МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СЕРВАТИНСЬКА ІННА МИКОЛАЇВНА

УДК 69.003:658.14:330.322(477)

ДИСЕРТАЦІЯ

Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення

08.00.04 – економіка та управління підприємствами
(за видами економічної діяльності)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук.
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.
_____ І. М. Серватинська

Науковий консультант д-р екон. наук, професор П. М. Куліков

Київ - 2026

АНОТАЦІЯ

Серватинська І. М. **Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.04 — економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності). Київський національний університет будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2026.

Дисертацію присвячено розробленню теоретико-методологічних і прикладних засад формування організаційно-економічних механізмів інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення. Науково-прикладну проблему розглянуто як проблему управління не лише залученням коштів, а й відповідністю фінансових ресурсів потребам конкретного проєкту, ресурсній спроможності підприємства, часовій послідовності будівельних робіт і мінливим умовам інвестування. Такий ракурс зумовлено тим, що капіталомісткість будівництва, тривалість виробничого циклу, нерівномірність витрат і залежність від договірних графіків перетворюють фінансування на один із визначальних чинників виробничої та інвестиційної керованості підприємства.

Післявоєнне відновлення посилює вимоги до економічної обґрунтованості фінансових рішень. Різний масштаб і суспільне призначення об’єктів, територіальні безпекові обмеження, зміна вартості ресурсів, несталість доступу до кредитних і донорських програм, а також обмеженість власного капіталу ускладнюють вибір джерел фінансування. За таких умов однакова структура фінансування не може бути універсально прийнятною для різних підприємств і проєктів. Вона має формуватися з урахуванням того, які ресурси доступні, наскільки вони відповідають економічним і часовим характеристикам проєкту, якими є умови їх мобілізації та обслуговування, як розподіляються ризики й чи здатне підприємство управляти обраною конфігурацією.

Теоретичну основу дослідження становлять положення корпоративних фінансів, інвестиційного менеджменту, теорії структури капіталу, проєктного фінансування, інституційної економіки та управління інфраструктурними проєктами. Їх синтез дав змогу розглянути інвестиційне забезпечення як самостійний об’єкт управління підприємством, що поєднує формування ресурсної потреби, пошук і мобілізацію капіталу, його розподіл між проєктними етапами, контроль умов залучення та своєчасне коригування фінансового рішення. Запропоноване трактування зміщує дослідницький акцент із самого факту наявності джерела фінансування на його функціональне призначення, економічну відповідність проєкту та управлінські наслідки включення до загальної фінансової конфігурації.

У роботі розмежовано взаємопов’язані, але не тотожні категорії інвестиційного потенціалу підприємства, інвестиційних ресурсів, джерел, інструментів, моделей, структури й архітектури інвестиційного забезпечення. Потенціал характеризує здатність підприємства формувати й мобілізувати ресурси; ресурси відображають фактичну економічну основу інвестування; джерела визначають походження капіталу; інструменти — спосіб його надання та залучення; моделі окреслюють принципи організації фінансування. Структура описує склад і пропорції ресурсної участі, тоді як архітектура охоплює також функції окремих інструментів, умови їх поєднання, взаємозалежності, послідовність використання та можливості заміщення. Таке категоріальне розмежування підтримує послідовність управлінського вибору і запобігає ототожненню доступності коштів із їх економічною придатністю або оптимальною часткою.

Функціональна диференціація ресурсів визначає їхню роль у фінансовому механізмі проєкту. Власна участь посилює автономію підприємства й підтверджує його зацікавленість у результаті; боргове фінансування прискорює мобілізацію коштів, але створює зобов’язання з обслуговування та обмежує подальше залучення капіталу; безповоротні ресурси знижують борговий тиск, однак залежать від відповідності цілям

програм відновлення; приватний капітал і партнерське фінансування розширюють ресурсну базу за умови узгодження очікувань щодо дохідності, контролю та розподілу ризиків. Такий розгляд підтримує управлінський вибір інструментів з урахуванням не лише їх доступності, а й функції в структурі інвестиційного забезпечення.

Важливим для управління є розмежування номінальної наявності фінансового ресурсу та його економічної мобілізованості. Ресурс може бути формально доступним, але непридатним для проєкту через невідповідність строків надходження календарю робіт, вимогам до співфінансування, прийнятному борговому навантаженню чи розподілу ризиків. Тому фінансова спроможність у дослідженні трактується не лише як сукупний обсяг потенційного капіталу, а як здатність підприємства своєчасно залучити, обслуговувати й координувати ресурси без порушення операційної стійкості. Така позиція переводить оцінювання інвестиційного забезпечення з балансового зіставлення джерел і потреб до управлінського аналізу їхньої часової, контрактної та ризикової сумісності.

Обґрунтовано організаційно-економічний механізм інвестиційного забезпечення як узгоджену систему управлінських дій, методів, правил та економічних зв’язків, за допомогою яких підприємство співвідносить потребу проєкту з власними можливостями, оцінює зовнішні інструменти, формує їх прийнятне поєднання та переглядає рішення за зміни вихідних умов. Центральною ланкою механізму є перехід від опису інвестиційної ситуації до рішення щодо складу, часток, строків і функцій фінансових ресурсів. Запропонована логіка дає змогу пов’язати стратегічні цілі підприємства з фінансовою моделлю окремого будівельного проєкту, а також визначити, за яких умов доцільно зберегти базову конфігурацію, скоригувати її або перейти до резервного варіанта.

Для систематизації чинників інвестиційного вибору сформовано взаємопов’язане представлення підприємницьких, проєктних, інвестиційно-ресурсних та інституційно-ризикових умов. До першої групи віднесено

фінансову спроможність, операційну стабільність, управлінські можливості й здатність підприємства обслуговувати залучені ресурси. Проєктні умови охоплюють масштаб, капіталомісткість, тривалість, очікувану економічну результативність, суспільну значущість і терміновість виконання. Інвестиційно-ресурсні характеристики відображають ціну, доступний обсяг, строк мобілізації, вимоги до власної участі та гнучкість інструментів. Інституційно-ризикові передумови стосуються безпеки території, регуляторного середовища, державних і міжнародних програм підтримки, валютних загроз, гарантій і страхового покриття. Урахування цих умов дає змогу виявити обмеження, які не розкриваються оцінюванням лише вартості капіталу або сукупного обсягу фінансування.

Обґрунтовано відмінність між доступністю інвестиційного інструмента, його придатністю для конкретного підприємства й проєкту та допустимістю сформованої структури фінансування. Доступність означає наявність правових, програмних, договірних і ресурсних передумов для залучення коштів. Придатність характеризує міру відповідності інструмента умовам підприємства, проєкту та зовнішнього середовища. Допустимість структури визначається виконанням обов’язкових обмежень щодо покриття потреби, меж власної участі, боргового навантаження й сумісності джерел. Отже, висока оцінка придатності не тлумачиться як гарантія одержання коштів або рекомендація фінансувати проєкт саме цим інструментом; частка ресурсу встановлюється лише на етапі формування фінансової конфігурації.

Розроблено ієрархічну нечітко-логічну модель оцінювання придатності власних ресурсів, комерційного та пільгового кредитування, грантів, приватного капіталу і партнерського фінансування за участю публічного й приватного партнерів. Модель агрегує формалізовані кількісні й якісні характеристики підприємства, проєкту, умов залучення ресурсів та інституційно-ризикового середовища. Ієрархічна побудова відтворює відмінності між економічними логіками інструментів і дає змогу послідовно переходити від первинних характеристик до узагальненої оцінки.

Застосування нечітких множин забезпечує врахування поступових переходів між станами та неповної визначеності вихідної інформації, типової для проєктів відновлення, для яких частина параметрів залежить від зовнішніх гарантій, умов програм або безпекової ситуації.

У моделі враховано обмежену компенсацію несприятливих характеристик між окремими групами умов. Це означає, що переваги за одними напрямами не нівелюють критичних обмежень за іншими: високий суспільний ефект проєкту сам по собі не усуває недостатності фінансової спроможності підприємства, а доступність кредитного ресурсу не компенсує неприйнятного боргового навантаження чи невідповідності строків мобілізації календарю робіт. Такий принцип підвищує економічну змістовність оцінювання, оскільки відтворює управлінські ситуації, у яких один критичний дефіцит може заблокувати застосування інструмента незалежно від інших сприятливих умов. Оцінка водночас зберігає здатність локалізувати чинники, що підвищують або знижують відповідність кожного ресурсу.

Для оперативного аналізу мінливих інвестиційних ситуацій сформовано сценарну базу, яка охоплює узгоджені зміни характеристик підприємства, проєкту, вартості та умов залучення ресурсів, ризиків і параметрів зовнішнього середовища. Сценарне формування забезпечує дослідження широкого простору можливих умов без повного перебору всіх комбінацій. Отримані оцінки нечіткої моделі використано для навчання прогнозного інструментарію, здатного швидко відтворювати результат оцінювання для альтернативних конфігурацій. Для кожного інвестиційного інструмента побудовано окрему модель машинної апроксимації, що враховує відмінність чинників, які визначають його придатність, та підтримує повторне сценарне порівняння під час підготовки управлінського рішення.

Якість прогнозного інструментарію оцінювалася за здатністю відтворювати результати нечіткої системи на синтетичних сценаріях, зокрема за контрольних і граничних умов, локальних похибок і характеру відгуку на зміну факторів. Інтерпретацію доповнено аналізом внесків характеристик, що

дає змогу пояснювати причини зміни оцінки придатності, а не обмежуватися її числовим прогнозом. Така перевірка підтверджує внутрішню узгодженість машинної апроксимації з логікою нечіткої моделі та створює передумови для її застосування в оперативному аналізі. Водночас одержані результати не ототожнюються з емпіричним прогнозом фактичних результатів підприємств, оскільки модель калібровано на синтетично сформованих даних; практичне застосування потребує подальшого зіставлення з реальними даними й умовами фінансових програм.

Розроблено багатокритеріальну економіко-математичну модель формування структури інвестиційного забезпечення, яка в єдиній оптимізаційній постановці поєднує вибір інструментів із визначенням часток їхньої участі у фінансуванні. Допустимі рішення мають забезпечувати покриття інвестиційної потреби проєкту та відповідати ресурсним можливостям підприємства, вимогам власної участі, межам боргового навантаження й умовам доступності окремих ресурсів. Обов’язкові умови відокремлено від критеріїв ефективності: невиконання фінансового обмеження не може компенсуватися низькою вартістю чи сприятливою оцінкою іншого критерію. Такий підхід зосереджує оптимізацію на економічно здійсненних конфігураціях і поєднує фінансовий вибір із управлінською спроможністю підприємства реалізувати рішення.

Комплексне порівняння альтернатив здійснюється за вартістю ресурсів, ризиком фінансування, строком мобілізації, концентрацією джерел і складністю управління. Оскільки покращення одного критерію може супроводжуватися погіршенням іншого, вибір не зводиться до мінімізації ціни капіталу чи максимізації окремого показника. Формування множини Парето-ефективних рішень, визначення ваг критеріїв за інформаційною варіативністю та подальше ранжування альтернатив створюють послідовну процедуру переходу від набору допустимих фінансових конфігурацій до компромісного варіанта. Методичне поєднання AUGMECON2, CRITIC і MARCOS забезпечує

прозорість цього переходу та уможливлює пояснення управлінського вибору через баланс його економічних наслідків.

Практичну апробацію проведено на синтетичних профілях підприємств і проєктів, що відрізнялися ресурсною спроможністю, масштабом, економічними характеристиками та суспільним призначенням. Результати показали, що придатність фінансових інструментів є контекстною. Грантові ресурси є більш релевантними для проєктів із виразною суспільною значущістю та відповідністю програмним пріоритетам; приватний капітал стає привабливішим за достатнього масштабу й економічної результативності; партнерські механізми доцільніше розглядати для складних інфраструктурних завдань, де потрібні розподіл ризиків, довгострокове управління та координація публічних і приватних учасників. Ці закономірності характеризують модельні конфігурації та підкреслюють необхідність перевіряти умови конкретного проєкту, а не переносити узагальнений рейтинг інструментів на всі підприємства.

Модельне формування структури виявило перевагу комбінування власного ресурсу з пільговим кредитуванням у базових умовах, тоді як посилення боргових обмежень зумовлювало часткове заміщення кредиту приватним капіталом. Зіставлення конфігурацій засвідчило, що рішення, найкраще за окремим критерієм, не обов’язково є найкращим за сукупною економічною оцінкою. Нижча вартість може супроводжуватися вищою концентрацією джерел, збільшеним ризиком або складнішим адмініструванням; швидке залучення може вимагати дорожчих ресурсів чи обмежувати свободу підприємства. Фінансова архітектура постає як управлінський компроміс між результативністю проєкту, прийнятністю фінансового навантаження, своєчасністю ресурсного забезпечення та здатністю підприємства координувати взаємодію інвесторів і партнерів.

Практичне значення результатів полягає у можливості застосовувати запропонований механізм для узгодження інвестиційної потреби будівельного проєкту зі спроможністю підприємства, попереднього відбору придатних

інструментів і порівняння фінансових альтернатив. Він підтримує підготовку базових і резервних конфігурацій, планування строків мобілізації коштів та визначення умов перегляду рішень. Практичне використання потребує перевірки фактичної доступності ресурсів, договірних умов і параметрів конкретного проєкту.

Кількісне оцінювання стійкості доповнює сценарний аналіз перевіркою збереження допустимості, зміни економічних характеристик, перерозподілу часток і віддаленості рекомендованої конфігурації від рішення, оптимального за змінених умов. Аналіз чутливості дає змогу ранжувати параметри за їхнім впливом на структурні зміни та визначати порогові значення, за яких вихідний варіант втрачає прийнятність. Це переводить стійкість із загальної властивості фінансового рішення в управлінську основу для встановлення умов його перегляду. Застосування такого підходу допомагає завчасно визначати резервні конфігурації та спрямовувати моніторинг на параметри, критичні для безперервності фінансування будівельних робіт.

Теоретичне значення результатів полягає в розвитку теоретико-методологічних засад управління інвестиційним забезпеченням будівельних підприємств у контексті післявоєнного відновлення. Обґрунтовано його трактування як керованого організаційно-економічного механізму, що узгоджує інвестиційну потребу проєкту з фінансовою спроможністю підприємства, умовами залучення ресурсів і обмеженнями зовнішнього середовища. Розмежування понять інвестиційного потенціалу, ресурсів, джерел, інструментів, моделей, структури й архітектури інвестиційного забезпечення уточнює їхнє місце в системі управлінських рішень. Теоретично обґрунтовано послідовність переходу від оцінювання доступності та придатності інструментів до формування допустимої структури фінансування, її багатокритеріального вибору й адаптації за зміни умов реалізації проєкту, що створює методологічну основу для подальших досліджень фінансового менеджменту будівельних підприємств і механізмів ресурсного забезпечення проєктів відновлення.

Практичне значення результатів полягає у можливості застосовувати запропонований механізм для попереднього зіставлення інвестиційної потреби будівельного проєкту з фінансовою спроможністю підприємства, відбору придатних інструментів, формування й порівняння альтернативних структур, а також підготовки базових і резервних конфігурацій фінансування. Інструментарій може бути використаний керівниками будівельних підприємств, девелоперами, фінансовими менеджерами, інвесторами та учасниками програм відновлення для обґрунтування рішень, визначення обмежень, узгодження строків фінансування з календарем робіт і раннього виявлення умов, що потребують перегляду архітектури. Перед практичним застосуванням необхідно підтвердити фактичну доступність інструментів, актуальні договірні умови, межі фінансування й ризикові параметри конкретного проєкту.

Наукова новизна дослідження полягає в інтеграції категоріального, методологічного, оцінювального та оптимізаційного підходів до управління інвестиційним забезпеченням будівельних підприємств. Запропоновані положення дають змогу обґрунтовувати фінансове рішення відповідно до потреб проєкту, спроможності підприємства та мінливих умов середовища й формують основу для адаптивного планування в умовах повоєнного відновлення.

Ключові слова: будівельне підприємство, будівельний девелопмент, інвестиційне забезпечення, інвестиційний інструмент, фінансова архітектура, бізнес-процес, мультипроєктне середовище, нечітка логіка, сценарне оцінювання, багатокритеріальна оптимізація, стратегія, управління підприємством.

ABSTRACT

Servatynska, I. M. **Organizational and economic mechanisms for the investment support of construction enterprises in the context of post-war recovery.** Qualification research work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Economics in specialty 08.00.04 – Economics and Enterprise Management (by types of economic activity). Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2026.

The dissertation develops theoretical and methodological foundations and applied approaches to the formation of organizational and economic mechanisms for the investment support of construction enterprises during post-war recovery. The scientific and applied problem is considered as one of managing not only the attraction of funds, but also the alignment of financial resources with the requirements of a specific project, the resource capacity of the enterprise, the timing of construction works, and changing investment conditions. This perspective is determined by the capital intensity of construction, the duration of the production cycle, the uneven distribution of costs, and dependence on contractual schedules, which make financing a key determinant of an enterprise's ability to manage its production and investment activities.

Post-war recovery increases the requirements for the economic justification of financial decisions. Differences in the scale and public purpose of facilities, territorial security constraints, changes in resource costs, unstable access to lending and donor programmes, and limited equity complicate the choice of funding sources. Under these conditions, a uniform financing structure cannot be universally suitable for different enterprises and projects. It should be formed by considering which resources are available, how well they correspond to the economic and temporal characteristics of the project, the terms on which they can be mobilised and serviced, the allocation of risks, and the enterprise's capacity to manage the selected configuration.

The theoretical foundations of the study draw on corporate finance, investment management, capital structure theory, project finance, institutional economics, and infrastructure project management. Their synthesis made it possible to consider investment support as an independent object of enterprise management that combines the determination of resource requirements, the search for and mobilisation of capital, its allocation across project stages, the monitoring of financing terms, and the timely adjustment of financial decisions. This interpretation shifts the research focus from the mere availability of a funding source to its functional purpose, economic suitability for the project, and managerial implications of incorporating it into the overall financial configuration.

The dissertation distinguishes between interrelated but non-identical categories: an enterprise's investment capacity, investment resources, sources, instruments, models, structure, and architecture of investment support. Capacity characterises the enterprise's ability to generate and mobilise resources; resources represent the actual economic basis for investment; sources identify the origin of capital; instruments define how capital is provided and raised; and models set out the principles for organising financing. Structure describes the composition and proportions of resource participation, whereas architecture also encompasses the functions of individual instruments, the terms of their combination, interdependencies, sequencing, and substitution options. This conceptual distinction supports a consistent managerial choice and prevents the availability of funds from being equated with their economic suitability or optimal share.

The functional differentiation of resources determines their role in a project's financial mechanism. Equity strengthens enterprise autonomy and demonstrates its commitment to the project outcome; debt financing accelerates the mobilisation of funds but creates servicing obligations and limits further capital raising; non-repayable resources reduce debt pressure but depend on alignment with the objectives of recovery programmes; private capital and partnership financing expand the resource base, provided that expectations regarding returns, control, and risk allocation are reconciled. This perspective supports managerial selection of

instruments by considering not only their availability but also their function within the investment support structure.

For management purposes, it is important to distinguish the nominal availability of a financial resource from its economic mobilisability. A resource may be formally accessible yet unsuitable for a project because its disbursement schedule does not match the work calendar, or because it fails to meet co-financing requirements, acceptable debt limits, or risk-sharing conditions. Accordingly, financial capacity is interpreted not merely as the total amount of potential capital, but as the enterprise's ability to raise, service, and coordinate resources in a timely manner without undermining operational stability. This position shifts the assessment of investment support from a balance-sheet comparison of sources and needs to a managerial analysis of their temporal, contractual, and risk compatibility.

The organizational and economic mechanism of investment support is substantiated as a coordinated system of managerial actions, methods, rules, and economic relationships through which an enterprise aligns project needs with its own capabilities, assesses external instruments, forms a suitable combination of resources, and revises decisions when initial conditions change. The central link in the mechanism is the transition from describing the investment situation to deciding on the composition, shares, timing, and functions of financial resources. This logic connects the enterprise's strategic objectives with the financial model of an individual construction project and helps determine when to retain the baseline configuration, adjust it, or switch to a reserve option.

To systematise the factors informing investment choices, the study presents the interrelated business, project, investment and resource, and institutional and risk conditions. The first group includes financial capacity, operational stability, managerial capabilities, and the enterprise's ability to service attracted resources. Project conditions cover scale, capital intensity, duration, expected economic performance, public significance, and urgency. Investment and resource characteristics reflect cost, available volume, mobilisation time, own-contribution requirements, and instrument flexibility. Institutional and risk prerequisites concern

territorial security, the regulatory environment, national and international support programmes, currency threats, guarantees, and insurance coverage. Considering these conditions makes it possible to identify constraints that are not revealed by assessing only the cost of capital or the total amount of financing.

The study substantiates the distinction between the availability of an investment instrument, its suitability for a specific enterprise and project, and the admissibility of the resulting financing structure. Availability means that legal, programme, contractual, and resource prerequisites for raising funds are in place. Suitability reflects the degree to which an instrument corresponds to the conditions of the enterprise, the project, and the external environment. The admissibility of a structure is determined by compliance with mandatory constraints on covering project needs, own-contribution limits, debt burden, and the compatibility of sources. Thus, a high suitability score is not interpreted as a guarantee of receiving funds or as a recommendation to finance a project with that instrument; the resource share is determined only at the subsequent stage of forming the financial configuration.

A hierarchical fuzzy logic model has been developed to assess the suitability of internal resources, commercial and concessional loans, grants, private capital, and partnership financing involving public and private partners. The model aggregates formalised quantitative and qualitative characteristics of the enterprise, project, resource mobilisation terms, and the institutional and risk environment. Its hierarchical structure reflects differences in the economic logic of the instruments and enables a consistent transition from primary characteristics to an overall assessment. The use of fuzzy sets accounts for gradual transitions between states and incomplete information, which are typical of recovery projects where some parameters depend on external guarantees, programme terms, or the security situation.

The model incorporates limited compensation for adverse characteristics across groups of conditions. This means that advantages in one area cannot offset critical constraints in another: a project’s high public impact does not, by itself,

eliminate the enterprise's insufficient financial capacity, and the availability of credit does not compensate for an unacceptable debt burden or a mismatch between mobilisation schedules and the work calendar. This principle strengthens the economic validity of the assessment by representing managerial situations in which a single critical deficit can preclude the use of an instrument regardless of other favourable conditions. At the same time, the assessment identifies the factors that increase or reduce the suitability of each resource.

A scenario base has been developed for the operational analysis of changing investment situations. It covers coordinated changes in enterprise and project characteristics, the cost and terms of resource mobilisation, risks, and external environment parameters. Scenario generation enables a broad range of possible conditions to be examined without testing every possible combination. The resulting fuzzy model assessments are used to train a forecasting tool that rapidly reproduces assessment results for alternative configurations. A separate machine-learning surrogate model is developed for each investment instrument, taking account of differences in the factors determining its suitability and supporting repeated scenario comparisons during the preparation of managerial decisions.

The forecasting tool was assessed by its ability to reproduce the fuzzy system's results on synthetic scenarios, including control and boundary conditions, local errors, and response patterns to changes in factors. Interpretation was supplemented by an analysis of feature contributions, making it possible to explain why a suitability assessment changes rather than rely solely on its numerical prediction. This verification confirms that the machine-learning surrogate reproduces the logic of the fuzzy model consistently and provides a basis for its use in operational analysis. At the same time, these results are not equated with empirical forecasts of enterprises' actual performance, since the model was calibrated on synthetically generated data; practical application requires further comparison with real enterprise data and the actual terms of financing programmes.

A multi-criteria economic and mathematical model has been developed to form the investment support structure by combining, in a single optimisation

formulation, the selection of instruments with the determination of their financing shares. Admissible solutions must cover the project's investment needs and comply with the enterprise's resource capacity, own-contribution requirements, debt limits, and the availability conditions of individual resources. Mandatory conditions are separated from efficiency criteria: failure to meet a financial constraint cannot be offset by a low cost or a favourable assessment under another criterion. This approach focuses optimisation on economically feasible configurations and links the financial choice to the enterprise's managerial capacity to implement it.

Alternatives are compared according to resource cost, financing risk, mobilisation time, source concentration, and management complexity. Since improvement in one criterion may be accompanied by deterioration in another, selection is not reduced to minimising the cost of capital or maximising a single indicator. The formation of a Pareto-efficient set, the determination of criteria weights based on information variability, and the subsequent ranking of alternatives establish a consistent procedure for moving from a set of admissible financing configurations to a compromise option. The methodological combination of AUGMECON2, CRITIC, and MARCOS ensures transparency in this process and makes it possible to explain managerial choice through a balance of economic consequences.

The models were practically tested using synthetic profiles of enterprises and projects that differed in resource capacity, scale, economic characteristics, and public purpose. The results showed that the suitability of financial instruments is context-dependent. Grant resources are more relevant for projects with pronounced public significance and alignment with programme priorities; private capital becomes more attractive when project scale and economic performance are sufficient; and partnership mechanisms are more appropriate for complex infrastructure tasks requiring risk allocation, long-term management, and coordination between public and private participants. These patterns characterise model configurations and highlight the need to examine the conditions of each specific project rather than apply a general instrument ranking to all enterprises.

Model-based structuring showed the advantage of combining internal resources with concessional lending under baseline conditions, while tighter debt constraints led to partial substitution of debt with private capital. Comparisons of configurations showed that the alternative performing best under an individual criterion is not necessarily the best under an overall economic assessment. A lower cost may be accompanied by greater source concentration, increased risk, or more complex administration; rapid mobilisation may require more expensive resources or restrict the enterprise's flexibility. Financial architecture therefore represents a managerial compromise among project performance, acceptable financial burden, timely resource provision, and the enterprise's capacity to coordinate investors and partners.

The practical value of the results lies in the possibility of applying the proposed mechanism to preliminarily compare the investment needs of a construction project with the enterprise's financial capacity, select suitable instruments, form and compare alternative structures, and prepare baseline and reserve financing configurations. The tool can be used by construction enterprise executives, developers, financial managers, investors, and participants in recovery programmes to justify decisions, identify constraints, align funding schedules with work calendars, and detect early the conditions that require a revision of the architecture. Before practical application, the actual availability of instruments, current contractual terms, financing limits, and project-specific risk parameters should be verified.

Quantitative assessment of resilience supplements scenario analysis by checking whether the structure remains admissible, how its economic characteristics change, how resource shares are redistributed, and how far the recommended configuration is from the solution optimal under altered conditions. Sensitivity analysis makes it possible to rank parameters by their effect on structural changes and to identify threshold values at which the baseline option loses acceptability. This turns resilience from a general property of a financial decision into a managerial basis for specifying when it should be reviewed. The approach helps identify reserve

configurations in advance and focus monitoring on parameters critical to the continuity of financing for construction works.

The theoretical significance of the results lies in advancing the foundations for managing construction enterprises' investment support during post-war recovery. It substantiates investment support as an organizational and economic mechanism that aligns project needs with enterprise capacity and financing constraints, clarifies the relationships among its key concepts, and establishes a decision sequence from assessing instruments to selecting and adapting the financing structure. These findings provide a basis for further research on construction finance and recovery projects.

The practical value of the results lies in the possibility of applying the proposed mechanism to align a construction project's investment needs with an enterprise's financial capacity, pre-screen suitable instruments, and compare financing alternatives. It supports the preparation of baseline and reserve configurations, the planning of funding mobilisation schedules, and the determination of conditions for reviewing decisions. The tool may be used by construction enterprise executives, developers, financial managers, investors, and participants in recovery programmes to justify decisions, identify constraints, align financing schedules with work calendars, and detect early the conditions requiring a revision of the architecture. Before practical application, the actual availability of instruments, current contractual terms, financing limits, and project-specific risk parameters should be verified.

The scientific value of the study lies in integrating conceptual, methodological, assessment, and optimisation approaches to managing the investment support of construction enterprises. The proposed provisions make it possible to justify financial decisions in line with project needs, enterprise capacity, and changing environmental conditions, and provide a basis for adaptive planning during post-war recovery.

Keywords: construction enterprise, construction development, investment support, investment instrument, financial architecture, business process, multi-project environment, fuzzy logic, scenario assessment, multi-criteria optimisation, strategy, enterprise management.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. **Korsun I.**, Slynko M. Investment potential of Ukraine: current state and prospects. *Moderní aspekty vědy:* XXXVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2023. S. 301-315. *Особистий внесок:* систематизовано чинники формування інвестиційного потенціалу України та підготовлено положення щодо залучення ресурсів для відновлення економічної діяльності.

2. Гаман Г.В., **Корсун І.М.** Інтелектуальна міграція як загроза економічної безпеки держави. *Moderní aspekty vědy:* XL. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. S. 35-52. *Особистий внесок:* опрацьовано вплив інтелектуальної міграції на кадровий потенціал і економічну безпеку та узагальнено напрями збереження людського капіталу.

3. **Корсун І.М.**, Костогриз В.Г. Європейський досвід застосування фінансових інструментів щодо заощаджень домогосподарств. *Перспективи розвитку національної економіки України: теоретичні та практичні аспекти*: колективна монографія / Кол. авторів. Полтава: ПП “Астрая”, 2023. С. 105 - 112. *Особистий внесок:* узагальнено європейський досвід використання фінансових інструментів заощадження та підготовлено положення щодо можливостей його застосування в Україні.

4. **Серватинська І.М.** Фінанси домогосподарств як індикатор соціальної стабільності та сталості розвитку території. *Глобальне партнерство; освіта; технології; інновації:* монографія [за заг. ред. О. Ю. Березіної, Ю. В. Ткаченко]; Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: Видавець «Чабаненко Ю.А.». 2017. С. 373 – 382.

Статті у наукових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science:

5. **Korsun, I**., Ulinici, A., Bublyk, L., Humeniuk, A., & Andrieieva, V. (2026). The impact of artificial intelligence on the transformation of the global financial market models. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 104*(2), 311–325. https://doi.org/10.5281/zenodo.18454530 ***Особистий внесок:*** проаналізовано вплив штучного інтелекту на трансформацію фінансових моделей та узагальнено значення пояснюваності, простежуваності й стійкості цифрових рішень для оцінювання фінансових ризиків і підтримки управлінського вибору.

6. Nesterova, M., Kazak, O., **Servatynska, I.,** Leshchynskyi, V., Fesun, A., & Kyryk, Ya. (2026). Management of financial and economic security of enterprises in the context of digitalization. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice, 3*(68), 398–410. https://doi.org/10.55643/fcaptp.3.68.2026.5173 ***Особистий внесок:*** досліджено взаємозв'язок фінансових, інформаційних та управлінських складових безпеки підприємства; узагальнено значення моніторингу цифрових загроз, управління борговим навантаженням і контролю ризиків для підтримання його фінансової стійкості.

7. Alnaimat, M. A., **Korsun, I.,** Lutsenko, K., Khodorkovskyi, O., & Artemchuk, M. (2025). Artificial intelligence in accounting: Revolutionizing financial management in the digital landscape. *Theoretical and Practical Research in Economic Fields, 16*(1), 130–141. https://doi.org/10.14505/tpref.v16.1(33).11 ***Особистий внесок:*** опрацьовано можливості застосування штучного інтелекту в облікових процесах та узагальнено його вплив на точність оброблення даних і оперативність формування фінансової інформації, необхідної для управління підприємством.

