінцберга та Г. Ентоні, впровадження нововведень розглядається як динамічний нелінійний процес із високим рівнем невизначеності, що потребує не лише точного планування, але й адаптивної поведінки управлінської команди. Це особливо стосується моделей, які ґрунтуються на обчислювальній логіці, цифрових алгоритмах або сценарному прогнозуванні, оскільки їх впровадження пов'язане з цілою низкою організаційних змін.

На першому етапі програми впровадження доцільно провести чітку декомпозицію цілей. Вона не повинна обмежуватися лише фразою "підвищення ефективності", а має бути виражена через вимірювані цільові індикатори: зменшення часу ухвалення рішень, скорочення витрат на координацію, підвищення точності прогнозування. Для цього застосовують метод SMART-структурування (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound), у межах якої кожен компонент валідується на відповідність бізнес-потреbam [81].

Із точки зору економіко-математичного моделювання, ефективність впровадження на цьому етапі можна оцінити через багатофакторну функцію корисності, яка враховує вклад у модель від кожного з елементів ресурсного забезпечення. В одному з класичних варіантів така функція може бути представлена як формула, геометрично зважене середнє:

$$G(P) = \left(\prod_{i=1}^n P_i^{\alpha_i} \right)^{\frac{1}{\sum \alpha_i}}, \quad \text{де } \sum \alpha_i = 1, \quad \alpha_i > 0 \quad (6.15)$$

де P_i — значення конкретного ресурсу (часового, кадрового, технологічного), а α_i — його значущість у реалізації програми. Це дозволяє уникнути дисбалансу у формуванні ресурсного пулу.

Наступний важливий крок — побудова етапної карти впровадження. Вона передбачає виділення ключових фаз: тестування (Proof of Concept), пілотного запуску, масштабування та повної експлуатації. У кожній фазі визначаються мета, KPI, період впровадження, відповідальні виконавці та інструменти контролю. Концепція "Stage-Gate", запропонована Р.

Купером, дозволяє на межі кожної фази здійснювати перевірку ефективності та ухвалювати рішення про продовження, призупинення або коригування впровадження [23].

Упродовж усього циклу важливо контролювати економічну доцільність дій. Для цього використовують інструмент оцінювання інтегрального ефекту від впровадження моделі, такий як дисконтована сума майбутніх вигід. У найбільш загальному вигляді вона виражається як формула:

$$C(t) = \int_0^T \frac{G(t)-N(t)}{(1+m)^t}, \quad (6.16)$$

де $G(t)$ — вигоди від моделі у момент часу t , $N(t)$ — сукупні витрати, m — дисконтна ставка, T — горизонт планування. Цей підхід дає змогу визначити інтервал окупності та ефект від інвестицій у модель.

Щоб забезпечити цілісне розуміння логіки побудови програми впровадження моделі, доцільно подати ключові її компоненти у вигляді рисунку 6.20. Такий підхід дозволяє простежити логічні зв'язки між етапами декомпозиції цілей, розрахунку корисності, формування карти реалізації та оцінки ефекту. Застосування візуального інструменту підсилює аналітичне сприйняття й формалізує складну багаторівневу логіку процесу.

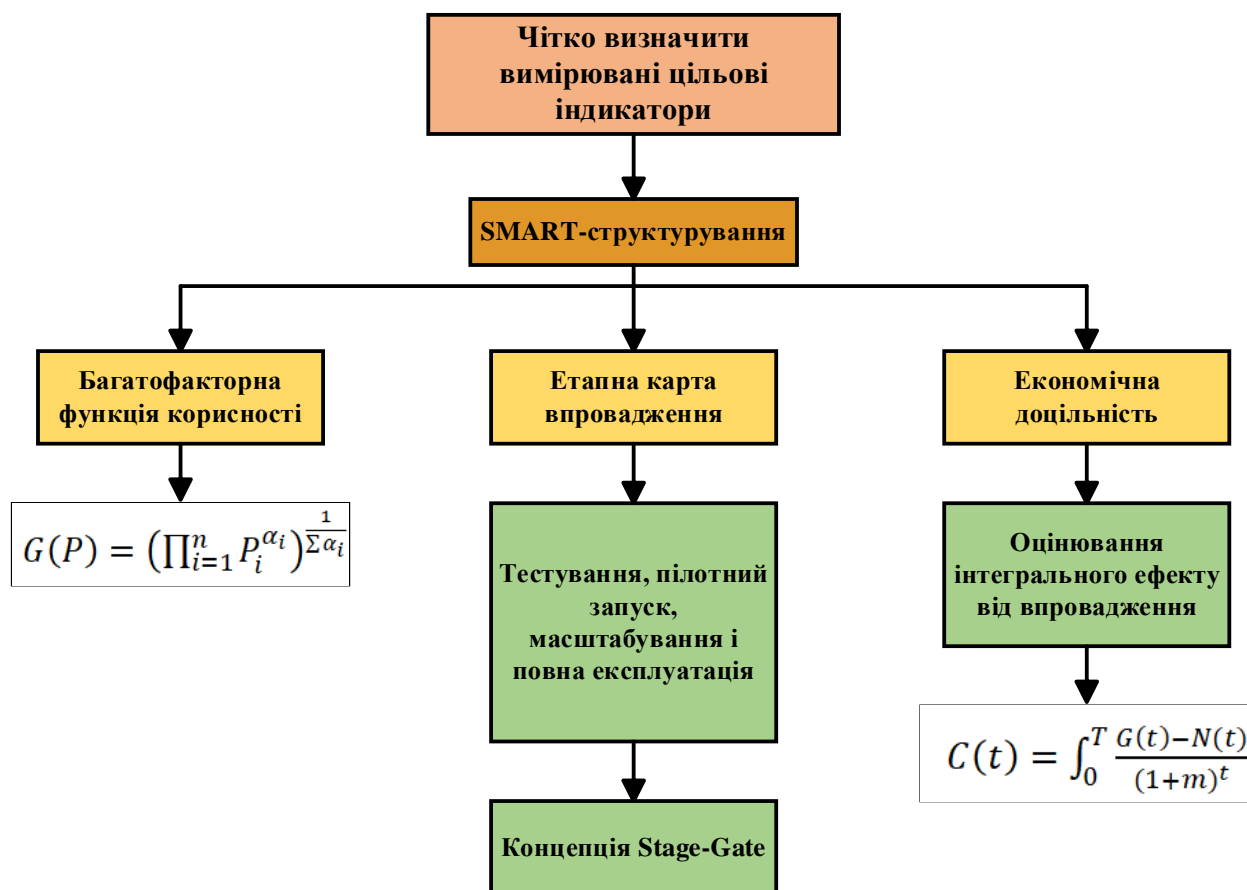


Рис. 6.20. Візуалізація етапів формування програми впровадження моделі (розроблено автором на основі [23])

Під час побудови програми потрібно також враховувати змінність середовища, у якому модель буде реалізована. Для цього розробляють матрицю чутливості — похідні

першого порядку від параметрів моделі по відношенню до факторів середовища. Вона дозволяє виявити, які саме параметри викликають найбільші зрушення в результативності. Така матриця має вигляд формули:

$$K = \left[\frac{df}{dx_1}; \frac{df}{dx_2}; \dots; \frac{df}{dx_n} \right], \quad (6.17)$$

де f — функція вихідного показника ефективності моделі, x_i — параметри зовнішнього середовища.

Якщо спектральний радіус цієї матриці перевищує одиницю, це вказує на високу нестійкість результатів моделі до змін контексту, отже, необхідна подальша її стабілізація або впровадження механізмів адаптації.

Розгортання моделі передбачає серйозну організаційну рефлексію: зміну регламентів, навчання персоналу, коригування структурних елементів. У працях І. Салух вказується на важливість формування "інституційного коридору підтримки", який дозволяє уникнути опору впровадженню з боку структур, неготових до інновацій. Саме в цьому контексті використовують інструменти соціального моделювання (agent-based modeling), які дозволяють спрогнозувати поведінку колективних агентів у межах нової моделі [157].

Ще один суттєвий елемент — це динамічне налаштування моделі вже під час її функціонування. Для цього застосовується стохастична регресія з ітеративним оновленням коефіцієнтів:

$$\gamma^{(t+1)} = \gamma^{(t)} - \delta \times \nabla L(\gamma^{(t)}), \quad (6.18)$$

де L — функція втрат (наприклад, MSE між прогнозом моделі та реальним результатом), δ — параметр кроку оновлення. Таким чином, модель "навчається" на практиці, поступово знижуючи похибку.

На завершення слід зазначити, що успішна програма впровадження моделі має не лише чітко прописану структуру, бюджет і відповідальних осіб, а й вбудовану систему моніторингу, яка реагує на зміни середовища, поведінки персоналу та інституційних обмежень. Це перетворює модель не просто на технічний алгоритм, а на елемент організаційного мислення.

Завершивши формування структурної програми впровадження, наступним логічним кроком стає перевірка, наскільки побудована модель дійсно забезпечує досягнення поставлених цілей. Саме на цьому етапі виникає потреба у чіткій системі вимірювання її ефективності — з використанням індикаторів результативності та верифікаційних процедур. Власне, алгоритм такого тестування ґрунтується на формалізації KPI та аналітичному контролі їх відхилень.

Оцінювання ефективності управлінських, прогнозних або симуляційних моделей — це один із найбільш відповідальних етапів у процесі побудови аналітичної архітектури підприємства. Якщо модель не демонструє результативності у реальних або наближених до реальності умовах, то її впровадження є не просто неефективним — воно потенційно шкодить прийняттю управлінських рішень, вводячи в оману систему ухвалення дій. Саме тому ключову роль у сучасних підходах до управління займає формалізація алгоритмів перевірки результативності моделі, що базується на системі KPI — ключових показників

ефективності. Ці показники дозволяють вивести оцінку з площини суб'єктивних вражень у площину кількісної, структурованої, порівнюваної інформації.

Першим кроком у побудові алгоритму тестування є ідентифікація тих КРІ, які напряму відображають цілі створеної моделі. У теорії управління такі показники поділяються на три рівні: стратегічні (наприклад, рентабельність, обсяг зростання), операційні (наприклад, тривалість виконання процесу) та контекстуальні (вплив зовнішніх факторів на результат). Кожен КРІ має бути сформульований за SMART-критеріями: бути конкретним, вимірюваним, досяжним, релевантним і обмеженим у часі [110].

Проте оцінка результативності лише через інтегральний ефект є спрощеною. Для коректної верифікації моделі необхідна система збору фактичних значень КРІ у ході її реального або пілотного функціонування. Збір таких даних повинен здійснюватись із високою частотою, бути стандартизованим, а також проходити процедуру нормалізації, що дозволяє уникнути викривлень через одиничні аномальні події. Важливо, щоб система збору даних працювала в реальному часі або з мінімальною затримкою — це забезпечує високий рівень достовірності порівнянь.

Після цього проводиться формалізований розрахунок похибок, тобто розбіжностей між очікуваними значеннями КРІ (на основі моделі) та фактичними, отриманими у процесі експлуатації. Найбільш інформативною формою такої оцінки є формула, середньозважена абсолютна похибка (Weighted Mean Absolute Percentage Error — $MAPE_w$):

$$MAPE_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 100 \times w_i \times \frac{|K_{i,факт} - K_{i,модель}|}{K_{i,факт}}, \quad (6.19)$$

де w_i — ваговий коефіцієнт важливості показника i , $K_{i,факт}$ — фактичне значення КРІ, $K_{i,модель}$ — прогнозоване моделлю. Перевага цього підходу — гнучкість у пріоритезації КРІ: важливіші показники мають вищий вплив на загальний результат, що відповідає реаліям прийняття рішень.

Наступний аналітичний блок — оцінка поведінкової динаміки показників у часі. Ефективна модель повинна не лише забезпечити точність прогнозу на один момент, але й підтримувати цю точність у динаміці. Для цього використовують формулу 6, метод ковзного інтегрування з виведенням похідної, яка дозволяє зафіксувати зміну динаміки КРІ:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\sigma} \int_{t-\sigma}^t G(t) dt \right), \quad (6.20)$$

де $G(t)$ — значення ключового показника ефективності в момент часу t , σ — ширина ковзного вікна. Знак похідної свідчить про тренд: позитивне значення — зростання ефективності, негативне — спад, нульове — стабільність.

Після аналізу трендів і похибок, слід перейти до побудови цільової агрегованої функції, яка дозволяє об'єднати всі КРІ у єдиний інтегральний показник. Важливою властивістю такої функції є нечутливість до аномальних значень окремих КРІ, що може бути досягнуто через логарифмічну трансформацію, формулу:

$$S = \sum_{i=1}^n \beta_i \times \log(L_i + 1), \quad (6.21)$$

де β_i — стратегічна вага КРІ, L_i — його значення. Ця формула дозволяє уникнути надмірного впливу одного показника (наприклад, якщо через випадкову подію його значення стало надто високим), забезпечуючи баланс у комплексному підсумковому результаті [79].

Для того щоб оцінити ступінь відповідності моделі поставленим цілям, у роботі використано графічне зіставлення прогнозованих (модельних) та фактичних значень ключових показників ефективності. Така побудова дозволяє візуально ідентифікувати відхилення, зафіксувати ділянки найбільшої похибки та виявити потенційні зони ризику в реалізації моделі. Рисунок 6.21, який представлено нижче, став основою для подальшого розрахунку середньозваженої абсолютної похибки (MAPE_w) та оцінювання результативності управлінської моделі.

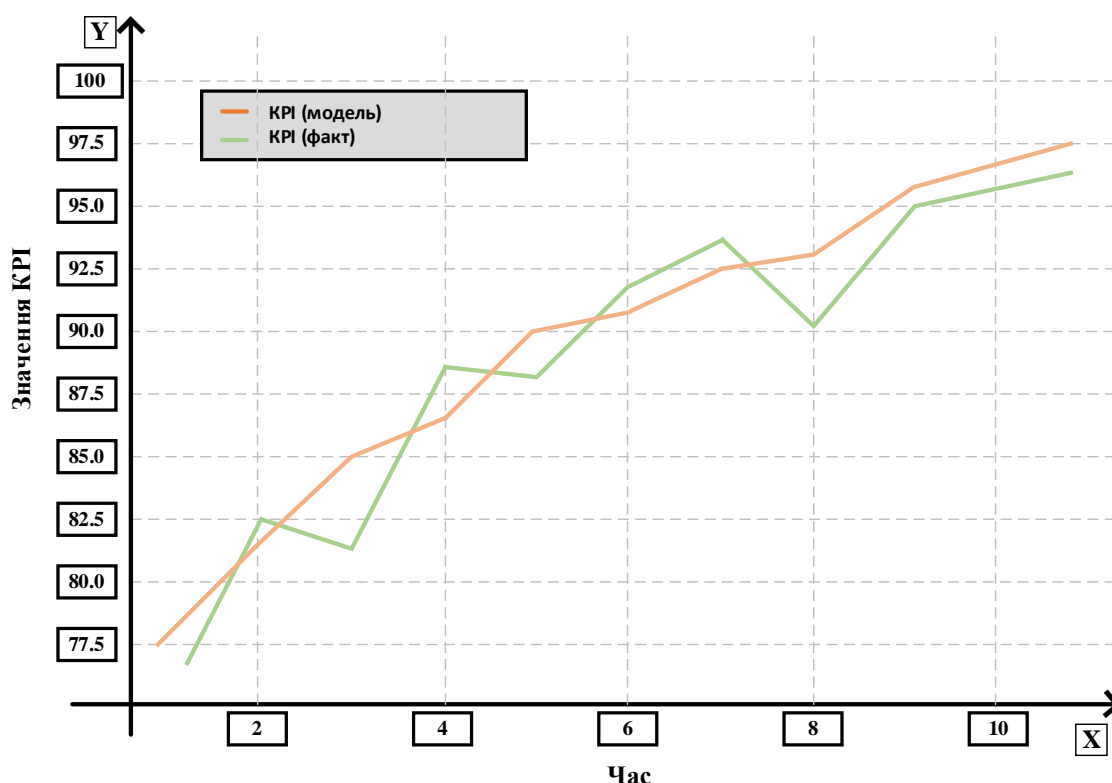


Рис. 6.21. Порівняння фактичних і модельних значень КРІ у процесі верифікації управлінської моделі (розроблено автором на основі [79])

Ще одним важливим кроком є перевірка здатності моделі до адаптації, що особливо актуально в умовах мінливого середовища. У разі, коли модель повинна “вчитися” на основі нових даних, використовується механізм стохастичного оновлення параметрів:

$$\delta = \delta - \rho \times \frac{dL}{d\delta}, \quad (6.22)$$

де δ — вектор параметрів моделі, ρ — коефіцієнт навчання (learning rate), L — функція втрат, що описує розбіжність між прогнозом і фактом. Цей підхід запозичений з алгоритмів машинного навчання та дозволяє моделі залишатись актуальною при зміні вхідних умов.

Завершальним компонентом алгоритму тестування є формалізоване звітування. У структурі такого звіту доцільно включати:

- матрицю “ціль — КРІ — відхилення”;

- графіки зміни КРІ у часі;
- дашборд похибок (наприклад, у ВІ-системі);
- висновок про відповідність моделі цільовій функції;
- рекомендації з адаптації.

На основі усієї сукупності отриманої інформації приймається управлінське рішення: модель затверджується як робочий інструмент, повертається на доопрацювання або модифікується для інших сценаріїв. Таке рішення є результатом не лише математичної перевірки, а й системного аналізу усього процесу.

Таким чином, алгоритм тестування моделі на основі КРІ — це складна ієрархічна структура, що включає визначення цілей, збір та нормалізацію даних, обчислення похибок, аналіз динаміки, агрегування та валідацію з подальшим стохастичним уточненням. Вона вимагає чіткого технічного виконання, управлінської логіки та інституційної підтримки, і лише в цьому випадку гарантує досягнення високої результативності побудованої моделі [332].

Для всебічного аналізу ефективності моделі було побудовано рисунок 6.22, що відображає розбіжності між модельними і фактичними значеннями КРІ, згрупованими за трьома рівнями управлінських цілей. Така візуалізація дозволяє точно виявити, у яких саме блоках управлінської структури зосереджені найбільші відхилення, що критично важливо для подальшої адаптації або коригування моделі. Саме цей рисунок став основою для формалізованого обчислення середньозваженої абсолютної похибки та підтвердження релевантності розробленого підходу.

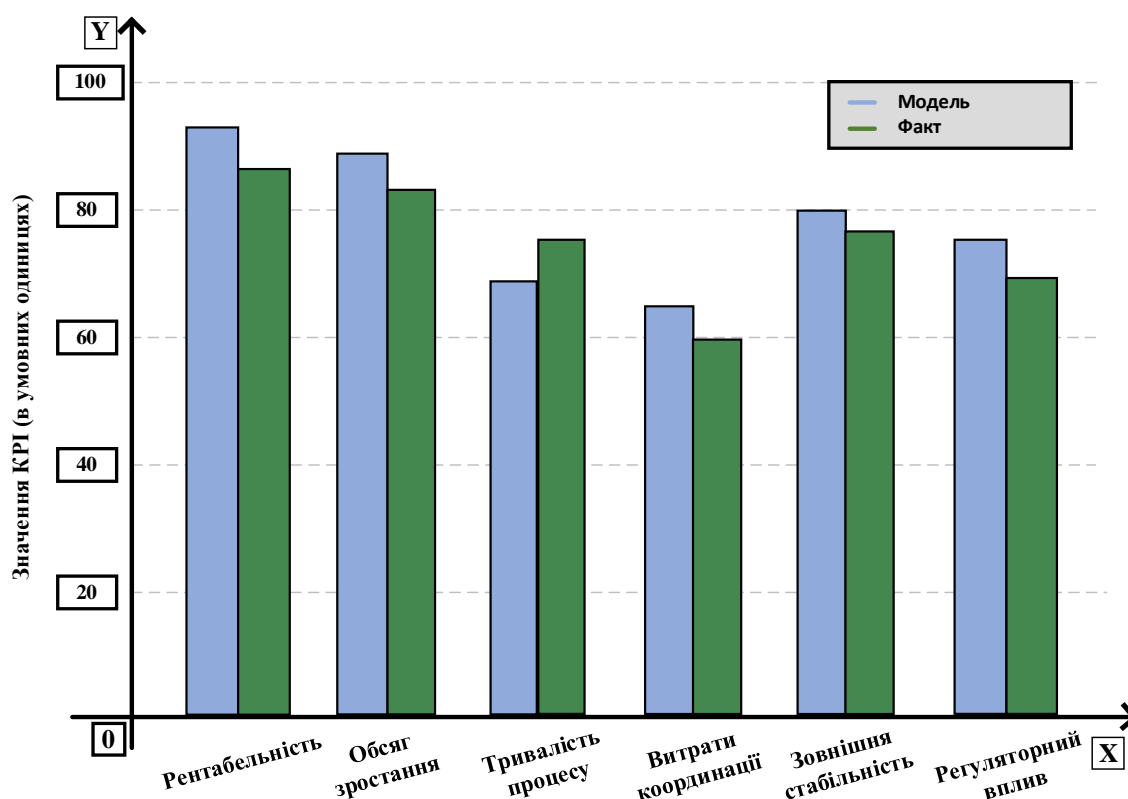


Рис. 6.22. Порівняльна оцінка стратегічних, операційних і контекстуальних КРІ: модельні та фактичні значення (розроблено автором на основі [332])

Однак навіть найретельніше протестована модель не зберігає своєї ефективності назавжди — динаміка зовнішнього середовища, зміна поведінки стейкхолдерів або нові дані можуть порушити початкову рівновагу.

Саме тому наступним етапом після тестування стає формування гнучкого механізму адаптації, в основі якого — система зворотного зв'язку. Вона перетворює статичну модель на динамічну, здатну до навчання, реагування та постійного уточнення своєї внутрішньої логіки.

Після завершення етапу впровадження аналітичної або управлінської моделі постає ключове завдання — побудова механізму її подальшого функціонування, розвитку та корекції відповідно до змін зовнішнього й внутрішнього середовища. В теорії складних систем, зокрема у працях Н. Вінера (теорія керування) і Д. Форрестера (системна динаміка), доведено: ефективність будь-якої моделі визначається не лише її структурою або початковою точністю, а здатністю до самоадаптації. Така здатність реалізується через систему зворотного зв'язку — механізм, який дозволяє моделі реагувати на відхилення від очікуваних значень, фіксувати вплив нових факторів і змінювати внутрішню логіку прийняття рішень.

У прикладному менеджменті поняття зворотного зв'язку часто зводиться до "моніторингу КРІ", однак у науковому значенні йдеться про циклічну систему адаптації, де кожна нова ітерація роботи моделі базується на результатах попередньої. Такі ітерації можуть бути поділені на етапи: (1) фіксація даних; (2) обчислення відхилень; (3) аналітична інтерпретація причин; (4) вибір типу корекції; (5) повторне налаштування параметрів; (6) оцінка результату [300].

Перший крок — створення аналітичної петлі або "feedback loop", у якій дані про реальні значення ключових показників надходять назад у модель. Якщо модель має багатофакторну структуру, то необхідна побудова не однієї, а кількох зворотних петель: окремо для кожної підсистеми. Зокрема, у великих проєктах одна петля контролює ефективність витрат, інша — терміни виконання, ще одна — відповідність ризик-профілю, тощо.

Щоб визначити ефективність реакції моделі на зміну середовища, доцільно оцінити інерційність системи адаптації, тобто відрізок часу між моментом виявлення відхилення та моментом внесення змін у модель. Середній час реагування може бути обчислений так формула:

$$B_r = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n (t_{\text{застосування}}^{(a)} - t_{\text{виявлення}}^{(a)}), \quad (6.23)$$

де $t_{\text{застосування}}^{(a)}$ — час фіксації відхилення за ітерацією a , а $t_{\text{виявлення}}^{(a)}$ — час реалізації змін. Чим менше B_r , тим швидше система реагує — отже, має кращу адаптивність. Якщо ж цей показник перевищує середню тривалість життєвого циклу рішення, модель втрачає актуальність ще до корекції.

Наступною фазою є визначення природи відхилень, що виявляються в моделі. Відхилення бувають випадковими, структурними або сценарними. Випадкові — пов'язані зі статистичними флуктуаціями; структурні — з неврахуванням чинників у базовій структурі; сценарні — з подіями, які раніше не входили в рамки допущень. І саме для роботи з останніми потрібна циклічна оптимізація моделі — поетапне уточнення її логіки [239].

Одним з найбільш ефективних інструментів такої адаптації є ітеративне оновлення параметрів моделі з урахуванням кривини функції втрат, що забезпечує точнішу реакцію на систематичну похибку. Цей підхід широко застосовується у фінансовому прогнозуванні, сценарному плануванні та еволюційній аналітиці. Його суть полягає в тому, що корекція моделі відбувається не лише з урахуванням першої похідної (градієнта), але й другої — тобто враховується "геометрія" простору втрат. Це реалізується через обчислення оберненої гесіанської матриці, формули, що дозволяє гнучкіше налаштувати параметри.

$$\varphi_{t+1} = \varphi_t - M^{-1}(\varphi_t) \times \nabla_{\varphi} L(\varphi_t), \quad (6.24)$$

де: φ_t — вектор параметрів моделі на ітерації t , $M^{-1}(\varphi_t)$ — обернена гесіанська матриця функції втрат L , $\nabla_{\varphi} L(\varphi_t)$ — градієнт функції втрат за параметрами.

Цей метод дозволяє моделі адаптуватися не просто за напрямом найшвидшого зменшення похибки, а за напрямом найоптимальнішого оновлення з урахуванням локальної кривизни поверхні втрат. У прикладних системах така схема значно знижує кількість ітерацій для досягнення стабільності, а також дозволяє уникнути "коливань" у параметрах при наявності нерівномірних даних [153].

Для комплексного аналізу адаптивної здатності моделі було побудовано рисунок 6.23, який відображає одночасну динаміку часу реагування на відхилення, випадкових флуктуацій, структурних зсувів і сценарних збоїв. Такий підхід дозволяє візуалізувати взаємозв'язки між типами відхилень і швидкістю реакції системи, що критично важливо для оцінки її здатності до самокорекції. Рисунок наочно демонструє, як поведінка моделі змінюється під впливом складних зовнішніх чинників і наскільки вона спроможна утримувати стабільність у змінному середовищі.

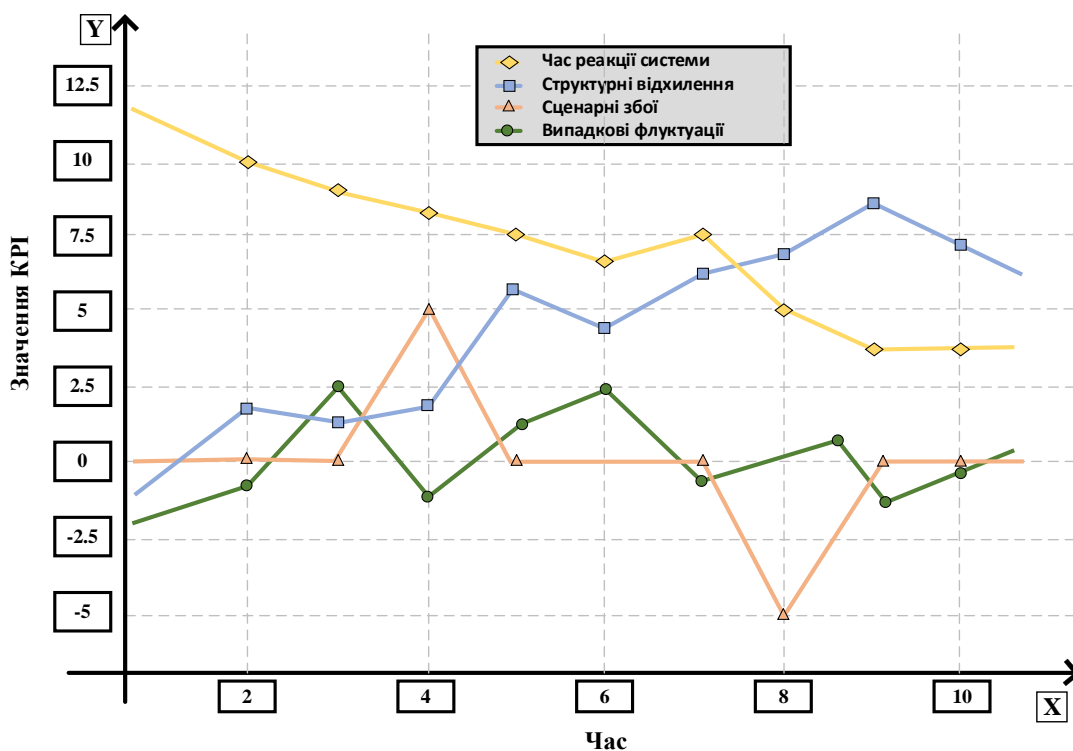


Рис. 6.23. Динаміка адаптації моделі в умовах зворотного зв'язку: час реагування та типи відхилень (розроблено автором на основі [153])

Наступним логічним кроком є моделювання взаємозв'язків між відхиленнями в середовищі та змінами в ефективності моделі. Це досягається побудовою лінійної або нелінійної системи рівнянь, яка описує динаміку моделі під впливом змінних параметрів. Одним із прикладів такої системи є формула:

$$\Delta E = J \cdot \Delta P, \quad (6.25)$$

де ΔE — зміни ключових індикаторів ефективності, ΔP — зміни у зовнішніх факторах (наприклад, зростання вартості ресурсу), а S — матриця чутливості, кожен елемент якої показує, наскільки зміниться показник K за одиничної зміни X . Таку модель часто реалізують у логістиці, фінансах, девелопменті — там, де є багато взаємозалежних змінних.

Ці взаємозв'язки дозволяють будувати петлі зворотного впливу другого рівня, де зміна результату моделі призводить до впливу на зовнішнє середовище. Наприклад, оптимізація логістичного маршруту змінює часову конфігурацію доставки, що впливає на розподілення працівників, що впливає на рівень витрат і, зрештою, на попит на зміну моделі. Таким чином, зворотний зв'язок стає рефлексивним [333].

Циклічну адаптацію також підтримують системи, що автоматично оцінюють релевантність сценаріїв, за якими розвивається модель. Це особливо важливо, коли існує кілька варіантів розвитку подій, і модель повинна вміти перемикатися між ними. Для цього використовують формулу, агрегованої релевантності:

$$f(D) = \sum_{b=1}^m \varepsilon_b(t) \times W_b(t), \quad (6.26)$$

де $\varepsilon_b(t)$ — вага кожного сценарію на момент часу t , $W_b(t)$ — релевантність сценарію відповідно до поточних обставин. Сценарії з високим значенням $f(D)$ обираються як основа для наступної ітерації моделі.

Нарешті, у зрілих цифрових системах зворотного зв'язку реалізується повний цикл самоорганізації: модель сама визначає, коли її точність знижується, які дані потрібні для уточнення, і як змінити параметри. Такі системи часто базуються на архітектурі цифрового двійника (Digital Twin) — віртуального аналітичного представлення системи, яке оновлюється в реальному часі. Застосування Digital Twin дозволяє не лише коригувати параметри, а й моделювати варіанти майбутнього перед тим, як дія буде реалізована в реальності.

Окрім цифрових систем, доцільним є впровадження періодичного аудитного зворотного зв'язку — коли незалежна група аналітиків здійснює ревізію моделі, порівнює її версії, виявляє приховані структурні збої. Аудит особливо корисний у стратегічних моделях, де зміни контексту можуть бути непомітними для локальних алгоритмів адаптації [208].

Щоб оцінити ефективність функціонування адаптивної системи моделі, побудовано рисунок 6.24, який відображає середній час виконання кожного з етапів циклу та відповідний рівень їх автоматизації. Такий формат візуалізації дозволяє одночасно визначити вузькі місця за тривалістю й оцінити потенціал для технічного вдосконалення шляхом автоматизації. Рисунок чітко демонструє, які саме етапи потребують управлінського втручання з метою скорочення затримок і підвищення загальної адаптивності моделі.

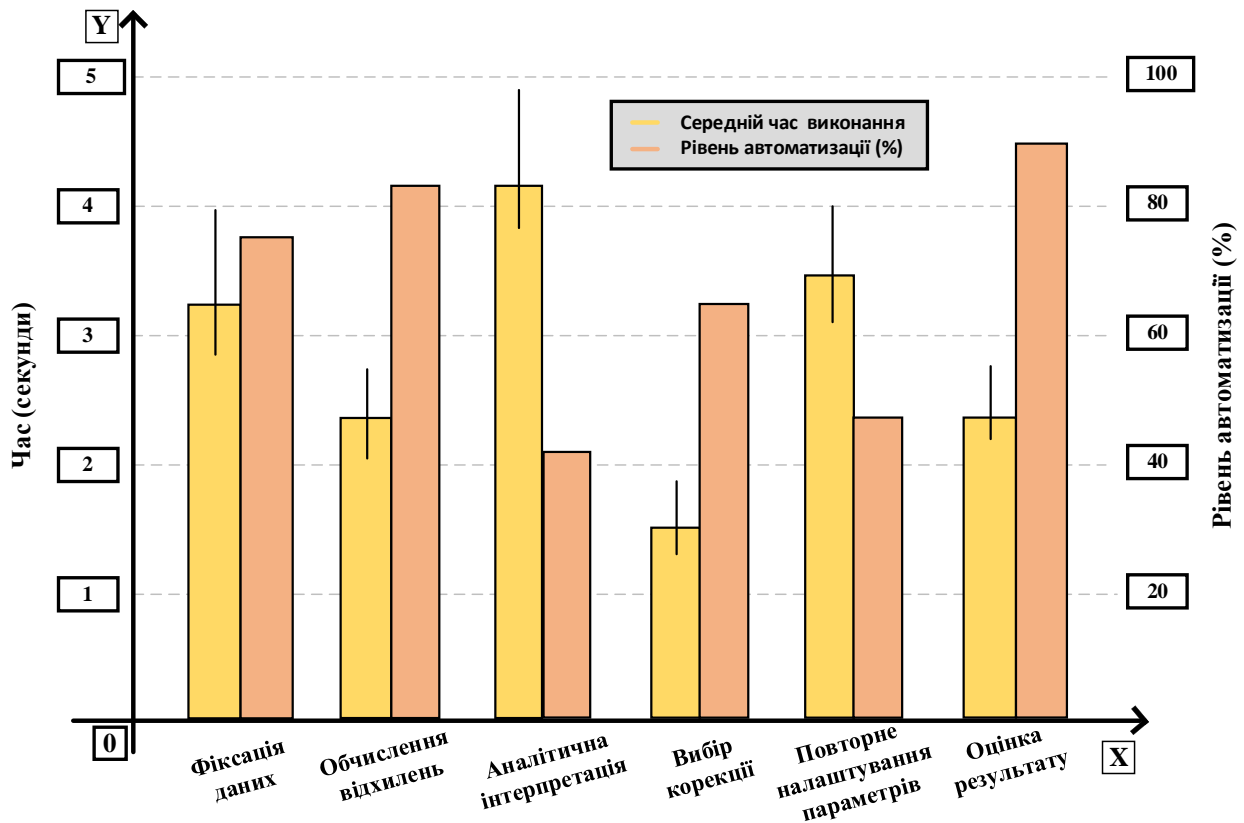


Рис. 6.24. Структурний аналіз етапів адаптаційного циклу: тривалість виконання та рівень автоматизації (розроблено автором на основі [208])

У підсумку, система зворотного зв'язку — це не додаток до моделі, а її продовження. Вона забезпечує динамічну релевантність, адаптивну точність, ефективну реакцію та стратегічну еволюцію. Її формування потребує аналітичної компетентності, цифрової архітектури, алгоритмічної гнучкості та інституційної волі — лише тоді вона перетворюється на основу стійкого управління, а не на тимчасовий засіб контролю.

РОЗДІЛ 7. ПРОЄКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЯМИ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

7.1. Алгоритм вибору виконавців проєктів інвестором на основі конкурентоспроможності підрядних організацій

В умовах зростаючої конкуренції у будівельному секторі та підвищених вимог до ефективності реалізації інвестиційних проєктів актуалізується потреба в системному підході до вибору виконавців проєктів. Інвестори дедалі частіше розглядають не лише цінові пропозиції, а й комплексний рівень конкурентоспроможності підрядних організацій, що охоплює фінансову стійкість, досвід реалізації схожих об'єктів, репутаційні індикатори, кадрову компетентність та здатність до інноваційної адаптації. Саме на основі цих параметрів формується алгоритм відбору, який дозволяє знизити ризики, пов'язані з невиконанням термінів, перевищенням бюджету та неякісним виконанням робіт.

Конкурентоспроможність підрядної організації є багатовимірною характеристикою, що має не лише відносну природу (у порівнянні з іншими учасниками), а й динамічну складову, пов'язану з адаптивністю до ринкових змін. Вона формується на перетині зовнішніх і внутрішніх чинників, де зовнішніми виступають економічна кон'юнктура, регуляторне середовище, ринкова репутація, а внутрішніми – організаційна структура, операційні моделі, цифрова зрілість та кадрова політика. Відтак, оцінка конкурентоспроможності повинна бути методологічно вивіреною, із залученням аналітичних інструментів, зокрема рейтингових шкал, бальної оцінки та систем багатокритеріального аналізу [206].

Для досягнення об'єктивності та прозорості процесу вибору виконавця інвестору доцільно використовувати алгоритм, який структуровано розділяє послідовність дій на кілька етапів, кожен з яких має чітко окреслену мету та набір критеріїв. На рівні концептуального проєктування цей алгоритм виступає як логічна модель прийняття рішень, в якій зосереджено як стратегічні, так і тактичні компоненти. Базовими параметрами виступають попередня кваліфікація, попередній аналіз результатів діяльності підрядника, його участь у референтних проєктах та інтегральна оцінка за шкалою конкурентоспроможності. Для забезпечення структурованого та логічно послідовного підходу до вибору виконавця інвестору доцільно спиратися на формалізований алгоритм, який враховує не лише економічні та технічні показники, але й стратегічні аспекти конкурентоспроможності підрядника. Такий алгоритм дозволяє поетапно звзвити коло претендентів, починаючи від формування вимог і збору даних, до комплексної оцінки, рейтингування та фінального ухвалення рішення [106]. Окрему увагу приділено гнучкості структури, що дозволяє адаптувати її під специфіку конкретного будівельного проєкту. Як ми бачимо на рисунку 7.1, процес відбору включає дев'ять ключових етапів, кожен з яких логічно пов'язаний із наступним і забезпечує поступове підвищення точності відбору виконавця.

Розробка такого алгоритму вимагає інтеграції аналітичних методів, серед яких особливе місце займають методи багатокритеріальної оцінки. Зокрема, у практиці сучасного будівництва доволі ефективними виявилися методи, засновані на модифікованій АНР-методології (аналіз ієрархій Сааті), fuzzy-логіці та методі TOPSIS. Застосування цих підходів дозволяє зменшити суб'єктивність прийняття рішень, особливо в ситуаціях, коли параметри не є однозначно вимірюваними або мають якісну природу. Крім того, у випадку великої

кількості претендентів, аналітична система може бути доповнена модулем машинного навчання для попереднього кластерного аналізу.

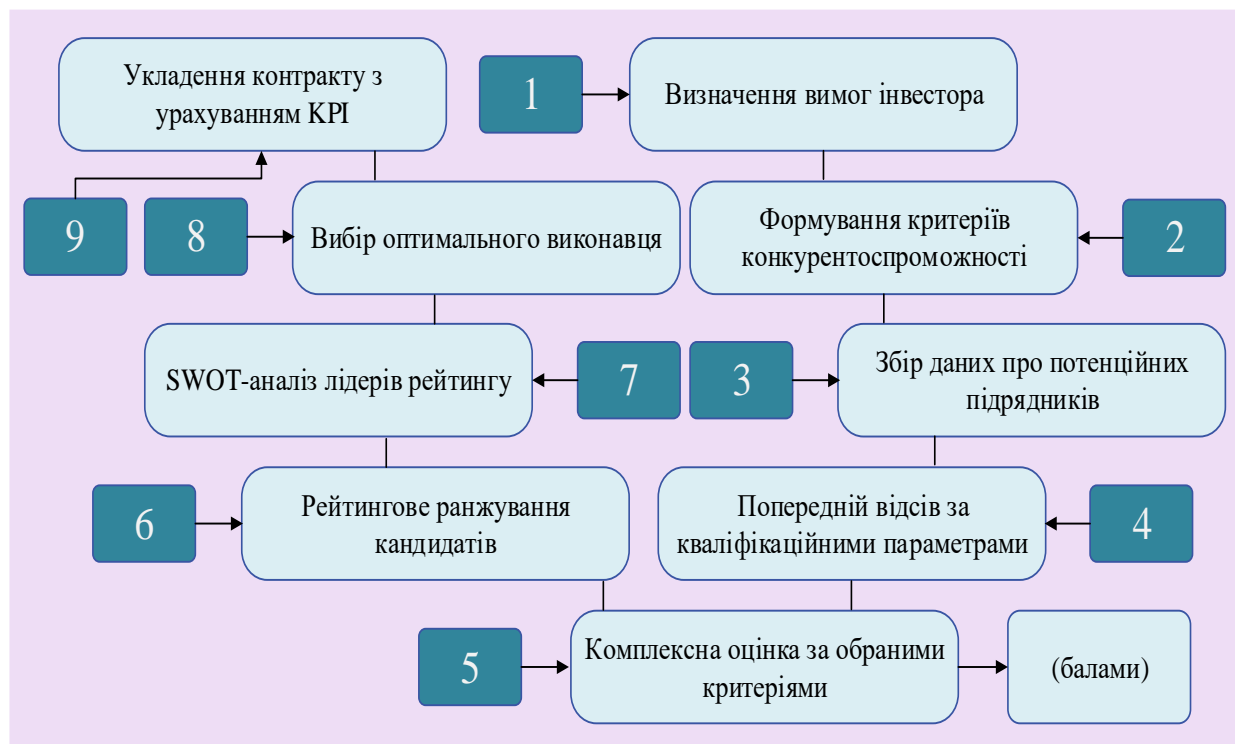


Рис. 7.1. Алгоритм вибору виконавця проекту інвестором на основі конкурентоспроможності підрядних організацій (розроблено автором на основі [106])

Важливим етапом алгоритму є саме формування критеріальної бази конкурентоспроможності, яка має враховувати галузеві специфіки та пріоритети конкретного проекту. Наприклад, для складних інфраструктурних проектів пріоритетними можуть бути показники технічної оснащеності, кількість сертифікованих інженерів, досвід у реалізації аналогічних кейсів. Для житлового будівництва – надійність у дотриманні графіків, відгуки замовників та якість постгарантійного обслуговування. Отже, алгоритм повинен бути гнучким, допускаючи як базовий, так і розширений функціонал з ваговими коефіцієнтами залежно від типу проекту.

Наступні блоки алгоритму – це порівняльне оцінювання з використанням системи бальних коефіцієнтів. У цьому контексті доцільним є застосування уніфікованої шкали від 1 до 10 за кожним критерієм із подальшим розрахунком середньозваженої оцінки. Далі, кандидати ранжуються за інтегральним показником, і на фінальному етапі відбувається SWOT-аналіз 3–5 найкращих компаній. Цей метод дозволяє не лише порівняти сильні сторони та ризики, а й адаптувати вибір до специфіки середовища, в якому реалізується проект. Так, навіть менш рейтинговий, але локально адаптований підрядник може мати перевагу завдяки кращому знанню регіональних особливостей або наявності налагоджених зв'язків з контролюючими органами [231].

У сучасному інвестиційно-будівельному середовищі конкуренція між підрядними організаціями стає дедалі більш жорсткою, що обумовлює потребу у чіткому науковому обґрунтуванні поняття конкурентоспроможності. Цей термін охоплює як економічні, так і

управлінські, технологічні, кадрові та репутаційні аспекти діяльності організації. В українському науковому середовищі поняття конкурентоспроможності підприємства досліджували Іванілов О.С. та Дейнеко Л.В., які наголошували на необхідності системного підходу до її оцінювання з урахуванням зовнішніх і внутрішніх чинників. У роботах Захаріна С.М. підкреслюється важливість інтегрування індикаторів ризику, репутації та інституційної сталості в загальну модель оцінки виконавця інвестиційного проекту [225].

З позицій стратегічного управління доцільно враховувати теоретичні напрацювання Майкла Портера, який у своїй класичній концепції конкурентних переваг вказує на важливість відмінностей у ланцюгах створення вартості як ключових джерел сталих переваг на ринку [282].

Таким чином, конкурентоспроможність у цьому контексті набуває динамічного змісту та формується на основі багатофакторного впливу, що включає фінансову стійкість, кадровий ресурс, технічний потенціал, якість реалізованих проектів та цифрову зрілість. Саме тому у подальшому обґрунтуванні доцільним є застосування міждисциплінарного підходу, що поєднує економіку підприємства, стратегічний аналіз, поведінкові підходи та сучасні цифрові інструменти [282].

У межах аналітичного інструментарію для оцінки конкурентоспроможності доцільно використовувати інтегральну модель зваженого оцінювання. Вона дозволяє відобразити вагу кожного критерію та сформулювати узагальнену метрику конкурентного потенціалу організації.

Інтегральний показник конкурентоспроможності:

$$K_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \times C_i, \quad (7.1)$$

де K_{int} — інтегральний показник конкурентоспроможності, w_i — ваговий коефіцієнт для критерію i , C_i — оцінка за критерієм i , n — кількість критеріїв.

У випадках, коли критерії є якісними, експертними або нечітко формалізованими, доцільно застосовувати інструменти нечіткої логіки (fuzzy logic), що передбачають функції належності кожного показника до лінгвістичної категорії.

Нечітке агрегування конкурентоспроможності:

$$K_{fuzzy} = \mu_1(C_1) \otimes \mu_2(C_2) \otimes \dots \otimes \mu_n(C_n), \quad (7.2)$$

де $\mu_i(C_i)$ — функція належності оцінки C_i до нечіткої множини (наприклад, «високий рівень», «середній», «низький»), \otimes — операція згортки (min, max або добуток).

Для зручності застосування в реальних кейсах формується критеріальна таблиця 1, яка вказує на оцінювання з ваговими коефіцієнтами та шкалами.

Як показує модель, підрядник з підсумковою оцінкою $K_{int} = 8.00$ демонструє високий рівень конкурентоспроможності. Такий підхід дозволяє інвестору оперативно та об'єктивно порівнювати потенційних виконавців на основі стандартизованої системи координат.

У межах управлінського процесу інвестування в будівництво критично важливим етапом є формування обґрунтованої системи оцінювання підрядних організацій. Ця система повинна бути достатньо чутливою до змін характеристик учасників ринку, зберігаючи при цьому стандартизовану структуру, яка дозволяє забезпечити прозорість вибору виконавця. Побудова критеріально-індикаторної моделі дає змогу не лише структурувати параметри

оцінки, але й формалізувати процеси порівняння між організаціями, які подаються до участі в тендерах, запрошеннях або конкурсах.

Таблиця 7.1. Приклад критеріальної моделі оцінювання конкурентоспроможності підрядної організації (розроблено автором на основі [219])

№	Критерій	Оцінка (1–10)	Вага w_i	Зважена оцінка $w_i \times C_i$
1	Досвід у реалізації аналогічних проєктів	9	0.20	1.80
2	Фінансова стійкість	8	0.15	1.20
3	Репутація серед клієнтів	7	0.10	0.70
4	Інноваційність та гнучкість рішень	6	0.10	0.60
5	Кваліфікація управлінського персоналу	9	0.20	1.80
6	Технічна оснащеність	8	0.15	1.20
7	Інституційна та правова надійність	7	0.10	0.70
	Підсумок:			8.00

Методологічно система повинна поєднувати кількісні та якісні індикатори, що оцінюють як результативність, так і потенціал організації. Як підкреслює Смерічевський О.Є., у побудові таких моделей важливо дотримуватися балансу між узагальненими агрегатами (наприклад, інтегральною оцінкою фінансового стану) та детальними індикаторами, які фіксують окремі управлінські чи технічні переваги [256].

Критерії в системі поділяються на базові, розширені та проєктно-специфічні. Базові включають обов'язкові для всіх підрядників індикатори: ліцензії, реєстрацію, банківські гарантії, відгуки. Розширені охоплюють системні характеристики: фінансову звітність, структуру персоналу, наявність власної техніки, історію виконаних контрактів. Специфічні адаптуються під конкретний тип об'єкта: наприклад, участь у інфраструктурному будівництві, знання норм безбар'єрного середовища, досвід з LEED/BREEAM-сертифікацією, тощо.

Для агрегування таких оцінок пропонується побудова багаторівневої ієрархічної моделі, яка має загальний вигляд згортки матриць у підмодулі, з подальшим переходом до інтегрального показника.