8. **Korsun, I. M.,** Zinchenko, M. M., Makhno, S. V., & Myronenko, D. Y. (2023). The paradigm of the financing of state budget expenditures of Ukraine in the conditions of the war and post-war social-oriented market economy. *Academy Review, 2*(59), 103–112. https://doi.org/10.32342/2074-5354-2023-2-59-7

Особистий внесок: узагальнено підходи до фінансування державних видатків у воєнний і повоєнний періоди та висвітлено взаємозв'язок бюджетних пріоритетів, залучення інвестицій і фінансових передумов проєктів відновлення.

9. **Servatynska, I. M.** (2019). Household expenditures and savings as a factor in economic growth. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice, 2*(29), 454–461. https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i29.171894 ***Особистий внесок:*** проаналізовано структуру витрат і заощаджень домогосподарств, оцінено їхній зв'язок із динамікою ВВП за допомогою лінійної регресійної моделі та методу найменших квадратів, а також запропоновано механізм трансформації заощаджень у інвестиційні ресурси.

10. Honcharenko I., **Servatynska I.** (2018). Financial unity of the world as an organic part of globalization. *Baltic Journal of Economic Studies, 4*(2), 53–57. https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-2-53-57 ***Особистий внесок:*** досліджено становлення світової фінансової єдності як складової глобалізації та узагальнено її позитивні й негативні наслідки для світової фінансової архітектури; ці положення розширюють розуміння впливу зовнішнього фінансового середовища на інвестиційні рішення підприємств.

Статті у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

11. Шпакова Г.В., Лич В.М., **Серватинська І.М.** (2026). Фінансові інструменти та моделі інвестування у будівництві в умовах війни. *Ефективна економіка*. № 5. http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.5.71. *Особистий внесок*: систематизовано джерела та інструменти фінансування будівництва, обґрунтовано підходи до їх вибору з урахуванням воєнних ризиків і потреб відновлення.

12. **Серватинська І.М.**, Лич В.М. (2026). Фінансовий механізм будівельного девелопменту в умовах багатофакторного середовища. *Бізнес-навігатор.* Випуск 2 (85), 510-516. https://doi.org/10.32782/business-

navigator.85-79. *Особистий внесок:* визначено взаємозв'язок фінансових ресурсів, грошових потоків і ризиків у будівельному девелопменті; підготовлено пропозиції щодо їх узгодженого управління.

13. **Серватинська І.М.**, Мостовенко О.О., Гоменюк О.В. (2026). Аудит використання бюджетних коштів у бюджетних установах як інструмент фінансового контролю. *Актуальні питання економічних наук*, (20) https://doi.org/10.5281/zenodo.18801030. *Особистий внесок:* узагальнено процедури аудиту бюджетних видатків і визначено їхнє значення для контролю та прозорості використання публічних коштів.

14. Гаман, Г., **Серватинська, І.** (2025). Фінансові втрати економіки України від релокації підприємств під час війни. *Трансформаційна економіка*, 4 (13), 32-39. https://doi.org/10.32782/2786-8141/2025-13-5. *Особистий внесок:* опрацьовано фінансові наслідки релокації підприємств і систематизовано чинники втрат та обмеження відновлення їхньої господарської діяльності.

15. Чернявська Ю.Б., Гаман Г.В., **Серватинська І.М.** (2025). Система оподаткування ФОП і ТОВ в Україні: порівняльний аналіз та критерії вибору. *Формування ринкових відносин в Україні*, 12 (295), 5-16. https://doi.org/10.66416/2522-1620.12.2025.5-16. *Особистий внесок:* проведено порівняльний аналіз податкових режимів та узагальнено критерії вибору організаційно-правової форми з огляду на її фінансові наслідки для підприємства.

16. **Корсун І.М.**, Гаман Г.В., Чернявська Ю.Б. (2025). Державно-приватне партнерство в будівництві: інвестиційна парадигма. *Актуальні проблеми економіки, 9 (291),* 57-65. DOI: 0.32752/1993-6788-2025-1-291-57-65. *Особистий внесок:* узагальнено інвестиційні можливості державно-приватного партнерства в будівництві та опрацьовано питання розподілу фінансових зобов'язань і ризиків між партнерами.

17. Гаман Г., **Корсун І.** (2024). Особливості ведення та оподаткування бізнесу ФОП. *Шляхи підвищення ефективності будівництва, 1 (54),* 234–245. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).234-245. *Особистий внесок:*

систематизовано фінансово-облікові й податкові особливості діяльності, що впливають на планування ресурсів і вибір форми ведення підприємницької діяльності.

18. Зінченко М., Мостовенко О., **Корсун І.** (2024). Цифрові гроші: переваги та ризики для економіки. *Просторовий розвиток, (9),* 327–335. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.9.327-335. *Особистий внесок:* узагальнено переваги цифрових грошей і пов'язані з ними фінансові та інформаційні ризики, підготовлено аналітичні висновки щодо їх використання.

19. **Корсун І.М.**, Зінченко М.М., Мостовенко О.О. (2024). Оцінка ризиків комерційних банків як суб'єктів первинного фінансового моніторингу. *Економіка та суспільство.* Вип. 69. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-69-85. *Особистий внесок:* систематизовано критерії та джерела оцінювання ризиків первинного фінансового моніторингу й узагальнено напрями вдосконалення ризик-менеджменту банків.

20. **Корсун І.М.** (2024). Генезис та періодизація розвитку фондів соціального страхування. *Науковий погляд: економіка та управління*, № 1 (85), 50-56. https://doi.org/10.32782/2521-666X/2024-85-8. *Особистий внесок:* розроблено й обґрунтовано періодизацію розвитку фондів соціального страхування в Україні з урахуванням змін їхнього інституційного та фінансового забезпечення.

21. **Корсун, І.,** Зінченко, М., Мостовенко, О. (2024). Функціонування будівельної галузі в умовах війни. *Сталий розвиток економіки*, 1(48), 176-182. https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-24. *Особистий внесок:* опрацьовано вплив воєнних загроз на діяльність будівельних підприємств та узагальнено ресурсні, фінансові й організаційні передумови відновлення галузі.

22. Лич В., **Корсун І.** (2023). Альтернативні джерела сукупних ресурсів домогосподарств: регіональний аспект. *Економічний форум*. Том 13. № 4. 155-166. https://doi.org/10.62763/cb/4.2023.155. *Особистий внесок:* систематизовано альтернативні джерела ресурсів домогосподарств та опрацьовано регіональні відмінності їхнього фінансового потенціалу.

23. **Корсун І. М**., Костогриз В. Г., Сологуб М. П. (2022). Ефективні ділові комунікації і PR в підприємницькій діяльності. *Ефективна економіка.* № 1. DOI:10.32702/2307-2105-2022.1.89. *Особистий внесок:* узагальнено інструменти ділових комунікацій і PR та підготовлено положення щодо інформаційної взаємодії підприємства із зацікавленими сторонами.

24. Костогриз В.Г., Жежерун Ю.В., **Корсун І.М.** (2022). Банківський сектор України у просторі впливу VUCA–середовища на фінансову стабільність. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Економічна» (103), 41-47. https://doi.org/10.26565/2311-2379-2022-103-05. *Особистий внесок:* опрацьовано вплив чинників невизначеності на фінансову стабільність банків та узагальнено можливості адаптації й цифрової трансформації їхньої діяльності.

25. **Серватинська І. М.** (2021). Бюджетний механізм: виклики сьогодення. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»*. № 21(49). С. 94–99. DOI: 10.25264/2311-5149-2021-21(49)-94-99.

26. **Серватинська І.М.** (2020). Державні облігації як альтернатива банківському депозиту. *Вісник Одеського національного університету.* Том 25. Випуск 2 (81). С. 146-150. DOI: 10.32782/2304-0920/2-81-24.

27. **Серватинська І.М.** (2019). Доходи і витрати домогосподарств: вітчизняні реалії та зарубіжний досвід. *Науковий журнал «Світ фінансів»*, 3(56), 2019, 141-54. https://sf.wunu.edu.ua/index.php/sf/article/view/1089.

Матеріали конференцій, де здійснено апробацію роботи:

28. Berezina O., Honcharenko I., **Servatynska I**., Berezhna L., Kravchenko O. (2019). Analyzing basic components and contemporary features of deposit insurance: Evidence from Ukraine. *Business management theories and practices in a dynamic competitive environment: Proceedings of the 12th Annual Conference of the EuroMed Academy of Business* (pp. 110–124). EuroMed Press. https://euromed2019.com/wp-content/uploads/2019/10/EuroMed-12-2019.pdf **(SCOPUS).** ***Особистий внесок:*** проведено аналіз системи гарантування

вкладів в Україні, її функцій та особливостей; узагальнено роль гарантійних механізмів у захисті фінансових ресурсів і підтриманні довіри до фінансової системи.

29. Серватинська І.М. Нормативне визначення гарантійної будівництва та економічне значення. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали доповідей VII Міжнародної науково-практичної інтернет конференції. (м. Київ, 15 квітня 2026 року) / за заг.ред. П. В. Захарченко. Київ: КНУБА, 2026. С. 326- 328.

30. Корсун І.М. Огляд основних кількісних показників діяльності девелоперів будівництва в Україні. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу*: матеріали доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 4-5 листопада 2025 року) / за заг. ред. В. М. Лича, Л.О. Згалат-Лозинської. Київ: КНУБА, 2025. С. 453-456.

31. Корсун І.М. Сучасні напрями фінансової науки. *Енергоощадні машини і технології»*: матеріали VI Міжнародної науково практичної конференції. (м. Київ, 20-21 травня 2025 р). – К.: КНУБА, 2025. – С. 239-242.

32. Корсун І.М. Законодавче регулювання фінансового аудиту місцевих бюджетів. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 18 квітня 2024 року): тези доповідей / відп. ред. П.В. Захарченко. Київ : 2024. С. 273-276.

33. Корсун І.М. Фінансово-економічна діяльність суб’єктів підприємницької діяльності в будівництві. *Енергоощадні машини і технології*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 22-24 травня 2024 р. – К.: КНУБА, 2024. – С. 154-156.

34. Корсун І.М. Аудит в державному секторі: зарубіжний досвід. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу*: матеріали доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 7-8

листопада 2023 року) у 2-х ч. / за заг. ред. В. М. Лича. Ч. 1. Київ: КНУБА, 2023. С. 81-83.

35. Корсун І.М. Фінансові інструменти збереження заощаджень громадян в умовах соціально- економічної, політичної криз. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 20 квітня 2023 року): тези доповідей / відп. ред. П. В. Захарченко. Київ : 2023. С. 335-336.

36. Корсун І.М. Облікова ставка: монетарний інструмент грошово-кредитної політики держави 2021 - 2023 рр. *Theories of world science and technology implementation: XVIII International Scientific and Practical Conference*, May 08 – 10, Osaka, Japan. P. 51-54.

37. Корсун І.М. Динаміка депозитного і кредитного портфеля домогосподарств України. *Scientists and modern theoretical ideas: XXXV International Scientific and Practical Conference*, September 04-06, 2023, Haifa, Israel. P. 29-32.

38. Корсун І.М. Основні показники діяльності комерційних банків на валютному ринку. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 27 жовтня 2022 року): тези доповідей / відп. ред. П. В. Захарченко. Київ, 2022. С. 376-380.

39. Корсун І.М. Інноваційні інструменти маркетингово-логістичних процесів: бізнес-планування. *Становлення та розвиток маркетингу в Україні: від теорії до практики*: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції кафедри маркетингу Уманського національного університету садівництва, 25 жовтня 2021р. Умань: УНУС, 2021. С. 261-262.

40. Серватинська І.М. Особливості диференціації доходів домогосподарств в Україні. *Аспекти стабільного розвитку економіки в умовах ринкових відносин*: матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції. (24 травня 2021 р.) / за ред. О.О. Непочатенко. Умань : Видавець «Сочінський М.М.», 2021. С. 114-115.

41. Серватинська І.М. Недоліки діючого бюджетного механізму. *Економіка, облік, фінанси та маркетинг: аналіз тенденцій та перспектив розвитку*: Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції до 100-річчя Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. м. Черкаси, 27 травня 2021 року. Черкаси: Видавець Чабаненко Ю. А., 2021. С. 257-259.

42. Серватинська І.М. ОВДП – визначальні характеристики. *Розвиток фінансово-кредитних систем: виклики сьогодення:* матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 4-5 червня 2021р. Уманський НУС. Умань. С. 29-30.

43. Серватинська І.М. Економічний аналіз основних показників проекту державного бюджету України на 2021 р. *Розвиток бухгалтерського обліку, оподаткування і контролю в умовах інтеграційних процесів*. Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція 22-23 жовтня 2020 рік – Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2020. С. 67-69.

44. Серватинська І.М. Облігації внутрішніх державних позик України: суть і перспективи. *Актуальні проблеми фінансової системи України*: матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів: Черкаський державний технологічний університет, 21 - 22 листопада 2019 року. Черкаси, 2019. С. 97-101.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень 30
Вступ 32

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПРОЦЕСІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ 47
1.1. Інвестиційне забезпечення підприємства як економічна категорія та об'єкт управління 47
1.2. Особливості інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення 71
1.3. Джерела, інструменти та моделі інвестиційного забезпечення будівельних підприємств 102
Висновки до розділу 1 141

РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ 145
2.1. Концептуальні засади нечіткого оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельних підприємств 145
2.2. Концепція імітаційно-предиктивного дослідження придатності інвестиційних інструментів будівельних підприємств 172
2.3. Концепція формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства 190
Висновки до розділу 2 209

РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ 213
3.1. Застосування нечіткої логіки в задачах інвестиційного забезпечення будівельних підприємств 213
3.2. Методологічні засади імітаційно-предиктивного моделювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства…… 238
3.3. Методологія багатокритеріального формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства 270
Висновки до розділу 3 302

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ 307
4.1. Ієрархічна нечітка модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства 307
4.2. Імітаційно-предиктивна модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства 333
4.3. Багатокритеріальна оптимізаційна модель формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства….. 354
Висновки до розділу 4 381

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПРОЦЕСІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ 385
5.1. Практичне оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення 385
5.2. Імітаційно-предиктивне оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства 407
5.3. Формування та сценарне обґрунтування раціональної архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства 426
Висновки до розділу 5 467

Загальні висновки 471
Список використаних джерел 480
Додатки 515

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Абревіатура / позначення	Повна назва англійською	Український відповідник
AAI	Anti-Ideal Alternative	антиідеальна альтернатива
AI	Artificial Intelligence; in MARCOS notation: Ideal Alternative	штучний інтелект; у позначеннях MARCOS — ідеальна альтернатива
ANN	Artificial Neural Network	штучна нейронна мережа
AUGMECON2	Augmented ε-Constraint Method with Jumps, version 2	розширений метод ε-обмежень зі стрибками, версія 2
BIM	Building Information Modeling	інформаційне моделювання будівель
CatBoost	Categorical Boosting	градієнтний бустинг з обробленням категоріальних ознак
CF	Cash Flow	грошовий потік
CRITIC	Criteria Importance Through Intercriteria Correlation	визначення ваг критеріїв з урахуванням міжкритеріальної кореляції
DFC	U.S. International Development Finance Corporation	Корпорація США з фінансування міжнародного розвитку
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development	Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР)
EU	European Union	Європейський Союз (ЄС)
FIS	Fuzzy Inference System	система нечіткого виведення
IFC	International Finance Corporation	Міжнародна фінансова корпорація
IRR	Internal Rate of Return	внутрішня норма дохідності
LHS	Latin Hypercube Sampling	вибірка методом латинського гіперкуба

Абревіатура / позначення	Повна назва англійською	Український відповідник
MAE	Mean Absolute Error	середня абсолютна похибка
MARCOS	Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution	вимірювання альтернатив і ранжування відповідно до компромісного рішення
MIGA	Multilateral Investment Guarantee Agency	Багатостороннє агентство з гарантування інвестицій
MILP	Mixed-Integer Linear Programming	змішане цілочислове лінійне програмування
MINLP	Mixed-Integer Nonlinear Programming	змішане цілочислове нелінійне програмування
ML	Machine Learning	машинне навчання
MLP	Multi-Layer Perceptron	багатошаровий перцептрон
NPV	Net Present Value	чиста теперішня вартість
NSGA-II	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II	генетичний алгоритм недомінованого сортування, версія II
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР)
OCF	Operating Cash Flow	операційний грошовий потік
PPP (ППП)	Public-Private Partnership	публічно-приватне партнерство
R^2	Coefficient of Determination	коефіцієнт детермінації
RMSE	Root Mean Squared Error	корінь із середньої квадратичної похибки
SHAP	SHapley Additive exPlanations	адитивні пояснення на основі значень Шеплі
XGBoost	eXtreme Gradient Boosting	екстремальний градієнтний бустинг

ВСТУП

Актуальність теми. Формування структури інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення пов’язане з необхідністю узгодити потреби конкретного проєкту з ресурсними можливостями підприємства та умовами залучення зовнішнього капіталу. Висока капіталомісткість будівництва, тривалість реалізації проєктів і нерівномірність грошових потоків посилюють залежність підприємств від достатності, вартості та своєчасності мобілізації ресурсів. Воєнні руйнування, невизначеність безпекового середовища та зміна доступності фінансових інструментів ускладнюють цей вибір. За таких умов інвестиційне забезпечення стає окремим об’єктом управління, від якого залежить можливість виконання підприємством проєктів відновлення.

Масштаб і різнорідність потреб відбудови зумовлюють необхідність розглядати інвестиційне забезпечення будівельних підприємств у взаємозв’язку з пріоритетами відновлення, характеристиками проєктів і стратегічними цілями самих підприємств. Важливим є не лише залучення коштів, а й формування їх раціональної структури, визначення послідовності та умов використання, розподіл ризиків між учасниками інвестування. Поєднання власних і позикових ресурсів, державної підтримки, приватного капіталу та міжнародного фінансування потребує організаційної узгодженості й адаптації фінансових інструментів до стадії проєкту, очікуваних результатів і можливостей підприємства.

Теоретичні засади дослідження спираються на праці зарубіжних учених з корпоративних фінансів, інвестиційних рішень і фінансування будівельних проєктів. Питання корпоративного фінансування, структури капіталу та взаємозв’язку фінансових рішень з інвестиційною діяльністю розглянуто у працях К. Р. Гарві [C. R. Harvey], А. Ґамби [A. Gamba], В. К. Ґояла [V. K. Goyal], Дж. Р. Ґрема [J. R. Graham], Н. С. Маджуфа [N. S. Majluf], С. К. Майєрса [S. C. Myers], А. Тріантіса [A. Triantis] та М. З. Френка [M. Z. Frank]. Управління грошовими потоками будівельних проєктів, проєктно-орієнтовані бізнес-

моделі й залучення інвестицій у будівництво досліджували Й. Гольстрьом [J. Holtström], А. А. Карра [A. A. Qarra], С. С. Кенлінд [S. S. Kenlind], Т. Норд [T. Nord] та ін. Інфраструктурне фінансування, залучення приватного капіталу й використання змішаних фінансових інструментів висвітлено у працях Л. Авельян [L. Avellán], Ґ. М. Гіла [G. M. Heal], А. Дж. Ґаліндо [A. J. Galindo], Дж. Ґемсона [J. Gemson], Т. Жиру [T. Giroux], Ґ. Лотті [G. Lotti], А. Т. Раджана [A. T. Rajan], Х. П. Родрігеса [J. P. Rodríguez] та К. Фламмер [C. Flammer]. Інституційні підходи до інвестування в інфраструктуру та відновлення України представлені в матеріалах Світового банку, ОЕСР і ЄБРР.

У вітчизняній науці проблеми економіки будівництва, організації виробництва та управління інвестиційно-будівельною діяльністю висвітлено у працях І.А. Арутюнян, О.В. Баженової, Г.В. Блакити, О.Ю. Бєлєнкової, С.Д. Бушуєва, Н.В. Валінкевич, А.Ф. Гойка, В.В. Гончар, Л.О. Згалат-Лозинської, К.В. Ізмайлової, П.М. Кулікова, В.М. Лича, І.В. Новикової, В.О. Поколенка, І.В. Поповиченко, К.М. Предуна, Г.М. Рижакової, Л.В. Сорокіної, С.П. Стеценка, В.В. Титок, О.А. Тугая, Ю.А. Чуприни та інших учених.

Попри значний доробок у сфері теорії інвестицій, корпоративного фінансування та управління будівельними підприємствами, організаційно-економічні засади інвестиційного забезпечення в умовах післявоєнного відновлення потребують подальшого системного опрацювання. Актуальність роботи зумовлена необхідністю повного покриття інвестиційної потреби за обмеженості власних ресурсів і боргового фінансування; потребою у врахуванні невизначених та якісних характеристик; наявністю компромісів між вартістю, ризиком, часом мобілізації, концентрацією фінансування та організаційною складністю. Розроблення відповідного інструментарію має забезпечити перехід від загального переліку можливих джерел до обґрунтованого рішення для конкретного підприємства та проєкту. Зокрема, актуальним залишається розроблення цілісного підходу, який поєднував би оцінювання інвестиційних потреб і ресурсної спроможності підприємства,

обґрунтування структури джерел фінансування, вибір механізмів розподілу ризиків та управління використанням залучених ресурсів. Такий підхід має враховувати взаємозалежність проєктного, підприємницького та інституційного рівнів інвестування та забезпечувати узгодження інтересів підприємств, інвесторів і учасників цільових програм відновлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до основних напрямів науково-дослідної діяльності Київського національного університету будівництва і архітектури та Академії будівництва України. Наукові результати дисертації отримано під час виконання науково-дослідних робіт: «Розбудова сучасного аналітичного інструментарію девелоперського управління підрядним будівництвом» (№ 0115U000860), у межах якої автором уточнено теоретичні засади інвестиційного забезпечення будівельних підприємств, розмежовано поняття його джерел, інструментів, моделей, структури та архітектури, а також систематизовано інструменти з урахуванням умов їх застосування у будівельних проєктах. У межах теми «Розвиток управлінської взаємодії інституційних учасників девелоперських проєктів» (№ 0121U111793) автором розроблено інтегрований підхід до формування архітектури інвестиційного забезпечення. Підхід враховує взаємозв'язок характеристик підприємства і проєкту, умов залучення ресурсів та інституційно-ризикового середовища, дає змогу оцінювати придатність інвестиційних інструментів і узгоджувати інтереси учасників фінансування.

У межах теми «Вдосконалення аналітичного апарату обґрунтування формату девелопменту для проєктів будівництва» (шифр W4-14-b, Академія будівництва України) автором побудовано ієрархічну нечітку модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів, розроблено багатокритеріальну модель визначення їх складу та часток у фінансуванні проєкту, а також обґрунтовано підхід до сценарного аналізу й оцінювання стійкості сформованих структур фінансування.

Об’єкт дослідження – процеси формування та реалізації організаційно-економічних механізмів інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у контексті післявоєнного відновлення.

Предмет дослідження - теоретико-методологічні положення, організаційно-економічні засади, методичні підходи та моделі формування раціональної структури інвестиційного забезпечення будівельних підприємств для проєктів післявоєнного відновлення, зокрема оцінювання придатності інвестиційних інструментів, визначення їх складу й часток та перевірки стійкості сформованих рішень.

Гіпотеза дослідження полягає в припущенні, що обґрунтованість рішень щодо інвестиційного забезпечення будівельних підприємств підвищується за умови послідовного узгодження ресурсних можливостей підприємства, характеристик проєктів, умов залучення коштів та інституційно-ризикових обмежень. Такий підхід передбачає попереднє оцінювання придатності інструментів, формування допустимих варіантів їх поєднання та визначення часток фінансування з подальшою перевіркою стійкості обраного рішення до зміни ключових умов. Поєднання нечіткого оцінювання, імітаційного й апроксимаційного моделювання та багатокритеріального вибору створює можливість відтворити ці залежності в єдиній системі підтримки управлінських рішень, що дає змогу обирати структуру, яка покриває потреби проєктів та забезпечує прийнятне співвідношення вартості, ризику, строків мобілізації ресурсів і складності управління.

Метою дослідження є розроблення теоретико-методологічних та прикладних засад формування структури інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення шляхом оцінювання придатності інвестиційних інструментів, визначення їх раціонального складу та часток у фінансуванні конкретного проєкту й перевірки стійкості отриманого рішення за зміни вихідних умов.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі **завдання:**

- розкрити зміст інвестиційного забезпечення підприємства як об’єкта управління та визначити його співвідношення з поняттями інвестиційного потенціалу, інвестиційних ресурсів, джерел і інструментів фінансування, моделей, структури й архітектури інвестиційного забезпечення;

- виявити особливості інвестиційної діяльності будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення та визначити чинники формування їхніх інвестиційних потреб і ресурсних можливостей;

- систематизувати джерела, інструменти та моделі інвестиційного забезпечення будівельних підприємств і визначити умови їх застосування у проєктах післявоєнного відновлення;

- обґрунтувати концептуальні засади формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства для конкретного проєкту з урахуванням взаємодії підприємницького, проєктного, інвестиційно-ресурсного та інституційно-ризикового контурів;

- сформувати систему показників для оцінювання спроможності підприємства, характеристик проєкту, умов залучення інвестиційних ресурсів і впливу зовнішнього середовища, поєднавши кількісні та формалізовані якісні характеристики;

- визначити критерії оцінювання й економічні обмеження формування раціональної архітектури інвестиційного забезпечення з урахуванням вартості ресурсів, ризику, строків мобілізації фінансування, концентрації джерел і складності управління;

- обґрунтувати методичні засади оцінювання придатності інвестиційних інструментів з урахуванням характеристик підприємства, проєкту та умов фінансування, розмежувавши доступність інструмента, його придатність і частку у структурі фінансування;

- сформувати підхід до сценарного оцінювання інвестиційних інструментів за зміни характеристик підприємства і проєкту, умов фінансування та параметрів зовнішнього середовища;

- обґрунтувати послідовність формування й вибору архітектури інвестиційного забезпечення, передбачивши формування множини парето-ефективних альтернатив, визначення ваг критеріїв і ранжування варіантів з урахуванням компромісів між характеристиками фінансування;

- побудувати ієрархічну нечітку модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів на основі показників підприємницького, проєктного, інвестиційно-ресурсного та інституційно-ризикового контурів;

- розробити інструментарій імітаційно-прогнозного оцінювання придатності інвестиційних інструментів для різних конфігурацій підприємств, проєктів і фінансового середовища, передбачивши формування сценаріїв та машинну апроксимацію оцінок нечіткої моделі;

- побудувати економіко-математичну модель багатокритеріального визначення допустимого складу й часток інвестиційних інструментів з урахуванням потреб проєкту, можливостей підприємства, критеріїв оцінювання та встановлених обмежень;

- оцінити придатність інвестиційних інструментів для різних поєднань характеристик будівельних підприємств і проєктів післявоєнного відновлення;

- визначити раціональні варіанти архітектури інвестиційного забезпечення та відповідні обсяги фінансування за базових і змінених умов реалізації проєктів;

- оцінити стійкість обраних варіантів, окремо врахувавши стійкість структури фінансування та її економічних результатів, визначити чинники перебудови архітектури й обґрунтувати практичні рекомендації щодо вибору та перегляду фінансових рішень.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на системному підході до будівельного підприємства як суб’єкта, що формує ресурсне забезпечення конкретного інвестиційного проєкту в умовах обмежень і невизначеності. Теоретичний аналіз, формалізація показників, моделювання придатності інструментів та оптимізація їх часток виконують різні функції й об’єднуються послідовною логікою прийняття рішення.

Для реалізації завдань застосовано такі методи:

– логіко-семантичний аналіз, наукове узагальнення та порівняння – для уточнення понятійного апарату, систематизації джерел та інструментів і визначення особливостей інвестиційного забезпечення будівельних підприємств;

– аналіз, синтез і декомпозиція – для виділення чотирьох контурів, формування системи показників та обґрунтування зв’язків між етапами дослідження;

– нормалізація кількісних показників та формалізація якісних характеристик – для представлення вхідних даних у порівнюваній шкалі;

– ієрархічне нечітке моделювання – для агрегації двадцяти первинних показників і визначення придатності шести інструментів на основі функцій належності, баз правил та дефазифікації;

– імітаційне моделювання Монте Карло і вибірка методом латинського гіперкуба – для формування сценаріїв та дослідження заданого багатовимірного простору умов;

– описова статистика, кореляційний аналіз, аналіз поверхонь відгуку та збурення оцінок – для вивчення поведінки нечіткої системи і стійкості ранжування інструментів;

– машинне навчання із застосуванням Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, CatBoost і багатошарового перцептрона – для порівняння точності апроксимації виходів нечіткої моделі;

– змішане цілочислове лінійне програмування та метод AUGMECON2 – для визначення допустимих часток фінансування та формування множини Парето-ефективних архітектур;

– методи CRITIC і MARCOS – для розрахунку інформаційних ваг критеріїв та ранжування допустимих недомінованих альтернатив;

– сценарний аналіз і глобальний аналіз чутливості – для оцінювання зміни економічних характеристик і структури архітектури, прямих ефектів параметрів та їхніх взаємодій.

Розрахункова частина спирається на профілі підприємств і проєктів, сформовані сценарії та результати їх обробки нечіткою моделлю. Тестування

моделей машинного навчання показує точність відтворення виходів нечіткої системи й не є незалежним підтвердженням її відповідності реальним підприємствам.

Інформаційною базою дослідження є офіційні дані Державної служби статистики України, фінансова звітність підприємств будівельного девелопменту, матеріали офіційних сайтів девелоперських компаній, нормативно-правові та аналітичні документи, а також наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених, та власні дослідження автора.

Наукова новизна отриманих результатів. Основний науковий результат полягає у розробленні теоретико-методологічних та прикладних засад формування організаційно-економічних механізмів інвестиційного забезпечення будівельних підприємств, які забезпечують перехід від оцінювання придатності окремих інструментів до визначення їх складу, часток, абсолютних обсягів та умов перегляду структури фінансування з урахуванням характеристик проєктів післявоєнного відновлення.

До положень, що розкривають науковий результат дослідження та пропонуються до захисту, належать:

вперше:

– *розроблено інтегрований методологічний підхід до формування механізму інвестиційного забезпечення будівельного підприємства для проєктів післявоєнного відновлення*, який, на відміну від підходів, які відокремлено оцінюють інвестиційні інструменти й формують структуру фінансування, поєднує оцінювання їх доступності та придатності з визначенням допустимого складу і часток відповідно до ресурсних можливостей підприємства, параметрів проєктів, умов фінансування та інституційно-ризикових обмежень. Підхід передбачає сценарний аналіз адаптації архітектури механізму інвестиційного забезпечення, розмежовуючи зміну його економічних характеристик та зміну складу і часток джерел, що надає змогу визначити умови, за яких необхідно переглянути інвестиційне рішення;

–побудовано ієрархічну нечітко-логічну модель оцінювання придатності шести інструментів інвестиційного забезпечення будівельного підприємства — власних ресурсів, комерційного й пільгового кредитів, грантів, приватного капіталу та партнерського фінансування за участю публічного і приватного партнерів. Модель агрегує двадцять первинних характеристик за чотирма групами (контурами): спроможністю підприємства, параметрами проєкту, інвестиційно-ресурсними умовами та інституційно-ризиковим середовищем. На відміну від підходів, що допускають повну взаємну компенсацію оцінок, модель ураховує специфіку кожного інструмента та обмежує компенсацію несприятливих оцінок між цими групами: сприятливі умови в одній групі не нівелюють критичних обмежень в іншій, що дає змогу оцінити придатність кожного інструмента з урахуванням сукупності умов конкретного підприємства та проєкту;

– *розроблено багатокритеріальну економіко-математичну модель формування структури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства для реалізації проєкту післявоєнного відновлення,* яка в єдиній оптимізаційній постановці поєднує вибір інструментів із визначенням часток їх участі у фінансуванні. Модель використовує бінарні змінні для відображення включення інструмента до структури та неперервні змінні для визначення його частки; відокремлює обов’язкові умови допустимості рішення від критеріїв його ефективності й передбачає повне покриття інвестиційної потреби проєкту з урахуванням ресурсних можливостей підприємства та обмежень фінансування. На відміну від постановок, у яких вибір інструментів і розподіл фінансування розглядаються окремо, запропонована модель пов’язує обидва рішення в межах одного процесу формування структури. Для аналізу компромісів між вартістю ресурсів, ризиком, часом мобілізації фінансування, концентрацією джерел і складністю управління модель забезпечує послідовне формування множини Парето-ефективних альтернатив методом AUGMECON2, визначення ваг критеріїв методом CRITIC і вибір компромісної конфігурації методом MARCOS.

Удосконалено:

– *аналітико-управлінський підхід до попереднього узгодження інвестиційної потреби проєкту з фінансовою спроможністю будівельного підприємства:* оцінювання потреби враховує капіталомісткість, тривалість і календарний профіль витрат проєкту, а оцінювання спроможності — обсяг власних ресурсів, можливості залучення фінансування та його обслуговування, що дає змогу до вибору джерел виявити розрив між потребою проєкту та ресурсами підприємства та визначити управлінські вимоги до фінансової конфігурації. Перевірку доповнено врахуванням строків мобілізації ресурсів, їх граничних обсягів, вимог до власної участі та обмежень боргового навантаження, що надає змогу виявляти ситуації, коли загального обсягу фінансування достатньо, але кошти надходять невчасно для забезпечення календарного перебігу будівельних робіт;

– *інформаційно-аналітичний інструментарій підтримки управлінського вибору інвестиційних інструментів* шляхом побудови машинних моделей для оперативного відтворення результатів нечітко-логічного оцінювання. На відміну від багатовихідного прогнозування, яке задає спільну залежність для всіх інструментів, порівняння п’яти алгоритмів і двох архітектур прогнозування обґрунтувало застосування окремої моделі CatBoost для кожного інструмента. Такий добір ураховує відмінність залежностей, що визначають їхню придатність, і забезпечив зниження середньої похибки на тестовій вибірці, що дає змогу оперативніше повторювати сценарні розрахунки та використовувати їх для попереднього порівняння фінансових альтернатив під час підготовки управлінського рішення;

– *процедуру формування сценарної інформаційної бази для імітаційно-прогнозного оцінювання придатності інвестиційних інструментів,* яка, на відміну від перевірки моделі лише на обмеженому наборі контрольних конфігурацій підприємств і проєктів, передбачає генерацію 30 000 сценаріїв методом латинського гіперкуба та їх оцінювання нечіткою системою Мамдані. Достатність вибірки підтверджено перевіркою стабілізації результатів на

підвибірках різного обсягу; сформований набір розподілено на навчальну, валідаційну й тестову частини для подальшої побудови та перевірки прогнозних моделей. Така процедура забезпечує систематичне дослідження варіантів інвестиційної ситуації та створює інформаційну основу для оперативного сценарного порівняння інструментів;

– *методичне забезпечення внутрішньої перевірки та економічної інтерпретації прогнозних оцінок придатності інвестиційних інструментів*. На відміну від оцінювання прогнозної моделі лише за її середньою точністю на тестовій вибірці, запропонована процедура поєднує перевірку результатів на контрольних і крайових сценаріях, аналіз локальних похибок і поверхонь відгуку з глобальною та локальною інтерпретацією SHAP, що дає змогу встановити, чи відтворює прогнозна модель логіку нечітких правил за різних умов, і пояснити, які характеристики підприємства, проєкту та середовища підвищують або знижують оцінку придатності конкретного інструмента. На цій основі управлінське рішення спирається не лише на прогнозну оцінку, а й на її факторне обґрунтування; внутрішню перевірку відтворення нечіткої моделі при цьому відмежовано від її майбутнього підтвердження на фактичних даних підприємств;

– *методику кількісного оцінювання стійкості рекомендованої структури інвестиційного забезпечення* за зміни умов фінансування. На відміну від сценарної перевірки, що лише фіксує зміну вихідних умов, методика оцінює, чи зберігає структура допустимість, наскільки погіршуються її економічні характеристики, як змінюються частки інструментів і позиція рішення відносно сценарно оптимального варіанта. Це дає змогу обґрунтувати управлінський вибір між збереженням базової структури, її коригуванням і переходом до резервної конфігурації;

– *методичний підхід до формування адаптаційних конфігурацій фінансування будівельного проєкту* шляхом розмежування інструментів, що утворюють стійке ядро структури, та інструментів резервного залучення за зміни фінансових обмежень і порогів придатності. На відміну від вибору лише

однієї компромісної структури, такий підхід дає змогу заздалегідь визначити базові джерела фінансування й можливі інструменти їх заміщення. У досліджених сценаріях стійке ядро формували власні ресурси та пільговий кредит, а приватний капітал, гранти та партнерське фінансування виконували переважно резервну функцію, що створює основу для планування альтернатив фінансування та визначення умов переходу до них.

Набуло подальшого розвитку:

– *понятійний апарат дослідження інвестиційного забезпечення* шляхом розмежування інвестиційного потенціалу, інвестиційних ресурсів, джерел, інструментів і моделей за їхнім економічним змістом та місцем у процесі ухвалення рішення. Інвестиційний потенціал відображає можливості підприємства залучати й використовувати ресурси; ресурси – економічну основу інвестування; джерело – походження ресурсу; інструмент – спосіб його залучення або використання; модель – організацію взаємодії джерел та інструментів у проєкті. Окремо розмежовано структуру інвестиційного забезпечення як склад і пропорції фінансування та його архітектуру як ширшу конфігурацію, що охоплює функції й взаємозв'язки інструментів, умови доступу, сумісність, обмеження, можливості заміщення та адаптації. Це розмежування усуває змішування рівнів аналізу – від ресурсних можливостей до управлінського рішення щодо фінансування проєкту;

– *теоретичне трактування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства* як керованого й адаптивного процесу перетворення інвестиційних можливостей підприємства на ресурсну базу конкретного проєкту шляхом формування, залучення, поєднання та використання ресурсів із різних джерел за прийнятних економічних умов. На відміну від ресурсного трактування, що зосереджується переважно на наявності або мобілізації коштів, запропоноване розуміння охоплює управлінський вибір способів їх залучення, залежність цього вибору від характеристик підприємства, параметрів проєкту й зовнішніх обмежень, а також можливість коригування сформованого забезпечення. Критерієм його результативності визначено не

сам факт залучення ресурсів, а спроможність сформованої конфігурації забезпечити реалізацію конкретної інвестиційної цілі;

– *систематизацію джерел, інструментів і моделей інвестиційного забезпечення будівельних підприємств* на основі розрізнення походження ресурсу, способу його залучення та організаційної логіки формування фінансування. За походженням виокремлено власні, позикові, приватні, державні й міжнародні ресурси; за домінуючим способом організації – автономну, боргову, пайову, партнерську, проєктну та змішану моделі. На відміну від класифікацій, що подають їх як взаємовиключні альтернативи, запропонована типологія враховує їх комбінування в межах одного проєкту: зокрема, проєктна модель може передбачати партнерську участь, а змішана – поєднувати ресурси різного походження;

– *теоретичні положення щодо функціональної диференціації інвестиційних ресурсів та інструментів у проєктах відновлення*. Власні й боргові ресурси можуть формувати базу фінансування; грантові – зменшувати непокриту потребу або компенсувати витрати за визначеними напрямами; приватний капітал — доповнювати ресурсну базу або заміщувати частину боргового фінансування за посилення боргових обмежень; партнерські механізми – поєднувати ресурси, компетенції та розподіл ризиків між учасниками. Державну й міжнародну підтримку розглянуто за її функціями: безпосереднє надання ресурсів, поліпшення умов їх залучення через гарантії, страхування чи компенсацію вартості, а також підвищення готовності проєктів через технічну допомогу. Такий підхід розкриває не лише склад джерел, а й їхню різну економічну роль у формуванні та адаптації забезпечення;

– *теоретичне обґрунтування багатокритеріальної природи раціонального інвестиційного рішення* через розкриття компромісів між вартістю фінансування, ризиком, часом мобілізації ресурсів, концентрацією джерел та організаційною складністю. Показано, що перевага за окремим критерієм – наприклад, мінімальна вартість або найнижчий ризик – сама по собі не визначає переваги структури загалом, оскільки поліпшення одного параметра може

супроводжуватися погіршенням інших. Це розвиває розуміння раціональності від пошуку одноосібно «найкращого» джерела до обґрунтування прийнятного для підприємства компромісу між економічними результатами та керованістю фінансування;

– *положення щодо практичного трактування стійкості інвестиційного рішення* як багатовимірної характеристики, яку не можна ототожнювати лише зі збереженням часток у структурі. Її оцінювання має враховувати, чи залишається конфігурація допустимою, який запас придатності мають інструменти відносно порогових умов, чи відповідають абсолютні обсяги фінансування реальним потребам проєкту та чи зберігаються висновки в межах перевірених сценаріїв. Таке трактування розмежовує стійкість самої структури, можливість фактичної мобілізації необхідних ресурсів і межі поширення результатів модельного експерименту.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих моделей для обґрунтування інвестиційного забезпечення конкретного будівельного підприємства під визначений проєкт відновлення. Методичний інструментарій дозволяє оцінити придатність потенційних інструментів, відсіяти недопустимі поєднання, сформувати ефективні альтернативи, визначити частки й потрібні суми ресурсів та встановити параметри, які слід контролювати для своєчасного перегляду рішення.

Результати можуть використовуватися керівниками будівельних підприємств для підготовки інвестиційних рішень та переговорів із потенційними надавачами ресурсів. Для замовників, інвесторів і донорів запропонований підхід може слугувати засобом порівняння варіантів ресурсного забезпечення та виявлення критичних умов їх реалізації.

Результати дослідження впроваджено в практичну діяльність ТОВ «Архітектурно-будівельні новації» (довідка № 75-н від 12.03.2026 р.), ТОВ БФ «Альфа-Сервіс» (довідка № 67 від 25.03.2026 р.), Інституту місцевого розвитку (довідка № 54 від 27.03.2026 р.), ХК «Фомальгаут Полімін» (довідка № 86 від 22.04.2026 р.) та використано в науково-експертній діяльності Академії будівництва України (довідка № 12/07.2026/22 від 14.01.2026 р.) та в освітньому

процесі Київського національного університету будівництва і архітектури під час підготовки здобувачів вищої освіти, зокрема при викладанні навчальних дисциплін «Економіка будівництва», «Економічна діагностика підприємства», «Оптимізаційні методи та моделі», а також при розробленні навчально-методичного забезпечення й виконанні науково-дослідних робіт (довідка № 11/54-21/3/26 від 15.05.2026 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, виконаним здобувачем самостійно. Усі теоретичні положення, методичні підходи, моделі, розрахунки, результати апробації, висновки та рекомендації, представлені до захисту, одержані ним особисто. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, до дисертації включено лише ті положення та результати, що становлять особистий внесок автора.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Результати дисертаційного дослідження, його висновки та пропозиції доповідалися на 17 міжнародних науково-практичних конференціях, зазначених у списку [28-44].

Публікації. Основні науково-теоретичні, методичні та практичні результати дисертації опубліковано у 44 наукових працях, з яких: 4 розділи у колективних монографіях (у співавторстві); 6 наукових статей у виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та/або Web of Science; 17 статей у наукових фахових виданнях України, які на момент публікації належали до категорії «Б»; 17 публікацій апробаційного характеру у матеріалах міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій (з них 1 індексується у наукометричній базі Scopus).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 535 сторінок, з яких 450 сторінок – основний текст. Робота містить 94 таблиці та 61 рисунок. Список використаних джерел налічує 355 найменування.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПРОЦЕСІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ.

1.1. Інвестиційне забезпечення підприємства як економічна категорія та об'єкт управління.

Інвестиційна діяльність підприємства пов'язана не лише з визначенням напрямів вкладення ресурсів, а й із можливістю сформувати достатню ресурсну базу для реалізації обраних рішень. Наявність економічно привабливого проєкту сама по собі не забезпечує його реалізації, якщо підприємство не має власних ресурсів або доступу до зовнішніх джерел їх залучення. Відповідно, між виникненням інвестиційної потреби та безпосередньою реалізацією проєкту існує окремий комплекс рішень, пов'язаний із визначенням обсягу необхідних ресурсів, пошуком джерел їх формування, оцінюванням умов залучення та вибором прийнятного поєднання доступних інструментів.

У вітчизняній науковій літературі цей комплекс процесів найчастіше розглядається через категорію «інвестиційне забезпечення підприємства». Водночас однозначного трактування цієї категорії не сформовано [1]. Частина дослідників акцентує увагу переважно на ресурсній складовій, інші – на процесі формування ресурсів, а сучасні роботи дедалі частіше пов'язують інвестиційне забезпечення з прийняттям управлінських рішень і здатністю підприємства адаптувати способи залучення ресурсів до змін внутрішнього та зовнішнього середовища [2, 3].

Так, О. Бочко, Д. Донець і В. Кузяк розглядають інвестиційне забезпечення через формування інвестиційних ресурсів підприємства та сукупність внутрішніх і зовнішніх передумов їх нарощування [4]. У запропонованій авторами платформі поряд із власними, позиковими, залученими та бюджетними ресурсами враховуються матеріально-технічне

забезпечення, трудовий потенціал, використання технологій, інфраструктура, територіальні умови та інвестиційні ризики. Таким чином, ресурсна база підприємства пов'язується з характеристиками самого суб'єкта господарювання та середовища його діяльності. Цей підхід важливий для даного дослідження з двох причин. По-перше, інвестиційне забезпечення не обмежується одним джерелом ресурсів [5]. По-друге, можливість їх залучення залежить від характеристик підприємства. Тобто однаковий обсяг інвестиційної потреби для різних підприємств не означає однакової структури її забезпечення [6].

У дослідженні А. Гречко та Д. Джумакєєвої інвестиційне забезпечення розглядається вже в умовах воєнного та повоєнного періоду [7]. Автори пов'язують його з можливістю продовження розвитку підприємств за істотних зовнішніх обмежень та зміни доступності традиційних інвестиційних ресурсів. Це доповнює ресурсне трактування динамічною складовою: структура доступних підприємству ресурсів залежить від стану зовнішнього середовища і не може розглядатися як постійна. Особливо важливим для дослідження є те, що аналогічна проблема простежується безпосередньо для будівельних підприємств. Л. Романова та Є. Грігєрман серед особливостей їх інвестиційного забезпечення виділяють високу капіталомісткість, потребу в державному регулюванні та підвищені ризики воєнного періоду. Автори також звертають увагу на інструменти й механізми активізації інвестиційної діяльності будівельних підприємств під час війни та у повоєнний період [8].

Водночас поняття інвестиційного забезпечення необхідно відмежовувати від близького за змістом поняття інвестиційного потенціалу підприємства (табл. 1.1). У сучасній українській літературі інвестиційний потенціал трактується по-різному – з ресурсних, функціональних, системних, інноваційних та економіко-математичних позицій. Н. Караван та Ю. Голишева, порівнюючи ці підходи, показують, що жоден із них окремо не охоплює всіх характеристик інвестиційних можливостей підприємства, тому доцільним є їх інтегроване використання [9].

О. Ємельянов, І. Цейтлін та Ю. Зіланов пропонують розглядати інвестиційний потенціал через здатність підприємства бути об’єктом вкладення інвестиційних ресурсів із забезпеченням прийнятної ефективності та допустимого рівня ризику. При цьому автори виділяють внутрішні й зовнішні, керовані й некеровані, статичні й динамічні чинники його формування [10]. Інвестиційний потенціал та інвестиційне забезпечення не є тотожними категоріями [11]. Потенціал характеризує можливості підприємства щодо залучення та ефективного використання ресурсів. Інвестиційне забезпечення характеризує процес і результат перетворення цих можливостей у конкретну сукупність ресурсів, доступних для реалізації визначених інвестиційних цілей.

Відмінність доцільно провести і між інвестиційним забезпеченням та власне інвестиційними ресурсами [12]. Інвестиційні ресурси є економічною основою забезпечення, однак сам факт їх існування ще не визначає можливості використання підприємством. Для конкретного суб’єкта господарювання джерело ресурсів може бути доступним, умовно доступним або фактично недоступним через вартість, строк, вимоги щодо забезпечення, масштаби підприємства, характер проєкту чи рівень ризику. Ресурсна складова є необхідною, але недостатньою характеристикою інвестиційного забезпечення.

Таблиця 1.1. Розмежування основних категорій, пов’язаних з інвестиційним забезпеченням підприємства.

Категорія	Економічний зміст	Основне питання
Інвестиційна потреба	Необхідний обсяг ресурсів для реалізації інвестиційних цілей або проєкту	Скільки ресурсів потрібно?
Інвестиційні ресурси	Сукупність ресурсів, які потенційно можуть бути використані для інвестування	За рахунок чого може здійснюватися інвестування?

Інвестиційний потенціал	Можливості підприємства залучати та результативно використовувати інвестиційні ресурси	Що підприємство спроможне залучити та використати?
Інвестиційне забезпечення	Формування та поєднання доступних ресурсів для реалізації визначених інвестиційних цілей	Які ресурси, звідки та на яких умовах реально можуть бути залучені?
Інвестиційна діяльність	Сукупність практичних дій щодо здійснення інвестицій	Як реалізуються інвестиційні рішення?
Інвестиційна привабливість	Характеристика доцільності вкладення ресурсів у підприємство з позиції зовнішнього інвестора	Наскільки підприємство цікаве інвестору?

Джерело: складено автором

В англомовній науковій літературі прямий термінологічний відповідник української категорії «інвестиційне забезпечення підприємства» використовується значно рідше. Відповідна проблематика досліджується переважно через поняття investment financing, capital allocation, financing constraints та corporate investment decisions. Це важлива термінологічна відмінність: іноземні дослідження частіше концентруються не на самому «забезпеченні», а на виборі джерел ресурсів та управлінні їх розподілом [13].

Класична робота S. Myers та N. Majluf показала, що джерела залучення ресурсів не є рівнозначними для підприємства. За умов інформаційної асиметрії підприємства можуть віддавати перевагу внутрішнім ресурсам, потім борговим інструментам і лише після цього залученню зовнішнього власного капіталу. Більше того, несприятливі умови залучення зовнішніх ресурсів можуть призвести навіть до відмови від економічно привабливого інвестиційного проєкту [14]. Дане положення має принципове значення для

трактування інвестиційного забезпечення: доступність інвестиційного ресурсу не можна оцінювати лише за фактом його існування на ринку. Необхідно враховувати умови, на яких конкретне підприємство може ним скористатися.

Емпіричні дослідження підтверджують значущість такого обмеження. J. Rauh встановив залежність корпоративних інвестицій від доступності внутрішніх ресурсів, особливо для підприємств, які стикаються з обмеженнями зовнішнього залучення капіталу [15]. S. Hirth та M. Viswanatha також показують, що інвестиційні рішення залежать від поточної ліквідності підприємства, вартості зовнішнього залучення та ризику майбутніх грошових потоків [16]. Сучасні емпіричні дані додатково свідчать, що вибір джерел забезпечення інвестицій залежить від характеристик самого підприємства і типу інвестиції. M. Cowling, N. Wilson, W. Liu та H. Yang на вибірці 2886 британських підприємств дослідили використання шести джерел ресурсів для нових інвестицій: нерозподіленого прибутку, коштів власників, торгового кредиту, банківських кредитів, небанківського боргу та зовнішнього власного капіталу. Автори встановили істотні відмінності залежно від розміру, віку підприємства та виду інвестицій [17]. Для даного дослідження цей результат має особливе значення. Він підтверджує, що не існує універсальної структури інвестиційного забезпечення, однаково придатної для всіх підприємств і всіх інвестиційних цілей. Вибір повинен залежати щонайменше від характеристик підприємства, характеристик інвестиційного проєкту та умов доступу до окремих ресурсів.

Ще ширше проблема розглядається в управлінській літературі. M. Sengul, A. Almeida Costa та J. Gimeno визначають розподіл капіталу всередині підприємства як одну з ключових управлінських функцій. У їхньому трактуванні він включає визначення, порівняння та вибір між альтернативними інвестиційними можливостями, здійснюється на різних рівнях організації та залежить від зовнішнього середовища [18]. Такий підхід дозволяє перейти від традиційного ресурсного розуміння інвестиційного

забезпечення до управлінського. Підприємство в такому разі є не пасивним отримувачем доступних ресурсів, а суб'єктом, який:

визначає потребу в ресурсах → встановлює доступні джерела → оцінює умови їх залучення → порівнює альтернативи → формує прийнятне поєднання інструментів → контролює використання ресурсів → коригує структуру забезпечення при зміні умов. Тому інвестиційне забезпечення доцільно розглядати не як статичну характеристику підприємства, а як керований процес.

У межах цього процесу можна виділити три взаємопов'язані рівні (табл. 1.2). Перший – ресурсний рівень, який характеризує потребу підприємства та доступну множину внутрішніх і зовнішніх ресурсів. Другий – інструментальний рівень, на якому визначаються конкретні способи отримання цих ресурсів та умови їх використання. Третій – управлінський рівень, на якому здійснюється порівняння альтернатив, вибір їх поєднання та адаптація прийнятого рішення до зміни характеристик підприємства, проєкту і зовнішнього середовища.

Таблиця 1.2. Еволюція підходів до трактування інвестиційного забезпечення підприємства.

Підхід	Зміст	Основний акцент
Ресурсний	Формування необхідного обсягу інвестиційних ресурсів	Наявність ресурсів
Структурний	Визначення співвідношення ресурсів із різних джерел	Структура забезпечення
Процесний	Послідовність формування, залучення та використання ресурсів	Процес забезпечення
Системний	Взаємозв'язок ресурсів, джерел, інструментів, суб'єктів та умов	Цілісність системи
Управлінський	Порівняння альтернатив та вибір	Прийняття

	способів забезпечення відповідно до цілей підприємства	управлінського рішення
Адаптивний	Зміна складу та структури забезпечення відповідно до зміни параметрів підприємства, проєкту та середовища	Гнучкість і відповідність умовам

Джерело: складено автором

Перехід до управлінського та адаптивного трактування є особливо важливим за високої невизначеності зовнішнього середовища. Якщо змінюється вартість позикових ресурсів, доступність гарантій, вимоги інвесторів, рівень ризику або параметри самого проєкту, раніше прийнятна структура інвестиційного забезпечення може втратити економічну доцільність. Тому рішення щодо її формування має передбачати можливість перегляду та заміни окремих елементів. З цієї позиції недостатньо оцінювати інвестиційне забезпечення лише за загальним обсягом залучених ресурсів. Для підприємства важливими є також достатність, доступність, вартість, строк залучення, ризик, гнучкість та сумісність окремих джерел і інструментів.

Достатність характеризує можливість покрити визначену інвестиційну потребу. Доступність показує реальну можливість використання конкретного ресурсу певним підприємством. Вартість відображає економічне навантаження, пов’язане із залученням ресурсу. Строкова відповідність визначає узгодженість періоду користування ресурсом із тривалістю інвестиційного проєкту. Ризик характеризує можливі несприятливі наслідки використання інструменту, а гнучкість – можливість змінювати параметри інвестиційного забезпечення за зміни зовнішніх або внутрішніх умов [19].

Оцінювання одного інвестиційного інструменту поза характеристиками підприємства і проєкту має обмежену практичну цінність. Банківський кредит, залучення зовнішнього інвестора, грант або партнерська модель не є апріорі ефективними чи неефективними. Їх придатність визначається конкретною

управлінською ситуацією, що дозволяє сформулювати авторське трактування досліджуваної категорії.

Інвестиційне забезпечення підприємства пропонується розуміти як керований процес формування, залучення, поєднання та використання інвестиційних ресурсів із різних джерел за допомогою відповідних інструментів, спрямований на забезпечення ресурсної достатності для реалізації інвестиційних цілей з урахуванням характеристик підприємства, параметрів інвестиційного проєкту та умов зовнішнього середовища.

На відміну від суто ресурсного трактування, запропоноване визначення містить чотири принципові ознаки. По-перше, інвестиційне забезпечення розглядається на рівні підприємства. По-друге, воно передбачає не окреме джерело, а можливість поєднання декількох ресурсів та інструментів. По-третє, їх склад не є сталим, оскільки залежить від характеристик конкретного проєкту. По-четверте, формування інвестиційного забезпечення розглядається як управлінське рішення, що приймається з урахуванням зовнішніх обмежень і ризиків.

Розвиток теоретичних підходів до інвестиційного забезпечення відображає поступовий перехід від питання «якими ресурсами володіє підприємство?» до питання «яке поєднання доступних ресурсів та інструментів доцільно сформувати для реалізації конкретного інвестиційного проєкту?». Саме така постановка питання створює основу для подальшого дослідження особливостей інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення.

Розгляд інвестиційного забезпечення як керованого процесу потребує визначення його місця в загальній системі управління підприємством. Якщо ресурсний підхід концентрується переважно на наявності та джерелах ресурсів, то управлінський підхід зміщує увагу на послідовність рішень, за допомогою яких підприємство визначає потребу в ресурсах, оцінює доступні альтернативи, обирає способи їх залучення, формує необхідну структуру забезпечення та коригує її відповідно до зміни умов діяльності .

Такий підхід узгоджується із сучасним трактуванням управління інвестиційною діяльністю підприємства. Л. Галько розглядає його як взаємопов'язану систему стратегічних і тактичних рішень. Стратегічний рівень визначає цільові орієнтири та загальний напрям інвестування, тоді як тактичний охоплює процедури прийняття конкретних інвестиційних рішень, формування інвестиційної політики, відбір проєктів і контроль їх реалізації. Важливо, що авторка пов'язує вибір інвестиційних рішень з одночасними обмеженнями бюджету, часу, ліквідності та ризику [20].

М. Крижанівська та А. Степанова також розглядають управління інвестиційною діяльністю як цілісну систему, в якій рішення щодо джерел ресурсів, напрямів інвестування та реалізації інвестиційних проєктів не можуть прийматися незалежно одне від одного. Такий підхід важливий для дослідження інвестиційного забезпечення, оскільки показує необхідність узгодження ресурсних можливостей підприємства з його інвестиційними цілями [21]. Відповідно, інвестиційне забезпечення доцільно розглядати не як окрему операцію із залучення ресурсів, а як складову циклу управління інвестиційною діяльністю підприємства. У цьому циклі початковим етапом є визначення інвестиційної потреби, а завершальним – оцінювання результатів використання залучених ресурсів і, за необхідності, коригування прийнятих рішень.

Подібна логіка простежується і в сучасних дослідженнях інвестиційної політики підприємства. О. Рудь розглядає інвестиційну політику як інструмент реалізації інвестиційної діяльності та пов'язує її формування зі стратегічними цілями, можливостями підприємства й умовами ринку. Автор підкреслює необхідність вибору типу інвестиційної політики залежно від ресурсних можливостей і зовнішнього середовища [22].

М. Поляков, аналізуючи сучасну інвестиційну активність підприємств, також пов'язує інвестиційну політику з інвестиційним потенціалом, ризиками та заходами активізації інвестиційної діяльності [23]. Таким чином, управління інвестиційним забезпеченням не може здійснюватися ізольовано від

інвестиційної стратегії та політики підприємства. Стратегія визначає довгострокові цілі й напрями розвитку, інвестиційна політика встановлює принципи та правила прийняття відповідних рішень, тоді як інвестиційне забезпечення створює ресурсні передумови їх практичної реалізації.

Важливою складовою такого управління є інформаційне забезпечення. Н. Воськало та Т. Ковальчик наголошують на ролі обліково-аналітичної інформації у формуванні інвестиційної політики, оцінюванні інвестицій та ідентифікації ризиків. Це означає, що вибір способу інвестиційного забезпечення потребує не лише визначення наявних джерел, а й достатньої інформації щодо їх вартості, ризику та очікуваного результату [24]. Цей аспект має особливе значення для подальшого моделювання, оскільки управлінське рішення формується не безпосередньо на основі факту існування певного ресурсу, а на основі інформації про характеристики та умови його використання.

J. Busenbark у системному огляді досліджень внутрішнього розподілу капіталу також характеризують capital allocation як одну з ключових управлінських задач підприємства. Водночас автори показують, що зв’язок між характеристиками окремих підрозділів, розподілом ресурсів та кінцевою результативністю підприємства є складним і не може пояснюватися одним фактором [25].

Ще більш показовими є результати сучасного дослідження організації розподілу капіталу всередині підприємств, проведеного на основі опитування фінансових керівників 115 компаній. Воно показало, що підприємства використовують не один критерій чи процедуру, а систему взаємопов’язаних механізмів: бюджети, рівні погодження, вимоги до звітності, порогові значення для затвердження проєктів та інші інструменти контролю. Для великих інвестицій рішення практично завжди залишається на рівні вищого керівництва [26]. Інвестиційне забезпечення в управлінському аспекті є не лише завданням пошуку ресурсів, а задачею вибору. підприємство має визначити не тільки, чи може воно залучити певний ресурс, а й чи є його використання доцільним порівняно з доступними альтернативами (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Основні управлінські функції у формуванні інвестиційного забезпечення підприємства.

Управлінська функція	Зміст щодо інвестиційного забезпечення	Результат
Планування	Визначення інвестиційних цілей, потреби в ресурсах і часових параметрів	Обсяг і строки необхідних ресурсів
Інформаційно-аналітичне забезпечення	Збір та аналіз даних про ресурси, інструменти, умови їх залучення та ризики	Інформаційна база рішення
Ідентифікація альтернатив	Формування множини потенційно доступних джерел та інструментів	Перелік альтернатив
Оцінювання	Порівняння вартості, доступності, строків, ризику та інших характеристик	Оцінки придатності альтернатив
Вибір	Визначення доцільних джерел та інструментів	Набір обраних інструментів
Комбінування	Встановлення співвідношення між різними ресурсами	Структура інвестиційного забезпечення
Реалізація	Залучення та використання ресурсів відповідно до прийнятого рішення	Фактичне ресурсне забезпечення
Контроль	Порівняння фактичних умов та результатів із запланованими	Виявлення відхилень
Коригування	Зміна складу або параметрів забезпечення при зміні умов	Адаптована структура забезпечення

Джерело: складено автором

Необхідність управлінського вибору зумовлена тим, що способи забезпечення інвестиційної потреби мають різні економічні характеристики. Використання власних ресурсів, боргових інструментів, зовнішнього власного капіталу або змішаних форм створює різні наслідки щодо вартості залучення, ризику, контролю, строків і гнучкості.