Багаторівнева інтегральна оцінка конкурентоспроможності:

$$K_{total} = \sum_{j=1}^m w_j \times K_j = \sum_{j=1}^m w_j \times \left(\sum_{i=1}^{n_j} w_{ij} \times C_{ij} \right), \quad (7.3)$$

де K_{total} — загальна конкурентна оцінка, K_j — агрегований індекс для критеріального блоку j , w_j — вага блоку j , w_{ij}, C_{ij} — відповідно ваговий коефіцієнт та оцінка по індикатору i всередині блоку j , m — кількість блоків, n_j — кількість індикаторів у j -му блоці.

Для побудови ефективної моделі оцінювання виконавців у будівельних проєктах важливо не лише визначити релевантні критерії, але й структурно впорядкувати процес інтеграції індикаторів у загальну систему прийняття рішень. У цьому контексті багаторівнева критеріальна система дозволяє адаптувати індикатори під різні типи проєктів і масштаб підприємств, не втрачаючи при цьому об'єктивності та логічної цілісності.

Структура такої системи включає три послідовних рівні критеріїв — від загальних регламентних вимог до специфічних характеристик, притаманних конкретному об'єкту чи галузевому середовищу. Як ми бачимо на рисунку 7.2, логіка побудови моделі відображає чітку послідовність дій: від ієрархізації критеріїв і побудови матриці ваг — до обчислення інтегрального показника та ранжування підрядників [82].



Рис. 7.2. Побудова багаторівневої критеріальної системи
(розроблено автором на основі [8])

Ця система дозволяє не лише структуровано аналізувати підрядні організації, а й робить можливим адаптивне налаштування під тип проекту, географію або профіль складності. У результаті інвестор отримує гнучкий, адаптивний інструмент для прийняття рішень, який базується на багаторівневій об'єктивній моделі.

Застосування такої багаторівневої критеріальної системи дозволяє інвестору перейти від інтуїтивного або формально-бюрократичного підходу до вибору підрядника до аналітично обґрунтованої процедури, що знижує ймовірність стратегічних помилок. Важливо, що кожен етап, від формування вимог до фінального ранжування, має прозору логіку і може бути верифікований незалежними аудиторами або контролюючими органами. Це особливо актуально в умовах державного інвестування або реалізації публічно-приватних проєктів, де прозорість та обґрунтованість рішень мають не лише економічну, а й соціальну вагу.

Крім того, така система легко інтегрується в цифрові середовища: модулі CRM, ERP, а також програмні комплекси типу eTender, дозволяють автоматизувати заповнення анкет, генерування вагових матриць, перевірку відповідностей і виведення підсумкових оцінок у форматі інфографіки. Такий рівень автоматизації формує нову якість управління відбором виконавців, в якій рішення ґрунтується на верифікованих даних, а не на ситуативних чи особистих перевагах.

У практиці будівельного інвестування процес вибору виконавців є багатофакторним і багатокритеріальним, що зумовлює потребу в застосуванні спеціалізованих методів аналізу,

які здатні врахувати як кількісні, так і якісні параметри. Як зазначає Герасимчук З.В., для таких завдань доцільно впроваджувати інструменти багатокритеріального аналізу, які дозволяють перетворювати експертну оцінку на структуровану модель прийняття рішень. Особливо це актуально у тих випадках, коли конкуренція між підрядними організаціями відбувається в умовах інформаційної асиметрії та обмеженої прозорості показників [82].

Класичні підходи до багатокритеріального аналізу представлені низкою методів, зокрема методом аналізу ієрархій (АНР), методом зважених оцінок (SAW), методом близькості до ідеального рішення (TOPSIS), а також нечіткими (fuzzy) і нейромережевими підходами. Метод АНР, створений Томасом Сааті, став базовим інструментом при структуризації ієрархії критеріїв у складних рішеннях, що включають суб'єктивні оцінки експертів. Він дозволяє побудувати дерева рішень, у яких відбувається попарне порівняння альтернатив і визначення ваг критеріїв, що особливо корисно для невеликих множин підрядників.

У свою чергу, метод TOPSIS, як стверджують деякі науковці, забезпечує обґрунтоване ранжування альтернатив за відстанню до умовно найкращого і найгіршого варіанта, що дозволяє виявити найбільш збалансоване рішення у випадку конфліктних критеріїв [212]. У математичному вигляді цей підхід реалізується на основі евклідової метрики:

Відстань до ідеального та антиідеального рішень (TOPSIS):

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2, \quad D_i^- = \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2, \quad (7.4)$$

де v_{ij} — нормалізоване значення критерію j для альтернативи i , v_j^+ , v_j^- — відповідно найкраще та найгірше значення за критерієм j , D_i^+ , D_i^- — відстані до ідеального і антиідеального рішення.

В умовах, коли рішення базуються на оцінках лінгвістичного типу («високий рівень надійності», «середній досвід» тощо), ефективними є методи, засновані на нечіткій логіці. Як доводять Богуславський Є.С. та Мороз І.С., fuzzy-методи дозволяють агрегувати суб'єктивні оцінки експертів у структуровану шкалу через функції належності, забезпечуючи високу адаптивність до нечислових змінних.

Аналіз прикладної ефективності методів багатокритеріального аналізу в управлінні будівельними рішеннями дає змогу порівняти їхню гнучкість, точність та адаптивність до різних умов.

Для обґрунтованого вибору методології, яка буде інтегрована в алгоритм відбору підрядника, доцільним є проведення порівняльного аналізу найбільш вживаних підходів багатокритеріального оцінювання [109]. Це дозволяє врахувати специфіку вхідних даних, характер управлінської ситуації та рівень доступу до експертної інформації. Як видно з таблиці 7.2, кожен із методів має свої сильні сторони й обмеження, що визначає доцільність їх застосування у тій чи іншій ситуації.

Щоб інвестор або аналітик міг ефективно обрати релевантний інструмент багатокритеріального аналізу, необхідно дотримуватись чіткої логіки оцінки типу даних, специфіки проекту та рівня деталізації інформації. На рисунку 7.3 відображено поетапний підхід до вибору методу МКАО, який може бути інтегрований у загальний алгоритм прийняття рішень щодо виконавця [48].

Таблиця 7.2. Порівняння методів багатокритеріального аналізу для оцінки підрядників
(розроблено автором на основі [109])

Метод	Переваги	Обмеження	Застосування
АНР	Висока точність у невеликих вибірках	Низька масштабованість	Детальна експертиза
TOPSIS	Логічність та наочність	Чутливість до нормалізації	Обґрунтоване ранжування
ELECTRE	Підходить для суперечливих рішень	Висока складність реалізації	Багаторівнева модель
SAW	Простота впровадження	Лінійність ваг не враховує взаємодії	Початкові оцінки
Fuzzy АНР	Працює з нечіткими оцінками	Потребує складного налаштування	Якісні рішення

Таким чином, багатокритеріальні методи аналізу дозволяють забезпечити системну, прозору та адаптивну процедуру вибору виконавців проєктів, орієнтовану як на кількісні метрики, так і на суб'єктивно-експертні оцінки. Інтеграція таких моделей у загальний алгоритм прийняття рішень дає змогу інвестору мінімізувати ризики та підвищити ефективність реалізації будівельних програм.



Рис. 7.3. Вибір інструменту багатокритеріального аналізу
(розроблено автором на основі [48])

Застосування інструментів багатокритеріального аналізу має не лише теоретичне значення, але й чітко виражену практичну користь у процесі відбору виконавців інвестиційно-будівельних проєктів. Як показує аналіз реальних кейсів, використання методів АНР або TOPSIS дозволяє зменшити час на прийняття рішення до 40–60%, одночасно підвищуючи обґрунтованість вибору [144]. Крім того, у багатьох випадках аналітичне

ранжування підрядників розкриває невидимі для інвестора ризики, пов'язані зі слабкими фінансовими або технічними параметрами, які важко виявити без структурованого підходу. Нижче наведено приклад оцінювання конкурентоспроможності трьох підрядників методом TOPSIS з урахуванням чотирьох ключових критеріїв: фінансова стійкість, технічна база, досвід та репутація у вигляді таблиці 7.3.

Таблиця 7.3. Застосування методу TOPSIS для оцінки підрядників
(розроблено автором на основі [144])

Критерій / Підрядник	Вага w_j	Компанія А	Компанія В	Компанія С
Фінансова стійкість	0.30	8	6	9
Технічна база	0.25	7	9	6
Досвід у проєктах	0.25	6	7	9
Репутація серед замовників	0.20	8	9	7
Нормалізовані значення				
Відстань до ідеалу D_i^+	–	0.153	0.112	0.169
Відстань до антиідеалу D_i^-	–	0.093	0.127	0.075
Індекс близькості C_i	–	0.378	0.531	0.308

У наведеному прикладі видно, що Компанія В має найвищий індекс близькості до ідеального рішення ($C_i = 0.531$), що вказує на її перевагу при розгляді як потенційного виконавця. Така таблиця може бути інтегрована в електронну систему відбору й автоматизовано обрахована в середовищі Excel, Python або спеціалізованих CRM/ERP-модулях для девелоперських компаній.

7.2. Побудова організаційної структури реалізації дослідження: взаємозв'язки елементів управління інвестиційними проєктами в галузі будівництва

Побудова організаційної структури реалізації дослідження в контексті управління інвестиційними проєктами в будівництві потребує не лише визначення ключових функціональних блоків, але й глибокого розуміння логіки їхньої взаємодії. В умовах зростаючої складності девелоперських ініціатив, зростання вимог до дотримання нормативних регламентів та підвищеного інтересу інвесторів до прозорості процесів, організаційна структура має охоплювати не тільки класичні ієрархічні рівні управління, а й включати інструменти цифрової аналітики, комунікаційних технологій і ризик-орієнтованих модулів. Відтак, основою побудови організаційної системи виступає принцип інтеграції управлінських елементів із дослідницьким підходом, орієнтованим на постійне оновлення рішень згідно з отриманими даними впродовж реалізації проєкту.

У сфері будівництва інвестиційний проєкт часто виступає як відкрита система, що функціонує в умовах багатофакторної невизначеності та динамічного середовища. Це зумовлює необхідність адаптивного налаштування взаємозв'язків між суб'єктами управління: інвестором, замовником, технічним замовником, проєктантами, виконавцями, контролюючими органами та аналітичними структурами. У кожному випадку формується індивідуальний ланцюг інформаційного, ресурсного й управлінського забезпечення, який повинен бути систематизований в єдину дослідницько-управлінську структуру, що здатна

фіксувати відхилення, оцінювати ризики, моделювати сценарії розвитку та реалізовувати рішення у межах гнучкої логіки управління [73].

Важливим аспектом побудови організаційної структури є узгодженість функціонального розподілу завдань між елементами, що формують управлінську систему інвестування. Така система передбачає не тільки вертикальну координацію (від вищого стратегічного рівня до виконавчого), а й горизонтальну синхронізацію — між фахівцями, підсистемами і цифровими модулями. При цьому особливу роль відіграє інституційна логіка розміщення управлінських функцій у структурі реалізації проєкту — зокрема, це стосується поділу відповідальності між замовником і технічним замовником, розміщення блоків ризик-менеджменту та інтеграції цифрової аналітики у процес контролінгу. У межах побудови організаційної структури управління інвестиційним проєктом у сфері будівництва важливо візуалізувати ключові функціональні блоки та логіку їх взаємодії [2]. Це дозволяє краще зрозуміти, як саме координуються рішення між стратегічними, технічними, фінансовими та аналітичними рівнями. Як видно з наведеного рисунка 7.4, структура базується на послідовному проходженні інформації та відповідальності від інвестора до безпосередніх виконавців, з активною участю спеціалізованих управлінських центрів.

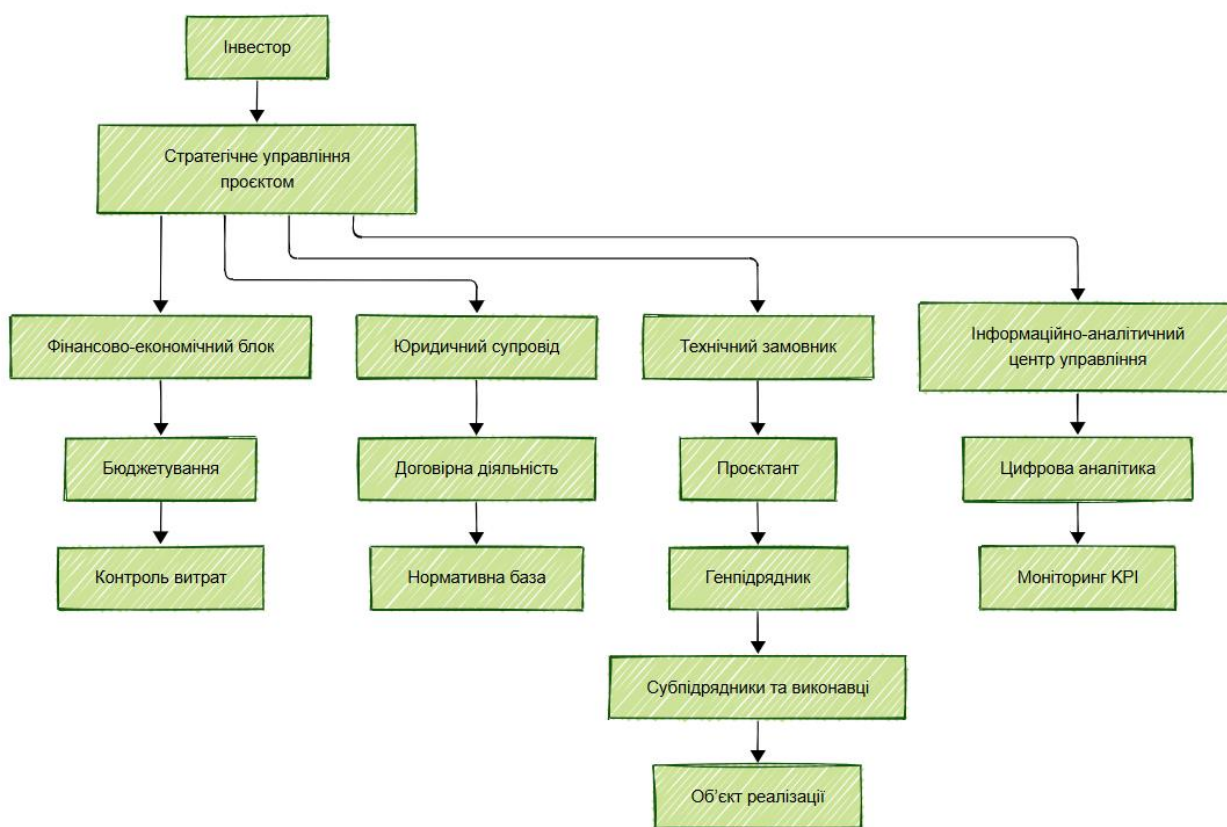


Рис. 7.4. Взаємозв'язки елементів управління інвестиційними проєктами в будівництві (розроблено автором на основі [148])

У подальшому формування цієї структури має враховувати сучасні принципи управління — такі як адаптивність, сценарне мислення, децентралізована відповідальність і цифрова інтегрованість. Це означає, що реалізація проєкту повинна базуватись на постійній взаємодії між даними, рішеннями і практиками, що змінюються у реальному часі залежно від отриманої інформації. У цьому контексті особливої ваги набувають цифрові інформаційні

системи (BIM, CRM, ERP), що формують основу аналітичного контуру управління, дозволяючи не лише візуалізувати хід реалізації, а й виявляти потенційні вузькі місця на ранніх етапах.

Ключовим у побудові організаційної структури є поєднання ієрархічного управління зі сітьовими механізмами координації. У класичній ієрархії відбувається вертикальна передача рішень, проте в будівництві дедалі більше використовується механізм “операційного хаба”, де функції управління розподіляються за логікою прямих взаємодій між автономними модулями. Наприклад, модуль фінансового супроводу безпосередньо інтегрується з системою ризик-менеджменту, а не тільки з генеральним координатором проекту. Такий підхід дозволяє зменшити час на реакцію в умовах динамічної зміни параметрів середовища, а також полегшує перехід до Agile- або Lean-підходів.

Формалізуючи аналітичну структуру, доцільно ввести показники ефективності взаємодії між елементами управління. Це можуть бути інтегральні індикатори узгодженості дій, швидкості прийняття рішень, ступеня ризик-контролю та відповідності етапів проекту стратегічним орієнтирам. Такі метрики не лише підвищують прозорість, а й дозволяють формувати матрицю відповідальності (RACI), що є базовим інструментом в управлінні складними будівельними ініціативами. На її основі можна конструювати динамічні сценарії перебігу подій залежно від зміни внутрішніх або зовнішніх факторів [148].

У межах дослідження, організаційна структура виступає не як фіксована ієрархія, а як адаптивна платформа прийняття рішень. Вона включає формальні та неформальні канали комунікації, блоки управління знаннями, цифрові панелі моніторингу (dashboard), а також спеціальні робочі групи, що орієнтовані на вирішення вузькопрофільних завдань. Такий формат реалізації структури дозволяє одночасно зберігати дисципліну виконання проекту та забезпечувати інноваційність підходів, що є ключовим чинником в успішній реалізації інвестицій у будівництві.

Формування функціонально-аналітичних блоків в організаційній структурі управління інвестиційними проектами у будівництві є ключовим аспектом створення цілісної адаптивної системи. Успішна реалізація складних девелоперських ініціатив потребує не лише горизонтальної й вертикальної координації рішень, але й злагодженої взаємодії між окремими функціональними блоками, кожен з яких виконує специфічну роль у контурі управління. Йдеться про бюджетування, технічний контроль, ризик-менеджмент, цифрову аналітику та комунікаційний супровід, які мають працювати як єдина система із динамічними параметрами.

У практиці українських компаній, зокрема BudCapital, та міжнародних корпорацій на зразок Skanska, спостерігається тенденція до концентрації ключових функцій у єдиному аналітичному центрі. Такий центр акумулює дані з різних блоків, виконує первинну та вторинну обробку інформації, розраховує показники ефективності (KPI), моделює ризикові ситуації та формує інформаційні рекомендації для прийняття управлінських рішень. У цій логіці відбувається перехід від класичної ієрархічної координації до адаптивного розподілу функцій у мережевому середовищі [135].

Формалізована взаємодія між блоками може бути представлена у вигляді математичної моделі, що враховує інформаційний обмін і вплив зовнішніх чинників:

$$\Phi_{ij}(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_{ik} \times \beta_{kj}(t) + \delta_{ij}(t), \quad (7.5)$$

де $\Phi_{ij}(t)$ — інтегральний вплив i -го блоку на j -й у момент часу t , α_{ik} — матриця впливу між блоками, $\beta_{kj}(t)$ — інтенсивність інформаційного обміну, $\delta_{ij}(t)$ — поправка на зовнішні чинники (екзогенні збурення).

Важливим є і врахування часових горизонтів управління. Аналітичні блоки повинні адаптуватися до стратегічного, тактичного та оперативного рівнів планування. Наприклад, технічний замовник має вирішувати задачі в оперативному режимі (логістика, координація підрядників), тоді як аналітичний центр виконує роль довгострокового прогнозіста вартості ресурсів, рівня попиту, ефективності портфеля проєктів [14].

У таблиці 7.4, яка знаходиться нижче, наведено узагальнену характеристику ключових функціонально-аналітичних блоків у системі управління.

Таблиця 7.4. Характеристика аналітичних блоків у межах організаційної структури управління проєктом (розроблено автором на основі [4])

Назва блоку	Основні функції	Часовий горизонт	Інструменти реалізації
Бюджетно-фінансовий блок	Планування витрат, оптимізація кошторису, моніторинг платежів	Тактичний/оперативний	ERP-системи, Excel-моделі, PERT-Cost аналіз
Аналітичний центр управління	Збір даних, аналіз KPI, оцінка ризиків, формування сценаріїв	Стратегічний/тактичний	BI-системи, Power BI, Tableau, DSS
Технічний замовник	Контроль проєктної документації, організація підрядників	Оперативний	CAD-системи, архітектурні платформи
Контроль якості	Оцінка відповідності, тестування матеріалів і рішень	Оперативний/тактичний	Check-листи, лабораторний контроль, SOP

Інтеграція аналітичних блоків вимагає від організаційної структури високої ступені адаптивності. Її можна досягти через застосування мультиагентного підходу, в якому окремі підсистеми мають здатність до автономного реагування на зміни. Відповідна поведінка може бути описана наступною формулою:

$$R(t) = \int_0^T (\gamma_1 D_{loc}(\tau) + \gamma_2 D_{glob}(\tau)) d\tau, \quad (7.6)$$

де $R(t)$ — рівень реакції системи в момент часу t , $D_{loc}(\tau)$ — локальні збурення (внутрішні аномалії процесу), $D_{glob}(\tau)$ — глобальні впливи (зовнішні події, ризики) γ_1, γ_2 — вагові коефіцієнти, що визначають чутливість системи, τ — змінна інтегрування, що охоплює часовий горизонт від 0 до T .

Таким чином, функціонально-аналітичні блоки є не просто складовими організаційної структури, а основою адаптивного механізму управління, який спирається на логіку прогнозування, синхронізації дій і аналітичної підтримки рішень. Їхнє належне формування

та інтеграція — запорука стійкої реалізації інвестиційних проєктів в умовах динамічного середовища.

Цифровізація інвестиційного управління у будівельній сфері стала не просто трендом, а необхідною умовою адаптивності, гнучкості та прозорості системи. В сучасному проєктному середовищі саме цифрові платформи формують логіку оперативної та стратегічної координації між усіма елементами управління.

Формування наскрізної цифрової взаємодії між модулями стало основою нових структур організації — зокрема, на рівні інтегрованих систем BIM, CRM, ERP, які поєднуються в рамках інформаційного ядра управлінського середовища. Як зазначає О. В. Хома, саме побудова цифрового середовища дозволяє забезпечити узгодження операційних процесів, автоматизацію документопотоків і своєчасне оновлення аналітичної інформації [322].

Результатом такої інтеграції стає нова конфігурація архітектури управління — мережево-контурна, в якій кожен модуль функціонує як активний агент у загальній цифровій системі. Управлінські блоки аналітики, фінансів, тендерного супроводу, контролю якості й комунікації перестають бути ізольованими і працюють через спільну цифрову інфраструктуру.

У межах цифрової трансформації управлінських процесів у будівництві ключову роль відіграє структурована взаємодія між окремими модулями інформаційної системи. Саме узгоджена робота аналітичних, контролінгових, технічних і фінансових елементів у єдиному цифровому середовищі формує основу для оперативного прийняття рішень, своєчасного реагування на ризики та стратегічного прогнозування. Як ми бачимо на рисунку 7.5, така структура забезпечує циркуляцію даних між BIM-моделлю як вихідним джерелом інформації, аналітичними модулями, що генерують показники ефективності, а також контролінговими блоками, які забезпечують управління на основі KPI та сценарних моделей [76].

Щоб обґрунтувати ефективність цифрових технологій як інструменту координації, доцільно звернутися до математичного моделювання процесів інформаційного обміну між управлінськими модулями. Такий підхід дозволяє кількісно описати складні взаємодії, враховуючи фактори часу, ваги каналів передачі даних та можливі втрати. Особливо важливим є формалізоване уявлення про динаміку інформаційного навантаження, оскільки саме воно визначає пропускну здатність цифрової інфраструктури проєкту, її стійкість до зовнішніх впливів та здатність до адаптації. На цьому ґрунті вводиться загальне рівняння цифрового інформаційного балансу:

$$I(t) = W \times S(t) + \varepsilon(t), \quad (7.7)$$

де $I(t)$ — вектор цифрових навантажень у момент часу t , W — матриця вагових коефіцієнтів зв'язків, $S(t)$ — цифрові сигнали між модулями, $\varepsilon(t)$ — шум інформаційного середовища.