Дослідження практики корпоративних інвестицій підтверджують, що підприємства фактично використовують комбінацію кількох критеріїв. У класичному опитуванні 392 фінансових директорів J. Graham та C. Harvey встановили, що близько трьох чвертей респондентів регулярно використовували NPV та IRR, але вибір конкретних інструментів оцінювання істотно залежав від розміру підприємства, рівня заборгованості та інших його характеристик. При прийнятті рішень щодо залучення боргового капіталу важливими були також фінансова гнучкість і кредитний рейтинг [27]. Подібна неоднорідність підтверджена і для підприємств Центральної та Східної Європи. Дослідження практик capital budgeting охопило підприємства десяти країн регіону й показало, що вибір методів оцінювання інвестицій залежить від характеристик підприємства, кількості проєктів, масштабу капітальних витрат та управлінської практики [28]. Дослідження T. Wnuk-Pel на підприємствах Польщі також показало, що поряд із класичними показниками ефективності активно використовуються сценарний аналіз і аналіз чутливості: відповідно 61 % та 54 % опитаних підприємств застосовували ці інструменти. При цьому вибір методів залежав від розміру підприємства та масштабу бюджету капітальних витрат [29]. Ці результати важливі для даного дослідження, оскільки свідчать, що прийняття інвестиційного рішення вже на практиці має багатокритеріальний характер. Один показник не дає достатньої інформації для вибору способу ресурсного забезпечення.

Крім того, рішення можуть спотворюватися поведінковими чинниками. Сучасний огляд досліджень corporate capital allocation показує вплив когнітивних упереджень на розподіл капіталу та підкреслює потребу в більш формалізованих процедурах прийняття рішень, здатних зменшити

суб’єктивність вибору [30]. Це створює додатковий аргумент на користь використання в подальших розділах формалізованих методів оцінювання та порівняння альтернатив, а не виключно експертного вибору.

Управління інвестиційним забезпеченням ускладнюється тим, що рішення про залучення ресурсів і рішення про їх використання рознесені в часі. Значення процентних ставок, вартості проєкту, строків його реалізації, доходів та доступності окремих ресурсів можуть змінюватися вже після прийняття початкового рішення [31].

Емпіричні дослідження показують, що невизначеність здатна безпосередньо впливати на інвестиційну поведінку підприємств. F. Xie встановив, що зростання невизначеності загалом скорочує капітальні вкладення, а характер цього впливу залежить від можливостей підприємства гнучко змінювати інвестиційні рішення [32]. Подібні результати отримані в дослідженнях real options. Невизначеність щодо ринкових, галузевих і специфічних для підприємства факторів може знижувати готовність до незворотних інвестицій, тоді як можливість відкласти, масштабувати або припинити проєкт створює додаткову управлінську цінність [33]. Сучасний огляд досліджень інвестицій в умовах стратегічної невизначеності також показує, що управлінська гнучкість дедалі частіше розглядається як можливість змінювати час, масштаб і послідовність реалізації інвестицій у міру надходження нової інформації [34]. Для інвестиційного забезпечення аналогічна логіка означає, що початково обрана структура ресурсів не повинна вважатися незмінною. За зміни вартості ресурсів, доступності зовнішньої підтримки, строків проєкту чи рівня ризику підприємство повинно мати можливість переглянути склад і співвідношення використовуваних інструментів.

Значним обмеженням залишаються також можливості підприємства щодо фактичного залучення ресурсів. K. Bilicka на основі природного експерименту показує, що доступність внутрішніх грошових потоків може мати для інвестиційної активності підприємства більшу роль, ніж сама зміна

вартості зовнішнього капіталу [35]. M. Khataybeh на вибірці підприємств також підтверджує, що обмеження доступу до ресурсів впливають на обсяги інвестицій в основний капітал, а резерви ліквідності використовуються як засіб пом'якшення таких обмежень [36]. Тому при формуванні інвестиційного забезпечення недостатньо оцінювати лише економічну вигідність певного інструменту. Необхідно розмежовувати щонайменше дві характеристики:

– привабливість інструменту – наскільки вигідними є його умови;

– придатність інструменту – наскільки його характеристики відповідають можливостям конкретного підприємства, параметрам конкретного проєкту та поточним зовнішнім умовам.

Для подальшого дослідження друга характеристика є більш важливою. Теоретично дешевий ресурс може виявитися непридатним, якщо підприємство не відповідає вимогам щодо забезпечення, власної участі або ризикового профілю. І навпаки, інструмент із дещо вищою вартістю може бути раціональним, якщо він забезпечує необхідний строк, достатній обсяг ресурсів і більшу гнучкість.

На основі розглянутих досліджень принципи формування інвестиційного забезпечення (табл. 1.4) доцільно систематизувати не як формальний перелік загальних вимог, а відповідно до завдань управління ресурсами підприємства.

Серед зазначених принципів особливого значення набувають достатність, доступність, сумісність і гнучкість. Саме їх поєднання відрізняє інвестиційне забезпечення від простого переліку джерел ресурсів.

Таблиця 1.4. Принципи формування інвестиційного забезпечення підприємства

Група	Принцип	Зміст
Цільові	Відповідність цілям	Залучені ресурси повинні забезпечувати реалізацію конкретних цілей підприємства та проєкту
	Достатність	Сукупний обсяг ресурсів має відповідати визначеній інвестиційній потребі
Економічні	Ефективність	Очікуваний результат використання ресурсів має перевищувати пов’язані з їх залученням витрати
	Прийнятність вартості	Вартість ресурсу повинна відповідати економічним можливостям проєкту
Структурні	Диверсифікація	Доцільно уникати критичної залежності від одного джерела
	Сумісність	Умови різних інструментів повинні дозволяти їх одночасне використання
Часові	Строкова відповідність	Тривалість доступу до ресурсу має узгоджуватися з життєвим циклом проєкту
Ризикові	Прийнятність ризику	Структура ресурсів не повинна створювати надмірного навантаження на підприємство
Управлінські	Гнучкість	Повинна існувати можливість зміни структури забезпечення за зміни умов
	Керованість	Складність використання інструментів має відповідати управлінським можливостям підприємства
Інформаційні	Обґрунтованість	Рішення мають базуватися на достатній та актуальній інформації
Адаптивні	Сценарність	Структуру забезпечення слід оцінювати не лише для одного очікуваного стану середовища

Джерело: складено автором

Достатність характеризує кількісну відповідність ресурсної бази потребі підприємства. Доступність визначає можливість реального використання конкретного інструменту. Сумісність показує можливість одночасного застосування декількох інструментів, а гнучкість характеризує здатність

змінювати їх співвідношення у відповідь на нові умови. Звідси випливає ще одна важлива теоретична теза: об’єктом управління є не тільки окремі джерела ресурсів, а й їх поєднання. Якщо інвестиційна потреба може покриватися декількома інструментами, управлінське завдання полягає у визначенні їх складу та співвідношення.

У цьому контексті поняття структури інвестиційного забезпечення набуває самостійного змісту. Воно характеризує набір інструментів та частку кожного з них у покритті загальної інвестиційної потреби підприємства. Водночас така структура не може визначатися незалежно від характеристик підприємства, проєкту та зовнішнього середовища. Саме цей висновок надалі створює теоретичну основу для переходу від поняття «структура інвестиційного забезпечення» до ширшої категорії «архітектура інвестиційного забезпечення», яка буде обґрунтована в наступних розділах дослідження [37].

Розгляд інвестиційного забезпечення як об’єкта управління потребує визначення його внутрішньої структури. У науковій літературі найчастіше увага концентрується на джерелах ресурсів, однак для прийняття управлінського рішення цього недостатньо. Підприємство має узгодити щонайменше чотири складові: обсяг інвестиційної потреби, доступні ресурси, способи їх залучення та умови використання. Такий взаємозв’язок цих складових визначає, чи може потенційно доступний ресурс бути фактично використаний для реалізації конкретної інвестиційної мети.

Ж. Гарбар та К. Майбородюк, досліджуючи інвестиційне забезпечення інноваційного розвитку підприємств, також пов’язують його з можливістю акумулювання ресурсів із різних джерел і наголошують на необхідності активізації як власних, так і зовнішніх можливостей підприємства [38]. Водночас міжнародні дослідження показують, що структура залучення ресурсів формується під впливом характеристик самого підприємства. M. Frank та V. Goyal на великій вибірці американських компаній встановили, що рішення щодо структури капіталу систематично пов’язані з розміром

підприємства, прибутковістю, матеріальністю активів, співвідношенням ринкової та балансової вартості, галузевими особливостями й очікуваною інфляцією. Це підтверджує, що вибір способу забезпечення інвестицій не може здійснюватися незалежно від економічного профілю підприємства [39]. Подібний висновок отримано і при безпосередньому аналізі альтернативних способів залучення ресурсів. E. Morellec, P. Valta та A. Zhdanov показують, що вибір між банківським кредитуванням і облігаційним залученням залежить від можливостей зростання підприємства, його переговорної позиції, конкурентного середовища та доступності кредитної пропозиції. При цьому спосіб залучення ресурсів впливає не лише на їх вартість, а й на час реалізації інвестиційного рішення [40].

Джерело ресурсів доцільно відрізняти від інструменту їх залучення. Джерело показує походження ресурсів – власне, позикове, залучене, державне, міжнародне тощо. Інструмент визначає конкретну форму, за допомогою якої підприємство отримує доступ до ресурсу: банківський кредит, внесок інвестора, грант, гарантія, облігація, механізм державно-приватного партнерства та ін. Саме інструмент формує набір конкретних умов щодо вартості, строку, забезпечення, контролю, ризику та можливостей використання залучених ресурсів.

Важливим структурним елементом є також умови доступу. Потенційна наявність певного інструменту на ринку не означає його реальної доступності конкретному підприємству. Доступ може обмежуватися вимогами до застави, власного внеску, кредитної історії, масштабу підприємства, виду діяльності, параметрів проєкту або допустимого рівня ризику. Саме тому в сучасних дослідженнях значна увага приділяється financing constraints – обмеженням, які перешкоджають підприємству перетворити інвестиційну можливість у фактичну інвестицію.

Наприклад, K. Naeem та M. Li на даних нефінансових підприємств країн OECD показали, що обмеження доступу до ресурсів здатні призводити як до недостатнього, так і до надлишкового інвестування, погіршуючи ефективність

розподілу капіталу [41]. T. Kim, B. Lee та D. Paik також виявили статистично значущий зв’язок між рівнем обмежень підприємства та його інвестиційною ефективністю; особливо виразним цей зв’язок є для підприємств із високою ймовірністю фінансових проблем, значними вільними грошовими потоками та високим потенціалом зростання [42]. Для тематики цього дослідження особливо показовими є результати H. Luo, A. Islam та R. Wang, отримані саме для підприємств нерухомості та будівництва. На вибірці 179 канадських підприємств за 2004–2020 рр. автори досліджували вплив обмежень доступу до ресурсів на інвестиційну ефективність і встановили суттєву залежність цих підприємств від двох ключових каналів – власного та боргового забезпечення, що підтверджує доцільність окремого врахування галузевої специфіки при формуванні інвестиційного забезпечення будівельних підприємств [43].

Крім доступності, важливим є параметр фінансової гнучкості. A. Gamba та A. Triantis показують, що цінність гнучкості залежить від вартості зовнішнього залучення ресурсів, можливостей зростання, стадії розвитку підприємства та оборотності інвестованого капіталу. За наявності ринкових обмежень підприємство отримує додаткову цінність від здатності змінювати співвідношення боргу, ліквідних резервів та інвестицій залежно від ситуації [44], що є принципово важливим для подальшого розвитку поняття інвестиційного забезпечення. Його структура повинна характеризувати не лише стан на момент прийняття рішення, а й здатність підприємства адаптувати її до змін. Зокрема, зростання вартості одного ресурсу може зробити доцільним збільшення частки іншого; погіршення умов кредитування – активізацію партнерської або гарантійної складової; зміна параметрів проєкту – перегляд загального обсягу та строків залучення ресурсів.

У структурі інвестиційного забезпечення підприємства доцільно виділити взаємопов’язані елементи (табл. 1.5). Наведена систематизація показує, що інвестиційне забезпечення має одночасно ресурсну, структурну, інструментальну та управлінську складові. У цьому полягає його відмінність від простої характеристики наявних ресурсів підприємства.

Таблиця 1.5. Структурно-функціональні елементи інвестиційного забезпечення підприємства.

Елемент	Економічний зміст	Управлінське питання
Інвестиційна потреба	Обсяг ресурсів, необхідний для реалізації визначеної інвестиційної цілі або проєкту	Скільки ресурсів необхідно?
Внутрішні можливості підприємства	Власні ресурси, активи, ліквідність, можливості співфінансування, кредитоспроможність	Яку частину потреби підприємство може забезпечити самостійно?
Джерела ресурсів	Власні, позикові, залучені, державні, міжнародні та інші ресурси	Звідки можуть бути отримані ресурси?
Інвестиційні інструменти	Конкретні способи отримання ресурсів	За допомогою яких механізмів їх можна залучити?
Умови доступу	Вимоги до підприємства та проєкту, забезпечення, власної участі, кредитоспроможності	Чи може підприємство реально використати інструмент?
Економічні параметри	Вартість, строк, обсяг, порядок повернення або участі інвестора	На яких умовах залучається ресурс?
Ризики	Ринкові, кредитні, валютні, проєктні, інституційні та інші ризики	Які наслідки використання ресурсу?
Комбінація інструментів	Поєднання кількох способів забезпечення інвестиційної потреби	Яким має бути співвідношення інструментів?

Управлінський контроль	Моніторинг фактичних умов залучення та використання ресурсів	Чи відповідає сформована структура запланованим параметрам?
Адаптація	Перегляд структури забезпечення за зміни внутрішніх або зовнішніх умов	Як скоригувати рішення при зміні ситуації?

Джерело: складено автором

Кінцевим управлінським результатом є не перелік можливих джерел, а визначена структура ресурсів та інструментів, яка дає змогу реалізувати конкретну інвестиційну потребу.

Наступним теоретичним питанням є визначення того, за якими ознаками можна оцінювати результативність сформованого інвестиційного забезпечення. Традиційна оцінка інвестиційних рішень переважно орієнтується на показники доходності або вартості капіталу. Однак при виборі способу ресурсного забезпечення такого підходу недостатньо, оскільки підприємство одночасно стикається з обмеженнями доступності, строків, ризику, структури боргу, ліквідності та управлінської гнучкості.

У цьому контексті доцільно розмежувати поняття ефективності інвестиційного проєкту та результативності його інвестиційного забезпечення. Перше характеризує співвідношення очікуваного результату та вкладених ресурсів. Друге повинно показувати, наскільки сформована система забезпечення дає підприємству можливість реально залучити необхідний обсяг ресурсів за прийнятних умов.

Важливим є й критерій диверсифікації. Надмірна залежність від одного джерела може підвищувати вразливість підприємства до зміни умов його доступності. Водночас максимальна диверсифікація також не завжди є доцільною, оскільки збільшення кількості інструментів здатне підвищувати транзакційні витрати та складність управління. Завдання полягає не в

максимальній кількості джерел, а у формуванні економічно обґрунтованої їх комбінації. Критерії результативності не можуть застосовуватися незалежно один від одного (табл.1.6). Найдешевший інструмент може бути недостатнім за обсягом; найбільш доступний – надто короткостроковим; найбезпечніший – обмежувати можливість залучення необхідного обсягу ресурсів; найбільш гнучкий – мати вищу вартість. Таким чином, оцінювання інвестиційного забезпечення за своєю природою є багатокритеріальним управлінським завданням.

Таблиця 1.6. Критерії результативності інвестиційного забезпечення підприємства

Критерій	Зміст	Бажаний стан
Достатність	Ступінь покриття інвестиційної потреби підприємства	Повне або нормативно допустиме покриття потреби
Доступність	Реальна можливість використання інструменту конкретним підприємством	Висока
Прийнятність вартості	Сукупні витрати підприємства, пов’язані із залученням ресурсу	Мінімізація за інших рівних умов
Строкова відповідність	Узгодження строку користування ресурсом із циклом реалізації проєкту	Максимальна відповідність
Ризик	Ймовірність несприятливих економічних наслідків	Прийнятний рівень
Гнучкість	Можливість зміни умов або структури забезпечення	Висока

Диверсифікованість	Відсутність надмірної залежності від одного джерела	Збалансована структура
Сумісність	Можливість одночасного використання різних інструментів	Висока
Керованість	Відповідність складності структури управлінським можливостям підприємства	Прийнятна
Стабільність доступу	Збереження можливості користування ресурсом за зміни зовнішніх умов	Висока
Адаптивність	Можливість перебудови структури при зміні параметрів підприємства, проєкту або середовища	Висока
Результативність	Здатність сформованого забезпечення створити ресурсні передумови для реалізації проєкту	Максимальна

Джерело: складено автором

Наведені критерії мають різну природу. Частина з них може бути виміряна кількісно – вартість, строк, обсяг або рівень боргового навантаження. Інші мають комбінований або якісний характер – гнучкість, доступність, сумісність, керованість. Це створює методологічну проблему: порівняння інвестиційних інструментів потребує одночасного врахування кількісних і якісних характеристик.

Саме ця особливість надалі матиме принципове значення для вибору методів дослідження. Якщо один інструмент оцінюється як дешевий, але малодоступний, а інший – дорожчий, проте більш гнучкий і менш

ризикований, вибір між ними не може бути зроблений лише на основі одного показника. Необхідна модель, здатна врахувати неоднорідність критеріїв та неповноту інформації про окремі параметри.

Розглянуті положення дають підстави виділити два послідовні рівні управлінського рішення.

На першому рівні підприємство визначає придатність окремих інвестиційних інструментів. Йдеться про відповідність умов конкретного інструменту характеристикам підприємства, проєкту та зовнішнього середовища.

На другому рівні формується їх раціональне поєднання. Навіть висока придатність окремого інструменту не означає, що вся інвестиційна потреба повинна покриватися лише за його рахунок. Обмеження щодо максимального обсягу, строків, ризику чи вимог до співфінансування можуть зумовлювати необхідність використання декількох взаємодоповнювальних інструментів.

Таке трактування узгоджується з сучасними дослідженнями investment financing, які показують залежність вибору джерел від характеристик підприємства, кредитної пропозиції, перспектив зростання та умов ринку. Воно також відповідає концепції фінансової гнучкості, згідно з якою цінність має не лише поточна структура ресурсів, а й можливість її подальшої перебудови. У сучасних умовах до цього додається ще один аспект – цифровізація процедур доступу до ресурсів та інформації. R. Sun та B. Zhang на даних китайських компаній показали, що розвиток fintech здатний знижувати обмеження доступу до ресурсів і підвищувати корпоративну інвестиційну ефективність, причому ефект відрізняється залежно від типу підприємства та його стадії розвитку. Це додатково підтверджує, що середовище інвестиційного забезпечення є динамічним і технологічно залежним [45].

Структура інвестиційного забезпечення підприємства може бути визначена як кількісно та якісно визначене поєднання інвестиційних ресурсів і відповідних інструментів їх залучення, сформоване для покриття конкретної

інвестиційної потреби. Однак поняття структури відображає переважно склад та співвідношення її елементів. Воно недостатньо характеризує взаємозалежності між джерелами, інструментами, умовами їх використання, характеристиками підприємства, параметрами проєкту та зовнішнім середовищем. Саме ця теоретична обмеженість надалі створює підстави для переходу до ширшого поняття архітектури інвестиційного забезпечення.

Проведений аналіз дає змогу уточнити запропоноване раніше трактування. *Інвестиційне забезпечення підприємства* доцільно визначати як керований процес формування, залучення, поєднання та адаптивного використання інвестиційних ресурсів із різних джерел за допомогою відповідних інструментів, спрямований на створення достатньої ресурсної бази для реалізації конкретних інвестиційних цілей підприємства з урахуванням його економічних можливостей, параметрів інвестиційних проєктів та умов зовнішнього середовища.

У запропонованому визначенні принциповими є п’ять положень. По-перше, інвестиційне забезпечення розглядається як процес, а не як статична сукупність ресурсів. По-друге, процес має керований характер, тобто передбачає оцінювання, вибір, комбінування та коригування альтернатив. По-третє, передбачається можливість поєднання декількох джерел та інструментів, а не пошук одного універсального способу залучення ресурсів. По-четверте, сформована структура має бути адаптивною, оскільки характеристики підприємства, проєкту та зовнішнього середовища можуть змінюватися. По-п’яте, критерієм результативності є не сам факт залучення ресурсів, а створення такої ресурсної бази, яка дозволяє реалізувати конкретну інвестиційну ціль за прийнятних для підприємства умов.

Структурна схема інвестиційного забезпечення підприємства показана на рис.1.1.

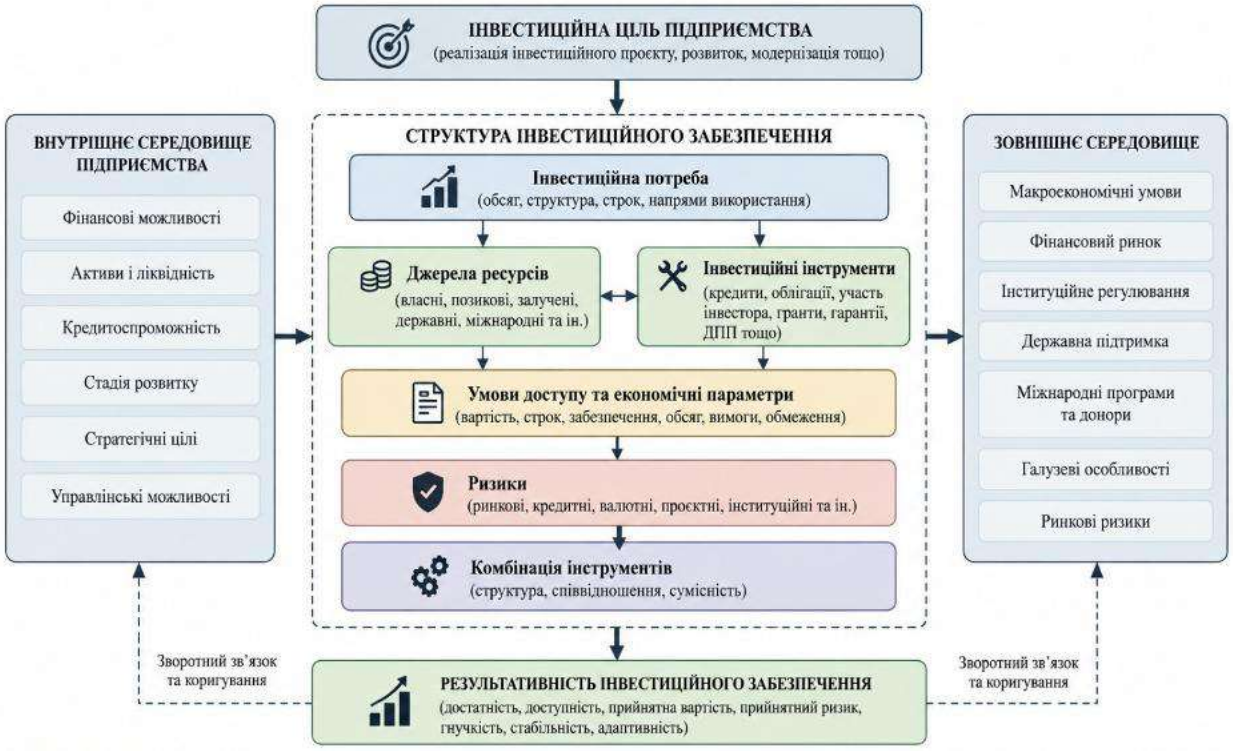

Рис. 1.1. Структурно-логічна схема інвестиційного забезпечення підприємства.
Джерело: розроблено автором.

Інвестиційне забезпечення підприємства слід розглядати як самостійний об'єкт управління, що знаходиться на перетині інвестиційних потреб, ресурсних можливостей, доступних інструментів та зовнішніх обмежень. Його результативність визначається не максимізацією обсягу залучених ресурсів, а відповідністю сформованої їх комбінації конкретним потребам підприємства і проєкту. Положення є принциповим для подальшого дослідження будівельних підприємств, для яких тривалість реалізації проєктів, висока капіталомісткість та залежність від зовнішнього середовища істотно ускладнюють вибір способів інвестиційного забезпечення.

1.2. Особливості інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення.

Інвестиційне забезпечення будівельних підприємств формується під впливом специфічних характеристик будівельної діяльності [11]. До них належать висока капіталомісткість, значна тривалість реалізації проєктів,

територіальна прив’язаність об’єктів, складність виробничих зв’язків та залежність від великої кількості учасників інвестиційно-будівельного процесу [12]. Б. П’ятночка відзначає високу інвестиційну залежність будівельних підприємств, пов’язуючи її з капіталомісткістю проєктів, їх довгостроковим характером та необхідністю адаптації підприємств до змін економічного і політичного середовища [46].

Висока капіталомісткість будівництва проявляється не лише у значному загальному обсязі необхідних ресурсів. Важливою особливістю є нерівномірність потреби в них протягом реалізації проєкту. Витрати на матеріали, обладнання, оплату праці та субпідрядні роботи виникають на різних етапах, тоді як надходження залежать від графіка платежів замовника та умов контракту.

Дослідження A. Shash та A. Al Qarra показало, що будівельні підприємства використовують прогнозування грошових потоків саме для визначення дефіциту ресурсів і вибору способів його покриття. Серед практичних рішень автори зафіксували кредитування закупівель матеріалів, використання активів підприємства, позикових ресурсів та субпідрядних схем [47]. Друга принципова особливість полягає у проєктному характері будівельної діяльності. Кожен об’єкт має власну вартість, строки, склад учасників, технологічні вимоги, ризики та умови реалізації. Тому ресурсні потреби не можуть визначатися лише на основі загальних показників підприємства. J. Holtström, S. Kenlind та T. Nord обґрунтовують доцільність використання саме project-based підходу в будівництві. Він дає можливість розглядати ресурси, види діяльності та взаємодію учасників на рівні конкретного проєкту, а не лише підприємства загалом [48]. Інвестиційне забезпечення будівельного підприємства фактично формується на перетині двох рівнів – підприємства та проєкту. Перший визначає загальні ресурсні можливості підприємства, його активи, ліквідність, доступ до зовнішніх джерел та досвід реалізації робіт. Другий задає конкретний обсяг, структуру та часовий розподіл необхідних ресурсів. Підприємство може потребувати

принципово різної структури інвестиційного забезпечення залежно від того, реалізує воно житловий, комерційний, інфраструктурний чи відновлювальний проєкт.

Особливе значення має узгодження ресурсного забезпечення з календарною структурою будівельного проєкту. Q. Lu, J. Won та J. C. P. Cheng при моделюванні грошових потоків будівельних проєктів враховували одночасно витрати й надходження, тип контракту, утримання частини платежів, графіки закупівлі матеріалів, використання обладнання та оплати праці. Порівняння альтернативних сценаріїв показало, що зміна схеми платежів або організації робіт змінює і потребу підрядника в залучених ресурсах [49]. Значну роль у діяльності будівельного підприємства відіграє також управління оборотними ресурсами. Тривалість будівельного циклу та часовий розрив між здійсненням витрат і отриманням оплати створюють постійну потребу в підтриманні ліквідності. Дослідження M. Michałowski польських публічних будівельних компаній за 2019–2023 рр. показало, що вибір стратегії управління оборотним капіталом впливає одночасно на прибутковість і операційний ризик. Агресивні стратегії у досліджуваних підприємств не забезпечували очікуваного підвищення прибутковості та супроводжувалися зростанням ризику [50].

Ще однією особливістю є необхідність постійного узгодження економічних параметрів проєкту з управлінськими рішеннями підприємства. H. Yang та Z. Yang при формуванні моделі економічної результативності будівельних проєктів показують взаємозв’язок між розподілом ресурсів, управлінням витратами, реалізацією проєкту та його кінцевою економічною результативністю. Це підтверджує, що ресурсне забезпечення не може розглядатися окремо від системи управління будівельним проєктом [51]. Для сучасних будівельних підприємств потреба в інвестиційних ресурсах пов’язана не тільки з виконанням поточних проєктів, а й із технологічним оновленням самого підприємства.

А. Максюта розглядає інвестиційне забезпечення як один із ключових чинників інноваційної трансформації підприємств будівельної галузі. Модернізація технологій, цифровізація процесів і впровадження нових способів організації будівництва формують додаткову потребу в ресурсах, яка існує паралельно з потребами конкретних будівельних проєктів [52]. В умовах війни зазначені галузеві особливості посилюються додатковими обмеженнями. Л. Романова та Є. Грігєрман серед характерних рис інвестиційного забезпечення підприємств будівельної галузі України виділяють високу капіталомісткість, необхідність державного регулювання та підвищені ризики воєнного стану. Автори також наголошують на значенні фінансової стабільності підприємства, правового середовища та інноваційного потенціалу для активізації інвестиційної діяльності в умовах війни та повоєнного періоду [8]. Інвестиційне забезпечення будівельного підприємства не може визначатися лише загальним обсягом його ресурсів . Необхідно враховувати параметри конкретного проєкту, часову структуру ресурсної потреби, умови контракту, можливості підтримання ліквідності, технологічні потреби та зовнішні обмеження (табл. 1.7). У цьому полягає принципова відмінність між простим визначенням ресурсної спроможності підприємства та формуванням інвестиційного забезпечення конкретного будівельного проєкту.

Таблиця 1.7. Галузеві особливості будівельних підприємств та їх вплив на інвестиційне забезпечення

Особливість	Економічний прояв	Наслідок для інвестиційного забезпечення
Висока капіталомісткість	Значні початкові та поточні витрати	Необхідність залучення зовнішніх ресурсів
Проєктний характер	Кожен об’єкт має власні	Необхідність формувати

діяльності	параметри	забезпечення під конкретний проєкт
Тривалий цикл реалізації	Ресурси залучаються раніше, ніж отримується результат	Потреба у довгострокових інструментах
Нерівномірність грошових потоків	Витрати й надходження не збігаються у часі	Поява проміжного дефіциту ресурсів
Висока потреба в оборотних ресурсах	Постійні витрати на матеріали, працю та субпідряд	Підвищення значення ліквідності
Контрактна залежність	Умови платежів визначають рух ресурсів	Залежність потреби від типу контракту
Технологічне оновлення	Необхідність модернізації паралельно з виконанням проєктів	Виникнення додаткової інвестиційної потреби
Висока залежність від зовнішнього середовища	Зміна цін, ризиків, доступності ресурсів	Потреба у гнучкій структурі забезпечення
Воєнні ризики	Пошкодження активів, невизначеність строків і витрат	Потреба у додаткових гарантійних та захисних механізмах

Джерело: складено автором

Встановлені особливості дають підстави розглядати зв’язку «будівельне підприємство – конкретний проєкт» як базовий рівень формування інвестиційного забезпечення [13, 53]. Це положення має принципове значення для подальшого дослідження, оскільки дозволяє перейти від загального аналізу ресурсних можливостей підприємства до визначення того, яка

конфігурація ресурсів та інструментів відповідає параметрам конкретного проєкту.

Однією з ключових особливостей будівельного проєкту є те, що потреба в ресурсах змінюється протягом усього періоду його реалізації. На початкових етапах витрати пов’язані з проєктуванням, підготовчими роботами, дозвільними процедурами та мобілізацією ресурсів. У фазі безпосереднього будівництва різко зростають витрати на матеріали, обладнання, оплату праці та субпідрядні роботи. Наприкінці проєкту структура витрат знову змінюється через завершальні роботи, випробування, введення об’єкта в експлуатацію та остаточні розрахунки. Тому інвестиційна потреба будівельного підприємства має не лише кількісний, а й виражений часовий вимір.

R. Navon ще в дослідженні прогнозування грошових потоків будівельних проєктів показав, що календарні зміни строків, вартості та ресурсів безпосередньо змінюють профіль потреби підприємства в коштах. Для прогнозування таких змін використовуються кумулятивні S-подібні криві витрат, які дозволяють порівнювати запланований і фактичний рух ресурсів у часі [54]. Водночас класична S-крива відображає лише один очікуваний сценарій. У реальному будівельному проєкті строки виконання робіт і їх вартість мають невизначений характер. A. Maravas та J.-P. Pantouvakis запропонували враховувати цю невизначеність через множину S-кривих, сформованих для різних рівнів ризику. На прикладі дорожнього будівництва автори показали, що зміна тривалості або вартості окремих робіт безпосередньо змінює мінімальну потребу підрядника в оборотному ресурсі [55]. Це підтверджує, що обсяг необхідного інвестиційного забезпечення не може визначатися лише один раз на початку проєкту. Важливо також, що профіль ресурсної потреби відрізняється залежно від типу будівельного проєкту. E. Soliman та K. Alrasheed дослідили понад 40 S-кривих для різних типів будівництва і встановили суттєві відмінності між ними. Найбільші розбіжності між окремими типами проєктів виникали в середині та наприкінці будівельного циклу. Автори роблять висновок про відсутність єдиної

універсальної моделі руху витрат для всіх видів будівництва [56]. Для даного дослідження це є додатковим аргументом на користь формування інвестиційного забезпечення не на галузевому рівні загалом, а для конкретної пари «підприємство – проєкт».

Часова нерівномірність потреби стає особливо проблемною у випадку затримки надходжень. M. Al Alawi на вибірці 65 малих і середніх будівельних підприємств встановив, що затримка оплати робіт посіла третє місце серед 21 фактора, які негативно впливають на продуктивність. Для великих компаній аналогічний фактор мав значно нижчу вагу. Це свідчить про те, що одна й та сама контрактна затримка створює різний рівень ризику залежно від масштабів і ресурсних можливостей підприємства [57].

Наслідки затримки платежів не обмежуються ліквідністю окремого учасника. H. Xie, J. Zheng, Y. Zhang та H. Li показали, що затримки на двох послідовних рівнях платіжного ланцюга – від замовника до генерального підрядника та від генерального підрядника до субпідрядника – впливають на швидкість руху ресурсів і загальний прогрес проєкту. Моделювання різних варіантів платежів продемонструвало, що збільшення періоду очікування оплати змушує підрядників довше використовувати власні авансовані ресурси [58]. Контрактні параметри є не зовнішнім доповненням до інвестиційного забезпечення, а одним із факторів, які безпосередньо визначають його необхідний обсяг і структуру.

З позиції будівельного підприємства це означає, що ресурсна потреба протягом життєвого циклу проєкту повинна розглядатися як динамічна величина (табл. 1.8). На кожному етапі змінюються не тільки обсяг необхідних ресурсів, а й прийнятна тривалість їх використання, допустима вартість, рівень ризику та можливість заміни одного інструменту іншим [59, 60]. Для будівельного підприємства важливо не тільки забезпечити загальний обсяг ресурсів, необхідний для завершення проєкту. Не менш важливим є узгодження моменту їх залучення з моментом виникнення потреби. Надто раннє залучення підвищує вартість використання ресурсу, а надто пізнє може

призвести до затримки робіт або вимушеного використання дорожчих короткострокових джерел.

Таблиця 1.8. Зміна параметрів інвестиційного забезпечення протягом життєвого циклу будівельного проєкту.

Етап реалізації проєкту	Основний характер потреби	Особливості ресурсного забезпечення
Передінвестиційна підготовка	Проєктування, оцінювання, дозвільні процедури	Порівняно невеликий обсяг, але високий ризик неповернення вкладених ресурсів
Підготовчий етап	Мобілізація, закупівлі, підготовка майданчика	Швидке зростання ресурсної потреби
Основна будівельна фаза	Матеріали, праця, техніка, субпідряд	Максимальна потреба у стабільному потоці ресурсів
Завершальна фаза	Монтаж, оздоблення, випробування	Скорочення потреби, але зростання значення своєчасних розрахунків
Введення в експлуатацію	Завершальні платежі та усунення недоліків	Поступове вивільнення ресурсів, можливі затримки остаточних платежів

Джерело: складено автором

Для українських будівельних підприємств традиційна невизначеність будівельного циклу доповнюється масштабними наслідками війни [61, 62]. Станом на 31 грудня 2025 року загальна потреба України у відновленні та реконструкції протягом наступних десяти років оцінювалася у 587,7 млрд дол. США, а прямі збитки – у 195,1 млрд дол. США. Найбільше постраждали житловий, транспортний та енергетичний сектори [63]. Масштаб таких потреб означає, що навантаження на будівельні підприємства в процесі відновлення

зростатиме одночасно зі зростанням потреби у зовнішніх інвестиційних ресурсах.

Воєнні умови змінили не тільки масштаб інвестиційного попиту, а й його структуру. Z. Hbur, аналізуючи інвестиційну активність будівельного сектору України у 2021–2024 рр., відзначає переорієнтацію капітальних вкладень від традиційного житлового будівництва до критичної та інженерної інфраструктури. Серед основних бар'єрів автор виділяє високі процентні ставки, обмежений доступ до довгострокових ресурсів, інвестиційні ризики та нестабільність регуляторного середовища [64]. Це змінює вимоги до інвестиційного забезпечення: для значної частини проєктів традиційні комерційні інструменти можуть виявитися недостатніми або економічно неприйнятними.

О. Цімошинська та Т. Іванова також пов'язують сучасні проблеми будівельних підприємств із нестабільністю доступу до капіталу, порушеннями логістичних ланцюгів, дефіцитом кваліфікованих працівників та зростанням невизначеності для інвесторів. Поряд із цим автори відзначають необхідність технологічної модернізації, цифровізації та впровадження BIM, автоматизації та інших сучасних технологій [65]. Підприємство змушене одночасно забезпечувати ресурсами не тільки виконання відновлювальних проєктів, а й власну технологічну адаптацію, що створює подвійне навантаження на систему інвестиційного забезпечення. З одного боку, післявоєнне відновлення формує великий портфель потенційних будівельних проєктів. З іншого боку, здатність підприємств реалізувати ці проєкти залежить від їх власного ресурсного потенціалу, доступу до зовнішніх інструментів, вартості залучення ресурсів та здатності працювати за підвищеного рівня ризику.

У традиційних умовах підприємство може відносно стабільно прогнозувати вартість ресурсів, умови кредитування та строки виконання робіт. Воєнне та раннє післявоєнне середовище робить ці параметри значно менш передбачуваними. Змінюються ціни на матеріали, логістичні маршрути, доступність робочої сили, умови страхування, процентні ставки, курс валюти

та пріоритети державних програм. Тому інвестиційне забезпечення втрачає статичний характер і потребує постійного коригування. Для будівельного підприємства це означає перехід від завдання «знайти джерело ресурсів» до складнішого завдання – сформувати таку їх комбінацію, яка залишається прийнятною за зміни умов реалізації проєкту [66]. Саме ця особливість є принциповою для післявоєнного відновлення, оскільки висока інвестиційна потреба поєднується з підвищеним ризиком і обмеженістю окремих традиційних джерел [67].

У таких умовах суттєво зростає роль альтернативних форм залучення ресурсів: міжнародних програм підтримки, гарантійних механізмів, пільгових інструментів, грантового співфінансування, державно-приватного партнерства та змішаних моделей. Їх детальна характеристика буде розглянута в наступному параграфі. На цьому етапі важливо зафіксувати інше: воєнне та післявоєнне середовище розширює множину потенційних інструментів, але одночасно ускладнює вибір між ними.

Особливості інвестиційного забезпечення будівельного підприємства формуються під впливом двох груп факторів. Перша пов’язана з природою самого будівництва – проєктністю, тривалістю циклу, нерівномірністю ресурсної потреби та контрактною залежністю. Друга виникає через специфіку воєнного і післявоєнного середовища – масштаб руйнувань, високий ризик, зміни структури попиту та появу нових механізмів підтримки. Поєднання цих факторів робить вибір структури інвестиційного забезпечення багатоваріантною управлінською задачею.

Післявоєнне відновлення України формує для будівельних підприємств принципово інше економічне середовище. Його особливість полягає не лише у різкому зростанні обсягу потенційних будівельних робіт. Одночасно змінюються характер замовників, структура проєктів, джерела ресурсів, вимоги до їх залучення, розподіл ризиків та критерії відбору проєктів. У результаті традиційна схема, за якої будівельний проєкт забезпечується переважно власними ресурсами підприємства, авансами замовника та

банківським кредитуванням, поступово доповнюється гарантіями, грантами, пільговими ресурсами, міжнародними програмами, інструментами державно-приватного партнерства та змішаними моделями.

OECD у спеціальному огляді інфраструктурної політики України наголошує, що масштаби відновлення значно перевищують можливості державного бюджету та традиційного банківського сектору. При цьому внутрішній ринок довгострокових ресурсів поки недостатньо розвинений для забезпечення великих інфраструктурних проєктів, а можливості project finance та ринку капіталу залишаються обмеженими. За таких умов відновлення потребує одночасного використання бюджетних, донорських і приватних ресурсів, розвитку гарантійних інструментів та підвищення якості підготовки проєктів [68]. Для будівельного підприємства це означає, що збільшення кількості потенційних проєктів саме по собі не гарантує збільшення можливостей їх реалізації. Між сформованою потребою у відбудові та фактичним будівельним контрактом виникає складна система відбору, підготовки, забезпечення ресурсами та розподілу ризиків. Підприємство має не лише володіти виробничими можливостями, а й відповідати вимогам конкретної програми, мати необхідний рівень власної участі, забезпечувати прозорість управління, підтверджувати спроможність реалізувати проєкт та працювати з різними категоріями партнерів [69, 70].

Одним із ключових елементів нової системи є Ukraine Investment Framework, створений у межах Ukraine Facility. Його ресурсна база становить 9,6 млрд євро, з яких 7,8 млрд євро припадає на гарантійне покриття, а 1,8 млрд євро – на грантове змішане фінансування. Механізм передбачає використання бюджетних гарантій, інвестиційних грантів, технічної допомоги та інших інструментів для залучення значно більшого обсягу публічних і приватних інвестицій [71]. З позиції будівельного підприємства важливий не лише загальний обсяг такого ресурсу, а принцип його дії. Значна частина міжнародної підтримки надходить не безпосередньо підприємству, а через банки, міжнародні фінансові установи, фонди, гарантійні програми або

спеціальні інвестиційні механізми. Таким чином, між первинним джерелом ресурсу та підприємством можуть виникати декілька проміжних рівнів. Кожний із них формує власні умови щодо виду проєкту, частки власної участі, допустимого ризику, строків, забезпечення та звітності [72, 73], що суттєво змінює зміст категорії доступності інвестиційного інструменту. Якщо в традиційній моделі доступність кредиту визначалася переважно кредитоспроможністю підприємства та наявністю застави, то в нових програмах додаткового значення набувають відповідність проєкту пріоритетам відновлення, екологічним і соціальним вимогам, готовність проєктної документації, структура власності підприємства та можливість співфінансування.

Показовими є критерії відбору корпоративних інвестиційних проєктів у межах інструментів ЄС. Для окремих програм заявник повинен продемонструвати економічну життєздатність проєкту, його зрілість, інвестиційний план та здатність забезпечити власним капіталом щонайменше 30 % загальної вартості проєкту [74]. Це означає, що формально доступний інструмент може виявитися непридатним для підприємства, яке не відповідає одній із встановлених умов.

У післявоєнному середовищі поняття «доступний ресурс» і «придатний ресурс» дедалі більше розмежовуються. Ресурс може існувати на ринку або в межах міжнародної програми, але конкретне будівельне підприємство не обов’язково матиме можливість його використати. Саме ця відмінність надалі має принципове значення для оцінювання придатності інвестиційних інструментів [75, 76].

Одночасно з розширенням інструментів міжнародної підтримки посилюється орієнтація на мобілізацію приватного капіталу. У 2025 р. Європейська Комісія оголосила новий пакет угод у межах Ukraine Investment Framework обсягом 2,3 млрд євро, який включав близько 1,8 млрд євро гарантій та 580 млн євро грантів. Очікуваний ефект цих ресурсів полягав у залученні до 10 млрд євро інвестицій [77]. Цей приклад демонструє важливу зміну у природі

інвестиційного забезпечення відновлення. Державний або міжнародний ресурс дедалі частіше виконує не функцію повного покриття вартості проєкту, а функцію каталізатора, який знижує ризик для інших учасників і створює умови для залучення додаткового приватного капіталу.

Відповідно, для підприємства виникає можливість формувати багатокомпонентну структуру забезпечення. Наприклад, частина вартості проєкту може покриватися власними ресурсами, частина – банківським кредитом, частина кредитного ризику – гарантією міжнародної установи, а окремий компонент витрат – грантовою підтримкою. Кінцевий обсяг ресурсів у такій моделі перевищує безпосередню суму державної або донорської підтримки. Саме тому післявоєнне відновлення створює передумови для переходу від одноінструментальної до комбінованої моделі інвестиційного забезпечення.

Особливу роль у такій моделі відіграє зниження ризику приватного інвестора. OECD визначає політичне та воєнне страхування одним із ключових інструментів залучення довгострокового приватного капіталу в українську інфраструктуру. За даними організації, обсяг покриття політичних ризиків в Україні зріс із 94,6 млн дол. США у 2021 р. до 2,3 млрд дол. США у 2024 р. У 2022–2025 рр. близько 29 % такого покриття припадало на інфраструктурні сектори [78]. Для будівельного підприємства страхування воєнного ризику має ширше значення, ніж звичайний захист активу. Наявність страхового або гарантійного покриття може змінювати саму можливість залучення зовнішнього ресурсу. Проєкт, який без страхування оцінюється кредитором або інвестором як неприйнятний, після часткового перенесення ризику на гарантійну чи страхову установу може стати економічно реалізованим.

І. Приймак та Н. Тимків також наголошують, що розвиток страхування інвестицій від воєнних ризиків є необхідною умовою активізації приватного інвестування в Україні. Автори пов’язують його значення насамперед із можливістю знизити втрати інвестора в разі реалізації воєнно-політичних ризиків і тим самим підвищити готовність до здійснення довгострокових

вкладень [79]. На інституційному рівні відповідний напрям уже отримує практичне наповнення. ЄБРР створив Ukraine Recovery and Reconstruction Guarantee Facility з гарантією до 110 млн євро для підтримки перестрахування воєнних ризиків [80, 81]. Механізм орієнтований на розширення можливостей страхового ринку щодо покриття втрат, пов'язаних із війною [82]. Таким чином, страхування та гарантії необхідно розглядати не як другорядне доповнення до інвестиційного забезпечення, а як окремий елемент його структури. Вони безпосередньо не завжди створюють новий ресурс для підприємства, але можуть зробити доступним ресурс, який без гарантійного покриття залучити неможливо або економічно недоцільно.

Зміна середовища післявоєнного відновлення поступово трансформує і набір інструментів, доступних будівельному підприємству. Якщо традиційна система значною мірою спирається на власні ресурси, банківське кредитування, кошти замовника та приватного інвестора, то відновлювальна модель передбачає значно ширше використання гарантій, грантів, пільгових ресурсів, міжнародних програм та партнерських механізмів.

Н. Решітко, аналізуючи інвестиційні інструменти та державну підтримку будівельних підприємств у післявоєнній відбудові, відзначає необхідність поєднання банківського кредитування, бюджетної підтримки, міжнародних ресурсів, приватних інвестицій та державно-приватного партнерства. Автор наголошує, що вибір інструментів має залежати від характеру будівельного проєкту та можливостей підприємства [83].

При цьому розширення переліку інструментів саме по собі не вирішує проблему ресурсного забезпечення. Навпаки, воно створює нову управлінську задачу – вибір із більшої кількості альтернатив [84–86]. Кожен інструмент має власні переваги та обмеження, а частина з них може використовуватися лише разом з іншими. Наприклад, гарантія має цінність лише за наявності основного кредитного або інвестиційного ресурсу. Грант може вимагати обов'язкового співфінансування. Публічно-приватне партнерство (ППП) передбачає розподіл зобов'язань і ризиків між приватним та публічним партнерами.

Пільговий кредит може бути обмежений конкретним типом проєкту. Private equity знижує боргове навантаження, але може означати передачу частини контролю над проєктом.

У цьому контексті публічно-приватне партнерство (ППП) має особливе значення для великих будівельних та інфраструктурних проєктів. О. Пінчук показує, що ППП дозволяє поєднати ресурси держави та приватного сектору, розподілити ризики та використати управлінську й технологічну компетентність приватного партнера. Водночас така модель характеризується складністю контрактних відносин, тривалими процедурами підготовки та високими вимогами до якості проєктного обґрунтування [87]. ППП не можна розглядати як універсальний спосіб забезпечення будь-якого будівельного проєкту. Його придатність залежить від масштабу, тривалості, суспільного значення, здатності проєкту генерувати дохід, можливості розподілу ризиків та готовності публічного партнера приймати довгострокові зобов'язання.

Аналогічна логіка стосується гарантійного кредитування. Європейський інвестиційний банк у межах EU4Business Guarantee Facility II використовує часткові портфельні гарантії для українських банків. Їх завдання полягає у зниженні кредитного ризику банку і, відповідно, створенні можливості пропонувати малим та середнім підприємствам нижчі вимоги до забезпечення або нижчу вартість залучення ресурсу [88]. З позиції підприємства це принципово інший інструмент, ніж звичайний комерційний кредит. Його результативність визначається не тільки процентною ставкою, а й тим, наскільки гарантійний компонент змінює вимоги до застави, максимальний обсяг кредитування, строк та загальну доступність ресурсу.

Додаткову роль відіграють інструменти прямого приватного інвестування. IFC у 2025 р. розширив програми підтримки приватного сектору України, орієнтуючи їх на енергетику, технологічні проєкти та інші напрями відновлення. Водночас IFC зазначав, що підприємства продовжують працювати за значного впливу безпекових ризиків, дефіциту працівників та зростання вартості ресурсів [89]. Це ще раз демонструє, що для післявоєнного

середовища характерне не просто збільшення кількості джерел інвестиційних ресурсів, а одночасне ускладнення умов їх використання.

У таких умовах особливого значення набуває поєднання декількох інструментів у межах одного проєкту. У міжнародній практиці для цього широко використовується логіка blended finance, відповідно до якої публічні або пільгові ресурси використовуються для мобілізації додаткового приватного капіталу. Для України цей підхід має особливе значення через одночасну дію двох обмежень. З одного боку, масштаби потреб відновлення не дозволяють покладатися лише на бюджетні та донорські ресурси. З іншого боку, високий рівень ризику обмежує можливість реалізації багатьох проєктів виключно на комерційних умовах. Тому частина ризику або витрат повинна бути розподілена між декількома учасниками.

Є. Масленніков, С. Рябов та Р. Кіртока пов’язують сучасне інвестиційне середовище України з необхідністю розвитку механізмів de-risking, до яких відносять страхування воєнних ризиків, гарантії, податкові стимули, механізми міжнародних установ та публічно-приватне партнерство. Такі інструменти мають зменшувати ризикове навантаження на приватного учасника та створювати передумови для інвестиційної активності [90]. Важливо, що змішане забезпечення не означає механічного додавання максимально можливої кількості інструментів. Збільшення їх кількості може підвищувати транзакційні витрати, вимоги до звітності, складність координації та ризик несумісності умов.

Тому економічно доцільна модель повинна відповідати трьом умовам. По-перше, сукупний обсяг ресурсів має покривати потребу проєкту. По-друге, окремі інструменти повинні бути сумісними за строками, умовами, вимогами щодо співфінансування та допустимими напрямами використання. По-третє, структура повинна забезпечувати прийнятне співвідношення вартості, ризику та управлінської складності.

Саме тут виникає суттєва відмінність між поняттями «набір інструментів» та «структура інвестиційного забезпечення». Набір показує, які

інструменти доступні підприємству. Структура характеризує, які з них фактично обрані та яку частку інвестиційної потреби покриває кожний. Трансформація моделі інвестиційного забезпечення будівельного підприємства в процесі післявоєнного відновлення показана на рис.1.2.



Рисунок 1.2. Трансформація моделі інвестиційного забезпечення будівельного підприємства в процесі післявоєнного відновлення.

Джерело: розроблено автором.

Проте навіть поняття структури не повністю відображає складність сучасної системи. Однакові частки кредитного, грантового та власного ресурсу можуть мати різний економічний результат залежно від строків, гарантій, послідовності залучення та розподілу ризиків. Тому для подальшого дослідження важливо враховувати не лише склад і частки, а й зв’язки між елементами (табл. 1.9).

OECD наводить практичний приклад такого поєднання на проєкті розширення Тилігульської вітроелектростанції. Проєкт вартістю близько 450 млн євро передбачав приблизно 80 млн євро власного капіталу та близько 370

млн євро синдикованого кредиту, значна частина якого підтримувалася гарантіями Export and Investment Fund of Denmark [91].

Таблиця 1.9. Трансформація інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення

Характеристика	Традиційна модель	Модель післявоєнного відновлення
Основні джерела	Власні ресурси, кошти замовника, банківський кредит	Власні, банківські, приватні, міжнародні, державні та змішані ресурси
Кількість інструментів	Обмежена	Розширена
Роль держави	Регулятор, замовник, бюджетне інвестування	Регулятор, замовник, гарант, партнер, співінвестор
Роль міжнародних установ	Обмежена	Значна
Гарантійні механізми	Допоміжна роль	Один із ключових способів зниження ризику
Страхування воєнних ризиків	Практично відсутнє	Важлива умова залучення приватного капіталу
Грантова складова	Обмежене застосування	Використання для окремих компонентів і типів проєктів
ППП	Окремі проєкти	Потенційний механізм великих відновлювальних проєктів
Змішане забезпечення	Використовується ситуативно	Стає одним із базових підходів
Критерій вибору	Вартість та доступність	Достатність + доступність + вартість + ризик + строк +

		сумісність
Характер рішення	Переважно вибір джерела	Формування конфігурації інструментів
Адаптація	Обмежена	Необхідність сценарного перегляду структури

Джерело: розроблено автором.

Цей приклад важливий не стільки конкретними частками, скільки принципом: великий інвестиційний проєкт формується як конфігурація взаємопов'язаних ресурсів, у якій окремі інструменти виконують різні функції. Власний капітал забезпечує участь ініціатора, кредит створює основний ресурс, а гарантійний механізм робить кредитування прийнятним для кредиторів.

Для будівельного підприємства логіка може бути аналогічною. Власний ресурс забезпечує базову участь, кредит або приватний капітал покриває основну частину інвестиційної потреби, грант компенсує окремі суспільно важливі або інноваційні компоненти, а гарантія чи страхування знижує ризик інших учасників, що дозволяє сформулювати принциповий висновок: у процесі післявоєнного відновлення одиницею управлінського вибору поступово стає не окремий інвестиційний інструмент, а їх конфігурація. Саме така логіка надалі створює передумови для переходу від аналізу окремих джерел та інструментів до поняття архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства.

Розширення переліку потенційних джерел та інструментів не усуває проблеми інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. Навпаки, зі збільшенням кількості альтернатив ускладнюється їх вибір. Кожний інструмент має власні вимоги до підприємства та проєкту, відрізняється вартістю, строками, допустимим рівнем ризику, необхідністю співфінансування, вимогами до забезпечення та обмеженнями щодо

використання ресурсів. У процесі післявоєнного відновлення ці характеристики доповнюються воєнними, інституційними, регуляторними та територіальними ризиками.

IFC серед основних обмежень приватних інвестицій у відновлення будівельного сектору України виділяє невизначеність щодо строків реконструкції, масштабів майбутнього попиту та його територіального розподілу. До цього додаються регуляторні бар'єри, складність стандартизації та сертифікації, дефіцит кваліфікованої робочої сили, порушення ланцюгів постачання та підвищення вартості будівельних матеріалів [92]. Для будівельного підприємства це означає, що інвестиційний інструмент не може оцінюватися лише за його поточною вартістю. Довгостроковий кредит може мати прийнятну процентну ставку, але створювати надмірний ризик за невизначених строків реалізації проєкту. Грантовий інструмент може бути дешевшим, однак вимагати складної процедури відбору та жорсткого цільового використання коштів. Приватний капітал не формує стандартного боргового навантаження, але може передбачати участь інвестора у контролі над проєктом.

Війна також змінює поведінку інвесторів. A. Nowinska та T. R. Olesen встановили, що сприйняття воєнного ризику не обов'язково призводить до повної відмови від інвестування. Реакція залежить від очікуваної віддачі, перспектив ринку, мотивів інвестора та розвитку воєнної ситуації [93]. Тому воєнний ризик не доцільно розглядати як постійний параметр. Його вплив на інвестиційне рішення змінюється разом із зовнішнім середовищем.

Для будівельного підприємства ця проблема посилюється через незворотність значної частини витрат. Після початку реалізації проєкту перенесення об'єкта в інший регіон, зміна його функціонального призначення або припинення робіт можуть супроводжуватися значними втратами. Територіальна прив'язаність будівництва тому істотно збільшує вплив локальних та безпекових ризиків.

С. Бай та І. Буханенко розглядають ризики будівельного проєкту як комплекс взаємопов’язаних факторів. Вони пов’язують їх не тільки із зовнішнім середовищем, а й зі зміною вартості робіт, технологічними рішеннями, матеріалами, строками та якістю управління. Автори наголошують на необхідності формування та постійного оновлення реєстру ризиків протягом усього циклу проєкту [94]. Ризики інвестиційного забезпечення виникають не лише на етапі пошуку ресурсів. Вони супроводжують весь цикл реалізації проєкту. Зростання кошторисної вартості створює потребу в додаткових ресурсах. Затримка робіт збільшує строк користування залученим капіталом. Валютні коливання змінюють вартість імпортних матеріалів та обслуговування валютних зобов’язань. Зміна умов державної чи міжнародної програми може вплинути на доступність гранту, гарантії або пільгового кредиту.

О. Кучеренко, В. Федоров та Д. Крупник пропонують багаторівневий підхід до оцінювання ризиків будівельного девелопменту. Автори виділяють економічні, правові, політичні та безпекові фактори, а серед характерних для воєнного і післявоєнного періоду ризиків називають обмеження кредитування, валютну нестабільність, логістичні порушення, інфляційний тиск та регуляторні зміни [95], що дозволяє зробити важливий висновок: ризики інвестиційного забезпечення мають взаємопов’язаний характер. Наприклад, посилення воєнного ризику може збільшувати вартість страхування та підвищує загальну вартість проєкту. Зростання вартості формує додаткову ресурсну потребу, яка, своєю чергою, може збільшити боргове навантаження підприємства або потребу у власному співфінансуванні. Зміна одного параметра здатна змінити всю структуру інвестиційного забезпечення.

Не менш важливими є обмеження щодо фактичного доступу до ресурсів. X. Li, H. Li та F. Qiu показали на прикладі інфраструктурного будівництва, що фінансові обмеження знижують ефективність інвестування та реалізації проєктів. Підвищення власної ресурсної спроможності та доступу до зовнішніх джерел зменшує рівень таких обмежень [96]. Для будівельного

підприємства це означає, що один і той самий інвестиційний інструмент може мати різну практичну цінність для різних суб'єктів господарювання. Велике підприємство зі значними активами, стабільними потоками доходів і досвідом взаємодії з міжнародними установами може отримати довгостроковий ресурс на умовах, недоступних малому підряднику. Тому характеристики самого підприємства мають бути окремою складовою оцінювання.

В. Рябенко та В. Томецький показують, що під час воєнного стану змінюються кадрові ресурси, матеріально-технічна база, інформаційні системи, організаційна структура та ресурсні можливості підприємства. Одночасно зовнішнє середовище характеризується інфляцією, девальвацією, логістичними проблемами, міграцією та зміною попиту [97]. У відповідь підприємства змушені застосовувати більш гнучкі інвестиційні рішення, локалізацію, цифровізацію та автоматизацію управління.

Перша група факторів, яку доцільно враховувати під час формування інвестиційного забезпечення, пов'язана саме з внутрішніми характеристиками підприємства. До неї належать власна ресурсна база, ліквідність, кредитоспроможність, структура активів, кадрова та управлінська спроможність, досвід реалізації проєктів, цифрова зрілість і можливість забезпечити власний внесок.

Друга група факторів пов'язана з характеристиками конкретного проєкту. До неї входять масштаб, тривалість, вартість, тип об'єкта, структура витрат, очікувана дохідність, суспільна значущість, контрактні умови та ризик відхилення фактичних параметрів від планових.

В. Бойчик серед основних проблем сучасної будівельної галузі України виділяє дефіцит кадрів, інфляцію, високу вартість кредитних ресурсів, порушення логістичних ланцюгів та залежність від імпортних матеріалів [98], що впливають не тільки на загальний стан галузі, а й безпосередньо змінюють вартість, строки та ресурсну потребу окремого будівельного проєкту.

Третя група охоплює характеристики самих інвестиційних ресурсів та інструментів. Підприємство повинно враховувати їх доступність, вартість,

строк, максимальний обсяг, вимоги до забезпечення, мінімальну частку власного внеску, можливість дострокового припинення, цільове призначення та сумісність з іншими інструментами.

Сумісність набуває особливого значення за використання змішаного забезпечення. Грант може надаватися лише за умови співфінансування. Гарантія може покривати лише певну частку кредиту. Пільговий ресурс може бути обмежений конкретним напрямом використання. У результаті комбінація, яка є вигідною за вартістю, може виявитися неприйнятною через несумісність умов окремих інструментів.

Четверта група формується інституційним та ризиковим середовищем. До неї належать безпекова ситуація, державна політика, нормативні вимоги, правила закупівель, можливість страхування, міжнародні програми, валютні та інфляційні ризики, стан кредитного ринку та інституційна спроможність органів, відповідальних за відновлення.

Дослідження Інституту економічних досліджень та політичних консультацій показує, що участь підприємств у проєктах відбудови обмежується не лише ресурсними факторами. Важливими залишаються регуляторні бар’єри, правила визначення вартості будівництва, кадровий дефіцит, цифровізація процедур, конкуренція у публічних закупівлях та гармонізація українських норм із правилами ЄС [99], що принципово важливо для трактування інвестиційного забезпечення. Навіть ресурсно спроможне підприємство може не отримати доступ до певного сегмента відновлювальних проєктів, якщо воно не відповідає інституційним, технічним або процедурним вимогам.