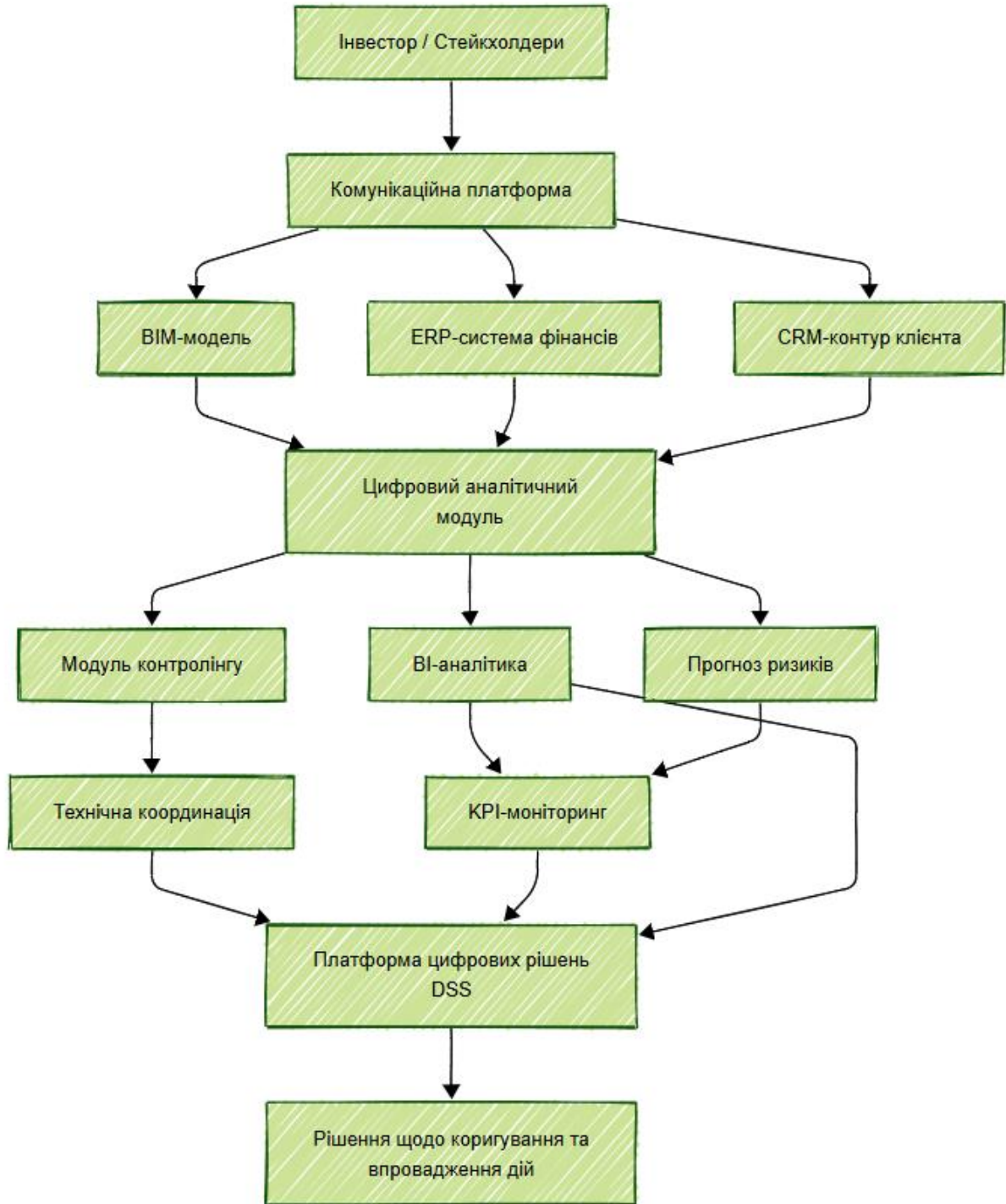


Рис. 7.5. Цифрова взаємодія управлінських елементів у будівельному проєкті
(розроблено автором на основі [76])

Використання єдиної цифрової платформи значно підвищує ефективність управління ризиками. Вітчизняний дослідник В. В. Козловський наголошує, що інтеграція даних із систем контролінгу до цифрових аналітичних модулів дозволяє скоротити до 40% часу на виявлення та реакцію на потенційні збої у виконанні будівельних етапів.

На основі аналізу, проведеного Н. А. Гнатушем, було виявлено, що впровадження наскрізного цифрового середовища знижує адміністративні витрати в будівництві на 12–15% завдяки зменшенню дублювання функцій та автоматизації технічних звітів. Це ще раз

підтверджує доцільність інтеграції ERP і CRM з платформами моніторингу ризиків та KPI [121].

Щоб забезпечити найкраще функціонування цифрового середовища, необхідно дотримуватись принципу оптимального розподілу інформаційного навантаження:

$$Q_{opt} = \max \left[\frac{\sum_{i=1}^n \theta_i \times D_i}{T_i + \lambda_i} \right], \quad (7.8)$$

де θ_i — вага критичності каналу, D_i — обсяг переданих даних, T_i — час обробки, λ_i — затримки через інтерфейси.

Проведене порівняння проєктів, описаних у звітах ДП «ДІПРОМІСТО» та у практиці «Інтергал-Буд», показує, що навіть часткова цифровізація процесів призводить до скорочення термінів реалізації на 18–22% у великих житлових комплексах.

Цифрова інтеграція в управлінні стає не просто інструментом, а основою формування поведінкової моделі проєкту, де взаємодія всіх учасників базується на даних, а не на інтуїції чи адміністративному тиску.

Сучасні інвестиційні проєкти у будівництві характеризуються високим ступенем невизначеності: чисельна складність, мінливі параметри середовища, багаторівнева задіяність учасників, – все це потребує гнучких механізмів координації, які поєднують централізоване управління та сценарну адаптивність.

Як зауважує Роббі Суетанто та співавтори, у своєму дослідженні з *scenario planning* для будівельних компаній, сценарна модель координації дозволяє формувати спільне бачення майбутніх викликів і заздалегідь розподіляти ролі й стратегії реакції. Подібний підхід визнається одним із ключових для підвищення стратегічної стійкості в проєктних трансформаціях.

Пол Дж. Х. Скормейкер, автор численних праць із стратегічного сценарного планування, наголошує: важливо не лише передбачити можливі варіанти майбутнього, а й залучити керівників та ключових стейкхолдерів до розробки реальних дійових логік для кожного сценарію. Адже саме спільне формування сценаріїв сприяє зміцненню координаційних зв'язків у багатокомпонентній системі [89].

За даними Бента Флібверга з його підходом «*reference class forecasting*», стратегічне бачення має спиратися на емпіричні дані аналогічних будівельних проєктів. Це не лише підвищує точність оцінки, але й підсилює здатність системи до своєчасної реакції.

Для повноцінного функціонування сценарного управління в інвестиційно-будівельному середовищі критично важливою є наявність чітко структурованої взаємодії між аналітичними модулями, операційними центрами рішень та керуючим ядром. У складних проєктах ця взаємодія не є лінійною, а формується як система багаторівневої реакції, де кожен сценарний блок діє відповідно до сигналів аналітичної платформи, з наступним циклом перевірки результатів. Така модель дозволяє підвищити адаптивність управлінської структури, уникнути затримок при відхиленнях і створити гнучкий механізм переналаштування проєкту в реальному часі. Як видно з рисунка 7.6, сценарна координація розгортається у вертикальній логіці – від ініціювання до впровадження – із включенням контролю якості рішення на кожному ключовому етапі.

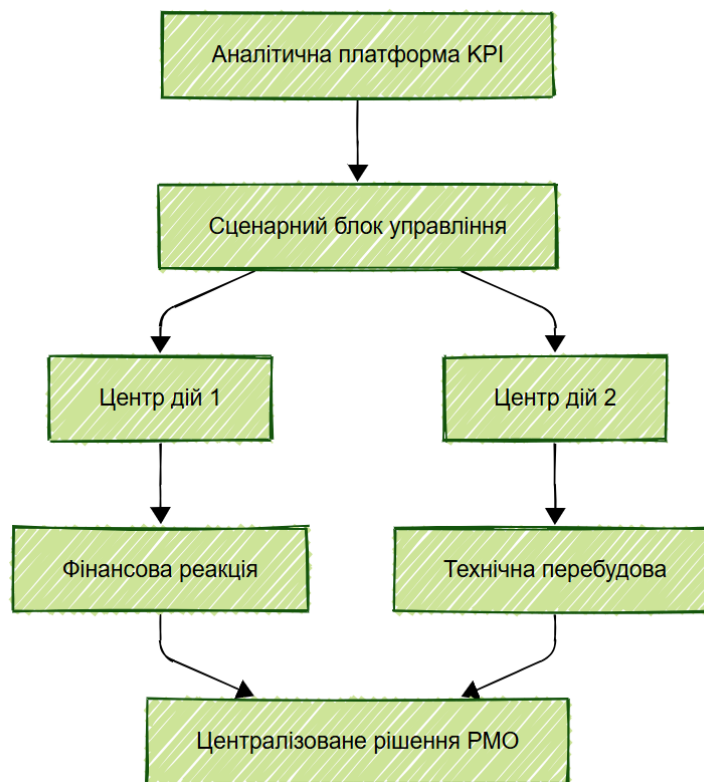


Рис. 7.6. Модель сценарної координації в інвестиційно-будівельному проєкті
(розроблено автором на основі [89])

Для забезпечення чіткого функціонального розмежування ролей та уникнення управлінських конфліктів у межах сценарної структури управління доцільно використовувати інструмент матричного типу – RACI-матрицю. Вона дозволяє візуалізувати, хто саме відповідає за виконання конкретного завдання, хто приймає ключові рішення, хто консультує, а хто лише інформується. У контексті складних інвестиційно-будівельних проєктів це особливо важливо, оскільки координація між аналітичним центром, фінансовим блоком, технічними підрозділами та РМО повинна відбуватись швидко і без дублювання функцій. Нижче подано таблицю 7.5, яка ілюструє типовий розподіл відповідальності у межах сценарної архітектури управління [62].

Дослідження Р. Суєтанто і команди також підкреслюють важливість залучення учасників до процесу планування: це формує спільне бачення, прискорює реакцію на зовнішні ризики та знижує вірогідність невідповідності у виконанні.

Пол Скормейкер додає, що надійна сценарна система має бути інтерактивною: учасники повинні не лише отримувати сценарії, а й брати участь у їх зміні й вдосконаленні, що активізує організаційну солідарність [94].

Застосування RACI-матриці у сценарному управлінні дозволяє створити чітку структуру відповідальності між усіма учасниками процесу, що особливо важливо у випадках швидкої перебудови або змін у зовнішньому середовищі. Вона не лише окреслює, хто приймає рішення, а й унеможливує дублювання функцій, плутанину або втрату часу через неузгодженість у діях між модулями. У межах складної інвестиційно-будівельної структури RACI дає змогу організувати взаємодію між централізованим управлінням і автономними виконавчими центрами, не порушуючи загальної логіки контролю.

Таблиця 7.5. Узагальнена RACI-матриця для сценарної структури управління
(розроблено автором на основі [62])

Функція/Завдання	РМО	Аналітичний центр	Центр дій 1	Центр дій 2	Фінансовий блок
Створення сценаріїв реагування	A	R	C	C	C
Перемикання на альтернативний сценарій	R	C	A	I	I
Виконання фінансових адаптацій	C	C	R	I	A
Погодження та узгодження результатів	A	R	R	R	I

Примітки:

- **R** (Responsible): виконує завдання;
- **A** (Accountable): приймає рішення;
- **C** (Consulted): консультує;
- **I** (Informed): інформується.

Крім того, таблиця дозволяє побачити точки перетину відповідальностей, які часто стають критичними зонами для виникнення ризиків або помилок. Якщо певна функція має одночасно кількох відповідальних, без узгодженої підпорядкованості, це може призвести до паралельного виконання несумісних дій. Саме тому такі матриці часто супроводжуються додатковими регламентами або цифровими панелями контролю, які вбудовуються в систему управління й відслідковують, хто саме і коли активував певний сценарій або прийняв рішення.

RACI також виконує функцію документаційної основи для аудиту, адже за наявності сценарного відхилення її можна використати як реєстр слідів управлінських дій. Це особливо актуально у великих інвестиційних проєктах, де всі рішення мають бути підтверджені прозорими процедурами, збереженими в цифрових системах. У такий спосіб структура управління не лише реагує на зміни, а й формує підґрунтя для правової та операційної верифікації дій кожного учасника.

7.3 Інноваційні конструкції впровадження інтегрованих моделей IPD ECI гібридних структур

У сучасному будівельному середовищі, де інвестиційна складова проєктів дедалі більше залежить від швидкості ухвалення рішень, ефективного управління ризиками та динамічної комунікації між усіма учасниками, класичні моделі реалізації проєктів втрачають свою ефективність. На цьому тлі інтегровані моделі управління, зокрема IPD (Integrated Project Delivery) та ECI (Early Contractor Involvement), набувають все більшої популярності як інструменти, що поєднують стратегічну взаємодію, цифрову координацію та спільну відповідальність. Обидві ці моделі виникли у відповідь на потребу в подоланні розриву між етапами проєктування, планування та будівництва, а їх поєднання в межах гібридних структур створює нові парадигми для реалізації складних проєктів.

IPD передбачає спільну участь всіх основних учасників проекту (замовника, проектувальника, підрядника, субпідрядників, постачальників та консультантів) у єдиній договірній структурі. Ця модель базується на концепції спільного управління, відкритих фінансів, спільного прийняття рішень, а також — інтеграції цифрових технологій у процеси будівництва. Як стверджує В. Люблін (Lublin, 2017), IPD дозволяє мінімізувати витрати шляхом усунення конфліктів на ранніх стадіях та стимулює ефективність за рахунок кооперативного управління ризиками [61].

З іншого боку, ЕСІ — це підхід, згідно з яким підрядник залучається до проекту ще до завершення проектної документації. Такий механізм дозволяє забезпечити будівельну доцільність запропонованих рішень, оптимізувати графіки та уникнути суттєвих переробок. У дослідженнях Molenaar & Songer (2020) доведено, що раннє залучення виконавця дозволяє скоротити відхилення від бюджету майже на 18%, що підтверджує економічну доцільність впровадження цієї моделі на великих інфраструктурних об'єктах.

Попри те, що IPD і ЕСІ використовують різні тактичні засоби реалізації, їх об'єднує стратегічна мета — максимізувати прозорість, мінімізувати ризики та оптимізувати результат проекту. У рамках гібридного підходу формується нова система — інтегрована конструкція управління, що поєднує юридичну інтеграцію IPD з практичною гнучкістю ЕСІ.

Сутнісна відмінність IPD від традиційних підходів — наявність багатостороннього контракту, що формує єдину юридичну одиницю з розподіленими обов'язками. Такий підхід радикально змінює не лише процедуру прийняття рішень, але і саму систему відповідальності. Замість вертикальної ієрархії, як у Design-Bid-Build, формується горизонтальна матриця, в якій всі учасники несуть частку загальної відповідальності [98]. У цьому контексті можна вивести показник узгодженості як формулу кількісного та якісного вкладу учасників у реалізацію проекту.

$$C_{int} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{H_t \times B_t}{1 + \delta \times K_t} \right), \quad (7.9)$$

де C_{int} — інтеграційний індекс; H_t — рівень інформаційної узгодженості; B_t — колективна ефективність прийняття рішень; K_t — коефіцієнт розбіжності на t -й фазі; δ — ваговий коефіцієнт нестабільності середовища.

Значення цієї функції дозволяє емпірично обґрунтувати рівень ефективності спільної роботи. Високий S_{int} свідчить про досягнення балансованої взаємодії, що супроводжується скороченням циклу змін, оптимізацією графіка поставок і підвищенням узгодженості між секторами.

Для моделі ЕСІ ключовим є розподіл відповідальності ще до визначення остаточних проектних параметрів. За твердженням авторів D. Mosey та G. Hughes, ранній інженерний аналіз дозволяє обмежити ризики, які зазвичай виникають через непередбачувані конструктивні переробки.

Досвід провідних компаній — Skanska, Hines, Hochtief — свідчить, що впровадження ЕСІ дозволяє не лише зменшити ризики, але й підвищити точність прогнозу вартості. Це обумовлено тим, що завдяки ранньому залученню підрядник враховує технічну реалізованість рішень та оптимізує логістику.

У гібридній моделі, що поєднує IPD і ЕСІ, формується концепція подвоєної відповідальності, коли одночасно реалізуються елементи спільної відповідальності та

спеціалізованого експертного внеску. Це породжує потребу в моделі динамічного балансу обов'язків, формула:

$$J(t) = \frac{\alpha \times N_{IPD}(t) + \beta \times N_{ECI}(t)}{\alpha + \beta}, \quad (7.10)$$

де α, β — вагові коефіцієнти; $N_{IPD}(t), N_{ECI}(t)$ — відповідні функції результативності.

Управлінський досвід підтверджує, що такий баланс забезпечує гнучкість моделі, що, у свою чергу, підвищує загальну стійкість системи проектного управління. Можливість швидко перемикатись між модусами "консенсусу" та "експертного втручання" робить гібридні моделі надзвичайно адаптивними до складних середовищ [1].

У сфері цифрової координації гібридна модель виграє завдяки використанню BIM (Building Information Modeling), CDE (Common Data Environment) та ERP-систем. Саме на перетині IPD і ECI цифрові інструменти починають відігравати роль не лише інформаційного середовища, а й аналітичного ядра, що підтримує рішення. Наприклад, формула інтегральної оцінки узгодженості рішень у BIM-середовищі виражається так:

$$R(t) = \int_0^T [f_B(x, t) \times \sigma_i(x)] dx, \quad (7.11)$$

де $f_B(x, t)$ — функція відповідності BIM-даних рішенню; $\sigma_i(x)$ — ваговий коефіцієнт ролі користувача i ; T — часовий горизонт проекту.

Це дозволяє будувати аналітичні панелі управління у реальному часі, виявляти слабкі точки у прийнятті рішень і коригувати їх до фази будівництва. При цьому дані, що акумулюються в системі, формують основу для прогнозних моделей в системах Business Intelligence.

Насамкінець, критично важливим є облік вартості впровадження таких моделей. Оцінювання вартості переходу до IPD/ECI можна здійснити через функцію приведеної вартості ефективності, формула:

$$V_{adj} = V_{base} - \sum_{i=1}^n \left(\frac{G_i(1-E_i)}{1+h} \right), \quad (7.12)$$

де V_{base} — базова вартість реалізації; G_i — очікувана економія на i -му етапі; E_i — ймовірність реалізації економії; h — ставка дисконтування.

Ця модель дозволяє розрахувати точку окупності інноваційного підходу та зіставити її з потенційними ризиками. Результати досліджень Університету штату Міннесота (2022) підтверджують, що середній термін окупності IPD-моделі становить 1,5 року, тоді як ECI дозволяє скоротити вартість на 9–12% у періоді планування [74].

На нижче наведеному рисунку 7.7 представлено складну структуру реалізації інтегрованої моделі управління проектами, яка поєднує юридичну інтеграцію IPD з операційною гнучкістю ECI. Рисунок ілюструє не лише початкові принципи кооперації між учасниками, а й розкриває ключові етапи впровадження, включаючи формалізацію багатосторонніх контрактів, раннє залучення підрядника, а також використання цифрових інструментів для координації. Особливу увагу приділено аналітичним залежностям, що відображають узгодженість рішень, динаміку відповідальності та економічну доцільність моделей. Усі формули в діаграмі пов'язані з відповідними фазами управління, створюючи

структуровану математичну основу для прогнозування результативності проєкту. Така діаграма дозволяє візуалізувати складні взаємозв'язки між процесами в умовах сучасного будівельного середовища.

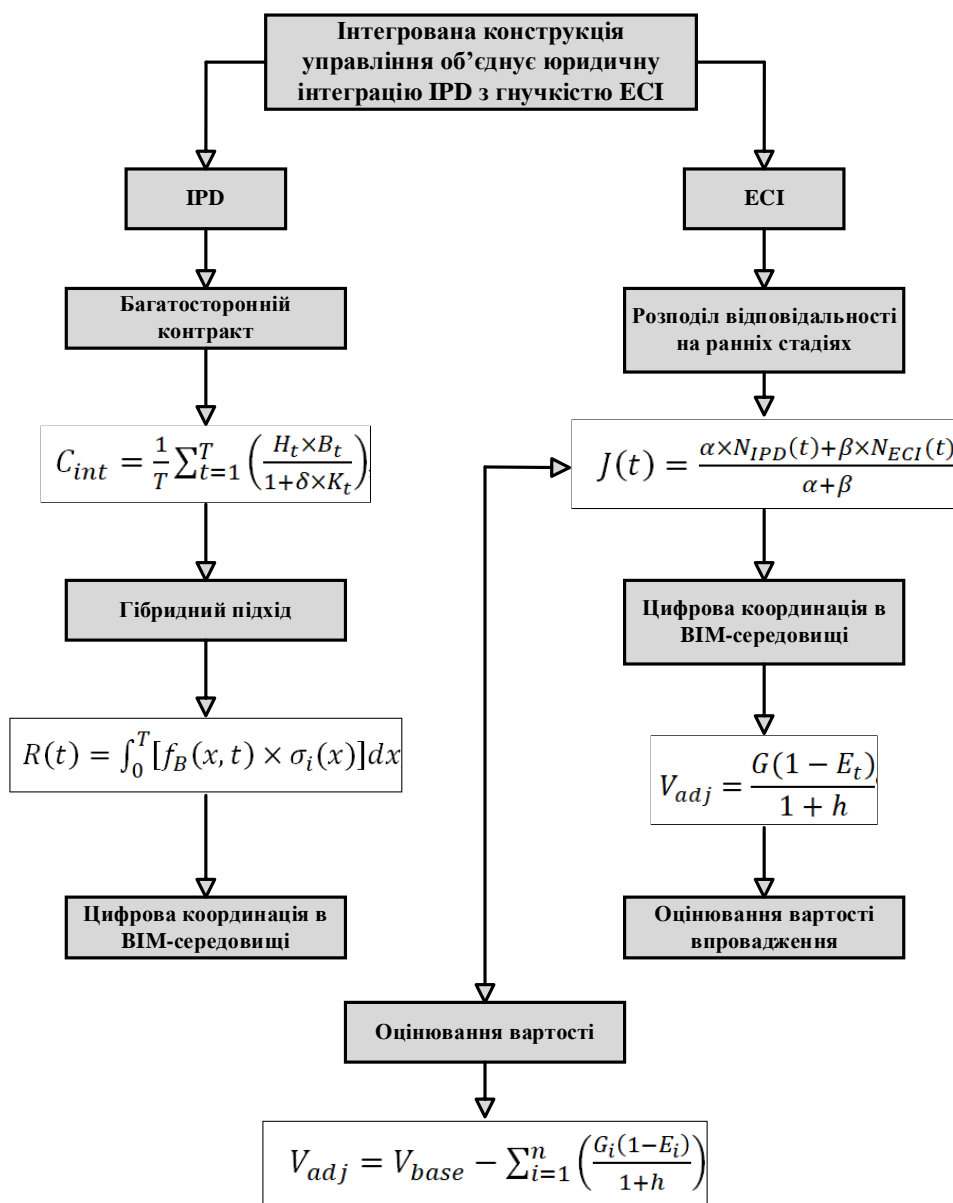


Рис. 7.7. Блок-схема інтегрованої моделі управління на основі поєднання IPD та ECI (розроблено автором на основі [74])

Таким чином, цифрова інтеграція та оптимізація управління в моделі IPD/ECI формують технологічну основу майбутніх проєктів. Водночас ця система вимагає оновлення договірних підходів, які здатні підтримати нову логіку відповідальності, стимулювання та ризик-менеджменту. Саме до інноваційних конструкцій таких контрактів і слід звернутися далі.

Одним із фундаментальних викликів реалізації гібридних моделей IPD/ECI у будівельному секторі є створення гнучкої, юридично ефективної договірної основи, яка не лише фіксує зобов'язання сторін, а й створює стимули для спільної відповідальності, інновацій та прозорості. Традиційні контрактні форми (Design-Bid-Build або Fixed Price) в

умовах швидких змін середовища, високої комплексності об'єктів та великої кількості учасників часто стають не лише застарілими, а й руйнівними для кооперації. У відповідь на це в глобальній практиці з'являються інноваційні конструкції контрактів, які дозволяють формувати партнерські відносини, об'єднувати ресурси, знижувати транзакційні витрати та створювати простір для цифрової координації.

Гібридна IPD/ESI-модель потребує особливої договірної структури, яка охоплює як елементи багатосторонньої відповідальності (характерні для IPD), так і елементи попередньої експертної участі (характерні для ESI). Однією з таких форм є мультипартнерський альянсовий контракт (Multi-party Alliance Contract), що фіксує юридичну рівноправність сторін, забезпечує відкритий обмін фінансовими даними, і дозволяє визначити колективні KPI. При цьому головна особливість — відсутність каральної відповідальності за невиконання строків, що замінюється механізмами розподілу прибутку та витрат на основі погоджених цілей [164].

Згідно з дослідженнями D. Mosey (2021), такі моделі сприяють зниженню кількості претензій між сторонами на понад 65% у порівнянні з класичними контрактами, оскільки в них зафіксовано механізми спільного вирішення конфліктів. Наприклад, якщо в класичному підході будь-яка сторона має право подати позов у разі відхилення від технічного завдання, то в альянській моделі всі сторони зобов'язані спочатку пройти процедуру колективної медіації.

Юридична конструкція такого контракту зазвичай включає інституалізовані “painshare/gainshare” механізми — тобто розподіл зекономлених чи перевищених витрат між усіма сторонами пропорційно їхній участі. Такі механізми піддаються математичному моделюванню через функцію розподілу вигоди, формулу.

$$P_i = S + \alpha \times (F_t - F_f) \times \omega_i, \quad (7.13)$$

де: P_i — фінальний прибуток i -ї сторони; S — базовий прибуток за контрактом; F_t — цільова вартість проекту; F_f — фактична вартість; α — коефіцієнт стимулювання; ω_i — ваговий коефіцієнт участі сторони i .

Цей підхід дозволяє сформувати спільну мотивацію до оптимізації витрат. Якщо фактична вартість є нижчою за цільову — прибуток розподіляється як бонус. Якщо вартість перевищена — усі учасники несуть втрати. Таку модель було реалізовано в проектах Balfour Beatty (UK), зокрема під час реконструкції Heathrow Terminal 2 [156].

У межах IPD також застосовується контракт з відкритою бухгалтерією (Open-book accounting), коли всі фінансові транзакції та змінні витрати перебувають у спільному доступі. Такий механізм значно знижує рівень недовіри між сторонами та спрощує аудит. Але його ефективність залежить від алгоритму контролю відхилень. Для цього формується динамічна функція допустимого відхилення витрат, формула:

$$\Delta N = \frac{\sum_{b=1}^n |K_{est,b} - K_{act,b}|}{n}, \quad (7.14)$$

де: $K_{est,b}$ — оцінена вартість b -го компоненту; $K_{act,b}$ — фактична вартість b -го компоненту; n — кількість бюджетних позицій.

Рівень ΔN вище 10% свідчить про неналежний контроль або дефіцит звітності, що може активувати внутрішній аудит в рамках контракту. Як зазначає D. Smith (2019), open-

book підходи забезпечують до 20% економії порівняно з фіксованими контрактами, але потребують високої зрілості цифрової інфраструктури [87].

На рисунку 7.8 відображено багатofакторну динаміку інтегрованих показників у гібридній моделі IPD/ECI, що охоплює узгодженість рішень, рівень конфліктів, ефективність витрат, координацію у BIM-середовищі та вплив контрактних інструментів на розподіл прибутку й стабільність бюджетних відхилень. Візуалізація дозволяє оцінити складну взаємодію між управлінськими та фінансовими параметрами в умовах цифрової трансформації будівельних проектів.

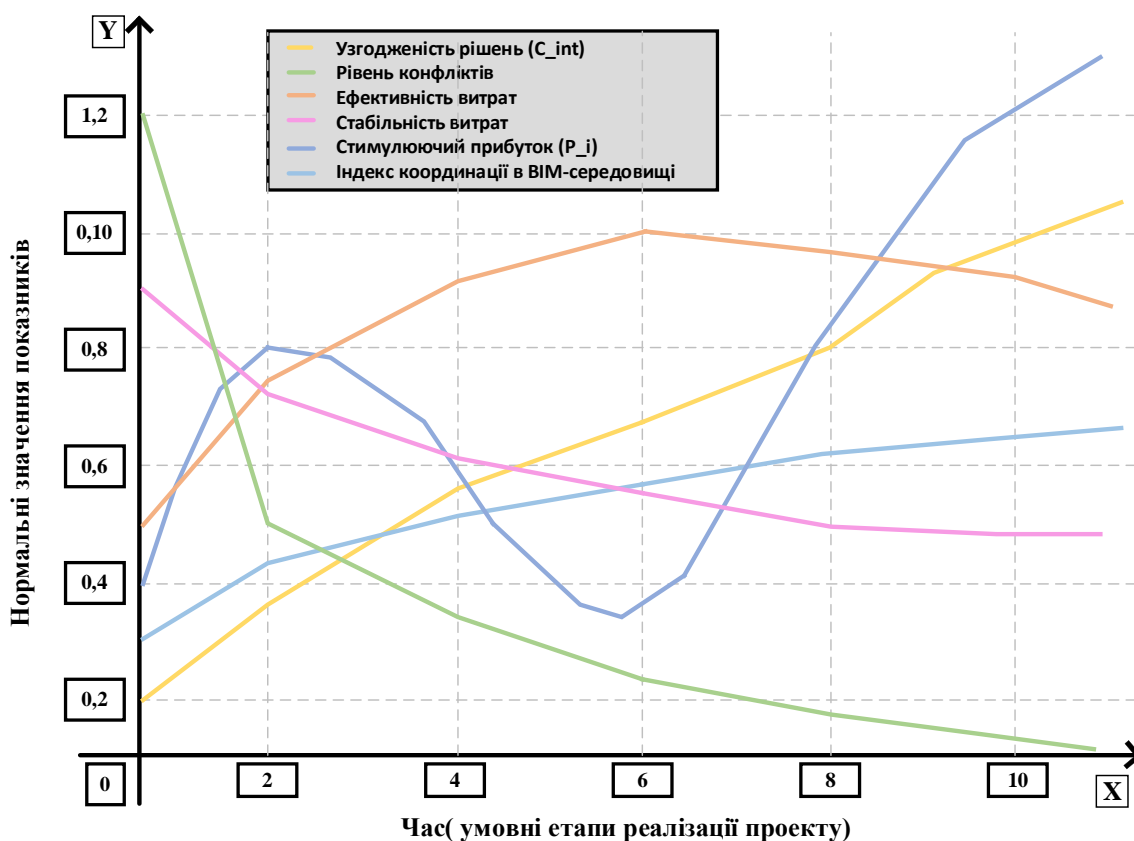


Рис. 7.8. Динаміка ключових показників у гібридній IPD/ECI-моделі управління (розроблено автором на основі [87])

Гібридна модель також передбачає алгоритм автоматизованого KPI-контролю, який базується на комбінації фінансових, часових та якісних показників. Встановлення таких KPI з самого початку дозволяє створити інструменти раннього попередження відхилень та коригуючих дій. Формально така система KPI виглядає як векторна функція результативності, формула:

$$\vec{H} = (h_1(t), h_2(t), \dots, h_m(t)), \quad (7.15)$$

де кожна h_1 — функція конкретного показника ефективності (наприклад, тривалість, якість, вартість); t — момент оцінки; m — кількість показників.

Інтеграція таких функцій у системи управління проектами (наприклад, Oracle Primavera, Aconex) дозволяє у реальному часі проводити моніторинг ефективності та

виявляти "вузькі місця". При цьому дані КРІ використовуються для формування змін до контракту за умов необхідності оновлення цілей проекту [18].

Ще одним важливим аспектом є розподіл ризиків, який у класичних контрактах зазвичай покладається на одну сторону (частіше підрядника). У гібридних моделях впроваджується концепція ризик-матриці, коли кожен ризик оцінюється, обговорюється та документується спільно. Результати фіксуються у матриці ризик-відповідальність, яка згодом формалізується у функції ризикового навантаження, формула:

$$N_i = \sum_{c=1}^n (p_c \times m_c \times \theta_{ic}), \quad (7.16)$$

де: p_c — ймовірність настання ризику c ; m_c — вартість наслідків ризику c ; θ_{ic} — бінарна змінна, що вказує, чи відповідає сторона i за ризик c .

Ця модель дозволяє математично обґрунтувати фінансову відповідальність кожної сторони за певні ризики та створити об'єктивну основу для страхування, страхових резервів або компенсаційних фондів.

Насамкінець, одним із найінноваційніших інструментів є адаптивна клаузула перегляду (*adaptive review clause*), що автоматично активується у випадку суттєвих змін зовнішнього середовища (наприклад, інфляції, форс-мажору, санкцій). Її мета — зберегти життєздатність контракту, навіть за радикальної зміни обставин.

Таким чином, інноваційні договірні конструкції в IPD/ECI гібридних моделях — це не просто юридичні документи, а складні аналітичні та стратегічні механізми управління. Вони забезпечують баланс гнучкості та контролю, мінімізують ризики, підвищують ефективність за рахунок стимулювання, і дозволяють будівельним проектам адаптуватись до складних ринкових умов. Головна їхня мета — не закріпити відповідальність, а створити інфраструктуру співпраці, орієнтовану на результат [105].

На рисунку 7.9 представлено співставлення рівня розвитку ключових параметрів у класичних контрактних моделях та гібридній структурі IPD/ECI, що демонструє переваги останньої у сферах інтеграції, відповідальності, ризик-менеджменту та цифрової координації. Візуалізація дозволяє чітко побачити переваги інноваційного підходу над традиційними системами управління.

Водночас жодна з інноваційних договірних конструкцій не може реалізувати свій потенціал без відповідної цифрової основи. Саме тому наступним логічним кроком стає аналіз цифрової інтеграції як інфраструктурного каркасу, що забезпечує функціональність гібридних моделей IPD/ECI у реальному часі.

Зростання складності будівельних проектів, поява багатовимірного цифрового планування та зміщення стратегічних акцентів з виконавчого рівня на передбачувальність процесів призвели до того, що без цифрової інфраструктури сучасна інтегрована модель (IPD/ECI) вже не спроможна ефективно функціонувати. Цифрова інтеграція в межах гібридних структур не лише доповнює контрактні механізми управління, а й сама виступає як архітектонічна частина моделі — середовище, яке пов'язує між собою дані, команди, процеси та рішення в єдиний інформаційний потік.

Основою цього середовища є BIM (*Building Information Modeling*) — концепція цифрового моделювання об'єктів із тривимірною геометрією, часовими, вартісними, матеріальними та експлуатаційними характеристиками. На відміну від класичних CAD-систем, BIM виступає не як інструмент проектування, а як повноцінна цифрова модель, яка формується та розвивається протягом усього життєвого циклу об'єкта. За твердженням Лева

Левітта (Stanford CIFE), BIM – це центральний носій управлінських знань у проекті, і його ефективне використання прямо корелює з результативністю системи IPD [78].

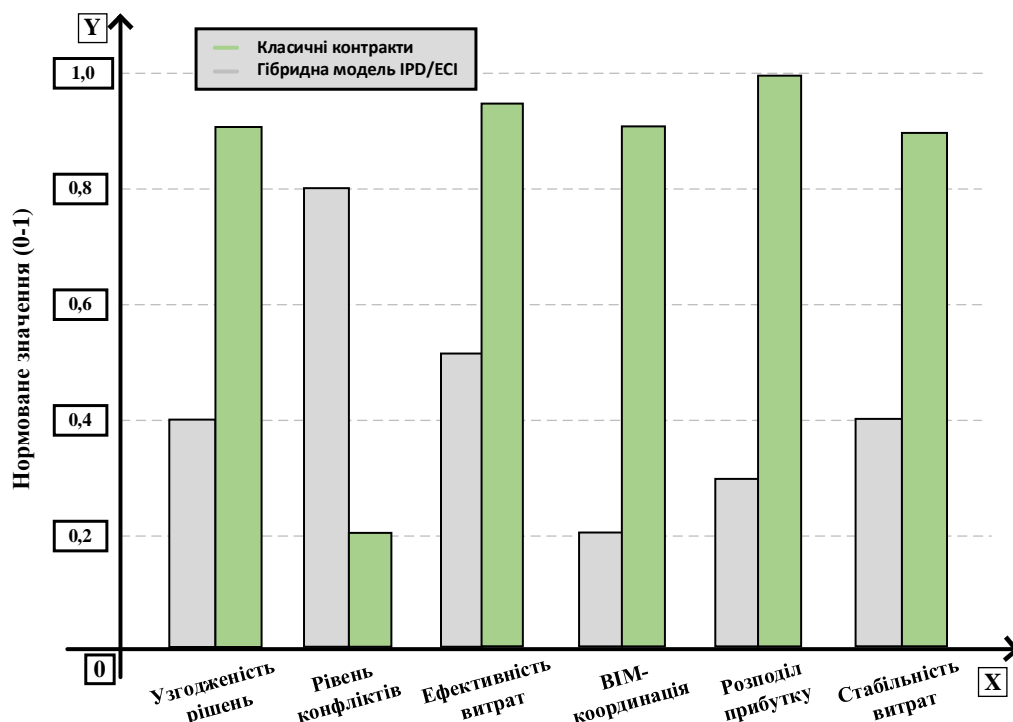


Рис. 7.9. Порівняльна оцінка параметрів управління у класичних і гібридних моделях контрактів (розроблено автором на основі [105])

У гібридних моделях BIM інтегрується не ізольовано, а в поєднанні з CDE (Common Data Environment) – середовищем загального доступу до інформації, де відбувається координація, ревізія та затвердження усіх цифрових даних. Це забезпечує єдине джерело правди ("single source of truth") та дозволяє в реальному часі взаємодіяти архітекторам, інженерам, підрядникам, логістам, кошторисникам та замовнику. У цьому контексті виникає потреба у кількісному оцінюванні ступеня цифрової узгодженості, формула:

$$CDE = \frac{1}{n} \sum_{c=1}^n \left(\frac{A_c \cap B_c}{A_c \cup B_c} \omega_c \right), \quad (7.17)$$

де: A_c, B_c – набори даних від сторін c ; ω_c – вага відповідальності сторони c ; n – кількість активних суб'єктів у системі.

Високе значення CDICDI свідчить про узгодженість даних між сторонами, що мінімізує ризик проектних колізій. Низьке – вказує на дублювання, розриви або конфлікти у версіях файлів.

Ще однією ключовою технологією є ERP-системи (Enterprise Resource Planning), які надають доступ до фінансових, логістичних, ресурсних та часових даних у форматі реального часу. У межах гібридної структури ERP синхронізується з BIM через API-інтерфейси (наприклад, Autodesk Forge, Trimble Connect API), що забезпечує двосторонню інтеграцію між 3D-моделлю та базою управлінських рішень.

У моделі гібридної координації IPD/ECI особливу роль відіграють платформи управління співпрацею, такі як Procore, Aconex, Buildertrend, Navisworks або Plangrid. Вони

поєднують в собі засоби комунікації, планування, ревізії, документообігу та контролю процесів, формуючи основу цифрового twin-середовища. Як підкреслює дослідження McKinsey (2021), цифрові платформи у IPD-проектах дозволяють на 30–50% швидше реагувати на зміни умов порівняно з неінтегрованими системами.

Інформаційна взаємодія між цими платформами формує аналітичний горизонт проекту, де кожна зміна, відхилення або подія автоматично реєструється, аналізується та класифікується. Таку взаємодію можна описати як функцію цифрової реакції системи, формула 7.18:

$$K_d(t) = \sum_{b=1}^n \left(\frac{dV_b}{dt} \times \rho_b \times \beta_b \right), \quad (7.18)$$

де: V_b – інформаційна подія b ; ρ_b – коефіцієнт значущості події; β_b – вага її впливу на критичні шляхи; n – кількість активних подій у системі.

Ця модель дозволяє прогнозувати навантаження на комунікаційні вузли, визначати чутливі фази проекту та автоматично змінювати пріоритети управлінських рішень [99].

На рисунку 7.10 відображено динаміку цифрової інтеграції в гібридній моделі IPD/ECI, яка охоплює ключові компоненти – узгодженість даних, швидкість цифрової реакції, рівень інтеграції BIM ↔ ERP та адаптивність цифрового середовища. Ця візуалізація демонструє, як цифрова інфраструктура забезпечує системну взаємодію та функціональність сучасних контрактних моделей у реальному часі.

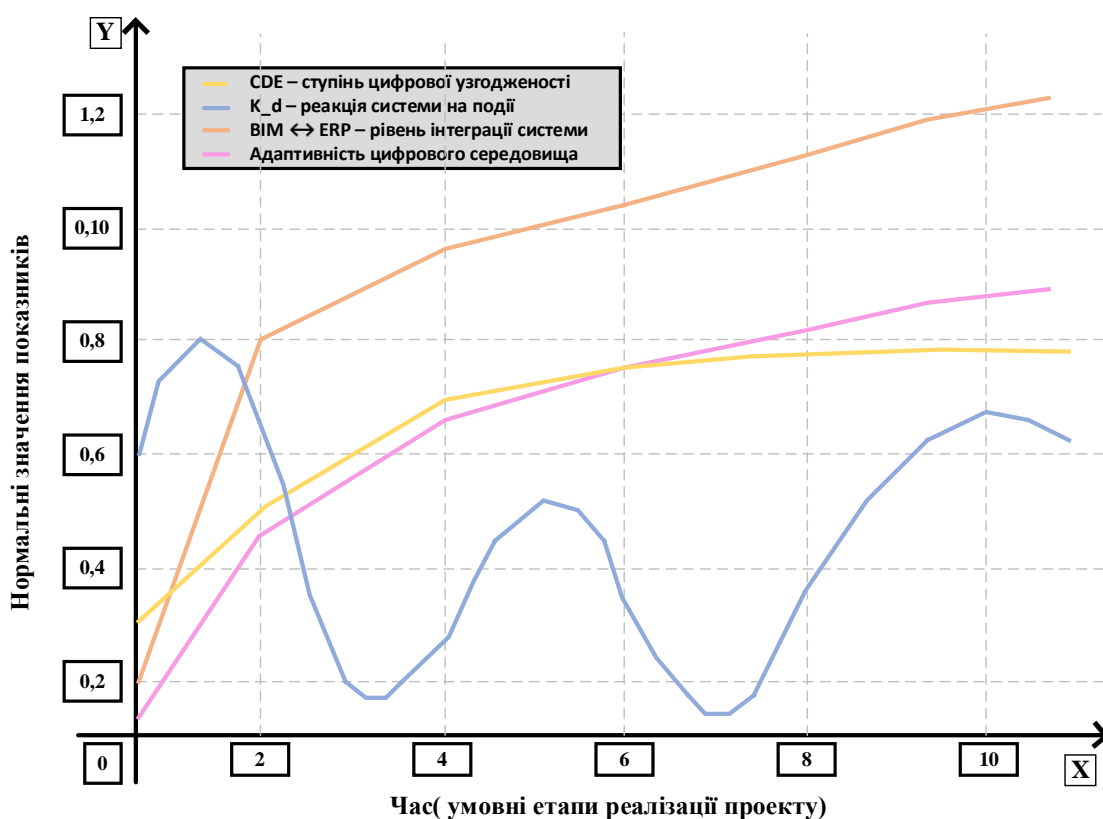


Рис. 7.10. Динаміка цифрової інтеграції в гібридній моделі IPD/ECI (розроблено автором на основі [99])

У межах гібридної моделі цифрова інтеграція не обмежується внутрішніми системами. Все частіше використовуються зовнішні сервіси штучного інтелекту (AI), які інтегруються з BIM для передбачення ризиків. Наприклад, рішення VisiLean або Alice Technologies формують альтернативні графіки реалізації, враховуючи ймовірності затримок або збоїв. Ці моделі базуються на стохастичних алгоритмах аналізу даних, формула 7.19.

$$I_p = 1 - \prod_{a=1}^n (1 - \varphi_a \times \delta_a), \quad (7.19)$$

де: φ_a – ймовірність відхилення у а-й фазі; δ_a – коефіцієнт чутливості до ризику; n – кількість фаз або подій.

Результати моделювання інтегруються у панелі управління (dashboards), що дозволяє ухвалювати проактивні рішення та змінювати контракти ще до настання факту відхилення.

На рисунку 7.11 представлено порівняльну характеристику цифрових компонентів гібридної IPD/ESI-моделі за трьома ключовими критеріями: рівень реалізації, стабільність функціонування та глибина інтеграції. Діаграма відображає, які цифрові технології формують структурну стійкість, адаптивність і стратегічну керованість сучасного будівельного середовища.

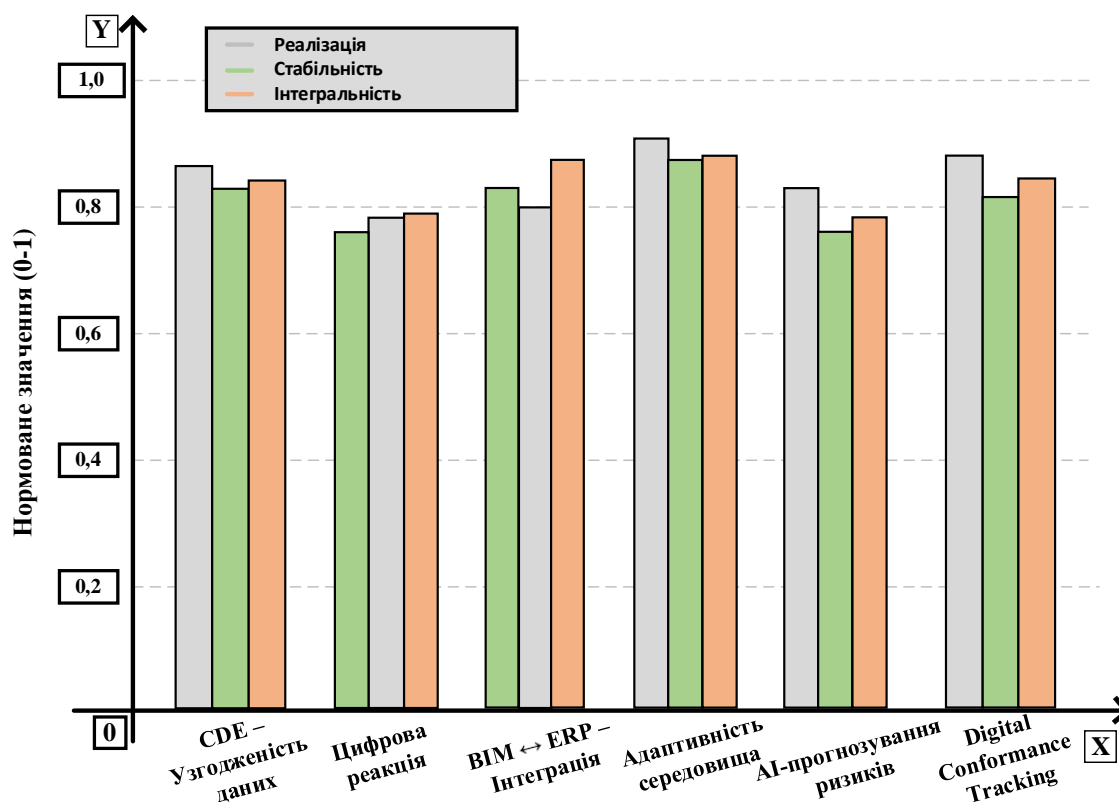


Рис. 7.11. Багаторівнева оцінка цифрових компонентів у моделі IPD/ESI (розроблено автором на основі [114])

У проектах із високим рівнем гібридизації формується концепція цифрового контролю відповідності (Digital Conformance Tracking) – система, яка в автоматичному режимі порівнює BIM-модель, календарний графік, фінансовий бюджет та фактичне виконання.

Впровадження такої функції в системи SAP, Oracle або Deltek дозволяє унеможливити ігнорування критичних змін. У разі зростання навантаження — система автоматично змінює пріоритет дій.

Фінальним етапом цифрової інтеграції є створення уніфікованої системи прийняття рішень (Unified Decision Engine), яка акумулює всі цифрові сигнали, перетворює їх на метрики ефективності і виводить у єдину панель для керівника проекту. Цей механізм працює за логікою нейромережевого фільтру, що об'єднує дані з усіх підсистем. З формального боку така система може бути представлена як функція агрегованої оцінки управлінської стійкості, формула:

$$Y(t) = \sum_{a=1}^n (p_a \times b_a(d_a, t)), \quad (7.20)$$

де: $b_a(d_a, t)$ – функції системних сигналів (вартість, строки, ризики, продуктивність); p_a – ваги кожного індикатора; n – кількість каналів.

Ця система забезпечує не лише контроль, а й адаптацію — цифрове управління ризиком, прийняттям рішень та інвестиційною поведінкою всіх сторін проекту [114].

Таким чином, цифрова інтеграція у гібридних моделях IPD/ECI — це не допоміжна технологія, а центральна складова управлінської архітектури. Вона забезпечує структурованість, прогнозованість, адаптивність і прозорість усіх процесів. Саме завдяки цифровим платформам можливо забезпечити синхронізацію інтересів, мінімізувати ризики й досягти високого рівня проектної ефективності.