Прикладом зміни такого середовища є оновлення правил визначення вартості будівництва для проєктів, що реалізуються за публічні кошти. Уряд України обґрунтовував відповідні зміни необхідністю зробити ціноутворення прозорішим, прогнозованішим і посилити контроль вартості будівельних матеріалів [100]. Для підприємства це безпосередньо впливає на можливість планування ресурсної потреби та розподіл ризику перевищення фактичної

вартості проєкту. О. Куліков пропонує оцінювати інвестиційний клімат будівельного комплексу України з використанням ризик-скоригованого підходу та поєднання базових умов, системних бар'єрів, ризиків і можливостей [101]. Автор пов'язує потенційну частку приватного капіталу у відбудові зі сценаріями зміни інвестиційного середовища, що добре узгоджується з логікою даного дослідження. Частка приватного, кредитного, грантового чи державного ресурсу не повинна задаватися як постійна величина. Вона має змінюватися залежно від характеристик підприємства, конкретного проєкту та зовнішнього середовища.

С. Ракицька та В. Степанковська наголошують, що система управління будівельним підприємством у воєнних умовах повинна одночасно реагувати на руйнування інфраструктури, логістичні порушення, дефіцит трудових ресурсів та економічну нестабільність [102]. За таких умов управлінські рішення потребують оптимізації ресурсів і використання адаптаційних механізмів.

Водночас інституційна трансформація створює і нові можливості. У 2025 р. ЄБРР спрямував в Україну 2,9 млрд євро, причому 57 % інвестицій припадало на приватний сектор. Через партнерські установи було надано 504 млн євро інструментів розподілу ризику, які створювали можливість нового кредитування обсягом до 1,6 млрд євро [103]. Наявність таких механізмів розширює можливості підприємств, але не робить їх однаково доступними для всіх. Це ще раз підтверджує, що оцінювати потрібно не просто факт існування ресурсу, а ступінь його придатності для конкретного підприємства і конкретного проєкту.

Узагальнення розглянутих факторів дозволяє систематизувати ризики та обмеження інвестиційного забезпечення за чотирма основними групами (табл.1.10)

Таблиця 1.10. Систематизація факторів ризику та обмежень інвестиційного забезпечення будівельного підприємства

Група факторів	Основні характеристики	Потенційний вплив на інвестиційне забезпечення
Підприємницькі	Власні ресурси, ліквідність, кредитоспроможність, активи, кадрові можливості, управлінська компетентність, цифрова зрілість	Визначають доступність інструментів, можливу частку власної участі та допустиме навантаження на підприємство
Проєктні	Тип об’єкта, вартість, строки, масштаб, структура витрат, контрактні умови, дохідність, суспільна значущість	Визначають обсяг, строк і характер необхідних ресурсів
Інвестиційно-ресурсні	Вартість, строк, доступність, забезпечення, гарантії, співфінансування, максимальний обсяг, сумісність інструментів	Формують множину реально доступних способів покриття інвестиційної потреби
Інституційно-ризикові	Воєнний ризик, інфляція, валютні коливання, регулювання, страхування, державні та міжнародні програми, правила закупівель	Змінюють умови використання інструментів та можуть робити окремі з них доступними або недоступними

Джерело: розроблено автором.

Наведена систематизація показує, що інвестиційне рішення не може бути сформоване лише шляхом порівняння вартості окремих джерел. Його результат визначається одночасною взаємодією чотирьох груп факторів. Придатність інвестиційного інструменту має відносний характер. Вона визначається не самим інструментом, а його відповідністю конкретній комбінації характеристик підприємства, проєкту, ресурсного середовища та зовнішніх умов, що має принципове значення для подальшого дослідження. Частина параметрів може бути виміряна точно: процентна ставка, строк кредиту, мінімальна частка власного внеску, максимальний обсяг фінансування. Інші характеристики – управлінська спроможність, рівень інституційного ризику, гнучкість, доступність чи сумісність – мають якісний або нечіткий характер. Відповідно, їх одночасне оцінювання потребуватиме спеціального методичного інструментарію.

Узагальнення чотирьох груп факторів та їх вплив на інвестиційне рішення показано на рис. 1.3.

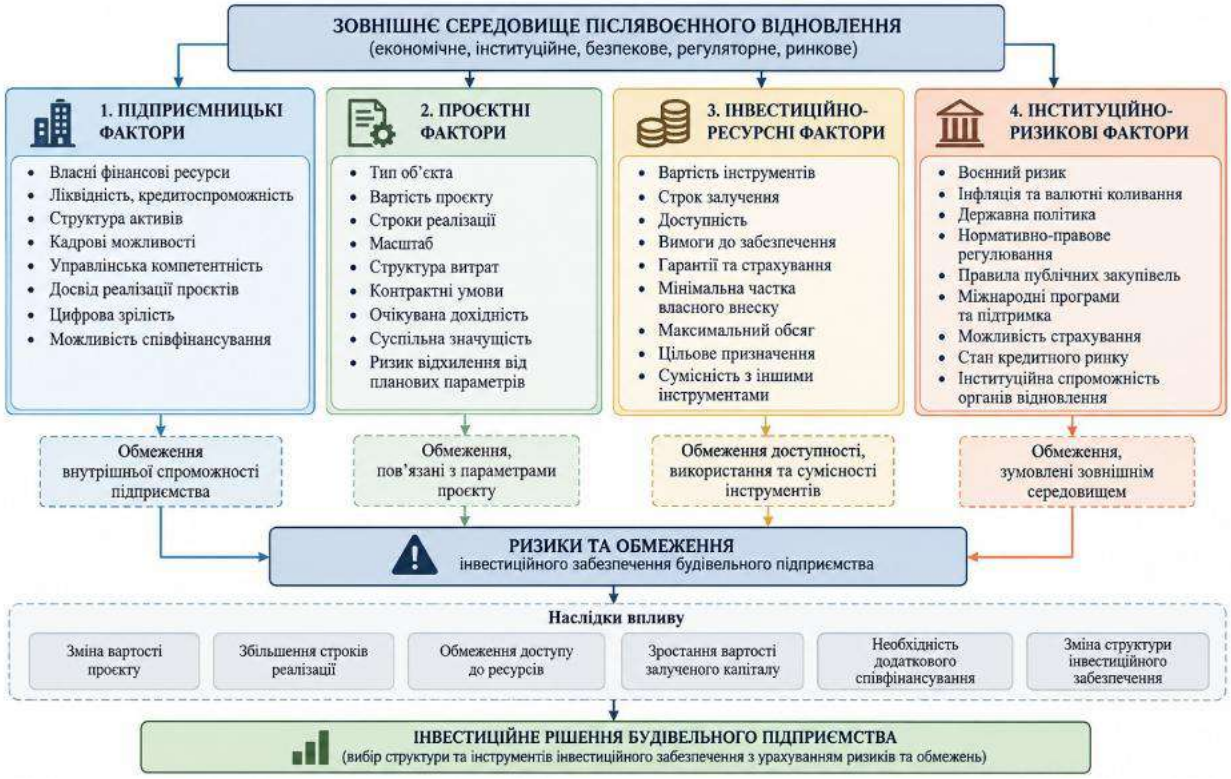

Рис. 1.3. Система факторів ризику та обмежень інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором.*

Узагальнення особливостей будівельної діяльності, трансформації джерел ресурсів і ризиків післявоєнного відновлення дозволяє визначити основні вимоги до сучасної системи інвестиційного забезпечення.

Проведений аналіз показує, що інвестиційне забезпечення будівельного підприємства у процесі післявоєнного відновлення не може розглядатися як просте залучення необхідного обсягу ресурсів [104]. Його результативність залежить від того, наскільки структура залучених ресурсів відповідає можливостям підприємства, параметрам конкретного проєкту та умовам зовнішнього середовища.

Достатність ресурсів є необхідною, але не єдиною умовою. Підприємство може формально мати доступ до необхідного обсягу капіталу, однак така структура забезпечення може бути надто дорогою, короткостроковою, ризиковою або несумісною з календарем реалізації проєкту. В інших випадках окремий інструмент може мати привабливі умови, але бути недоступним через вимоги до власного внеску, забезпечення, типу проєкту чи рівня ризику.

Тому першою базовою вимогою є достатність інвестиційного забезпечення. Сукупний обсяг залучених ресурсів повинен покривати заплановану потребу підприємства з урахуванням можливого зростання вартості будівництва, зміни строків реалізації та появи додаткових витрат. Для довготривалих будівельних проєктів ця вимога особливо важлива, оскільки початкова оцінка вартості не завжди відповідає фактичним витратам на завершальній стадії.

Другою вимогою є доступність. Підприємство повинно мати реальну, а не лише формальну можливість використати певний інструмент. Доступність залежить від його кредитоспроможності, ліквідності, структури активів,

досвіду реалізації проєктів, можливості забезпечити власну частку участі та відповідності умовам конкретної програми.

Третьою вимогою є відповідність параметрам проєкту. Структура інвестиційного забезпечення має враховувати тип об’єкта, тривалість будівництва, календарний графік витрат, очікувані надходження, суспільну значущість, спосіб реалізації та контрактні умови. Одна й та сама модель забезпечення не може бути однаково доцільною для комерційного житлового об’єкта, соціальної інфраструктури, реконструкції пошкодженого будинку або великого транспортного проєкту.

Четвертою вимогою є строкова узгодженість. Період користування залученим ресурсом повинен відповідати тривалості будівельного циклу та графіку надходжень. Надто короткий ресурс може створити ризик дефіциту ліквідності до завершення проєкту, тоді як надто раннє залучення довгострокового ресурсу збільшує витрати на його обслуговування.

П’ятою є прийнятність вартості. Вартість ресурсу повинна оцінюватися не ізольовано, а разом з іншими умовами його використання. Найдешевший інструмент не завжди є найбільш доцільним, якщо він має складні вимоги, обмежений строк або недостатній обсяг. Водночас дорожчий ресурс може бути виправданим, якщо він забезпечує гнучкість або дозволяє швидко закрити критичний дефіцит.

Шостою вимогою є прийнятність ризику. Структура залучення ресурсів не повинна створювати надмірного боргового, валютного, процентного чи контрактного навантаження. В умовах післявоєнного відновлення до цього додається необхідність врахування воєнних, політичних та інституційних ризиків.

Сьомою вимогою є диверсифікованість. Надмірна залежність від одного джерела або інструменту підвищує вразливість підприємства до зміни його доступності. Водночас максимальне збільшення кількості інструментів також не є раціональним, оскільки ускладнює управління і підвищує транзакційні

витрати. Тому йдеться не про максимальну, а про економічно доцільну диверсифікацію.

Восьмою вимогою є сумісність інструментів. За використання змішаного забезпечення умови окремих джерел повинні допускати їх одночасне застосування. Це стосується правил співфінансування, цільового використання, строків, гарантій, вимог щодо контролю та обмежень на залучення додаткових ресурсів.

Дев'ятою вимогою є гнучкість. Сформована структура повинна дозволяти коригувати частки окремих інструментів або замінювати їх за зміни умов. Для будівельного підприємства це особливо важливо через тривалий цикл реалізації проєктів і високу ймовірність зміни цін, строків, логістичних умов або параметрів зовнішньої підтримки.

Десятою вимогою є керованість. Навіть економічно привабліва конфігурація може бути неприйнятною, якщо підприємство не має достатньої управлінської спроможності для одночасної роботи з кількома кредиторами, грантовими програмами, інвесторами, страховими установами та публічними партнерами.

Одинадцятою вимогою є адаптивність до сценаріїв післявоєнного відновлення (табл. 1.11). Структура, сформована за умов значної міжнародної підтримки, може втратити доцільність за скорочення грантових або гарантійних механізмів. Аналогічно структура, орієнтована на дорогий комерційний ресурс, може бути переглянута за покращення доступу до пільгового кредитування або страхування воєнних ризиків.

Таблиця 1.11. Основні вимоги до інвестиційного забезпечення будівельного підприємства у процесі післявоєнного відновлення

Вимога	Зміст
Достатність	Покриття потреби у ресурсах з урахуванням можливих відхилень вартості та строків

Доступність	Реальна можливість використання інструменту конкретним підприємством
Проєктна відповідність	Узгодження структури ресурсів із характеристиками конкретного проєкту
Строкова узгодженість	Відповідність строку ресурсу життєвому циклу проєкту
Прийнятність вартості	Економічно обґрунтовані витрати на залучення та використання ресурсу
Прийнятність ризику	Допустиме боргове, валютне, процентне та інше навантаження
Диверсифікованість	Відсутність критичної залежності від одного джерела
Сумісність	Можливість одночасного використання кількох інструментів
Гнучкість	Можливість зміни структури за зміни умов
Керованість	Відповідність складності структури управлінським можливостям підприємства
Адаптивність	Здатність перебудовуватися відповідно до сценарію післявоєнного відновлення

Джерело: розроблено автором.

Наведені вимоги дозволяють уточнити економічний зміст результативного інвестиційного забезпечення. Воно не повинно оцінюватися лише через обсяг залучених ресурсів або мінімальну їх вартість. Більш адекватним є підхід, за якого результативність визначається відповідністю сформованої комбінації інструментів конкретним умовам реалізації проєкту.

Це положення має принципове значення. Воно означає, що один інвестиційний інструмент не може бути визначений як універсально кращий або гірший. Його доцільність завжди є відносною.

Наприклад, банківський кредит може бути прийнятним для підприємства зі стабільними грошовими потоками, але створювати надмірне навантаження для проєкту з довгим періодом окупності. Грантовий ресурс може мати мінімальну вартість, але бути доступним лише для проєктів певного типу. ППП може забезпечувати реалізацію масштабного інфраструктурного об'єкта, але мати надмірну організаційну складність для невеликого підприємства. Гарантійний інструмент сам по собі не формує необхідний ресурс, але може принципово змінити доступність кредиту.

Отже, доцільність інструменту визначається не його окремими характеристиками, а відповідністю певній комбінації умов.

Саме тому для будівельного підприємства інвестиційне забезпечення поступово перетворюється з задачі вибору окремого джерела на задачу формування конфігурації взаємопов'язаних інструментів.

Проведене дослідження дозволило встановити, що інвестиційне забезпечення будівельних підприємств має виражену галузеву специфіку. Вона формується високою капіталомісткістю, тривалістю будівельного циклу, нерівномірністю ресурсної потреби, контрактною залежністю, територіальною прив'язаністю об'єктів та значною кількістю учасників реалізації проєкту.

На відміну від багатьох інших видів економічної діяльності, для будівництва особливе значення має зв'язок між характеристиками підприємства та параметрами конкретного проєкту. Загальна ресурсна спроможність підприємства не визначає автоматично можливість реалізації конкретного будівельного об'єкта. Необхідно враховувати його вартість, тривалість, графік витрат, контрактні умови, очікувані надходження та ризики.

Воєнне та майбутнє післявоєнне середовище додатково ускладнює це завдання. З одного боку, масштаб відновлення формує значний потенційний попит на будівельні роботи. З іншого – підприємства працюють за високої невизначеності, обмеженого доступу до традиційного довгострокового ресурсу та підвищених безпекових ризиків. Одночасно відбувається

розширення переліку потенційних інструментів. До традиційних власних і кредитних ресурсів додаються пільгове кредитування, міжнародні програми, гарантії, гранти, страхування воєнних ризиків, приватний капітал, ППП та змішані механізми. Це створює парадоксальну ситуацію: збільшення кількості інвестиційних можливостей одночасно підвищує складність управлінського рішення. Тому центральною проблемою стає вже не наявність окремих інструментів, а їх відбір, оцінювання та поєднання.

Проведена систематизація дозволила виділити чотири групи факторів, які визначають таке рішення:

– підприємницькі – характеризують можливості самого підприємства;

– проєктні – визначають параметри конкретного об’єкта;

– інвестиційно-ресурсні – характеризують доступні інструменти та умови їх використання;

– інституційно-ризикові – відображають зовнішнє середовище та його обмеження.

Виділення саме цих груп є важливим для подальшої логіки дослідження. Воно показує, що раціональна структура інвестиційного забезпечення виникає не всередині одного з названих блоків, а на їх перетині.

1.3. Джерела, інструменти та моделі інвестиційного забезпечення будівельних підприємств.

Формування інвестиційного забезпечення починається з визначення ресурсів, які підприємство потенційно може використати для реалізації інвестиційних цілей. Для будівельного підприємства це питання має особливе значення через високу капіталомісткість проєктів, тривалі строки реалізації та нерівномірний характер потреби в ресурсах. Як було встановлено у попередньому параграфі, необхідний обсяг ресурсів залежить одночасно від можливостей підприємства та параметрів конкретного проєкту. Тому класифікація джерел повинна враховувати не лише їх походження, а й умови фактичного використання.

А. Величко, досліджуючи структуру інвестиційних ресурсів у будівництві України за 2020–2022 рр., встановив домінування власних ресурсів підприємств за одночасного скорочення ролі банківських, державних та іноземних джерел. До основних проблем залучення зовнішнього ресурсу автор відносить дефіцит довгострокового капіталу, високу вартість кредитування, регуляторні бар'єри та низьку інвестиційну активність. Водночас перспективи розвитку пов'язуються з диверсифікацією джерел та використанням альтернативних інструментів [105], що дозволяє зробити важливе уточнення. Висока частка власних ресурсів не обов'язково свідчить про оптимальність такої структури. Вона може бути наслідком обмеженої доступності зовнішніх джерел. Тому фактична структура інвестиційного забезпечення відображає не лише вибір підприємства, а й сукупність доступних йому альтернатив.

У межах цього дослідження доцільно розрізняти поняття джерела інвестиційних ресурсів, інвестиційного інструменту та моделі інвестиційного забезпечення.

Джерело інвестиційних ресурсів характеризує економічне походження ресурсу та суб'єкта, за рахунок якого він формується. До таких джерел належать власні кошти підприємства, позикові ресурси, капітал зовнішнього інвестора, державні та міжнародні ресурси.

Інвестиційний інструмент визначає конкретний спосіб отримання або використання ресурсу. Одне джерело може реалізовуватися через декілька інструментів. Наприклад, позиковий ресурс може бути залучений через банківський кредит, кредитну лінію або облігації. Міжнародний ресурс може надходити у формі гранту, пільгового кредиту, гарантії чи страхового механізму.

Модель інвестиційного забезпечення характеризує спосіб організації взаємодії декількох джерел та інструментів при реалізації конкретного проєкту. Вона може базуватися на самофінансуванні, кредитуванні, залученні інвестора, державно-приватному партнерстві, проєктне фінансування або їх поєднанні.

Таке розмежування є принциповим. Наприклад, гарантія не створює безпосередньо нового інвестиційного ресурсу, але може забезпечити доступ до кредиту. ППП не є окремим джерелом у вузькому розумінні, оскільки в межах одного партнерського проєкту можуть одночасно використовуватися приватний капітал, бюджетні ресурси, кредити й гарантії. Отже, ототожнення джерел, інструментів і моделей призводить до змішування різних рівнів інвестиційного забезпечення.

З урахуванням економічного походження ресурсів для будівельного підприємства доцільно виділити п’ять основних груп: власні, позикові, залучені приватні, державні та міжнародні, а також ресурси, які використовуються в межах змішаних і партнерських моделей. Таку класифікацію доцільно розглядати не як жорсткий поділ, а як основу для подальшого формування комбінацій. У сучасному будівельному проєкті різні групи ресурсів можуть використовуватися одночасно. Основною управлінською задачею стає не визначення одного джерела, а встановлення доцільного співвідношення між ними (рис.1.4).

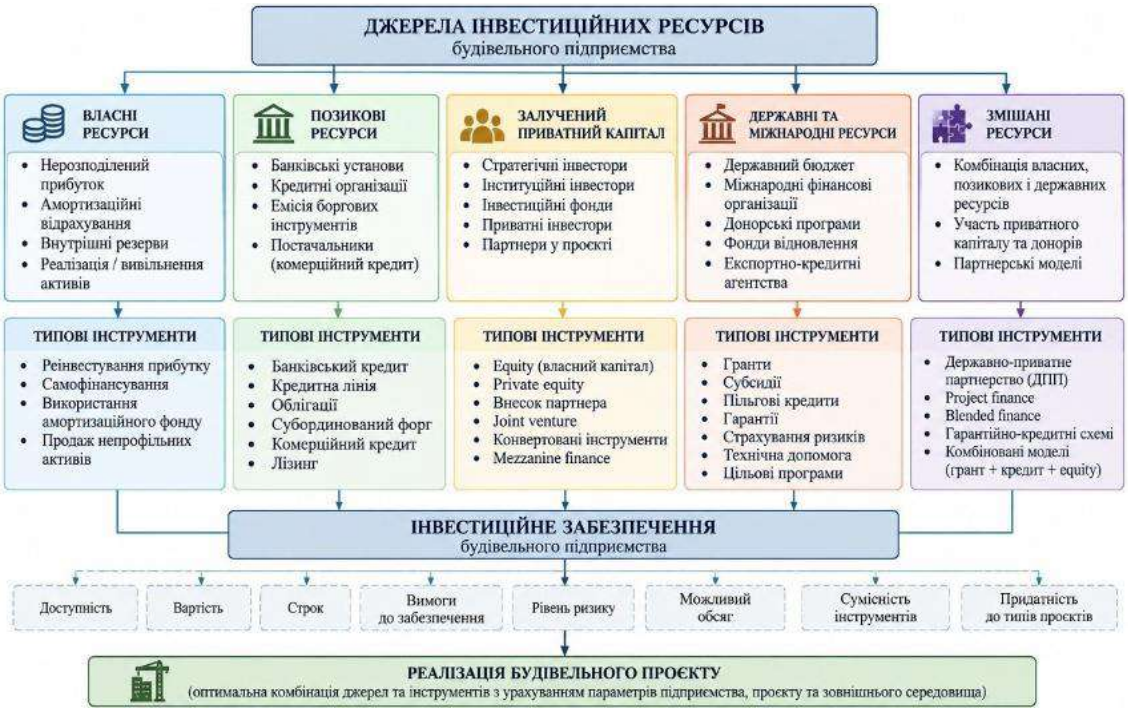

Рис. 1.4. Класифікація джерел та інструментів інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором.*

Власні ресурси є найбільш автономною складовою інвестиційного забезпечення підприємства [106, 107]. Їх використання не потребує погодження з кредитором або зовнішнім інвестором, не створює класичних зобов'язань щодо повернення та зберігає контроль над управлінням проєктом. Основними джерелами є нерозподілений прибуток, амортизаційні відрахування, накопичені резерви та кошти, отримані внаслідок вивільнення або реалізації активів.

С. Карабаник та Ю. Микитюк розглядають самофінансування будівельної організації як важливий елемент забезпечення її розвитку. Автори наголошують на необхідності узгодження обсягу сформованих інвестиційних ресурсів із фактичною потребою в інвестиціях та пов'язують самофінансування з розподілом обмеженого внутрішнього ресурсу між різними напрямами розвитку підприємства [108]. Перевагою власного ресурсу є його висока управлінська гнучкість. Підприємство самостійно визначає момент використання, напрям вкладення та обсяг ресурсів, не погоджуючи ці рішення із зовнішнім учасником. Крім того, власні ресурси можуть виконувати функцію базової частки інвестиційного забезпечення, необхідної для отримання інших інструментів, зокрема кредиту, гранту чи гарантії.

Водночас можливості самофінансування об'єктивно обмежені. Нерозподілений прибуток залежить від результатів поточної діяльності. Амортизаційні відрахування пов'язані з вартістю та структурою основних засобів. Використання значної частини ліквідних резервів для інвестування може погіршити здатність підприємства покривати поточні зобов'язання.

Порівняльний аналіз корпоративного сектору Польщі та Угорщини, проведений K. Żak, показує, що внутрішні та банківські ресурси виконують різні функції у забезпеченні інвестицій. Внутрішнє фінансування знижує залежність підприємства від зовнішнього кредитора, тоді як банківські ресурси дають змогу розширити масштаб інвестицій понад рівень, який може бути забезпечений поточними внутрішніми потоками [109]. Тому власні

джерела доцільно розглядати не як універсальну альтернативу зовнішнім ресурсам, а як базовий компонент інвестиційного забезпечення. У великих будівельних проєктах вони можуть виконувати декілька функцій: забезпечувати початкові витрати, формувати обов'язкову частку співфінансування, створювати резерв на випадок відхилень бюджету та підвищувати довіру зовнішніх учасників.

Для будівельного підприємства особливе значення має співвідношення між використанням власного ресурсу для інвестицій та необхідністю підтримувати оборотну ліквідність. Надмірне спрямування внутрішніх коштів у довгостроковий проєкт може створити дефіцит ресурсів для поточної діяльності. Тому максимізація частки власного ресурсу сама по собі не може бути критерієм раціональної структури.

Позикові ресурси дають можливість реалізовувати проєкти, масштаб яких перевищує поточні внутрішні можливості підприємства. Найпоширенішими інструментами є банківські кредити, кредитні лінії, облігаційні позики та інші форми боргового залучення.

Особливість будівництва полягає у тому, що підприємства можуть використовувати не лише класичне довгострокове кредитування. I. Honková, досліджуючи використання зовнішніх джерел у будівельній галузі, встановила значну роль короткострокових форм – відстрочених платежів постачальникам та авансів замовників. Банківські кредити у досліджуваній вибірці посідали лише третє місце. Авторка звертає увагу на ризик використання короткострокових ресурсів для покриття довгострокових потреб, оскільки це здатне створювати проблеми платоспроможності [110]. Цей результат є важливим для розмежування доступності ресурсу та його строкової придатності. Короткострокове джерело може бути легше доступним, однак не відповідати тривалості будівельного циклу. Тому оцінювання боргового інструменту повинно враховувати не лише процентну ставку, а й строк погашення, графік платежів, вимоги до забезпечення та співвідношення між моментом повернення ресурсу і моментом отримання доходу від проєкту.

M. Mądra-Sawicka та A. Kalisiak при дослідженні будівельних підприємств, що котирувалися на Варшавській фондовій біржі, показали, що структура капіталу залежить від характеристик самого підприємства. Зокрема, автори аналізували зв'язок боргового навантаження з можливостями зростання, структурою активів, розміром і прибутковістю будівельних компаній [111]. Аналогічні висновки отримані для підприємств інших ринків. J.-K. Choi, та ін. на вибірці будівельних компаній Південної Кореї встановили, що взаємозв'язок між борговим навантаженням і характеристиками підприємства змінюється залежно від рівня впливу. Прибутковість, можливості зростання, ліквідність та матеріальність активів по-різному впливали на структуру капіталу окремих груп компаній [112]. Використання позикового ресурсу не може оцінюватися лише на рівні інструменту. Однакова кредитна пропозиція може бути прийнятною для одного підприємства і надмірно ризиковою для іншого. Важливими стають структура активів, стабільність доходу, можливість забезпечення, існуючий рівень боргу та здатність обслуговувати його протягом реалізації проєкту.

Дослідження C. Setiawan та Q. Yumeng будівельних компаній Китаю також підтверджує залежність структури капіталу від прибутковості, матеріальності активів, масштабу підприємства, можливостей зростання, процентних ставок та інфляції. При цьому досліджувані будівельні компанії характеризувалися значним рівнем боргового фінансування, що робило вибір структури капіталу особливо чутливим до зовнішніх і внутрішніх факторів [113], що має пряме значення для формування інвестиційного забезпечення. Висока частка боргу дозволяє зменшити потребу у власному капіталі, але одночасно підвищує чутливість підприємства до процентних ставок, затримок проєкту та скорочення грошових надходжень. Тому боргове забезпечення доцільно розглядати в межах допустимого навантаження, а не як спосіб максимального заміщення власних ресурсів.

Для українських будівельних підприємств проблема посилюється нестабільністю вартості зовнішнього ресурсу. І. Івахненко, аналізуючи сучасні

механізми забезпечення будівництва, звертає увагу на необхідність розширення набору інструментів і зменшення залежності від традиційного банківського кредитування. У дослідженні розглядаються інвестиційні фонди, механізми залучення коштів інвесторів та інші форми забезпечення будівельних проєктів [114].

Борговий інструмент доцільно оцінювати щонайменше за такими параметрами: вартість, строк, максимальний обсяг, графік повернення, вимоги до забезпечення, валютна структура, гнучкість умов та вплив на загальне боргове навантаження підприємства (табл. 1.2).

Таблиця 1.12. Порівняльна характеристика власних та позикових джерел інвестиційного забезпечення

Критерій	Власні ресурси	Позикові ресурси
Необхідність повернення	Відсутня	Обов’язкова
Вартість використання	Немає прямої процентної плати, але існує альтернативна вартість	Процентна ставка та супутні витрати
Збереження контролю	Повне	Переважно зберігається
Обсяг	Обмежений внутрішніми можливостями	Може суттєво перевищувати власні ресурси
Вимоги до забезпечення	Відсутні	Часто необхідні
Вплив на ліквідність	Може скорочувати внутрішній резерв	Створює майбутні платежі
Вплив на боргове навантаження	Не збільшує	Збільшує

Гнучкість використання	Переважно висока	Залежить від кредитних умов
Строкова придатність	Визначається можливостями підприємства	Залежить від строку конкретного інструменту
Основне обмеження	Недостатність обсягу	Вартість, повернення та кредитний ризик

Джерело: розроблено автором

Порівняння показує, що власні та позикові ресурси виконують взаємодоповнювальні функції. Власні ресурси підвищують автономність і знижують борговий ризик, але обмежують масштаб інвестування. Позикові ресурси дозволяють розширити ресурсну базу, однак створюють фіксовані зобов'язання та підвищують чутливість підприємства до зміни зовнішніх умов [115, 116].

Тому вже на рівні двох базових груп джерел виникає компромісне управлінське завдання. Воно полягає не в тому, щоб максимізувати власну або позикову частку, а в тому, щоб визначити таке співвідношення, яке відповідає можливостям підприємства і параметрам конкретного будівельного проєкту.

Дана логіка буде розширюватися при включенні до аналізу приватного капіталу, державних і міжнародних ресурсів, гарантій та змішаних моделей. Залучення приватного капіталу є альтернативою збільшенню боргового навантаження підприємства. На відміну від кредиту, такий ресурс зазвичай не передбачає фіксованого графіка повернення основної суми та сплати процентів. Водночас інвестор отримує економічну участь у проєкті або підприємстві, право на частину майбутнього результату, а в окремих випадках – можливість впливати на управлінські рішення.

Для будівельного підприємства приватний капітал може надходити через стратегічного інвестора, внесок нового учасника, приватний пайовий капітал, спеціалізований інвестиційний фонд, спільне підприємство або безпосередню

участь партнера в конкретному будівельному проєкті. Тому його економічна природа суттєво відрізняється від позикового ресурсу: підприємство фактично обмінює частину майбутнього економічного результату та, потенційно, частину контролю на можливість отримати ресурс без формування класичних боргових зобов'язань.

J. Gemson та A. Thillai Rajan розглядають приватний пайовий капітал як важливе джерело капіталу для інфраструктури та нерухомості. Автори показують, що участь приватного інвестора може забезпечувати не лише безпосередній ресурс, але й додаткову управлінську компетентність, структуризацію проєкту, контроль ризиків та можливість подальшого залучення інших учасників [117]. Ця особливість є важливою для великих будівельних проєктів. Участь стратегічного або інституційного інвестора може підвищувати не тільки загальний обсяг доступного капіталу, а й інвестиційну спроможність самого проєкту. Інвестор може брати участь у підготовці проєктної структури, контролі витрат, формуванні корпоративного управління та переговорах із кредиторами.