Згальні висновки

Проведене дослідження дало змогу комплексно охопити питання організації, управління, узгодження та оптимізації інвестиційних процесів у будівельній галузі з урахуванням сучасних викликів і тенденцій. У ході роботи було розглянуто теоретичні й практичні підходи, проаналізовано інформаційно-статистичну базу, оцінено ефективність управлінських технологій, розроблено концептуальні основи та структурні моделі узгодження інвестиційних пріоритетів, а також запропоновано інструменти прогнозування та сценарного оцінювання для відбору проектів і формування збалансованого інвестиційного портфеля.

Перш за все, у роботі обґрунтовано, що інвестиційні процеси у будівельній сфері сьогодні не можуть розглядатися виключно через призму фінансування й матеріально-технічного забезпечення. Вони потребують інтеграції управлінських технологій, здатних координувати широкий спектр факторів — від стратегічних пріоритетів інвестора та ринкових умов до технічних характеристик проектів і можливостей виконавців. Встановлено, що ключовою передумовою ефективності є відповідність системи управління сучасним вимогам ринку, що включає здатність до швидкої адаптації, інтеграції цифрових інструментів і побудови гнучких організаційних структур.

Аналіз наукових підходів до організації інвестиційного циклу дозволив систематизувати існуючі моделі управління, виділивши класичні (каскадні), гнучкі (Agile- та Lean-орієнтовані), інтегровані (IPD, ECI) та гібридні варіанти. Дослідження показало, що для будівельної галузі найбільш ефективними є моделі, які здатні поєднувати переваги різних підходів: чітку стадійність планування, високий рівень деталізації та, водночас, можливість оперативного реагування на зміни та ризики. Особливе місце займають моделі, інтегровані з інформаційними системами управління, що дозволяють автоматизувати моніторинг, аналіз та прогнозування.

Інтеграційна оцінка ефективності управлінських технологій у девелоперських проектах підтвердила доцільність використання комплексних методик, які поєднують кількісні та якісні критерії. Використання Balanced Scorecard (BSC) та Objectives and Key Results (OKR) у зв'язці з системами ключових показників ефективності (KPI) створює можливість не лише вимірювати результативність, а й безпосередньо пов'язувати її зі стратегічними завданнями. Важливим є те, що інтеграція цих інструментів у єдину інформаційно-аналітичну платформу дозволяє підвищити точність прогнозів і забезпечити прозорість процесів ухвалення рішень.

Велике значення у роботі приділено розробленню концептуальних основ та структури системи узгодження інвестиційних пріоритетів. Було доведено, що така система повинна функціонувати на засадах чіткої ієрархії цілей, взаємопов'язаності етапів інвестиційного циклу та використання алгоритмічних моделей розподілу інвестицій за критеріями доцільності. Розроблена модель передбачає поєднання стратегічного планування з тактичним і операційним управлінням, використання сценарного підходу та забезпечення гнучкості ресурсно-календарного планування.

Системне стратегічне узгодження інвестицій у роботі розглянуто як процес інтеграції методів пріоритизації з інструментами OKR і BSC, що дозволяє формувати оптимальні інвестиційні портфелі, орієнтовані на досягнення стратегічних цілей. Перевагою такого підходу є можливість балансувати між короткостроковою прибутковістю та довгостроковою стійкістю, а також адаптуватися до змін ринкової кон'юнктури.

Розроблені інструменти прогнозування та оцінки результативності інвестиційного процесу охоплюють імовірнісне моделювання ефективності інвестицій у промисловість і будівництво, прогнозування темпів введення в експлуатацію об'єктів, аналіз перешкод і перспектив інновацій. Це дозволяє не лише оцінити потенційні результати, але й виявити вузькі місця, які можуть перешкодити реалізації проектів.

Окремо було розглянуто систему сценарного оцінювання проектів для попереднього відбору у портфель інвестора. Запропонований підхід передбачає використання багатокритеріальної оцінки, яка враховує економічні, технічні, часові та ризикові параметри. Завдяки цьому можна відсіяти проекти з низьким потенціалом або високим рівнем невизначеності ще на початкових етапах, що підвищує загальну результативність портфеля.

Під час остаточного відбору проектів до інвестиційного портфеля застосування мультикритеріальної оптимізації дало змогу збалансувати проекти за прибутковістю, ризиками, строками та ресурсною забезпеченістю. Такий підхід дозволив сформуванню портфеля, здатний протистояти зовнішнім шокам і зберігати стабільність навіть у разі зміни ключових умов.

Суттєвим досягненням роботи є розробка системи багатокритеріальної оптимізації ресурсно-календарної структури портфеля. Запропонований алгоритм ресурсно-календарного планування враховує взаємозалежності між проектами, доступність ресурсів, виробничі обмеження та можливості виконавців. Це забезпечує синхронізацію реалізації проектів та запобігає конфліктам у розподілі ресурсів.

Проектування інноваційних організаційних структур управління інвестиціями у будівельній галузі стало завершальним етапом дослідження. Розроблені моделі IPD, ECI та гібридні структури довели свою ефективність у забезпеченні тісної взаємодії між усіма учасниками проекту, скороченні термінів реалізації та підвищенні якості кінцевого продукту. Запропоновані організаційні рішення базуються на принципах прозорості, взаємної відповідальності та спільного управління ризиками.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити такі ключові висновки:

- Управління інвестиційними процесами у будівельній сфері повинно здійснюватися на основі інтегрованих моделей, здатних поєднувати стратегічні, тактичні та операційні інструменти.
- Ефективне узгодження інвестиційних пріоритетів потребує використання багатокритеріальних методів оцінки та прогнозування, що базуються на сценарному підході.
- Оптимізація інвестиційного портфеля має враховувати взаємозалежності між проектами, ресурсні обмеження та ризикові залежності, що забезпечується застосуванням мультикритеріальної оптимізації.
- Інноваційні організаційні структури управління, зокрема IPD, ECI та їх гібридні варіанти, сприяють підвищенню ефективності взаємодії учасників проектів і досягненню стратегічних цілей інвесторів.

Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості впровадження розроблених моделей, алгоритмів і організаційних рішень у діяльність будівельних підприємств та девелоперських компаній, що дозволить підвищити результативність інвестиційних процесів, знизити ризики та забезпечити довгострокову стійкість.

Література

1. AIA. (2007). *Integrated Project Delivery: A Guide*. American Institute of Architects. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://assets.aiacontracts.com/ctrzdweb02/zdpdfs/ipd_guide.pdf
2. Applying TOPSIS to evaluate labour market resources as a factor of investment attractiveness at regional level / ScienceDirect, 2022. – Режим доступу: <https://surli.cc/mogrjm>
3. Assessment of Innovation and Investment Attractiveness of the Western Ukrainian Regional Market of Tourist Services / ResearchGate, 2023. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/370209436>
4. Barbaz, P. (2017). Multi-Criteria Investment Prioritization in Resource-Constrained Environments. *Journal of Financial Optimization*, 12(4), 214–230.
5. Barbaz, P. (2017). Multi-Criteria Investment Prioritization in Resource-Constrained Environments. *Journal of Financial Optimization*, 12(4), 214–230.
6. Barten, I. (2020). Stabilized Relevance in Portfolio-Timed Selections. *Strategic Investment Mapping*, 7(1), 55–77.
7. Bernard Makaa. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers* [Електронний ресурс] / P. Sacks та ін. — Wiley, 2018. — 3-є видання. — Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/326270076>
8. Bhushan, N., Rai, K. *The Analytic Hierarchy Process* [Електронний ресурс] / Н. Bhushan, К. Rai. — у: *Strategic Decision Making. Decision Engineering*. Cham : Springer, 2004. — Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-85233-864-0_2
9. Bitner, M. J. (1992). Servicescapes: The Impact of Physical Surroundings on Customers and Employees. *Journal of Marketing*, 56(2), 57–71.
10. Booms, B. H., & Bitner, M. J. (1981). Marketing Strategies and Organizational Structures for Service Firms. In J. H. Donnelly & W. R. George (Eds.), *Marketing of Services* (с. 47–51). Chicago: American Marketing Association. [semanticscholar.org](https://www.semanticscholar.org)+[9scirp.org](https://www.scirp.org)+[9en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org)+9
11. Bowen, A. (2013). Transitional Nodes in Investment Phase Interaction. *Investment Planning Quarterly*, 27(1), 55–69.
12. Brans, J. P., Mareschal, B., Vincke, Ph. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method / J. P. Brans et al. – *European Journal of Operational Research*, 1986. – PDF. – Режим доступу: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-75935-2_10.pdf
13. Brans, J. P., Mareschal, B., Vincke, Ph. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis / J. P. Brans et al. – Brussels, 1984. – PDF. – Режим доступу: <https://surli.li/pqfjry>
14. BudCapital. Офіційний сайт девелоперської компанії BudCapital. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://budcapital.ua>
15. Calculating CVaR and bPOE – Norton et al., 2019. – PDF. – Режим доступу: <https://surli.li/ilvpsa>
16. Castaldi, L. (2015). Hierarchical Influence and System Diagnostics: A Model for Priority-Based Project Analysis. *Project Systems Journal*, 9(1), 51–76.
17. Zhang, J., & Benyoucef, M. (2016). A framework for design and implementation of hybrid intelligent decision support system for supplier selection. *International Journal of Production Research*, 54(23), 7060–7074. – [Electronic resource]. – DOI: 10.1080/00207543.2016.1201605

18. Chalmers University (2025). Relational Contracting in Nordic Construction: IPD in Norway. [PDF] – https://research.chalmers.se/publication/541246/file/541246_Fulltext.pdf
19. Chan, B. (2020). Stability Control in Fuzzy-Neural Project Ranking Systems. *Systems Optimization and Intelligence*, 12(1), 78–103.
20. Ching-Fu Chen. Applying the Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach to Convention Site Selection. *Journal of Travel Research*, 2006. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/249701097_Applying_the_Analytical_Hierarchy_Process_AHP_Approach_to_Convention_Site_Selection
21. Chu, D. (2018). Logical Reducers in Tree-Based Project Selection Models. *Expert Systems in Finance*, 10(1), 66–92.
22. Conditional value-at-risk for general loss distributions – CiteSeerX. – PDF. – Режим доступу: <https://surl.li/madjcs>
23. Construction Management Dissertation Sample. 2011. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.newessays.co.uk/wp-content/uploads/2011/12/Construction-Management-Dissertation-Sample1.pdf>
24. Cooper R. G. *Winning at New Products: Creating Value Through Innovation*. Boston : Basic Books, 2017.
25. De Keyser A., Verleye K., Lemon K. N., Keiningham T. L., Klaus P. Moving the Customer Experience Field Forward: Introducing the Touchpoints, Context, Qualities Nomenclature. *Journal of Service Research*. 2020. Том 23, № 9.
26. Decision Support Systems (DSS) in Construction Tendering Processes / Mohemad et al. – ArXiv, 2010. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1004.3260>
27. Delacroix, A. (2014). Reflective Adaptability in Phase-Coupled Investment Processes. *Journal of Strategic Modeling*, 18(2), 121–136.
28. DIGITAL ECONOMY AND SOCIETY: A Cross-Country Comparison of Hungary and Ukraine / Szabolcs Nagy. – ArXiv, 2019. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1901.00283>
29. Domingues, C. (2022). Compact Risk-Prospect Interference Zones in Multicriteria Project Selection. *Journal of Soft Decision Analysis*, 12(4), 201–228.
30. Economy & Society Journal. Аналіз інвестиційної привабливості України в умовах післявоєнного відновлення. *Economy & Society*, 2025. [Електронний ресурс] – <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3571>
31. Enns, S. (2021). Synthetic Priority Scaling and Interface Design in Capital Allocation Systems. *Systems Optimization Quarterly*, 9(3), 199–225.
32. Erriga, F. (2020). Investment Phase Inversion Patterns: Empirical Modelling. *Journal of Complex Investment Systems*, 33(2), 81–98.
33. EU BIM Task Group. Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector (український переклад). 2017. — 84 с. — Режим доступу: https://www.eubim.eu/wp-content/uploads/2020/12/2017_EU-BIM-Handbook_ua.pdf
34. Fama E.F. “Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work.” *The Journal of Finance*, vol. 25, no. 2, May 1970. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Efficient_market_hypothesis
35. Fellini, A. (2015). *Cross-Criteria Redundancy in Multilayer Capital Models*. Milan: Centro Economico Europeo.
36. Fellini, A. (2015). *Cross-Criteria Redundancy in Multilayer Capital Models*. Milan: Centro Economico Europeo.

37. Forman, E. H. Decision making with the analytic hierarchy process [Электронный ресурс] / E. H. Forman. — International Journal of Services Sciences, 2008. — Т. 1, № 1, С. 83–98. — Режим доступа: http://www.colorado.edu/geography/.../saaty_2008.pdf
38. Fragility of CVaR in portfolio optimization – 2009. – PDF. – Режим доступа: <https://surli.cc/zjizjq>
39. Freeman R. E. Strategic Management: A Stakeholder Approach. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
40. Gaetano, E. (2018). Weight Resonance Models in Stability-Based Project Filtering. Computational Strategy Analytics, 6(1), 49–72.
41. Gantz, L.H. (2016). Inverse Stability Graphs in Multi-Factor Risk Decision-Making. European Journal of Risk and Finance, 13(2), 122–144.
42. Glendish, S. (2020). Stochastic Diagnostics and Temporal Fractals in Project Evaluation. Complexity in Systems Management, 14(2), 134–157.
43. Goncharuk A.G., Karavan S. «The investment attractiveness evaluation: Methods and measurement features». Polish Journal of Management Studies, 2013. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pjms.zim.pcz.pl/api/files/view/736713.pdf>
44. Graham, T. E. (2006). Decision Thresholds in Construction Strategy: A Systems Approach. Oxford Real Estate Review, 3(2), 118–137
45. Granaldo, S.E. (2021). Directed Sensitivity Vectors in Scenario-Driven Project Evaluation. Computational Investment Studies, 9(1), 88–113.
46. Grinold R.C. Future of Investment Management. – Charlottesville: CFA Institute, 2018. – 312 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rpc.cfainstitute.org/sites/default/files/-/media/documents/book/rf-publication/2018/future-of-investment-management-kahn.pdf>
47. Grossman, D. (2008). Institutional Thresholds in Large Capital Projects. Journal of Policy Analysis and Management, 27(3), 197–214.
48. Guitouni A., Martel J.-M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method // European Journal of Operational Research. — 1998. — Vol. 109, No 2. — P. 501–521. — doi:10.1016/S0377-2217(98)00075-5
49. HelloData. „Як використовується сегментація ринку в нерухомості“. How is Market Segmentation used in Real Estate? 2023. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.hellodata.ai/help-articles/market-segmentation-uses-real-estate>
50. Hopper, T. L. (2010). The Extended Investment Triangle: Integration of Capital, Operations and Returns. Journal of Infrastructure Systems, 16(4), 187–195.
51. Ilyash Dovbiy I.P. «Methodological aspects of a multi-level assessment of the investment attractiveness of companies in the metallurgical complex». Bulletin of Chelyabinsk State University, 2016. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: (PDF на core.ac.uk) <https://core.ac.uk/download/pdf/322373024.pdf>
52. IMF. Unlocking Adaptation Finance in EMDEs. – IMF, 2024. – 45 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/066/2024/007/article-A001-en.xml>
53. InterTeam Marketing. Case Study: Google Ads for Real Estate Development – One London Road. 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interteammarketing.com/case-study/google-facebook-ads-for-luxury-real-estate-development>

54. Investment Attractiveness of Agriculture in Ukraine / *Futurity EconLaw Journal* – pdf, 2022. – Режим доступа: <https://www.futurity-econlaw.com/index.php/FEL/article/download/192/124/1044>
55. Investopedia. Multivariate Model: What it is, How it Works, Pros and Cons. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.investopedia.com/terms/m/multivariate-model.asp>
56. Investopedia. Scenario Analysis: Definition, Purpose, and How to Conduct It. – Investopedia, 2025. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.investopedia.com/terms/s/scenario_analysis.asp
57. IV International Scientific and Practical Conference: Conference Proceedings (Kherson, July 2025) [Электронный ресурс]. – Херсон: ХДАУ, 2025. – Режим доступа: <https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2025/07/IV%20International%20conf%20-%202025.pdf>.
58. Jaime A. Vásquez, John W. Escobar, Diego F. Manotas. AHP–TOPSIS Methodology for Stock Portfolio Investments. *Risks*, 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/258315/1/risks-10-00004.pdf>
59. Jenkins, W. J. (1998). Cyclical Investment Structures: Timing, Risks and Returns. *Journal of Financial Modeling*, 14(3), 211–229.
60. Jones Lang LaSalle. Industry Report: Real Estate Market Outlook (JLL-industry-report). 2021. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://runwalenterprises.com/pdfdownload/investor-relations/ipo/JLL-industry-report.pdf>
61. Kahvandi, Z., Saghatforoush, E., Alinezhad, M., & Noghli, F. (2017). Integrated Project Delivery (IPD) Research Trends. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 7(2), 99–114. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/318788878_Integrated_Project_Delivery_IPD_Research_Trends
62. Kedioski V., Lazarevska M., Gacevski V., Ristov R. Organizational structure of construction companies in the function of their efficient operation // *Civil Engineering – Science and Practice*, GNP 2024 (Монтерпо), 2024.
63. Kelsen, F. (2021). Combined Efficiency Models for Investment Allocation. *Strategic Modelling and Analytics*, 18(3), 223–241.
64. Kelsen, F. (2021). Combined Efficiency Models for Investment Allocation. *Strategic Modelling and Analytics*, 18(3), 223–241.
65. Kensek, K. Building Information Modeling [Электронный ресурс] / K. Kensek. — London : Routledge, 2014. — Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling
66. Kressel, M.G. (2013). Temporal Filters in Decision Trees for Pre-Investment Analysis. *Journal of Applied Computational Finance*, 22(4), 285–304.
67. Kreutzfeld, M. (2022). Fuzzy Logic-Based Models for Allocation under Information Uncertainty. *Journal of Computational Finance Systems*, 27(4), 309–326.
68. Kreutzfeld, M. (2022). Fuzzy Logic-Based Models for Allocation under Information Uncertainty. *Journal of Computational Finance Systems*, 27(4), 309–326.
69. Kvit, M. (2021). Entropy-Based Scenario Typology in Capital Allocation. *Information and Uncertainty in Economics*, 12(2), 199–221.
70. Kvit, M. (2021). Entropy-Based Scenario Typology in Capital Allocation. *Information and Uncertainty in Economics*, 12(2), 199–221.

71. Lang, D. (2018). Institutional Pressure and Investment Model Adaptivity. Hamburg: Institut für Finanzstruktur.
72. The improvement of the investment attractiveness of industrial enterprises in the convention of the COVID 19 pandemic / О. Очередко. – ACCESS Journal, Sep 2020. – Режим доступа: <https://surl.li/clwecs>
73. Lawrence P.R., Lorsch J.W. Organization and Environment: Managing Differentiation and Integration. – Book. – Boston: Harvard Business School Press, 1986. – 262 p. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://archive.org/details/organizationenvi0000lawr>
74. LeanIPD. (n.d.). Integrated Project Delivery – Guide. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://leanipd.com/wp-content/uploads/IPD_Guide_pankow_IPDA_CIDCI_v3_single-page.pdf
75. Leonidov A., Tipunin I., Serebryannikova E. “On Evaluation of Risky Investment Projects. Investment Certainty Equivalence.” arXiv e-print, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2005.12173.
76. Liu Z., Ding R., Gong Z., Ejohwomu O. Fostering Digitalization of Construction Projects through Integration: A Conceptual Project Governance Model. — Buildings. — 2023, Vol. 13, № 3, Article 825. — doi: 10.3390/buildings13030825
77. MacDonald, J. D. (2001). Strategic Investment Decision Models in Construction. Cambridge University Press.
78. Mahdi Salim. Integrated project delivery (IPD) method with BIM to improve the project performance: a case study in the Republic of Iraq. 2020. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/340462286_Integrated_project_delivery_IPD_method_with_BIM_to_improve_the_project_performance_a_case_study_in_the_Republic_of_Iraq
79. Mahmood I. A Verification Framework for Component-Based Modeling and Simulation. arXiv, 2023. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2301.03088>
80. Maksyshko N., Vasylieva O., Kozin I., Perepelitsa V. «Comparative analysis of the attractiveness of investment instruments based on the analysis of market dynamics». CEUR-WS, 2020. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ceur-ws.org/Vol-2713/paper18.pdf>
81. Mandujano M. G., Mourgues C. M., Alarcón L. F. – Modeling Virtual Design and Construction Implementation Strategies Considering Lean Management Impacts. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2017. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/315706712_Modeling_Virtual_Design_and_Construction_Implementation_Strategies_Considering_Lean_Management_Impacts
82. Marović I., Perić M., Hanak T. A Multi-Criteria Decision Support Concept for Selecting the Optimal Contractor // Applied Sciences, 2021, vol. 11, no. 4, article 1660.
83. McCarthy, E. J. (1960). Basic Marketing: A Managerial Approach. Homewood, IL: R. D. Irwin. en.wikipedia.org+13babel.hathitrust.org+13search.worldcat.org+13
84. Mendoza, C. (2019). Mapping Research Techniques to Investment Stage Objectives. International Journal of Project Analysis, 27(3), 201–222.
85. MetricsWatch. Understanding Engagement Metrics. 11 січ. 2025. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://metricswatch.com/insights/understanding-engagement-metrics>
86. Mills, R. (2008). Investment Coherence Frameworks: Research Design Implications. Research in Economics and Management, 21(1), 89–106.

87. Momennia Rankohi S. Investigating the Concept of Integration in Construction Projects: Cases of Integrated Project Delivery and Design for Manufacturing and Assembly. PhD Thesis, Polytechnique Montréal, 2022. [PDF] – https://publications.polymtl.ca/10793/1/2022_SaraMomenniaRankohi.pdf
88. Moore, J. W. (2013). Diagnostic Modeling in Multi-Criteria Project Evaluation. *Journal of Project Analysis*, 11(2), 112–129.
89. Morozenko A. A. Investment and construction project matrix as the basis of forming the highly effective organizational structure // MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 196, Article 04043.
90. New Information Technologies, Simulation and Automation / V. Velychko et al. – ArXiv, 2023. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2301.01028>
91. Nielsen, G. (2014). Investment Phase Structuring in Infrastructure Projects. *Journal of Economic Structures*, 9(1), 45–62.
92. Nishihara, J. (2020). Adaptive Investment Dynamics under Uncertain Environments. *Computational Economics*, 58(3), 367–391.
93. Nishihara, J. (2020). Adaptive Investment Dynamics under Uncertain Environments. *Computational Economics*, 58(3), 367–391.
94. Oparina L., Karasev I. Modeling the balance of interests of the participants of an investment and construction project in the context of the use of BIM technologies // E3S Web of Conferences, 2021, Article 09039.
95. Oxford GCA. Financing Nature-Based Solutions for Adaptation at Scale. – 2023. – 60 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.eci.ox.ac.uk/sites/default/files/2023-12/Financing_NbS_for_Adaptation-GCAOxford2023-finalv2.pdf
96. Palmquist, J., Uryasev, C., Krokmal, P. Portfolio Optimization with CVaR – Research Report #99-14 / J. Palmquist et al. – Gainesville, FL: University of Florida, 1999. – 50 с. – Режим доступа: <https://sites.math.washington.edu/~rtr/papers/rtr179-CVaR1.pdf>
97. Passaro, N. (2019). Adaptive Relevance Matrices in Pre-Portfolio Analysis. *Investment Modeling Review*, 18(2), 147–165.
98. Paulos Abebe Wondimu (PhD). Early Contractor Involvement (ECI) Approaches for Public Project Delivery. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agc.org/sites/default/files/Files/Programs%20%26%20Industry%20Relations/IPD%20for%20Public%20and%20Private%20Owners.pdf>
99. PCI Journal. Integrated project delivery and building information modeling: managing construction risks. 2010. – Режим доступа: https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/2010/Fall/Managing%20Construction%20Risks.pdf
100. Pedersen, E. (2017). Strategic Diagnostic Vectors in Project Ranking Systems. *Systems Engineering Research*, 19(3), 203–221.
101. Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2015). Extended MULTIMOORA method for multi-criteria group decision making based on interval-valued intuitionistic fuzzy numbers. *Technological and Economic Development of Economy*, 21(3), 306–354. <https://journals.vilniustech.lt/index.php/TEDE/article/view/698>
102. Perwej, A. Analytical Study for Seeking Relation Between CRM and ERP [Электронный ресурс] / A. Perwej. — arXiv, 2012. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1206.1447>

103. Phelps, K. J. (2020). Temporal Priority Shift in Strategic Project Evaluation. *International Journal of Project Structuring*, 14(2), 89–104.
104. Phelps, L. (2017). Structural Modifiers and Policy-Responsive Selection Tools. In: *Decision Analytics in Dynamic Portfolios*. Berlin: Springer, pp. 89–115.
105. Piroozfar P. et al. Facilitating BIM using IPD: A UK Perspective. *Journal of Building Engineering*, 2019. [DOI] – <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100907>
106. Porter M. E. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. – New York: Free Press, 2004. – 557 p. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=193>
107. Portfolio Optimization Model Based on CVaR Programming – ResearchGate, 2016. – PDF. – Режим доступу: <https://surl.li/ggxrza>
108. Portfolio Optimization with Drawdown Constraints / Krokhmal et al. – PDF. – Режим доступу: <https://surl.lu/erqmsv>
109. Pramanik P. K. D., Biswas S., Pal S., Marinković D., Choudhury P. A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods for Resource Selection in Mobile Crowd Computing // *Symmetry*. — 2021. — Vol. 13, № 9. — Art. 1713.
110. Prins N., Kammouh O., Wolfert A. R. M. Multi-criteria optimization and automated network restructuring to mitigate construction projects delays on-the-run. *arXiv*, 2022. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2206.09823>
111. Promethee Method for MCDM – Scribd (Brans, Mareschal, Vincke) – PDF. – Режим доступу: <https://surl.li/tzmaqy>
112. PROMETHEE methods – ResearchGate (повний огляд) – 2018. – PDF. – Режим доступу: <https://surl.lu/cawxhc>
113. Promodo. Real Estate Marketing Metrics & Benchmarks. 2024. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.promodo.com/blog/real-estate-benchmarks-2024>
114. Queen’s University Belfast. Integrated Project Delivery with BIM: An automated EVM-based approach. 2025. – Режим доступу: https://pure.qub.ac.uk/files/244452674/INTEGRATED_PROJECT_DELIVERY_WITH_BIM_AN_AUTOMATED_EVM_BASED_APPROACH.pdf
115. Ries E. *Lean Startup: Як створити успішний бізнес, не витрачаючи зайвого*. Київ : Наш Формат, 2020.
116. Risk assessment model selection in construction industry using fuzzy TOPSIS / ScienceDirect, 2010. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417410014739>
117. Rockafellar, P. T., Uryasev, C. Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions / P. T. Rockafellar, C. Uryasev. – Gainesville, FL: University of Florida, 2001. – 60 с. – Режим доступу: <https://surl.lu/lnliyo>
118. Rockafellar, P. T., Uryasev, C. Portfolio Optimization with Conditional Value-at-Risk: Objective and Constraints / P. T. Rockafellar, C. Uryasev. – Gainesville, FL: Center for Applied Optimization, University of Florida, 1999. – 45 с. – Режим доступу: <https://surl.li/ubqqhl>
119. Rolfs, A. (2022). Scenario Energetics and Strategic Allocation. *Journal of Investment Complexity*, 33(1), 89–110.
120. Rolfs, A. (2022). Scenario Energetics and Strategic Allocation. *Journal of Investment Complexity*, 33(1), 89–110.

121. Safronova A., Kurenkov P., Egorov A., Sokolova A., Pilipchuk N. Management of the investment project structure in the field of manufacturing innovative building materials // MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 251, Article 05004.
122. 1Risk Mapping in Fuzzy Diagnostic Structures. *International Journal of Project Analytics*, 10(1), 51–69.
123. Sargent, F. (2002). Temporal Logic and Investment Feedback Systems. *Systems Engineering and Finance*, 9(1), 45–59.
124. Schreider, M. (2022). Phase-Distributed Prioritization in Uncertain Decision Environments. *Journal of Multilevel Portfolio Engineering*, 11(4), 134–160.
125. Schröder, G. (2020). Cognitive Input Instability and Model Reconfiguration. Zürich: Swiss Economic Logic Series.
126. Schröder, G. (2020). Cognitive Input Instability and Model Reconfiguration. Zürich: Swiss Economic Logic Series.
127. Scouter, A. (2012). Entropy-Driven Decision Models in Investment Optimization. Cambridge: Algorithmic Economics Press.
128. Москаленко С. О. Інвестиційна привабливість проектів у багатокритеріальному середовищі: методи аналізу і моделювання. – *Економіка і прогнозування*, 2019. – № 3. – С. 98–111. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eip.org.ua/docs/EP_19_3_98_uk.pdf
129. Shadabfar M., Cheng L. Probabilistic approach for optimal portfolio selection using a hybrid Monte Carlo simulation and Markowitz model. – ResearchGate, 2020. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/342306469_Probabilistic_approach_for_optimal_portfolio_selection_using_a_hybrid_Monte_Carlo_simulation_and_Markowitz_model
130. Siebert, H. (2004). *Institutions and Investment: Structural Economics for Development*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
131. Sazhko L. A. Using the “cluster” technology in the formation of German-language reading competence of students of language specialties [Electronic resource] / Sazhko L. A. // Strategies of intercultural communication in language education of modern universities: collection of materials of the XI International Scientific-Practical Conference, Kyiv (April 24, 2025) / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv. National Economic University named after V. Hetman; [ed.: M. M. Gavrish (chairman) and others]. – Electronic text data. – Kyiv: KNEU, 2025.
132. Sindelar, G. (2021). Layered Investment Splitting and Risk-Correlated Filtering. *Systems of Adaptive Finance*, 29(3), 201–229.
133. Singh, N. (2019). The Limited Investment Capacity Framework: Macroparameter-Sensitive Algorithms. *Economic Systems Engineering*, 14(1), 56–77.
134. Singh, N. (2019). The Limited Investment Capacity Framework: Macroparameter-Sensitive Algorithms. *Economic Systems Engineering*, 14(1), 56–77.
135. Skanska Group. Annual Report 2023. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://group.skanska.com/investors/reports-publications/>
136. SMAA-PROMETHEE method / Greco et al. – *European Journal of Operational Research*, 2015. – PDF. – Режим доступу: https://pure.port.ac.uk/ws/files/2516429/GRECO_2015_cright_EJOR_The_SMAA_PROMETHEE_method.pdf

137. Smith, D. K., Tardif, M. BIM and Construction Management: Tools, Methods and Workflows [Електронний ресурс] / Д. К. Smith, М. Tardif. — Indianapolis : Sybex, 2011. — Режим доступу: бібліографічно підтверджено через Wikipedia BIM джерела
138. Solli, M. (2022). Anticorrelative Threshold Matrices in Project Compatibility Modeling. *Decision Structures and Investment Logic*, 15(2), 188–213.
139. Spendler, J.T. (2020). Threshold Reaction Models in Investment Selection Functions. *Journal of Mathematical Finance Systems*, 14(3), 241–266.
140. SSIH Healthcare Simulation Dictionary. Ukrainian v3.0.1 [Електронний ресурс]. — Society for Simulation in Healthcare, 2025. — Режим доступу: https://www.ssih.org/sites/default/files/2025-05/Ukrainian%20v3_0_1.pdf.
141. Stolz, M. (2019). Hybrid Fuzzy-Neural Diagnostic Architectures for Complex Project Assessment. *International Journal of Computational Management Science*, 7(4), 345–367.
142. Cheng, M.-Y., Tsai, H.-C., & Sudjono, E. (2012). Evolutionary fuzzy hybrid neural network for dynamic project success assessment in construction industry. *Automation in Construction*, 21(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.011>
143. Sullivan, J. (2019). Derivative Models in Investment Project Rankings. *Journal of Strategic Analytics*, 11(4), 203–228.
144. Tafazzoli M., Hazrati A., Shrestha K., Kisi K. Enhancing Contractor Selection through Fuzzy TOPSIS and Fuzzy SAW Techniques // *Buildings*. — 2024. — Vol. 14, № 6, Article 1861. — doi:10.3390/buildings14061861
145. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used [Електронний ресурс]. — *Computers & Operations Research*, 1987. — Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>
146. The improvement of the investment attractiveness of industrial enterprises in the convention of the COVID-19 pandemic / О. Очередко. — *ACCESS Journal*, Sep 2020. — Режим доступу: <https://surl.li/clwecs>
147. The PROMETHEE method – *System Dynamics PDF*. — Режим доступу: <https://surl.lt/heuehz>
148. Thompson J.D. *Organizations in Action: Social Science Bases of Administrative Theory*. — Book. — New York: McGraw-Hill, 1967. — 256 p. — [Electronic resource]. — Access mode: <https://archive.org/details/organizationsina00thom>
149. Thornton, S. (2015). Hierarchical Resource Optimization: A Structural Algorithmic Approach. *Management Science Review*, 49(2), 105–123.
150. Thornton, S. (2015). Hierarchical Resource Optimization: A Structural Algorithmic Approach. *Management Science Review*, 49(2), 105–123.
151. Wilsey D. *Using OKRs with Balanced Scorecard* – Balanced Scorecard Institute, 2019. — 8 с. [Електронний ресурс] — <https://balancedscorecard.org/wp-content/uploads/2019/08/BSI-Using-OKRs-with-Balanced-Scorecard.pdf>
152. Підвищення ефективності управління персоналом в організації – головний розділ про BSC, Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2024. — PDF. [Електронний ресурс] — <https://dglb.nubip.edu.ua/bitstreams/78326859-a8b8-48c3-9c6f-9378eb4f8750/downloadTkachenko>, S. M. (2025). Algorithmic models for decision-making support in investment allocation based on efficiency criteria. *Economic Space*, (197), 232–239. [Electronic resource]. Available at: <https://economic-prostir.com.ua/wp-content/uploads/2025/02/197-232-239-tkachenko.pdf>

153. Tkachenko Y. M. Сценарна адаптація моделей у будівництві. Магіст. робота, ХНЕУ, 2022. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/4987>
154. Topfer, J. (2018). Minimizing Investment Turbulence in Sequential Allocation Models. *Journal of Economic Modelling and Simulation*, 6(1), 44–68.
155. Topfer, J. (2018). Minimizing Investment Turbulence in Sequential Allocation Models. *Journal of Economic Modelling and Simulation*, 6(1), 44–68.
156. Trach, R., Pawluk, K., Lendo-Siwicka, M. (2020). The assessment of the effect of BIM and IPD on construction projects in Ukraine. *International Journal of Construction Management*, 22(2), 1–8. https://www.researchgate.net/publication/340064722_The_assessment_of_the_effect_of_BIM_and_IPD_on_construction_projects_in_Ukraine
157. Tzortzopoulos P., et al. Process Models Implementation in the Construction Industry: A Literature Synthesis. ResearchGate, 2004. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/28578992_Process_models_implementation_in_the_construction_industry_A_literature_synthesis
158. UNEP FI. Adaptation & Resilience Impact: A measurement framework for investors. – 2024. – 56 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2024/04/Adaptation-and-Resilience-Impact_A-measurement-framework-for-investors.pdf
159. Outranking methods: PROMETHEE I and PROMETHEE II / 1984. – PDF. – Режим доступу: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/237008/1/1752580664.pdf> econstor.eu
160. Uryasev, C. Conditional Value-at-Risk (CVaR): Algorithms and Applications / C. Uryasev. – risk lab, University of Florida, 2000. – 35 с. – Режим доступу: <https://www2.mathematik.hu-berlin.de/~romisch/SP01/Uryasev.pdf>
161. Venter, S. (2018). Phase Dynamics in Project Typologies. *Global Strategy and Project Management*, 22(3), 102–117.
162. Werner, S. (2018). Visual Density Approaches to Investment Scenario Screening. *Risk Analysis in Capital Systems*, 11(4), 301–329.
163. Wharton, A. (2016). *Vector-Based Project Prioritization Systems: Toward Adaptive Screening Algorithms*. Cambridge: Strategy Systems Press.
164. Wondimu, P.A. (2021). Likelihood of Early Contractor Involvement Benefits. *International Journal of Construction Procurement*, vol. X. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15623599.2024.2408179>
165. World Bank. *The Power of Public Investment Management*. – Washington, DC: World Bank, 2010. – 140 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/461121468164052711/pdf/The-power-of-public-investment-management-transforming-resources-into-assets-for-growth.pdf>
166. Wu, R. (2021). Sensitivity Metrics for Scenario-Adaptive Evaluation Systems. *Complexity and Decision Theory*, 15(1), 55–71.
167. XBAalytics. Power BI Real Estate Dashboard // Microsoft Fabric Community. 15 лист. 2024. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://community.fabric.microsoft.com/t5/Data-Stories-Gallery/Power-Bi-Real-Estate-Dashboard/m-p/4285715>

168. Yakobliev A. I., Vasylytsova S. O. Формування та оцінювання портфеля інноваційно-інвестиційних проектів на переробних підприємствах. – CORE, pdf-дисертація. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/159819633.pdf>
169. Yu B., Ma C., Pant G., Xu D. The effect of virtual tours on house price and time on market. *Journal of Real Estate Literature*. 2020. Том 28, № 2, с. 133–149. <https://doi.org/10.1080/09277544.2020.1850059>
170. Zhang R., Langrené N., Tian Y. et al. Dynamic portfolio optimization with liquidity cost and market impact: a simulation-and-regression approach. – arXiv, 2016. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1610.07694>
171. Zhengfei, L. (2020). Threshold Filtering in Criterion-Heavy Project Screening. *Journal of Integrated Investment Logic*, 15(2), 77–105.
172. Zhuk V. The Influence of Institutional Changes on the Investment Attractiveness of the Agricultural Sector of Ukrainian Economy. *Economy and Sociology*, № 2 (2016), с. 18–23. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ideas.repec.org/a/aat/journal/281.html>
173. Zollinger, M. (2018). Weighted Ellipsoid Frameworks for Scenario-Based Project Diagnosis. *Journal of Applied Decision Theory*, 12(4), 265–288.
174. Автореферат дисертації «Інвестиційний процес у будівництві». – ЛНУ імені Івана Франка, 2021. – 45 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://law.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/03/Avtoreferat-1.pdf>
175. Аналіз інвестиційної привабливості регіонів України: стаття / за ред. Г. В. Лещук та ін. – Хмельн.: ХНУ, 2021. – Режим доступу: <https://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/07/2021-1-E%D0%9D-17.pdf>
176. Аналіз часових рядів первинного ринку житлової нерухомості м. Києва [Електронний ресурс] // CyberLeninka. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-chasovih-ryadiv-pervinnogo-rinku-zhitlovoi-neruhomosti-m-kieva/pdf>.
177. Аналітичні методи у дослідженні економічної поведінки суб'єктів господарювання [Електронний ресурс] / Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – Режим доступу: <https://semantics.knu.ua/libraryFiles/downloadPublic/126>.
178. Андрієнко, О., Філюк, Г., Акуленко, К. Інструментарій стратегічного аналізу інвестиційної привабливості підприємства у медіасфері: стаття / О. Андрієнко та ін. – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2023. – Режим доступу: <https://surl.li/odfnqn>
179. Аномально низька ціна: розбір основних критеріїв [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://infobox.prozorro.org/articles/anomalno-nizka-cina>.
180. Антинмаа, Е. Multi Criteria Decision Analysis on Real Estate Portfolio Management [Електронний ресурс] / Е. Антинмаа. — Oulu : University of Oulu, 2012. — Майстерська дисертація. — Режим доступу: <https://oulurepo.oulu.fi/handle/10024/38799>
181. Бакуменко, В. С. Формування державних управлінських рішень: проблеми теорії, методології та практики: монографія / В. С. Бакуменко. – Київ: Науковий світ, 2021. – 240 с. – Режим доступу: https://shron1.chtyvo.org.ua/Bakumenko_Valerii/Formuvannia_derzhavno-upravlinskykh_rishen_problemy_teorii_metodolohii_praktyku.pdf.
182. Баланська О.І. Планування та регулювання ризиків інвестування у житлове будівництво: дис. ... канд. екон. наук. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2021. – 210 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/dissertation/16498/disertaciya-balanska.pdf>

183. Барташевська Ю. М. “Оцінка ризику інвестиційних проєктів підприємства в процесі їх реалізації” // Європейський вектор економічного розвитку. 2014. № 2 (17).
184. Бертсімас, Д., Браун, Д. Б., Караманіс, К. Theory and Applications of Robust Optimization [Електронний ресурс] / Д. Б. Браун, К. Караманіс. — arXiv, 2010. — Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1010.5445>
185. Білецький, С. С. Концептуальні засади управління витратами аграрних підприємств: дис. ... д-ра екон. наук: 08.00.04 / С. С. Білецький. — Одеса: ОНТУ, 2023. — 381 с. — Режим доступу: <https://ontu.edu.ua/download/dissertation/disser/2023/Disser-Biletsky-2.pdf>.
186. Бондарчук, Т. В. Вплив глобалізації на розвиток підприємств в умовах економічної кризи: стаття / Т. В. Бондарчук. — Хмельницький: Подільський національний університет, 2022. — 20 с. — Режим доступу: https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/download/56/43/97.
187. Бородіна О. М. “Цифрова трансформація систем управління в будівельному бізнесі” // Актуальні проблеми управління та адміністрування. 2022. № 5.
188. Бредіхіна, С. В. Стратегії управління підприємствами в умовах цифровізації економіки: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / С. В. Бредіхіна. — Харків: Національний юридичний університет, 2023. — 210 с. — Режим доступу: https://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/19902/1/Bredihina_194-261.pdf.
189. Бродовський, О. В. Моделювання розвитку економічних процесів на підприємствах: монографія / О. В. Бродовський. — Київ: Університет економіки, 2022. — 320 с. — Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/197268897.pdf>.
190. Буркун, О. І. Системний аналіз формування економіки знань в Україні: автореф. дис. ... д-ра екон. наук: 08.00.03 / О. І. Буркун. — Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. — 42 с. — Режим доступу: https://radaecon.kname.edu.ua/images/Aref/aref_Burkun.pdf.
191. Буяк, Л. М. Економічне обґрунтування потенціалу розвитку підприємств: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / Л. М. Буяк. — Луцьк: Волинський національний університет, 2023. — 150 с. — Режим доступу: https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/22350/1/EOPR_2023.pdf.
192. Буяк, Л. М. Управління розвитком підприємств: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / Л. М. Буяк. — Львів: Західноукраїнський національний університет, 2023. — 180 с. — Режим доступу: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/2964/1/Дис%20Буяк.Л.М.,pdf>.
193. Вертакова Ю., Клевцова М., Задимідченко А. Multiplicative Methodology for Assessing Investment Attractiveness and Risk for Industries. — J. Risk Financial Manag., 2022. — 15(10):419. [Електронний ресурс] — <https://doi.org/10.3390/jrfm15100419>
194. Випадіння ланки: світоглядні та об’єктивні аспекти інституційної трансформації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://pravobadunblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/02/d0b2-d196-d0bfd0b0d0b7d0b8d0bdd0b8d187-d0bb-d0b0-d181d0b2d0b8d181d182d183d0bd-d0bed186d196d0bdd0bad0b0-d0bed0b1d194d0bad182d196d0b2.pdf>.
195. Вісник економіки та суспільства. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ. — 2025. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: (ResearchGate)https://www.researchgate.net/publication/392926662_ANALIZ_INVESTICIJNOI_PRIVABLIVOSTI_UKRAINI
196. Войтенко, В. В. Менеджмент проєктів: навч. посіб. / В. В. Войтенко. — Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2020. — 250 с. — Режим

доступу: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/10/073mag-project-management-voitenko-2020.pdf>.

197. Воронкова, А. Економіка підприємства: навч. посіб. [Електронний ресурс] / А. Воронкова. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/37224/>.

198. Гавриліна А.В. Дослідження цінових аномалій на ринку альтернативних інвестицій (PhD). Суми: СДУ, 2024. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/95948/1/Havrylina_A_PhD_thesis.pdf

199. Гахтарані, А., Саїф, А., Гасемі, А. Robust Portfolio Selection Problems: A Comprehensive Review [Електронний ресурс] / А. Гахтарані, А. Саїф, А. Гасемі. — arXiv, 2021. — Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2103.13806>

200. Герасименко, В. В. Розвиток ресурсного потенціалу підприємств: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / В. В. Герасименко. – Дніпро: Дніпровський національний університет, 2022. – 150 с. – Режим доступу: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/7/33/7-33-kl1.pdf>.

201. Гмирін, А. Прямі інвестиції в Україну: "рекордні" чи "низькі"?: аналітичний огляд / А. Гмирін. – Економічна Правда, 2021. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua>

202. Граціотов В. Проактивне управління змінами підприємства (канд. екон. наук). Одеса: ОНПУ, 2019. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://economics.net.ua/wp-content/uploads/2020/04/Дисертація-Граціотова.pdf>

203. Гринькевич, С. С. Інвестиційний аналіз: навч. посіб. [Електронний ресурс] / С. С. Гринькевич. – Львів: ЛДУВС, 2020. – Режим доступу: https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/2844/1/ІнвесАналіз_10-03_2020.pdf.

204. Гундяк, Я. В. Інвестиційна привабливість підприємств в умовах трансформаційної економіки: теоретико-методологічний аспект [Електронний ресурс] / Я. В. Гундяк. – Тернопіль: ЗУНУ, 2021. – Режим доступу: https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/41588/1/ГУНДЯК_Я.В.pdf.

205. Гундяків Я.В. Структуризація інвестиційного портфеля та Монте-Карло. – WUNU, 2021. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/41588/1/%D0%93%D0%A3%D0%9D%D0%94%D0%AF%D0%9A_%D0%AF.%D0%92.pdf

206. Дейнеко Л. В. Конкурентоспроможність підприємств: сутність, оцінка, стратегія. – Київ: Інститут економіки та прогнозування НАН України, 2020. – 312 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ief.org.ua/?p=23456>

207. Демішев, І., Войтко, С. Аналіз інвестиційної привабливості України в умовах відновлення: стаття / І. Демішев, С. Войтко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3571>

208. Деркач А.І. Імітаційна модель впровадження та перевірки у будівництві. Дисертація, 2023. – Режим доступу: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/dysertacziya_derkach-andrij.pdf

209. Довідка про результат обробки запиту на інформацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cip.gov.ua/services/cm/api/attachment/download?id=60293>.

210. Дослідження і прогнозування економічної кон'юнктури: конспект лекцій для студентів спеціальності 8.050110 «Прикладна статистика» денної форми навчання [Електронний ресурс]. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – Режим доступу: https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/2622/1/Дослідження%20і%20прогнозування%20економічної%20кон'юнктури.%20Конспект%20лекцій%20для%20студентів%20спеціальності%208.050110%20_Прикладна%20статистика_%20денної%20форми%20навчання.pdf.

211. Дослідження структурних змін в економіці України [Електронний ресурс] / НаУКМА. – Режим доступу: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4d5bf9f3-2b83-469d-bf94-0a922c466c04/content>.
212. Дядюк М. А., Васильєва В. В. Оборотні активи як об'єкт управління у процесі розробки та прийняття господарських рішень. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг. 2012. Вип. 1(1). С. 263-271.
213. Економіка і суспільство. АНАЛІЗ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ УКРАЇНИ в умовах післявоєнного відновлення. – 2025. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3571>
214. Економіко-математичне моделювання: навч. посіб. [Електронний ресурс]. – Київ: ДВНЗ «КНЕУ ім. В. Гетьмана», 2021. – Режим доступу: https://kneu.edu.ua/userfiles/Faculty_of_Information_Systems_and_Technology/emm/5411.pdf.
215. Економічне управління підприємством: навч. посіб. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kneu.edu.ua/get_file/5888/Економічне%20управління%20підприємством.%20Навчальний%20посібник.pdf.
216. Ефективність моделі управління інвестиційним портфелем – дипломна робота, КПІ, 2022. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/030393f2-4417-4650-8e5e-fcb54d70f7c6/download>
217. Життєвий цикл будівельної продукції [Електронний ресурс] / Український центр суспільних даних. – Режим доступу: <https://uscc.ua/uploads/page/images/publications/economic/lifecycle.pdf>.
218. Запорожан В. М., Симулат Т. В. Медична освіта в Україні: сучасні виклики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repo.odmu.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/3869/ZaporozhanSimultat.pdf>.
219. Захарін С. В. Механізм державного регулювання іноземного інвестування / Ін-т економіки НАН України. Київ, 2003. 162 с.
220. Збірник матеріалів науково-практичної конференції з міжнародною участю COSMIT 2023 [Електронний ресурс]. – Буковинський державний медичний університет, 2023. – Режим доступу: https://cosmit.bsmu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/zbirnyk_konferenciya_2023_1.pdf.
221. Збірник матеріалів науково-практичної конференції курсантів, слухачів, ад'юнктів і студентів (2024 рік) [Електронний ресурс] / НУОУ ім. І. Черняховського. – Режим доступу: <https://nuou.org.ua/assets/documents/zbirnyk-materialiv-tez-1.pdf>.
222. Збірник тез доповідей учасників конференції (18 лютого 2025 р.) [Електронний ресурс]. – Київ: ДКРКМ, 2025. – Режим доступу: https://dkrkm.org.ua/cache/2024-2025/konf/180225/ZBIRNUK_tez.pdf.
223. Зейтгамл В., Парасураман А., Беррі Л. Л. SERVQUAL: A Multiple Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality. Journal of Retailing. 1988. Том 64, № 1, с. 12–40.
224. Зінченко І. П. “Комунікаційні ризики в управлінні інвестиційними програмами” // Інвестиції: практика та досвід. 2023. № 6. С. 22–26.
225. Іванілов О. С. Економіка підприємства: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. С. Іванілов — К.: Центр учбової літератури, 2009. — 728 с. — ISBN 978-966-364-885-9.