При цьому слід розрізняти капітал, залучений на рівні підприємства, і капітал, залучений для конкретного проєкту. У першому випадку зовнішній інвестор отримує частку у підприємстві та фактично бере участь у результатах усієї його діяльності. У другому інвестування може бути обмежене певним проєктом або спеціально створеною проєктною структурою [118]. Для будівельного підприємства другий варіант може бути доцільним, якщо необхідно відокремити ризики великого проєкту від основної операційної діяльності [119].

Окремим джерелом довгострокового приватного капіталу можуть виступати інституційні інвестори. A. Carlo, та ін. показали поступове зростання ролі пенсійних фондів у фінансуванні інфраструктури. Автори виділяють декілька способів участі таких інвесторів: пряме інвестування, спільне інвестування, відкриті фонди, командитні товариства та фонди. Вибір конкретного способу суттєво впливає на витрати та рівень участі інвестора в

управлінні активом [120]. Для процесу відновлення це відкриває потенційну можливість залучення не лише традиційних корпоративних інвесторів, а й фондів, орієнтованих на інфраструктурні, енергетичні, житлові та інші довгострокові активи. Однак такі інвестори зазвичай висувають підвищені вимоги до масштабу проєкту, прогнозованості грошових потоків, якості корпоративного управління, прозорості та можливості виходу з інвестиції.

Важливість пайовий капітал-компонента збільшується в умовах обмеженого доступу до боргу. Q. Lu та C. Wilson на даних інфраструктурних проєктів 33 африканських країн показали, що в середовищах із менш розвиненим кредитним забезпеченням власний і залучений капітал відіграє особливо значну роль. У більш розвинених умовах, навпаки, частка довгострокового та комерційного боргу зростає [121]. Результат не слід механічно переносити на Україну, однак він демонструє важливу закономірність: структура інвестиційного забезпечення залежить від стану самого ринку капіталу. Якщо довгострокове кредитування є дорогим або обмеженим, зростає значення пайовий капітал та механізмів розподілу ризику. За покращення умов кредитування структура може зміщуватися у бік боргового ресурсу.

Водночас залучення приватного капіталу не можна розглядати як безкоштовну альтернативу кредиту. Приватний інвестор очікує відповідної дохідності на вкладений капітал, причому за високого ризику очікувана дохідність зростає. Крім того, виникають питання розподілу прибутку, прав контролю, прийняття стратегічних рішень та умов виходу інвестора.

Тому економічна оцінка приватного пайового капіталу повинна включати не лише номінальну вартість залученого ресурсу. Необхідно враховувати частку власності, яку отримує інвестор, його вимоги до прибутковості, строк участі, права контролю, умови виходу та можливий вплив на подальше залучення інших ресурсів (табл. 1.13).

Таблиця 1.13. Основні форми залучення приватного капіталу для реалізації будівельних проєктів

Форма	Характер участі	Основна перевага	Основне обмеження
Стратегічний інвестор	Довгострокова участь у підприємстві або проєкті	Капітал, досвід, технології, доступ до ринків	Передача частини контролю
Приватний пайовий капітал	Тимчасове входження в капітал із подальшим виходом	Значний обсяг ресурсу та професійне управління	Високі вимоги до дохідності
Інституційний інвестор	Довгострокове інвестування безпосередньо або через фонд	Значний потенційний обсяг довгострокового капіталу	Високі вимоги до масштабу, прозорості та ризику
Спільне підприємство	Спільна участь декількох партнерів	Розподіл витрат, компетенцій і ризику	Необхідність узгодження управлінських рішень
Спільне інвестування	Спільне вкладення декількох інвесторів у конкретний проєкт	Розподіл ризику та можливість реалізації більших проєктів	Складніша координація учасників
Проєктна участь інвестора	Капітал спрямовується на конкретний об’єкт	Відокремлення проєктного ризику від іншої діяльності	Залежність від результатів одного проєкту

Джерело: розроблено автором

Приватний капітал збільшує можливий масштаб інвестиційного забезпечення та знижує залежність від боргових ресурсів, але формує інший вид економічного навантаження. Для кредиту таким навантаженням є обов’язкові платежі та проценти. Для пайовий капітал – частина майбутнього економічного результату та, в окремих моделях, частина управлінського контролю [122].

Особливістю сучасного середовища відновлення України є значне розширення ролі державних та міжнародних інституцій. Їх участь не обмежується прямим наданням ресурсів. Вона може мати форму кредитування, грантів, гарантій, страхування, компенсації частини витрат, технічної допомоги, участі в капіталі або механізмів зниження ризику. Тому державні та міжнародні інструменти доцільно поділяти за функцією, яку вони виконують у структурі інвестиційного забезпечення.

Частина інструментів безпосередньо збільшує обсяг доступного ресурсу. До них належать гранти, кредити, субсидії та внески до капіталу. Інша частина переважно змінює умови залучення ресурсу. До неї належать гарантії, страхування, компенсація процентних ставок та інші механізми розподілу ризику.

Третя група не формує капітал безпосередньо, але підвищує готовність проєкту до його залучення. Прикладом є технічна допомога, підтримка підготовки проєктної документації, техніко-економічні обґрунтування, консультаційна підтримка та інституційне супроводження. Цей поділ є суттєвим для формування майбутньої архітектури. Грант і гарантія можуть мати однаково важливе значення для реалізації проєкту, але їх економічні функції є принципово різними.

Дослідження L. Avellán більш ніж 6500 інфраструктурних транзакцій показало, що участь багатосторонніх банків розвитку може мобілізувати додаткові ресурси інших учасників. Ефект формується через зниження вартості та ризику участі й охоплює як приватні, так і інші офіційні джерела капіталу [123]. Отже, міжнародний ресурс може виконувати мультиплікативну функцію. Його економічне значення визначається не тільки сумою безпосередньо наданого фінансування, а й обсягом інших ресурсів, залучення яких він робить можливим.

Особливо виразно ця функція проявляється у гарантійних механізмах. MIGA використовує в Україні гарантії політичного та воєнного ризику для підтримки банків, торгівлі та інвестицій приватного сектору. Станом на

червень 2026 р. агентство повідомляло про 573 млн дол. США нових гарантій, виданих після початку повномасштабного вторгнення; з урахуванням продовження строків гарантій обсяг нового бізнесу становив близько 920 млн дол. США [124]. З позиції будівельного підприємства такий інструмент важливий тим, що гарантія не замінює кредит або пайовий капітал, а змінює їх доступність. Якщо частина політичного чи воєнного ризику передається спеціалізованій установі, кредитор або інвестор може погодитися на участь у проєкті, який без такого захисту був би неприйнятним.

У червні 2026 р. DFC та MIGA уклали угоду щодо створення механізму страхування політичних ризиків для інвестицій, пов'язаних із U.S.– Ukraine Reconstruction Investment Fund. Метою механізму визначено мобілізацію додаткового приватного капіталу та створення можливостей співінвестування поряд із ресурсами фонду [125]. Отже, страхування ризику необхідно розглядати як інструмент активації іншого інвестиційного ресурсу. Воно не обов'язково збільшує грошовий потік підприємства безпосередньо, але може переводити потенційний приватний чи кредитний ресурс із категорії «недоступний» у категорію «доступний».

Аналогічний принцип реалізується через гарантії банківського кредитування. Вони дозволяють частково перенести кредитний ризик із банку на державну або міжнародну установу. У результаті можуть знижуватися вимоги до забезпечення, збільшуватися можливий обсяг кредиту або розширюватися коло підприємств, які відповідають критеріям кредитування.

Сучасні програми відновлення дедалі частіше поєднують декілька таких інструментів. У червні 2026 р. ЄІБ оголосив пакет підтримки України обсягом понад 470 млн євро, який одночасно містив кредити, гранти, гарантії та інвестиційні механізми. Зокрема, передбачалося 80 млн євро участі у European Flagship Fund for the Reconstruction of Ukraine, кредит у 100 млн євро для розширення фінансування підприємств, гарантійні механізми, а для соціального житла – поєднання 50 млн євро кредиту та 50 млн євро гранту [126]. Цей приклад особливо важливий для теоретичної логіки дослідження.

Він демонструє, що в межах одного середовища відновлення використовуються різні за економічною функцією інструменти: кредит створює ресурс; грант зменшує частину витрат, що потребує повернення; гарантія знижує ризик кредитора; пайовий капітал-фонд забезпечує можливість залучення приватного капіталу. Тобто поняття міжнародної підтримки не можна зводити до одного типу ресурсу.

Окреме місце займає грантове забезпечення. Грант має важливу перевагу – відсутність стандартного зобов'язання щодо повернення коштів. Однак він зазвичай має чітке цільове призначення, критерії допуску, обмежений максимальний обсяг та значні вимоги до контролю використання.

У 2025 р. урядом України було анонсовано програму «Грант на відновлення» для підприємств, активи яких були пошкоджені внаслідок бойових дій. Максимальний заявлений обсяг підтримки становив до 16 млн грн, але не більше розміру фактичних збитків [127]. Для будівельного підприємства грант доцільно розглядати не як ресурс, який повністю замінює інші компоненти забезпечення, а як інструмент, здатний зменшити обсяг власного або боргового ресурсу. Особливо це стосується проєктів із суспільною значущістю, енергоефективністю, інноваційною або екологічною складовою. При цьому грантова частка може змінювати економічні характеристики всієї структури. Наприклад, при вартості проєкту 100 млн грн грант у розмірі 20 млн грн скорочує ту частину потреби, яку підприємство повинно забезпечити власним або поворотним ресурсом. У результаті знижується необхідний обсяг боргу, процентні витрати та ризик дефіциту ліквідності.

Пільгове кредитування виконує іншу функцію. Воно не скорочує обсяг інвестиційної потреби, але може зменшувати витрати на її покриття через нижчу процентну ставку, довший строк, пільговий період або спеціальні умови забезпечення. Гарантія знову має іншу економічну дію: вона переважно змінює розподіл ризику між учасниками. Страхування зменшує наслідки реалізації певного ризику. Технічна допомога покращує готовність проєкту.

Нормативна конструкція Ukraine Facility також відображає широкий підхід до таких інструментів. Регламент ЄС передбачає використання Ukraine Guarantee для покриття ризиків за кредитами, гарантіями, контргарантіями, інструментами ринку капіталу, страхуванням, пайовий капітал та квазіпайовий капітал [128].

Отже, сучасна підтримка відновлення поступово переходить від логіки «надати кошти» до логіки «створити умови, за яких можуть бути залучені додаткові кошти» (рис.1.5).

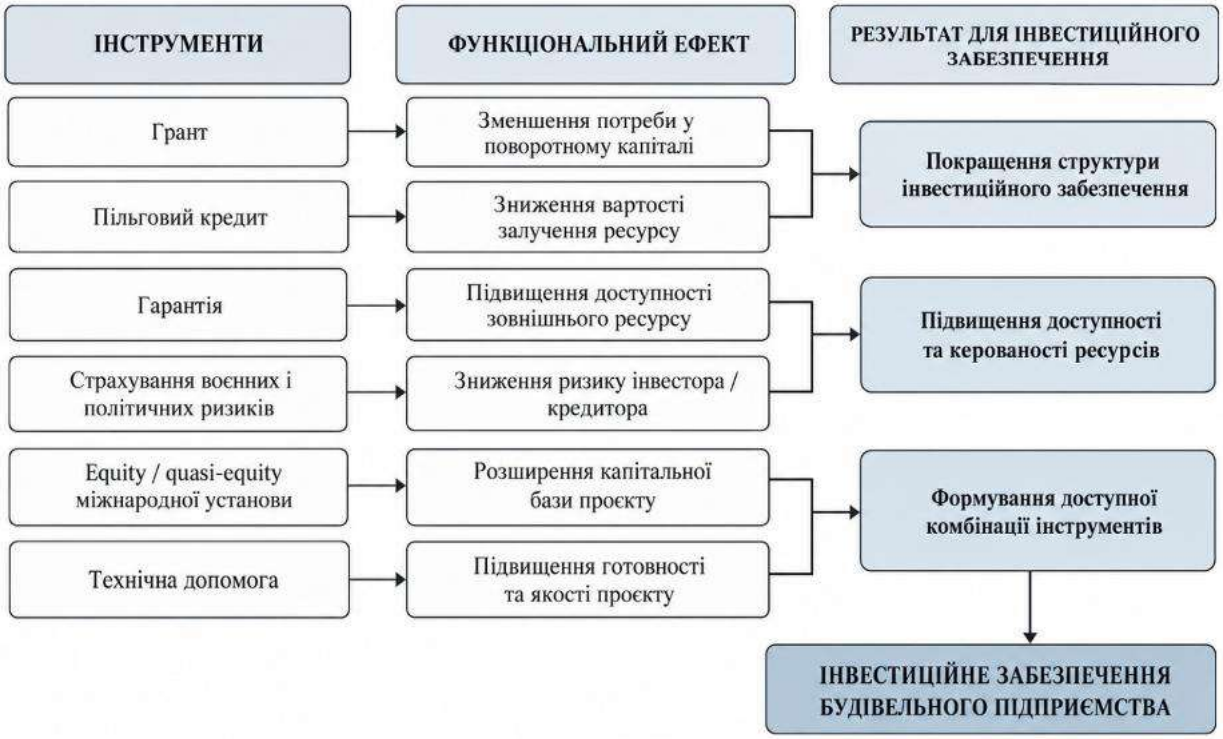

Рис. 1.5. Функціональна роль державних та міжнародних інструментів у формуванні інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором.*

Розвиток публічно-приватного партнерства, проєктного фінансування, гарантійних та грантових механізмів поступово змінює підхід до формування інвестиційного забезпечення великих будівельних проєктів. Якщо традиційна модель передбачає вибір між власними, позиковими та залученими ресурсами, то сучасний підхід дедалі частіше ґрунтується на їх одночасному використанні з різним функціональним призначенням.

Однією з найбільш характерних форм такого поєднання є змішане фінансування. Його сутність полягає у цілеспрямованому використанні державних, міжнародних або інших ресурсів розвитку для створення умов, за яких до реалізації проєкту може бути залучений додатковий приватний капітал.

Важливо розмежовувати змішане фінансування та звичайне співфінансування. Факт використання двох або більше джерел ще не означає формування змішаної моделі. Наприклад, поєднання 30 % власних ресурсів підприємства і 70 % банківського кредиту є багатокомпонентною структурою, але не обов'язково змішаним фінансуванням у його сучасному міжнародному розумінні. Принципова ознака змішаного фінансування полягає в тому, що одна частина ресурсів спеціально використовується для зміни умов залучення іншої частини.

OECD визначає змішане фінансування як підхід, у межах якого ресурси розвитку використовуються для мобілізації додаткового комерційного капіталу. При цьому його застосування повинно ґрунтуватися на принципах додатковості, прозорості, відповідності місцевим умовам, ефективного партнерства та вимірюваності результатів [129]. OECD також наголошує, що такі механізми не повинні витісняти приватний капітал там, де проєкт і без підтримки може реалізовуватися на комерційних умовах.

Мета змішаного фінансування полягає не у максимальному використанні пільгового або публічного ресурсу. Навпаки, його завданням є використання такого обсягу підтримки, який є достатнім для залучення додаткового приватного капіталу. Це положення суттєво змінює традиційне трактування інвестиційного забезпечення.

Якщо підприємство може реалізувати проєкт на ринкових умовах, додаткова державна чи міжнародна підтримка може бути економічно необґрунтованою. Якщо ж через високий ризик, недостатню дохідність або значний початковий обсяг витрат приватний інвестор відмовляється від участі, певна частка пільгового ресурсу, гарантії або страхового покриття може зробити проєкт прийнятним.

Змішана модель функціонує через коригування співвідношення «ризик – дохідність» для приватного учасника.

C. Flammer, T. Giroux та G. Heal на основі даних 173 операцій міжнародної фінансової установи за 2018–2023 рр. показали, що структура змішаного фінансування залежить від характеристик самого проєкту. Проєкти з вищим очікуваним суспільним ефектом отримували більшу пільгову складову, а для проєктів у країнах із вищим політичним ризиком частіше застосовувалися додаткові механізми управління ризиком. Автори також показують можливість одночасного використання пільгового боргу, субординованого капіталу та інструментів розподілу ризику [130]. Цей результат має безпосереднє значення для формування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. Оптимальна структура не повинна визначатися за принципом фіксованих часток. Потреба у гранті, гарантії, пільговому кредиті або іншій формі підтримки залежить від характеристик конкретного підприємства, проєкту та зовнішнього середовища.

Дані Global Infrastructure Hub та Convergence підтверджують значне поширення таких конструкцій в інфраструктурі. У дослідженні 162 угод у країнах із ринками, що формуються, за 2013–2022 рр. загальною вартістю близько 34 млрд дол. США найбільш поширеною організаційною основою було проєктне фінансування. У середньому на один долар змішаних ресурсів припадало близько 0,4 дол. залученого приватного капіталу, хоча співвідношення суттєво відрізнялося залежно від сектору та конструкції угоди [131]. Зазначені результати свідчать, що змішана модель не має єдиного стандартного коефіцієнта залучення приватного капіталу. Результативність залежить від того, який саме інструмент використано для зниження обмеження, що стримує приватного учасника.

Серед інструментів змішаного фінансування особливе місце займають гарантії. На відміну від гранту, гарантія не обов’язково передбачає фактичне перерахування коштів підприємству. Її функція полягає у перерозподілі ризику між учасниками.

W. Garbacz, D. Vilalta та L. Moller показують, що гарантійні механізми можуть бути ефективним засобом мобілізації приватного капіталу у середовищах, де інвестори або кредитори не готові самостійно приймати весь обсяг ризику. Гарантія може застосовуватися до окремого проєкту, кредитного портфеля або певного виду ризику [132].

За даними Світового банку, станом на квітень 2026 р. IFC у межах підтримки України забезпечила близько 3,1 млрд дол. США фінансування, з яких близько 1,84 млрд дол. припадало на власні ресурси установи, а близько 1,19 млрд дол. було мобілізовано додатково. Важливу роль у цьому відіграли близько 970 млн дол. внесків партнерів саме для механізмів змішаного фінансування, що дало можливість IFC брати на себе більший ризик і залучати додатковий приватний капітал [133]. Для будівельного підприємства це створює принципово іншу систему можливостей. Міжнародний ресурс може надходити не безпосередньо від міжнародної установи до підприємства, а через комерційний банк, фонд, гарантійну програму або спеціальну проєктну структуру. Тому підприємство фактично взаємодіє не з одним джерелом, а з ланцюгом інституцій, кожна з яких виконує власну функцію. Кінцевим результатом стає не набір незалежних ресурсів, а взаємопов’язана структура, в якій доступність одного елемента залежить від наявності іншого.

Важливе теоретичне пояснення ролі змішаного фінансування запропоновано C. Chen, C. Gardes-Landolfini, A. Mitra та H. J. Reinders. Автори розглядають інвестиційні проєкти вздовж умовного спектра залежно від їхньої дохідності та ризику. Частина проєктів має характеристики, достатні для повністю приватного фінансування. Інша частина є близькою до комерційної привабливості, але потребує певного зниження ризику або вартості капіталу. Для цієї групи особливо придатні механізми змішаного фінансування. Проєкти з дуже низькою комерційною віддачею можуть потребувати переважно публічного забезпечення [134]. Для нашого дослідження ця логіка є надзвичайно важливою. Вона показує, що інструмент має обиратися не лише

за критерієм його доступності, а відповідно до характеру ресурсного розриву конкретного проєкту.

A. Hasebe у дослідженні країн із ринками, що формуються, показує, що результативність змішаного фінансування залежить від зрілості ринку та конкретної стадії його розвитку. Автор розглядає таку модель скоріше як перехідний механізм, що допомагає мобілізувати приватний ресурс у середовищах, де ринкові умови ще недостатні для його автономного залучення, а не як однаково ефективне рішення для всіх ситуацій [135]. Отже, використання змішаного фінансування має бути ситуаційним, а його структура – адаптованою до конкретного підприємства, проєкту та середовища.

Таблиця 1.14. Відмінності традиційного співфінансування та змішаного фінансування

Ознака	Традиційне співфінансування	Змішане фінансування
Основний принцип	Одночасне використання декількох джерел	Цілеспрямоване поєднання ресурсів різної природи для мобілізації додаткового капіталу
Взаємозалежність інструментів	Може бути відсутньою	Є принциповою характеристикою
Роль публічного ресурсу	Покриття частини потреби	Покриття потреби та/або зміна умов залучення приватного ресурсу
Основна мета гарантії	Допоміжний захист	Підвищення доступності приватного чи кредитного капіталу
Роль гранту	Покриття частини витрат	Покриття частини витрат і покращення загальної

		економічної життєздатності
Роль пільгового кредиту	Дешевше джерело ресурсу	Зниження загальної вартості структури та мобілізація комерційного капіталу
Розподіл ризиків	Не обов’язково змінюється	Цілеспрямовано перерозподіляється
Кількість учасників	Переважно обмежена	Часто значна
Складність структури	Відносно невисока	Підвищена
Ключовий результат	Покриття інвестиційної потреби	Формування життєздатної та прийнятної для різних учасників інвестиційної конструкції

Джерело: розроблено автором

З економічної точки зору змішане фінансування створює ще одну важливу проблему – визначення раціональних часток окремих компонентів.

Надто мала частка підтримки може не забезпечити залучення приватного інвестора. Надто велика – означатиме нераціональне використання обмежених грантових, гарантійних або пільгових ресурсів. Висока частка кредиту збільшує боргове навантаження. Надмірна частка власного капіталу знижує ліквідність підприємства. Велика частка зовнішнього інвестора може зменшувати контроль підприємства над проєктом. Тому формування змішаної структури за своєю природою є багатокритеріальним завданням. Необхідно одночасно враховувати достатність ресурсу, його вартість, ризик, строк, доступність, гнучкість, вимоги до власної участі, сумісність інструментів та управлінську складність, що принципово важливий результат для нашого дослідження. На попередніх етапах було встановлено, що окремий інструмент може бути більш або менш придатним для конкретного підприємства та проєкту. Аналіз змішаного фінансування дозволяє зробити наступний крок:

навіть набір придатних інструментів ще не визначає раціональне інвестиційне забезпечення; необхідно встановити їх доцільну комбінацію та частки.

Розглянуті джерела, інструменти та моделі інвестиційного забезпечення суттєво відрізняються за економічною природою. Власні ресурси забезпечують високу автономність, але мають обмежений обсяг. Кредит дозволяє збільшити масштаб інвестування, однак формує обов'язкові платежі. Залучення приватного капіталу зменшує потребу у боргу, проте може змінювати розподіл контролю. Грант скорочує обсяг поворотного ресурсу. Гарантія підвищує доступність кредиту. Страхування знижує наслідки окремих ризиків. Публічно-приватне партнерство, проєктне та змішане фінансування дозволяють об'єднувати декілька таких елементів в одній конструкції.

Пряме порівняння інструментів лише за одним показником є методично недостатнім. Для управлінського рішення необхідна система критеріїв, яка відображає не тільки вартість ресурсу, а й можливість його отримання, строк використання, ризик, вимоги до підприємства та відповідність конкретному будівельному проєкту.

І. Каліна та А. Величко, аналізуючи інструменти інвестування у будівництві, пропонують оцінювати їх з урахуванням ризику, дохідності, доступності капіталу, впливу на управлінський контроль, гнучкості та здатності адаптуватися до зміни ринкового середовища. Автори підкреслюють необхідність не ізольованого використання окремого інструменту, а вибору та поєднання тих із них, які відповідають умовам конкретної девелоперської діяльності [136]. Такий підхід особливо важливий для будівельних підприємств. Висока капіталомісткість, тривалий виробничий цикл і значний вплив зовнішніх факторів означають, що інструмент із найменшою номінальною вартістю не обов'язково забезпечує найкращий економічний результат.

А. Максюта, досліджуючи сучасні інвестиційні інструменти для будівельної галузі, також наголошує на необхідності їх диверсифікації та

врахування особливостей післявоєнного відновлення. Серед значущих напрямів автор виділяє банківські ресурси, міжнародне інвестування, партнерські механізми та страхування воєнних ризиків [137]. Отже, поняття придатності інвестиційного інструменту доцільно трактувати ширше, ніж його формальну доступність.

Дослідження E. E. Thein, A. Niigata та K. Inaba на вибірці понад 25 тис. підприємств із 19 країн показало, що забезпечення залишається одним із суттєвих бар'єрів доступу малих і середніх підприємств до банківського кредитування. Автори також встановили залежність вимог кредитора від характеристик самого підприємства, зокрема його розміру, віку, темпів продажів і правового статусу [138]. Це означає, що доступність не є постійною властивістю кредиту або іншого інструменту. Вона є відношенням між умовами інструменту та характеристиками конкретного підприємства.

Другим критерієм є вартість. Вона повинна включати не лише процентну ставку. Для кредиту необхідно враховувати проценти, комісії, страхування, витрати на забезпечення та обслуговування. Для залученого пайового капіталу – очікувану дохідність інвестора та частину майбутнього економічного результату, якою підприємство фактично поступається. Для гранту прямі витрати можуть бути мінімальними, але виникають адміністративні витрати на підготовку заявки, звітність, аудит і виконання спеціальних умов. Для складних партнерських моделей значення можуть мати також юридичні та транзакційні витрати.

Третім критерієм є строкова відповідність. Для будівництва вона має особливе значення, оскільки між початком використання ресурсу та формуванням доходу може проходити значний проміжок часу. Якщо строк ресурсу коротший за цикл реалізації проєкту, підприємство змушене здійснювати рефінансування або використовувати інший ресурс для погашення попереднього. H. Yan та Y. Ling встановили, що невідповідність строків інвестування і залучення капіталу підвищує фінансовий ризик підприємства, зокрема через зниження його фінансової гнучкості [139]. Тому

навіть дешевий короткостроковий ресурс може бути менш придатним для довготривалого будівельного проєкту, ніж дещо дорожчий ресурс із відповідним строком.

Четвертим критерієм є рівень ризику, який створює або переносить на підприємство використання певного інструменту. Для боргового ресурсу це насамперед ризик невиконання зобов'язань, зміни процентної ставки, валютного курсу та рефінансування. Для пайового капіталу відсутній ризик обов'язкового погашення боргу, але виникають ризики конфлікту інтересів та зміни структури управління. Для грантового ресурсу можливий ризик припинення фінансування при невиконанні встановлених умов. Для партнерської моделі важливими є контрактні, політичні та операційні ризики.

D. D. Kurniawati, T. Ratnawati та U. Pristiana на даних підприємств будівництва й нерухомості показали статистично значущий зв'язок структури капіталу з фінансовими труднощами підприємств. Це підтверджує необхідність розглядати боргове навантаження не лише як джерело додаткового капіталу, а й як окремий фактор стійкості [140]. Таким чином, збільшення доступного обсягу боргу не означає, що підприємство повинно використати його повністю.

П'ятим критерієм є вплив інструменту на контроль та управлінську автономність підприємства. Цей критерій майже не виникає при використанні власного ресурсу. Для банківського кредиту контроль за підприємством формально також не передається, хоча кредитні договори можуть містити обмежувальні умови. При залученні нового інвестора ситуація змінюється. Інвестор може отримувати частку власності, право участі в ключових рішеннях, представництво в органах управління або право блокувати окремі рішення. I. F. Brandão та V. L. Crisóstomo на вибірці 168 нефінансових компаній показують, що структура акціонерного контролю пов'язана з рішеннями щодо залучення пайового капіталу. Це підтверджує, що корпоративний контроль виступає самостійним фактором вибору способу залучення ресурсів [141]. Для будівельного підприємства цей критерій може бути особливо важливим у

випадках, коли інвестор залучається не до одного проєкту, а безпосередньо до капіталу підприємства.

Шостим критерієм є можливий обсяг залучення. Власні ресурси мають високу автономність, але їхній обсяг обмежується внутрішньою спроможністю підприємства. Кредитний ресурс потенційно дозволяє суттєво збільшити масштаб інвестування, але його максимальна величина залежить від кредитоспроможності та забезпечення. Гранти, як правило, мають встановлені граничні обсяги. Приватний або інституційний івестор може забезпечувати значно більші ресурси, але вимагати відповідного масштабу самого проєкту. Тому критерій обсягу доцільно оцінювати не як «чим більше – тим краще», а як ступінь відповідності максимально доступного ресурсу фактичній інвестиційній потребі.

Сьомим критерієм є вимоги до підприємства щодо власної участі, забезпечення або співфінансування. Цей параметр безпосередньо визначає можливість практичного використання інструменту. Наприклад, підприємству може бути схвалений пільговий кредит, але його використання вимагатиме значного власного внеску. Грант може покривати лише частину проєкту. Банк може вимагати активи, достатні для забезпечення кредиту. Отже, інструмент може виглядати привабливим за вартістю та строком, але бути непридатним через вимоги, які перевищують поточні можливості підприємства.

Восьмим критерієм є гнучкість. Вона характеризує можливість адаптувати інструмент до зміни умов проєкту. Для кредиту це може бути можливість зміни графіка погашення, дострокового повернення або використання кредитної лінії. Для власних ресурсів гнучкість переважно висока. Для грантових програм вона, навпаки, часто обмежена через цільове використання ресурсів. Для партнерських моделей можливість внесення змін залежить від умов довгострокового договору. У середовищі післявоєнного відновлення цей критерій набуває особливої ваги. Зміна строків, вартості матеріалів, логістики або доступності зовнішньої підтримки може вимагати перегляду початкової структури.

Дев’ятим критерієм є сумісність. Його значення суттєво зростає при формуванні багатокомпонентних структур. Окремий інструмент може мати прийнятні характеристики, але його умови можуть обмежувати використання інших ресурсів. Наприклад, грант може вимагати визначеної структури співфінансування. Кредитор може встановлювати граничний рівень інших боргових зобов’язань. Інвестор може вимагати пріоритету при розподілі доходу. У партнерських проєктах проблема сумісності стає ще складнішою, оскільки необхідно погодити не лише ресурсні умови, а й розподіл ризиків. N. Rasheed, W. M. Shahzad та J. O. B. Rotimi встановили, що при розподілі ризиків у ППП ключове значення мають здатність учасника передбачати ризик, мінімізувати його втрати та ефективно реагувати на його реалізацію [142]. Отже, раціональна комбінація повинна бути не просто сумою економічно привабливих інструментів. Вони мають бути функціонально і контрактно сумісними.

Десятим критерієм є проєктна придатність. Будівельні проєкти істотно відрізняються за масштабом, строком, економічним результатом, суспільною значущістю та джерелом майбутнього доходу. Для невеликого комерційного проєкту використання складної моделі ППП є невиправданим. Для масштабного інфраструктурного об’єкта власних ресурсів підприємства недостатньо. Для соціальної інфраструктури може бути складно забезпечити повне комерційне повернення капіталу, що підвищує значення грантових і бюджетних компонентів. Для проєкту зі стабільним прогнозованим потоком доходу може бути придатним проєктне фінансування. Тому характеристика інструменту не має абсолютної оцінки поза характеристиками конкретного проєкту.