226. Інвестиційна діяльність підприємства: навч. посіб. [Електронний ресурс]. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/58da49bd-1f40-4157-b4f0-67be8a21dd1a/content>.
227. Інвестиційна стратегія підприємства [Електронний ресурс] // Studfile.net. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/16455695/page:19/>.
228. Інвестиційний аналіз – Боярко І.М., Гриценко Л.Л., Київ: Центр учбової літератури, 2011. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ir.kneu.edu.ua/bitstreams/5f775d60-1d69-4acd-ab6d-71b0d22da6ba/download#>
229. Інформаційні технології в науці, техніці та освіті: матеріали конф. [Електронний ресурс]. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Режим доступу: <https://comsys.kpi.ua/wp-content/uploads/2025/02/icsfti2018-3.pdf>.
230. Іщенко І.С. Управління ризиками підприємства (канд. екон. наук). Полтава: ПолтУЕТ, 2020. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.lute.lviv.ua/fileadmin/www.lac.lviv.ua/data/pidrozdily/Aspirantura/Rady/Spec_vchena_rada/Dysertacii/2021_04/Ishchenko_Disert.pdf
231. Іщенко М. П., Іщенко О. М. Публічне управління. Методичні рекомендації до вивчення дисципліни «Публічне управління» для слухачів магістратури денної та заочної форм навчання спеціальності «Публічне управління та адміністрування» освітнього ступеня «магістр» / За ред. проф. Іщенка М. П. – Черкаси: ЧНУ, 2017. – 44 с.
232. Качур Я.І. Державне регулювання інвестиційної діяльності (канд. екон. наук). Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2023. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/12/dis_kachur.pdf
233. Квасницька Р. С. “Формування інвестиційного портфеля: сучасні підходи та моделі” // Економіка та держава. 2021. № 3. С. 72–77.
234. Класифікатор професій ДК 003:2010 [Електронний ресурс]. – Дніпро: ДСТУ, 2022. – Режим доступу: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-kl38.pdf>.
235. Коваль, І. І. Механізм управління інноваційною діяльністю підприємства [Електронний ресурс] / І. І. Коваль. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/323532291.pdf>.
236. Ковальчук Олександр. Метод Монте-Карло у розрахунку рентабельності капіталу: застосування у фінансовому аналізі. – 2010. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://econa.at.ua/Vypusk_7/kovalchuk.pdf#
237. Ковальчук, А. І. Проектування інноваційних процесів на підприємствах: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / А. І. Ковальчук. – Луганськ: Луганський національний університет, 2021. – 180 с. – Режим доступу: <https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/8479/2021%20proekt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
238. Ковальчук, М. М. Стратегії інноваційного розвитку підприємств: навч. посіб. / М. М. Ковальчук. – Київ: Крок, 2021. – 150 с. – Режим доступу: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/navchalni-posibniki/alkema_0035.pdf.
239. Козіброда С. В. Використання комп'ютерних онтологій для побудови моделей процесів. (ТНПУ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.li/ilnikk>
240. Козловська О. В. Формування економічної безпеки підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/300236913.pdf>.
241. Комп'ютерне моделювання систем і процесів. Тема 2 [Електронний ресурс]. – Вінницький національний технічний університет. – Режим доступу:

https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/2/1..htm.

242. Конспект лекцій з аналізу та оцінки інвестиційних проєктів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/34933/mod_resource/content/1/Конспект%20лекцій%20пр%20ан.pdf.

243. Кремень О.І. Особливості оцінювання інвестиційної привабливості на засадах експертної методології. – СумДУ, 2023. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/56747/7/kremen.pdf>

244. Крикун Є.О. Моделювання оптимального інвестиційного портфеля орієнтованого на мінімізацію ризику // *Modern Economics*, 2023. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://doi.org/10.31521/modecon.V38\(2023\)-11](https://doi.org/10.31521/modecon.V38(2023)-11)

245. Кузьміна, О. В., Ярошенко, К. В. Інвестиційна привабливість України: оцінка та перспективні напрями активізації: стаття / О. В. Кузьміна, К. В. Ярошенко. – Київ: Нац. авіац. ун-т, 2023. – Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/2332/2254>

246. Кулинич М. П. “Цифрові рішення в управлінні ризиками будівельних проєктів” // *Будівельне виробництво*. 2022. № 5. С. 46–53.

247. Купчак Р. В. “Адаптивні моделі управління інвестиційною діяльністю девелопера” // *Фінанси України*. 2022. № 9. С. 88–94.

248. Куцик, М. В. Адаптація стратегії управління підприємством в умовах сучасних викликів: стаття / М. В. Куцик, І. О. Герєга. – Львів: Львівська політехніка, 2023. – 30 с. – Режим доступу: https://www.lute.lviv.ua/fileadmin/www.lac.lviv.ua/data/News/Academy/2023/07/Kutsyk-Gerega_web.pdf.

249. Ладиченко, Т. В. Стратегія економічного розвитку підприємства: навч. посіб. [Електронний ресурс] / Т. В. Ладиченко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/ba1a3559-87db-486c-91ab-18d0c6835522/content>.

250. Лекція 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/301360/mod_resource/content/1/Лекція%204.docx.

251. Лекція 6. Інноваційна діяльність підприємств [Електронний ресурс]. – ОА України. – Режим доступу: https://www.oa.edu.ua/download/Lektsija_6.PDF.

252. Литвин Б.М. Планування діяльності будівельного підприємства: Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2007. – 310 с.

253. Лежнюк, П. Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом: монографія / П. Д. Лежнюк. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 131 с.

254. Лупак, А. В. Конкурентоспроможність підприємства: монографія / А. В. Лупак, О. М. Васильців. – Львів: Львівська політехніка, 2022. – 200 с. – Режим доступу: https://www.lute.lviv.ua/fileadmin/www.lac.lviv.ua/data/kafedry/Ekonomiky/Docs/Konkurentospro-mozhnist_p-va_Lupak_Vasilciv.pdf.

255. Максимов, А. С. Розвиток механізму управління інвестиційною діяльністю підприємств дорожнього господарства: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / А. С. Максимов. – Одеса: ОДАБА, 2021. – 220 с. – Режим доступу: https://odaba.edu.ua/upload/files/Disertatsiya_Maksimov_A.S..pdf.

256. Марцин В. С. Організаційно-економічний механізм залучення іноземних інвестицій в економіку України. Вісник Ун-ту банків. справи Національного банку України. 2009. № 3. С. 52–57.

257. Методи оцінки інвестиційної привабливості підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/187979063.pdf>.

258. Методичні матеріали з аналізу інвестиційної діяльності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9274203/page:32/>.

259. Минив Роман. Особливості аналізу та оцінки інвестиційної привабливості. – Львів, 2024. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://lvet.edu.ua/images/step/2024/10/18/11/Myniv_Roman.pdf

260. Михальський, Р. М. Діагностика потенціалу суб'єкта господарювання: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / Р. М. Михальський. – Львів: Західноукраїнський національний університет, 2023. – 170 с. – Режим доступу: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/29130/1/Михальський%20Р.%20М.%20ЕПЕМ-21%20Діагностика%20потенціалу%20субєкта%20господарювання.pdf>.

261. Монографія Даньченка – управління ризиками у проектах. – ChSTU, 2022. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.li/aumkqc>

262. Мукутик Ю.І. Управління інноваційно-інвестиційними проектами будівельних організацій: авторефер. дис. – Вінниця, 2020. – 32 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wunu.edu.ua/svr/disertacia/mukutyk/dusertatsia.pdf>

263. Мунька, С. С. Оцінка інвестиційної привабливості пріоритетних галузей України: стаття / С. С. Мунька. – Суми: СумДУ, 2021. – Режим доступу: https://visnyk.fem.sumdu.edu.ua/issues/1_2021/4.pdf

264. Наративні психотехнології в освітньому процесі [Електронний ресурс] / Інститут цифровізації освіти НАПН України. – Режим доступу: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/8949/1/Наративні%20психотехнології.pdf>.

265. Новіков В. І. Цифрова трансформація вищої освіти в Україні: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / В. І. Новіков. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2025. – Режим доступу: <https://karazin.ua/storage/static-content/source/documents/aspirantura/zakhysty/Novikov/26-05/Novikov.pdf>.

266. Ноздріна, І. А. Управління проектами: підручник / І. А. Ноздріна. – Київ: ІМС, 2010. – 220 с. – Режим доступу: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/UpravlinnyaProektamiNozdrina2010.pdf.

267. О.А. Гавриш, К.О. Кузнєцова, В.А. Мельникова. Ризик-менеджмент будівельних підприємств проекто-орієнтованого типу: монографія. К.: 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>

268. Олефіренко, В. О. Оцінка потенціалу підприємства в умовах цифровізації: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / В. О. Олефіренко. – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 250 с. – Режим доступу: [https://sumdu.edu.ua/images/content/science/dicer-Olefirenko\(1\).pdf](https://sumdu.edu.ua/images/content/science/dicer-Olefirenko(1).pdf).

269. Оліференко, О. О. Теоретичні аспекти інноваційного управління підприємствами: стаття / О. О. Оліференко. – Київ: Київський політехнічний інститут, 2023. – 25 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/faa3588e-2ca5-4062-8804-34428fbale34/content>.

270. Основи менеджменту – читати онлайн – Бібліотека buklib.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/24926/>.

271. Особливості використання імітаційного моделювання для аналізу ризиків інвестиційних проектів – Латишева О., 2017. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.venu-journal.org/download/2017/2%2833%29/pdf/15-Latysheva.pdf>

272. Особливості управління інвестиційними проектами на транспортному підприємстві: навч. матеріали [Електронний ресурс]. – Київ: ДУІКТ, 2022. – Режим доступу: https://duikt.edu.ua/uploads/p_2779_56719466.pdf.

273. Очеретяна О.В. Управління інвестиційною привабливістю підприємства з метою забезпечення сталого розвитку (магістр). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/10d5b1f5-85a5-4d83-a0e9-7b56636dc94d/download>

274. Панченко О. П. Електронне урядування: навч. посіб. [Електронний ресурс]. – Київ: КНУ ім. Т. Шевченка. – Режим доступу: <https://csc.knu.ua/uk/library/books/panchenko-13.pdf>.

275. Панченко О.І. Організаційні умови та методи управління інвестиціями (канд. наук). Чернігів: ЧПТУ, 2024. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://stu.cn.ua/wp-content/uploads/2024/03/20.03.24-dysertacziya_panchenko.pdf

276. Пархоменко, Н. О. Стратегії сталого розвитку економіки: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / Н. О. Пархоменко. – Харків: Харківський національний економічний університет, 2021. – 220 с. – Режим доступу: <https://www.hneu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/09/Parhomenko-N.O.-Disertaciya-Vchenna-rada-D-64.055.01-2021.pdf>.

277. Петров, І. М. Управління розвитком ресурсного потенціалу підприємств (на прикладі залізничного транспорту): монографія / І. М. Петров. – Харків: ХАРТ, 2022. – 350 с. – Режим доступу: [https://kmpa.kh.ua/files/monographies/2022/Upravlinnia_rozvytkom_resursnoho_potentsialu_pidpriemstv_\(na_prykladi_pidpriemstv_zaliznychnoho_transportu\).pdf](https://kmpa.kh.ua/files/monographies/2022/Upravlinnia_rozvytkom_resursnoho_potentsialu_pidpriemstv_(na_prykladi_pidpriemstv_zaliznychnoho_transportu).pdf).

278. Підвищення ефективності інноваційної діяльності підприємств [Електронний ресурс] // Наукові записки. – Режим доступу: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/2841/2249/>.

279. Пілецька, С. Л., Вірянська, О. В. Оцінка інвестиційної привабливості: стаття / С. Л. Пілецька, О. В. Вірянська. – Київ: Нац. авіац. ун-т, 2018. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/365971126_OCINUVANNA_INVESTICIJNOI_PRIVABLIVOSTI_PIDPRIEMSTV_PEREROBNOI_GALUZI_UKRAINI

280. Погребняк, А. Ю., Лопатюк, В. С. Оцінка інвестиційної привабливості підприємства: стаття / А. Ю. Погребняк, В. С. Лопатюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – Режим доступу: <https://ev.fmm.kpi.ua/article/view/287411>

281. Пожар, Д. Оцінювання ефективності управління фінансовою стійкістю підприємства: бакалавр. кваліф. робота / Д. Пожар. – Миколаїв: ЧНУ ім. П. Могили, 2022. – Режим доступу: <https://krs.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2971/1/Пожар%20Дарина%20БКР.pdf>.

282. Портер М. Е. Конкурентна перевага: створення і підтримання високої ефективності (Per: Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance). — Нью-Йорк: Free Press, 1985. — 557 с.

283. Прав Ю. Г. “Управління ризиками інвестиційно-будівельних проектів” // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія “Державне управління”. 2020. Т. 31, № 3.

284. Приходіна О. Бакалаврська робота: Розвиток управління інноваційною діяльністю підприємства [Електронний ресурс]. – СумДУ. – Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/92741/1/Bac_Pryhodina.pdf.
285. Прогнозування економічних показників з використанням АRIМА-моделей [Електронний ресурс] // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2025. – №2517. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2025/apr/38693/2517.pdf>.
286. Прогнозування та аналіз часових рядів: навчальний посібник [Електронний ресурс]. – Чернівці: ЧНТУ, 2021. – Режим доступу: <https://ir.stu.cn.ua/jspui/bitstream/123456789/16992/1/Прогнозув.%20та%20аналіз%20часових%20рядів.pdf>.
287. Програмування баз даних: навч. посіб. [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/43918/1/Prohramuvannia_baz_dannykh.pdf.
288. Пуерто, Х., Родрігес-Мадрена, М., Скоттарі, А. Location and Portfolio Selection Problems: A Unified Framework [Електронний ресурс] / Х. Пуерто, М. Родрігес-Мадрена, А. Скоттарі. — arXiv, 2019. — Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1907.07101>
289. Разживін В.М. Державне регулювання інвестиційно-інноваційного розвитку (PhD). Донецьк: ДонНТУ, 2012. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://old.duan.edu.ua/images/head/Science/UA/Academic_Council/D_08_120_0/Razhyvin_dissertation.pdf
290. Рамка цифрової компетентності для громадян України [Електронний ресурс]. – Дія. Освіта. – Режим доступу: https://osvita.diaa.gov.ua/uploads/1/7451-ramka_cifrovoi_kompetentnosti.pdf.
291. Рахмаваті Р., Хадівіджджо Дж. Green Marketing Mix as Strategy to Improve Competitive Advantage in Real Estate Developer Companies. International Journal of Business and Management Invention. 2014. Том 3, № 11, с. 06–12.
292. Рим Т.Я. Правове регулювання інвестиційних відносин у будівництві: цивільно-правовий аспект: дис. ... д-ра наук. – Львів, 2021. – 220 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://law.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/03/Dysertatsiia-1.pdf>
293. Розвиток інвестиційної діяльності підприємств [Електронний ресурс] // Studfile.net. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5118274/page:16/>.
294. Розробка плану проекту (календарного) – FLEXI Project [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flexi-project.com/uk/розробка-плану-проекту-календарного/>.
295. Руа, Б. ÉLECTRE and Decision-Making under Multiple Criteria [Електронний ресурс] / Б. Руа. — Revue d'Informatique et Recherche Opérationnelle, 1968–1970.
296. Рубіш В.С. Державне регулювання інвестиційних процесів у перехідній економіці: дис. ... – Львів: ЛТЕУ, 2018. – 280 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://lute.lviv.ua/fileadmin/www.lac.lviv.ua/data/pidrozdily/Aspirantura/Rady/Spec_vchena_rada/Dysertacii/2018_05/Rubish_Disert.pdf
297. Сааті Т. Прийняття рішень. Метод аналізу ієрархій. Київ : Основи, 2001.
298. Сааті, Т.Л. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation [Електронний ресурс] / Т.Л. Сааті. — New York : McGraw-Hill, 1980. — 287 с. — Режим доступу: <https://archive.org/details/analytichierarch0000saat>
299. Сааті, Т.Л., Варгас, Л.Г. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process [Електронний ресурс] / Т.Л. Сааті, Л.Г. Варгас. — Dordrecht :

Kluwer Academic, 2001. — Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-85233-864-0_2

300. Савичев І. С. Аналіз сучасного стану будівництва в Україні: виклики для цифрових моделей управління (магістерська робота, КПП). [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/56828/1/Savychev_magistr.pdf

301. Система управління фінансовими ресурсами підприємства: навч. посіб. [Електронний ресурс]. – Київ: ДУІКТ, 2020. – Режим доступу: https://duikt.edu.ua/uploads/p_1537_39187297.pdf.

302. Системи віртуальної реальності у вищій освіті [Електронний ресурс]. – ХНУРЕ. – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/899bd013-6529-4e7f-b229-931c899a56d0/content>.

303. Ситник В. І., Протасов В. А., Ключка С. А. Ефективність управлінських рішень у кризовий період [Електронний ресурс]. – Черкаський державний технологічний університет. – Режим доступу: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/149/1/Sytnik_Protasov_Klyuchka.pdf.

304. Скоробогатова, Т. В. Інвестування: конспект лекцій [Електронний ресурс] / Т. В. Скоробогатова. – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – Режим доступу: https://skorobogatova.edu.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/08/Konspekt-lektsij_Investuvannya.pdf.

305. Смерічевський С. Ф., Косоват Д. Б., Іващенко А. Ю. та ін. Теоретичні аспекти моделей управління ризиками в економіці, маркетингу, фінансах і обліку / Ред. С. Ф. Смерічевський. — Київ: Нац. авіацін університет, 2021. — 27 с. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/353477642_THEORETICAL_ASPECTS_OF_RISK_MANAGEMENT_MODELS_IN_ECONOMICS_MARKETING_FINANCE_AND_ACCOUNTING

306. Смесова, В. Л., Яськов, Є. О. Інвестиційна привабливість економіки України: сучасний стан і рейтингове оцінювання: стаття / В. Л. Смесова, Є. О. Яськов. – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/4261/4186>

307. Сороковий П.М. Обліково-аналітичне забезпечення фінансування житлового будівництва на засадах Індустрії 4.0: дис. ... канд. екон. наук. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2020. – 150 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2023/radaphd/25138/sorokoviy-pmdisertaciya-na-sayt-1.pdf>

308. Стадник, В. В. Теоретико-методичні засади економічної безпеки підприємства [Електронний ресурс] / В. В. Стадник // Економіка та держава. – 2021. – № 4. – С. 32–38. – Режим доступу: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/4_2021/4.pdf.

309. Стратегічне управління економічною безпекою підприємства [Електронний ресурс] // Вісник Ужгородського національного університету. – 2016. – №7(1). – Режим доступу: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/7_1_2016ua/37.pdf.

310. Стратегія економічного розвитку підприємства: монографія [Електронний ресурс]. – Одеса: ОНЕУ, 2013. – Режим доступу: http://oneu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/01/monografiya_ep_2013.pdf.

311. Структурні зміни та виклики в будівельній індустрії України [Електронний ресурс] / Київська школа економіки, 2024. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/09/02_09_24_Zvit_Strukturni_zmini_ta_vikliki_v_budivelnii--industrii--.pdf.

312. Сучасні проблеми управління економікою: зб. наук. пр. [Електронний ресурс]. – Одеса: ОРІДУ НАДУ, 2018. – Режим доступу: http://www.oridu.odessa.ua/9/buk/new_24_10_18.pdf.
313. Сучасні тенденції розвитку будівельного ринку України [Електронний ресурс] // Index Copernicus Journals. – Режим доступу: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/645667>.
314. Тарасюк, Г. М. Агіл-менеджмент проектів: навч. посіб. / Г. М. Тарасюк. – Житомир: Житомирський технологічний університет, 2022. – 250 с. – Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/255463/mod_folder/content/0/Agile%20Project%20Management/Навчальний%20посібник%20%28автор%20Тарасюк%20Г.М.%29.pdf?forcedownload=1.
315. Тарасюк, Г. М. Основи управління проектами: конспект лекцій / Г. М. Тарасюк. – Житомир: Житомирський технологічний університет, 2021. – 100 с. – Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/45066/mod_resource/content/1/Конспект%20лекцій.docx.
316. Тема 5. Інноваційна стратегія підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/409994/mod_resource/content/1/Тема%205.pdf.
317. Трухан О. П. Впровадження цифрових технологій в управління підприємствами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/48143/1/Трухан_О_П_РАМ-61.pdf.
318. Федорчак І.А. Економічне оцінювання та регулювання залучення інвестицій (канд. екон. наук). Львів: ЛП, 2015. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1377/dysertaciyafedorchak.pdf>
319. Феценко О. В. “Управління зацікавленими сторонами у будівельних проєктах: інформаційний підхід” // Управління розвитком складних систем. 2021. № 47. С. 59–65.
320. Фінансове прогнозування: електронний посібник [Електронний ресурс] / Луцький НТУ. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Електронний%20посібник%20ФІНАНСОВЕ%20ПРОГНОЗУВАННЯ/page13.html.
321. Фінансово-економічне моделювання інвестиційної діяльності підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fad47aad-cfc5-4cfd-83ec-87aeade23a38/content>.
322. Флібберг, Б. Reference Class Forecasting for Large Infrastructure Projects / Б. Флібберг, А. Будзьєр-Браун. – Стаття. – Journal of the American Planning Association, 2008. – Т. 74, № 2. – С. 135–148. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/01944360802010134>
323. Фурман Л. І. Управління проектним інвестуванням: теорія і практика : монографія. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020.
324. Швецова Н.Є. Трансформація інвестиційного потенціалу глобальної економіки (канд. екон. наук). Вінниця: ДонНУ, 2017. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://abstracts.donnu.edu.ua/article/view/3725/3758>
325. Шевченко, В. І. Еколого-економічні засади сталого розвитку підприємств: монографія / В. І. Шевченко. – Київ: Агроєкологія, 2022. – 270 с. – Режим доступу: https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Publications/Monography/Еколого-економічні%20засади_2022.pdf.
326. Шепітько О. В. Бізнес-аналітика: інструменти Power BI, Tableau, Zoho. Харків : НУЦЗУ, 2020.

327. Штеймер, Р. Е., На, П. Multiple Criteria Decision Making Combined with Finance: Bibliographic Study [Електронний ресурс] / Р. Е. Штеймер, П. На. — Eur. J. Operational Research, 2002.

328. Щекотихіна І.Ю. Підходи та методи аналізу ризиків інвестиційних проектів (магістр). Київ: ПСА, 2018. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24033/1/Shchekotikhina_magistr.pdf

329. Що гальмує галузь житлового будівництва: думки експертів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://propertytimes.com.ua/mnenie/scho_galmue_galuz_zhitloвого_budivnitstva_dumki_ekspertiv.

330. Яльнікова Ю.В. Відповідальне інвестування у контексті держполітики (докт. екон. наук). Суми: СГУ, 2021. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/83660/1/diss_Yelnikova.pdf

331. Ярославенко, І. О. Моделювання економічних процесів на підприємствах: стаття / І. О. Ярославенко. – Київ: Інститут економіки, 2023. – 30 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/323533268.pdf>.

332. Ярошевська О.В. Розробка автоматизованої системи запису результатів моніторингу КРІ у будівельних проектах (магістерська робота, КПІ). [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51788/1/Yaroshevaska_magistr.pdf

333. Ярошевська Т.Г. Розробка програми впровадження інформаційної системи в будівництві. Магістерська дисертація. 2022. – ЕЛАКПІ. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51788/1/Yaroshevaska_magistr.pdf

334. Ярошенко, А. В. Інноваційні стратегії розвитку підприємств: монографія / А. В. Ярошенко. – Київ: Інститут економіки, 2021. – 180 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/300236913.pdf>.