Одинадцятим критерієм є складність використання та управління інструментом. Власний ресурс має низьку зовнішню організаційну складність. Банківський кредит потребує підготовки документів і подальшого виконання кредитних умов. Грант може вимагати значної звітності та контролю. Публічно-приватне партнерство і змішане фінансування можуть передбачати

декілька кредиторів, інвесторів, гарантійних установ і публічних учасників. Це формує додаткові транзакційні витрати та потребує відповідної управлінської компетентності підприємства.

Теоретично приваблива структура може виявитися практично непридатною через надмірну складність її адміністрування (табл. 1.15).

Таблиця 1.15. Критерії оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства

Критерій	Економічний зміст	Основне питання для підприємства
Доступність	Реальна можливість отримати та використати інструмент	Чи відповідає підприємство умовам доступу?
Вартість	Сукупні витрати на залучення та використання ресурсу	Скільки фактично коштує цей ресурс?
Строкова відповідність	Узгодження строку ресурсу з циклом проєкту	Чи буде ресурс доступним протягом необхідного періоду?
Ризик	Додаткові ризики та зобов’язання для підприємства	Які наслідки матиме несприятливий сценарій?
Управлінська автономність	Вплив інструменту на контроль над підприємством або проєктом	Якою частиною контролю необхідно поступитися?
Можливий обсяг	Максимальна величина доступного ресурсу	Чи достатній ресурс для потреб проєкту?
Власна участь /	Необхідність застави або	Які власні ресурси

забезпечення	співфінансування	необхідно мобілізувати?
Гнучкість	Можливість змінювати умови або обсяг використання	Чи можна адаптувати інструмент до зміни ситуації?
Сумісність	Можливість поєднання з іншими інструментами	Чи можна включити його до багатокомпонентної структури?
Проєктна придатність	Відповідність характеристикам конкретного об’єкта	Чи відповідає інструмент типу, масштабу і строку проєкту?
Управлінська складність	Витрати на підготовку, координацію та контроль	Чи має підприємство спроможність управляти інструментом?

Джерело: розроблено автором

Наведена система показує, що поняття придатності має багатовимірний характер. Інструмент може мати високу оцінку за одним критерієм і низьку – за іншим. Наприклад, власні ресурси мають високу доступність для підприємства, якщо вони сформовані, не потребують застави та забезпечують повний контроль. Однак їх слабкою стороною є обмежений обсяг і потенційне погіршення ліквідності. Комерційний кредит може забезпечувати значний ресурс і дозволяє зберегти власність, але має вартість, потребує повернення та може підвищувати ризик. Грант має дуже низьку пряму вартість, однак часто характеризується обмеженою доступністю, жорстким цільовим призначенням і низькою гнучкістю. Приватний пайовий капітал дозволяє залучати значний ресурс без фіксованих боргових платежів, але впливає на розподіл майбутнього результату та контроль. Гарантія не замінює основний ресурс, проте здатна різко підвищити доступність кредиту. Публічно-приватне партнерство та змішані моделі можуть забезпечувати великі й складні проєкти, але потребують значної управлінської та інституційної спроможності. Саме

тому поняття «найкращий інструмент» поза конкретним контекстом практично втрачає зміст.

Для узагальнення їх відмінностей доцільно використати якісну порівняльну оцінку (табл. 1.16). На цьому етапі вона не є результатом математичного моделювання, а лише систематизує встановлені в теоретичному аналізі властивості.

Таблиця 1.16. Порівняльна характеристика основних інвестиційних інструментів будівельного підприємства

Інструмент	Вартість	Потенційний обсяг	Ризик для підприємства	Гнучкість	Збереження контролю	Організаційна складність
Власні ресурси	Низька пряма	Обмежений	Низький борговий, можливий ризик ліквідності	Висока	Високе	Низька
Комерційний кредит	Середня / висока	Середній / значний	Високий за значного боргового навантаження	Середня	Високе	Середня
Пільговий кредит	Низька / середня	Середній	Нижчий порівняно з комерційним кредитом	Середня	Високе	Середня
Приватний	Залежить від	Значний	Відсутній класичний	Середня	Знижується	Середня / висока

пайовий капітал	очікуваної дохідності		ризик погашення			
Грант	Низька	Обмежений / середній	Низький фінансовий, але є ризик невиконання умов	Низька	Високе	Середня / висока
Гарантія	Переважно низька / середня	Не покриває потребу безпосередньо	Знижує ризик зовнішнього учасника	Середня	Високе	Середня
Страхування ризиків	Страхова премія	Не є прямим ресурсом	Знижує визначені ризики	Середня	Високе	Середня
Публічно-приватне партнерство	Залежить від структури	Значний	Розподіляється між учасниками	Середня	Залежить від договору	Висока
Проєктне фінансування	Залежить від ризику проєкту	Значний	Концентрується на проєкті	Середня	Переважно зберігається	Висока
Змішане фінансування	Може бути знижена підтримува	Значний	Може цілеспрямовано	Висока за правил	Залежить від компон	Висока

	льними інструментами		перерозподілятися	ьної структури	ентів	

Джерело: розроблено автором

Необхідність багатокритеріального підходу добре простежується і в дослідженнях управлінських рішень у будівництві. M. A. Musarat та співавтори встановили, що вибір будівельних проєктів повинен здійснюватися не лише за фінансовими показниками. Автори враховували також стратегічні, часові, організаційні та зовнішні критерії й показали зв'язок комплексного відбору проєктів із результатами діяльності будівельних організацій [143], що може бути поширено і на інвестиційні інструменти. Якщо рішення залежить від декількох взаємопов'язаних характеристик, зведення його до мінімальної процентної ставки або максимальної суми ресурсу призводитиме до втрати суттєвої інформації. Така ситуація створює передумови для застосування методів, здатних працювати з неповною, якісною та нечітко визначеною інформацією.

N. S. Nithya та співавтори показали можливість використання нечітких багатокритеріальних підходів у будівельній сфері при виборі підрядника за сукупністю кількісних і якісних параметрів. Їх дослідження демонструє, що нечітке представлення критеріїв дозволяє формалізувати рішення, для яких частина вхідної інформації не має однозначного числового вираження [144]. Для даної дисертації цей висновок має особливе значення. Значна частина характеристик інвестиційних інструментів є саме такою. Наприклад, неможливо універсально визначити точне числове значення «високої доступності гранту» або «середньої гнучкості гарантійного інструменту». Їх оцінка залежить від контексту. Тому на наступних етапах дослідження придатність інвестиційного інструменту доцільно розглядати як результат одночасного впливу сукупності кількісних і якісних факторів.

Проведена систематизація джерел та інструментів показує, що на практиці інвестиційне забезпечення будівельного підприємства рідко обмежується використанням одного ресурсу. Навіть відносно простий будівельний проєкт може одночасно використовувати власні кошти підприємства, авансові платежі замовника та кредитну лінію. Для великих проєктів кількість компонентів збільшується за рахунок приватного капіталу, гарантій, грантів, страхування ризиків, міжнародних програм та участі публічного партнера.

Тому наступним рівнем систематизації є не окремий інструмент, а модель інвестиційного забезпечення, тобто спосіб організації ресурсів для реалізації конкретного проєкту. В основі такої моделі лежить певна домінуюча логіка. В одних випадках підприємство максимально спирається на власні ресурси. В інших ключову роль відіграє борговий капітал. Для окремих проєктів визначальною є участь зовнішнього інвестора. Великі інфраструктурні об’єкти можуть реалізовуватися через проєктне фінансування або публічно-приватне партнерство. За значного ризику та обмеженої комерційної привабливості формується змішана модель, у якій публічні або міжнародні інструменти використовуються для мобілізації додаткового приватного ресурсу.

Q. Ding, S. Huang, G. Fu та B. Wang показали, що різні способи ресурсного забезпечення інфраструктурного проєкту змінюють не лише структуру капіталу, а й саме інвестиційне рішення приватного учасника. Зокрема, довгострокове та короткострокове боргове забезпечення по-різному впливало на момент входження інвестора у проєкт, оптимальну величину боргу та чутливість до ризику рефінансування [145]. Це підтверджує, що модель інвестиційного забезпечення не є нейтральною оболонкою. Вона впливає на ризик, поведінку учасників, строки реалізації та економічні результати проєкту.

За домінуючим способом формування ресурсної бази доцільно виділити кілька базових моделей. Автономна модель ґрунтується переважно на власних

ресурсах підприємства. Її перевагами є незалежність від зовнішніх кредиторів та інвесторів, висока керованість і відсутність обов'язкових боргових платежів. Основне обмеження – залежність масштабу інвестування від внутрішньої ресурсної спроможності підприємства.

Боргова модель передбачає значну роль кредитних та інших поворотних ресурсів. Вона дозволяє реалізувати проєкт, вартість якого перевищує власні можливості підприємства. Водночас збільшується боргове навантаження, чутливість до процентної ставки, строків реалізації та стабільності майбутніх надходжень. Пайова модель базується на залученні зовнішнього приватного капіталу. Вона зменшує необхідність формувати значну боргову частку, однак змінює розподіл майбутнього результату і може впливати на управлінську автономність підприємства. Партнерська модель передбачає поєднання ресурсів і компетенцій декількох учасників. До цієї групи можуть належати спільні підприємства, спільне інвестування та публічно-приватне партнерство. Основною особливістю є необхідність не лише сформувати ресурс, а й узгодити функції, відповідальність та ризики між партнерами. Проєктна модель формує забезпечення навколо економіки конкретного проєкту. Важливу роль відіграють майбутні грошові потоки, спеціальна проєктна компанія, система договорів та розподіл ризиків. Така модель дозволяє реалізовувати масштабні об'єкти, але потребує високої прогнозованості проєкту та складної підготовки. Змішана модель поєднує ресурси різної економічної природи. Її особливістю є функціональна взаємодія інструментів: одні безпосередньо покривають потребу в ресурсах, інші зменшують вартість, ризик або обмеження доступу.

У реальних умовах межі між цими моделями не є жорсткими. Наприклад, проєктне фінансування може одночасно містити власний капітал інвесторів, банківський кредит та гарантії. Публічно-приватне партнерство може використовувати проєктне фінансування. Змішана модель може бути інтегрована як у ППП, так і в приватний будівельний проєкт. Запропонована

типологія (табл. 1.17) характеризує не взаємовиключні форми, а домінуючу логіку організації інвестиційного забезпечення.

Таблиця 1.17. Типологія моделей інвестиційного забезпечення будівельних підприємств

Модель	Домінуючий принцип	Основні ресурси та інструменти	Основна перевага	Основне обмеження
Автономна	Переважне використання внутрішніх ресурсів	Прибуток, амортизація, резерви	Максимальна незалежність	Обмежений масштаб
Боргова	Розширення ресурсної бази за рахунок поворотного капіталу	Кредити, кредитні лінії, облігації	Можливість реалізувати більший проєкт	Боргове навантаження
Пайова	Залучення зовнішнього капіталу до участі в результаті	Приватний інвестор, інвестиційний фонд, внесок партнера	Відсутність фіксованого погашення боргу	Часткова втрата економічного результату та контролю
Партнерська	Спільна реалізація та розподіл ресурсів і ризиків	Спільне інвестування, ППП, партнерські угоди	Розподіл витрат, ризиків і компетенцій	Складність координації
Проєктна	Формування	Власний	Можливість	Висока

	ресурсів навколо конкретного проєкту	капітал, кредит, СПК, контрактна система	фінансування великих проєктів на основі їх майбутніх потоків	складність структурування
Змішана	Поєднання комерційних і підтримувальних інструментів	Власні, кредитні, приватні, грантові, гарантійні ресурси	Зниження ресурсних і ризикових обмежень	Значна кількість умов та учасників

Джерело: розроблено автором

Дослідження J. Guo та H. Kato на основі 1326 проєктів ППП у країнах, що розвиваються, підтверджує, що участь держави у власному капіталі проєкту здатна впливати на його структуру боргу. Тобто поява або зміна одного компонента може змінювати співвідношення інших елементів інвестиційного забезпечення [146]. Цей результат має важливе значення. Він показує, що частки ресурсів не можна розглядати як незалежні величини. Між окремими компонентами існують зв’язки заміщення та доповнення.

Традиційний підхід до аналізу джерел інвестиційного забезпечення переважно концентрується на структурі капіталу та співвідношенні власних і позикових ресурсів. Такий підхід залишається важливим, але для сучасного будівельного підприємства його недостатньо.

Перше обмеження полягає у надмірному акценті на походженні ресурсу. Власний, позиковий та залучений капітал відображають джерело ресурсів, але не пояснюють усі способи впливу сучасних інструментів на проєкт. Гарантія, наприклад, не є звичайною часткою капіталу, однак може визначати доступність кредиту. Страхування не покриває початкову вартість проєкту, але

впливає на прийнятність ризику. Технічна допомога не входить до традиційної структури власного і позикового капіталу, однак може визначити готовність проєкту до залучення інвестора.

Друге обмеження – статичність. Традиційна структура, як правило, характеризує співвідношення ресурсів на певний момент часу. Проте будівельний проєкт реалізується протягом тривалого періоду, а його параметри змінюються. На початковій стадії може домінувати власний ресурс підприємства. Під час основного будівельного циклу – кредитний. Пізніше можуть бути залучені додаткові ресурси у випадку перевищення кошторису або зміни строків. Дослідження T. Stachoń, M. Szóstak та J. Konior на фактичних даних 41 будівельного проєкту та 547 вимірювань показало суттєві відмінності у відхиленнях витрат залежно від типу об'єкта. Розрахована авторами фактична величина необхідного резерву для різних груп будівельних проєктів змінювалася приблизно від 3 до 30 % [147]. Структура ресурсів, достатня на початку реалізації проєкту, може перестати бути достатньою після зміни його вартості.

Третє обмеження полягає у недостатньому врахуванні взаємозв'язків між інструментами. У багатокомпонентній структурі інструменти не функціонують незалежно. Грант може вимагати власного внеску. Гарантія активує кредит. Страхування впливає на ризик кредитора. Збільшення боргової частки може змінити готовність пайового інвестора до участі.

Четверте обмеження – слабке врахування характеристик самого підприємства. Однакова ресурсна структура може мати різні наслідки для різних підприємств. Частка кредиту 50 % може бути прийнятною для великого підприємства зі стабільними потоками і надмірною для підприємства з обмеженою ліквідністю.

П'яте обмеження стосується недостатньої проєктної орієнтації. Традиційний аналіз структури капіталу часто здійснюється на рівні підприємства загалом. Проте в будівництві управлінське рішення нерідко приймається щодо конкретного об'єкта. Один і той самий підрядник може

одночасно реалізовувати комерційний житловий проєкт і об’єкт соціальної інфраструктури. Для першого основними можуть бути власні, приватні та кредитні ресурси. Для другого доступними стають грантові, бюджетні, гарантійні або партнерські механізми.

Шосте обмеження – недостатня адаптивність до невизначеності. G. Chortareas та E. Noikokyris встановили, що невизначеність негативно впливає на інвестиційну активність підприємств із ресурсними обмеженнями, тоді як вища фінансова гнучкість послаблює цей негативний вплив [148]. Для будівельного підприємства в умовах післявоєнного відновлення це означає необхідність зберігати можливість коригувати структуру ресурсів при зміні вартості, строків, доступності програм підтримки або рівня ризику.

Сьоме обмеження полягає у відсутності єдиного критерію оптимальності. Мінімальна вартість капіталу не гарантує максимальної стійкості. Максимальна частка власного ресурсу не забезпечує найбільшого масштабу інвестування. Максимальний обсяг кредиту може погіршити боргову стійкість. Максимальна грантова частка може бути недоступною або обмежувати напрями використання ресурсів. Тому раціональне інвестиційне забезпечення завжди містить компроміс між кількома цілями.

Поняття структури відображає склад елементів та їх кількісне співвідношення. На цьому етапі його ще не потрібно формалізувати остаточно – це буде зроблено в концептуальному розділі. Проте вже проведений теоретичний аналіз дозволяє визначити принципову відмінність. Структура відповідає переважно на питання: з яких елементів і в яких частках сформоване інвестиційне забезпечення? Архітектура повинна додатково відповідати: чому обрано ці елементи, які функції вони виконують, як вони взаємодіють, якими умовами обмежуються і як конфігурація повинна змінюватися за зміни середовища?

Сучасний огляд Z. Meng показує аналогічну системну логіку для інфраструктурного проєктного фінансування: здатність проєкту залучати капітал формується сукупністю спеціальної проєктної структури, розподілу

ризиків, контролю грошових потоків, державної підтримки та конфігурації кредитних інструментів. Тобто інвестиційна придатність проєкту виникає із взаємодії елементів, а не з характеристик одного джерела [149]. Інвестиційні інструменти визначають, які способи забезпечення існують і на яких умовах. Інституційно-ризикове середовище визначає, які з цих способів є фактично доступними та стійкими. На перетині цих чотирьох складових формується конкретна конфігурація інвестиційного забезпечення. При цьому вона не повинна бути незмінною. Наприклад, початковий варіант може передбачати 30 % власних ресурсів і 70 % комерційного кредиту. Поява гарантійного механізму може дозволити зменшити вартість боргу. Доступ до гранту – зменшити його обсяг. Підвищення воєнного ризику – збільшити значення страхування. Погіршення ліквідності підприємства – вимагати більшої участі зовнішнього інвестора. Архітектура має бути адаптивною (табл 1.18). Вона також має бути варіантною, оскільки для одного проєкту зазвичай можна сформувати декілька допустимих конфігурацій.

Проведене дослідження показало, що інвестиційне забезпечення будівельного підприємства формується із ресурсів різного походження та інструментів, які виконують неоднакові економічні функції. Власні ресурси забезпечують автономність підприємства, але мають обмежений обсяг. Позикові інструменти розширюють його інвестиційні можливості, проте створюють зобов’язання щодо повернення та обслуговування боргу. Приватний пайовий капітал дозволяє збільшити ресурсну базу без фіксованих боргових платежів, але змінює розподіл економічного результату та може впливати на контроль.

Таблиця 1.18. Відмінності між структурою та архітектурою інвестиційного забезпечення

Ознака	Структура інвестиційного забезпечення	Архітектура інвестиційного забезпечення
Основне питання	Що використовується і в яких частках?	Що, у яких частках, чому і за яких умов використовується?
Склад елементів	Враховується	Враховується
Частки ресурсів	Основна характеристика	Одна з характеристик
Функції інструментів	Враховуються обмежено	Враховуються безпосередньо
Взаємозв’язки інструментів	Переважно не формалізуються	Є ключовим елементом
Умови доступності	Другорядні	Визначають допустимість елементів
Сумісність	Може не враховуватися	Обов’язково враховується
Ризик	Характеристика структури	Один із факторів формування та зміни конфігурації
Сценарність	Переважно статична	Передбачає різні сценарії
Можливість заміщення	Не є центральною	Передбачає альтернативні інструменти
Адаптивність	Обмежена	Є необхідною властивістю
Рівень управлінського рішення	Вибір співвідношення ресурсів	Формування цілісної конфігурації ресурсів, інструментів, функцій і взаємозв’язків

Джерело: розроблено автором

Державні та міжнародні інструменти суттєво розширюють традиційну систему забезпечення. Їх функція може полягати не лише у безпосередньому наданні ресурсів. Гарантії підвищують доступність кредиту, страхування знижує окремі ризики, гранти зменшують потребу у поворотному капіталі, а технічна допомога підвищує готовність проєкту.

Публічно-приватне партнерство та проєктне фінансування показують, що для великих будівельних та інфраструктурних проєктів інвестиційне забезпечення набуває складної організаційної форми. У ній одночасно визначаються ресурсна участь, функції учасників, система договорів і розподіл ризиків (рис.1.6).



Рисунок 1.6. Взаємозв'язок публічно-приватного партнерства та проєктного фінансування у формуванні інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором.*

Змішане фінансування розвиває цю логіку далі. Публічні, міжнародні та пільгові інструменти можуть використовуватися не для повної заміни комерційного капіталу, а для створення умов його залучення. Приклад польського досвіду також підтверджує можливість поєднання ресурсів ЄС із ППП. K. Brzozowska встановила поширення таких змішаних проєктів у різних

регіонах Польщі та зазначила, що можливість використання ресурсів ЄС може підтримувати розвиток партнерства між публічними органами та приватним сектором [150]. Розвиток сучасних моделей відбувається у напрямі від одного домінуючого джерела до багатокомпонентних систем взаємопов'язаних ресурсів.

Порівняльний аналіз також показав, що окремі інструменти мають оцінюватися за комплексом характеристик: доступністю, вартістю, строком, ризиком, можливим обсягом, вимогами до забезпечення і власної участі, гнучкістю, сумісністю, проєктною придатністю та складністю управління.
При цьому частина критеріїв є кількісною, а частина має якісний або нечіткий характер. Один інструмент може одночасно бути привабливим за вартістю і неприйнятним за строком; доступним за формальними умовами, але недостатнім за обсягом; дешевим, але несумісним з іншими компонентами. Тому першим управлінським завданням стає оцінювання придатності окремих інструментів. Але навіть визначення множини придатних інструментів ще не вирішує проблему інвестиційного забезпечення. Необхідно встановити, які з них слід включити до остаточної конфігурації та якими повинні бути їх частки.

Висновки до розділу 1.

1. Узагальнення наукових підходів засвідчило, що інвестиційне забезпечення доцільно розглядати не лише як сукупність залучених підприємством коштів, а як самостійний об'єкт управління, зміст якого охоплює формування ресурсної бази, добір способів її залучення, поєднання джерел та використання ресурсів відповідно до інвестиційних цілей. У межах такого трактування результативність управління визначається не самим фактом отримання фінансування, а відповідністю його обсягу, строків і умов потребам конкретного проєкту та фінансовим можливостям підприємства, щодає змогу розглядати інвестиційне забезпечення як процес перетворення наявного потенціалу підприємства на ресурсну конфігурацію, придатну для реалізації визначеної інвестиційної мети.

2. Уточнено співвідношення понять інвестиційного потенціалу, інвестиційних ресурсів, джерел, інструментів, моделей, структури й архітектури інвестиційного забезпечення. Інвестиційний потенціал характеризує спроможність підприємства залучати й ефективно використовувати ресурси; ресурси становлять економічну основу фінансування; джерела відображають їх походження, а інструменти — конкретні способи залучення або надання. Модель описує організаційну логіку взаємодії учасників і ресурсів, структура фіксує склад джерел та частки їх участі, тоді як архітектура охоплює також функції інструментів, взаємозв'язки між ними, умови залучення, обмеження та можливості заміщення. Таке розмежування впорядковує понятійний апарат і відображає різні рівні управлінського рішення.

3. Обґрунтовано, що управління інвестиційним забезпеченням має здійснюватися як послідовність взаємопов'язаних рішень: визначення потреби, встановлення фактичної доступності ресурсів, оцінювання придатності інструментів, формування прийнятного поєднання джерел і визначення часток їх участі з подальшим контролем та коригуванням. При цьому доступність інструмента не тотожна його придатності, а привабливі фінансові умови самі собою не свідчать про відповідність інструмента параметрам підприємства й проєкту. Відповідно, оцінювання інвестиційного забезпечення має враховувати не лише економічну ефективність проєкту, а й спроможність фінансової конфігурації реально покрити потребу в ресурсах у потрібному обсязі та в належний час.

4. Виявлено, що специфіка інвестиційного забезпечення будівельних підприємств зумовлена капіталомісткістю, тривалістю виробничого циклу, проєктним характером діяльності, залежністю від контрактних умов і нерівномірністю грошових потоків. Інвестиційна потреба визначається не лише загальною вартістю проєкту, а й послідовністю етапів будівництва, календарним розподілом витрат, строками надходження платежів та необхідністю підтримувати поточну ліквідність підприємства. Тому управлінське узгодження

фінансування має охоплювати обсяги й строки мобілізації ресурсів, зокрема співвідношення між інвестиційними витратами та коштами, необхідними для безперервного виконання робіт.

5. Доведено доцільність розглядати пару «будівельне підприємство — конкретний проєкт» як базовий рівень формування інвестиційного забезпечення. Фінансова й виробнича спроможність підприємства визначає межі його участі та можливості залучення зовнішніх ресурсів, тоді як параметри проєкту формують обсяг, календарний профіль і характер інвестиційної потреби. Загальна характеристика підприємства не є достатньою підставою для вибору фінансування: один і той самий суб'єкт може потребувати різних фінансових конфігурацій залежно від масштабу, тривалості, структури витрат і умов реалізації окремих проєктів.

6. Систематизовано взаємопов'язані групи умов, що визначають формування інвестиційного забезпечення: характеристики підприємства, параметри проєкту, інвестиційно-ресурсні умови та інституційно-ризикове середовище. Їх спільний вплив формує можливості залучення ресурсів, межі їх використання та допустимий рівень фінансового навантаження. У контексті післявоєнного відновлення значення цих умов посилюється через невизначеність щодо строків, вартості й ризиків реалізації проєктів, а також залежність від програм підтримки та інституційних механізмів. Державні й міжнародні інструменти в цій системі можуть безпосередньо надавати ресурси, поліпшувати умови їх залучення або підвищувати готовність проєкту до фінансування; ці функції слід розрізняти під час оцінювання їхнього економічного ефекту.

7. Систематизація джерел, інструментів і моделей засвідчила необхідність розмежовувати їх за економічним призначенням: джерело визначає походження ресурсів, інструмент — спосіб їх залучення або використання, модель — організаційну форму взаємодії учасників і фінансових механізмів. Ці категорії можуть поєднуватися в межах однієї конфігурації: зокрема, державно-приватне партнерство не зводиться до окремого джерела коштів, а може інтегрувати публічні та приватні ресурси, кредитування, гарантії й інші інструменти. Аналогічно гарантії та страхування самі по собі не формують ресурсного потоку,

але здатні змінювати умови доступу до фінансування. Такий підхід дає змогу уникнути механічного ототожнення джерела, інструмента та організаційної моделі.

8. Обґрунтовано функціональну диференціацію власних, боргових, грантових, приватних і партнерських ресурсів у фінансуванні будівельних проєктів. Власні ресурси підтримують фінансову автономію та засвідчують участь підприємства, боргові забезпечують додатковий обсяг фінансування, але створюють зобов'язання з обслуговування, гранти зменшують потребу в поворотному капіталі за умови відповідності програмним вимогам, а приватний капітал і партнерські моделі передбачають особливі форми розподілу доходів, ризиків і контролю. Гарантії, страхування та технічна допомога виконують переважно сприяльну функцію — змінюють умови залучення ресурсів або підвищують готовність проєкту.

9. Визначено, що раціональність інвестиційного забезпечення є багатокритеріальною характеристикою й не може бути встановлена за одним показником або через мінімізацію лише вартості фінансування. Формування структури потребує узгодження достатності ресурсів, повної вартості, ризику, строків мобілізації, вимог до власної участі, концентрації джерел, гнучкості, сумісності інструментів і складності управління. Окремі критерії можуть вступати у суперечність: зменшення вартості здатне супроводжуватися збільшенням строків залучення або обмеженням гнучкості, а диверсифікація джерел — зростанням координаційних витрат.

РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

2.1. Концептуальні засади нечіткого оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельних підприємств.

Формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства належить до задач, у яких значна частина інформації не може бути однозначно подана у вигляді жорстких числових критеріїв. На рішення одночасно впливають фінансовий стан підприємства, характеристики проєкту, умови конкретного інвестиційного інструменту, доступність програм підтримки, рівень ризику та інституційні обмеження. Частина цих параметрів має кількісну форму, інша частина оцінюється якісно або експертно.

Особливо виражено ця проблема проявляється в умовах післявоєнного відновлення. Будівельне підприємство може мати достатню виробничу спроможність і досвід реалізації проєктів, але одночасно працювати в середовищі зі змінними умовами кредитування, обмеженим доступом до гарантій, нестабільною регуляторною підтримкою або підвищеним територіальним ризиком. Тому оцінювання придатності інвестиційного інструменту не може базуватися лише на одному показнику, наприклад вартості капіталу або строку його залучення.

У класичній детермінованій моделі такі ситуації зазвичай потребують встановлення жорстких порогів. У результаті невелика зміна показника поблизу межі може різко змінити результат. Для інвестиційних рішень такого типу це створює спрощену картину, оскільки реальна придатність інструменту змінюється поступово [151].

Нечітка логіка дозволяє описувати перехідні стани за допомогою ступенів належності до лінгвістичних категорій, наприклад «низький», «середній» або «високий» рівень. У такій постановці один і той самий показник може частково належати одночасно до двох сусідніх станів. Це краще

відповідає характеру управлінських оцінок, де межі між економічними станами рідко є абсолютно дискретними.

У межах цього дослідження нечітка логіка використовується не для прогнозування майбутнього значення показника, а для оцінювання ступеня відповідності інвестиційного інструменту конкретній комбінації характеристик підприємства, проєкту та зовнішнього середовища [152, 153]. Таке трактування є принциповим. Один і той самий інструмент може бути придатним для одного підприємства і водночас мало придатним для іншого навіть за реалізації схожого проєкту. Аналогічно для одного підприємства різні проєкти можуть формувати різну структуру потенційно прийнятних джерел інвестиційних ресурсів. Основні причини використання нечіткої логіки у досліджуваній задачі узагальнено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Передумови застосування нечіткої логіки при оцінюванні інвестиційних інструментів

Передумова	Прояв у задачі інвестиційного забезпечення	Методологічна роль нечіткої логіки
Неоднорідність даних	одночасне використання фінансових коефіцієнтів, строків, обсягів ресурсів та експертних оцінок	приведення різнорідних характеристик до єдиного нечіткого простору
Неповнота інформації	частина умов фінансування або ризиків може бути відома лише орієнтовно	можливість працювати з неповними та нечітко визначеними оцінками
Відсутність жорстких економічних меж	перехід між сприятливим і несприятливим станом є поступовим	використання функцій належності замість бінарних порогів
Поєднання	фінансова автономія	спільне врахування

кількісних і якісних факторів	співіснує з управлінською зрілістю, суспільною значущістю тощо	числових та лінгвістичних характеристик
Інструмент-специфічна логіка	одна характеристика може мати різне значення для кредиту, гранту або ППП	формування окремих баз правил для різних інструментів
Нелінійність взаємозв’язків	позитивний вплив окремого фактора може залежати від рівня інших	моделювання взаємодій через правила типу «якщо – то»
Обмежена компенсація	високі значення одних факторів не завжди компенсують критично низькі значення інших	можливість задавати критичні та некомпенсаційні правила
Динамічність середовища	умови доступу до фінансування можуть змінюватися між сценаріями	адаптація оцінювання до різних комбінацій зовнішніх параметрів
Необхідність пояснення результату	управлінське рішення повинно мати зрозуміле обґрунтування	прозорий зв’язок між входами, правилами та кінцевою оцінкою

Джерело: систематизовано автором за [154–158]

Наведені передумови показують, що доцільність нечіткого підходу визначається не лише наявністю невизначеності як такої. Важливішим є характер цієї невизначеності. У досліджуваній задачі вона проявляється через нечіткість меж, різнорідність даних, залежність оцінки від контексту та необхідність урахування експертних суджень.

Окремою перевагою нечіткої логіки є можливість працювати з інструмент-специфічними правилами. Наприклад, висока суспільна значущість проєкту може суттєво підвищувати придатність грантового

фінансування або ППП, але мати значно менший вплив на комерційний кредит. Водночас стабільність операційного грошового потоку є більш вагомою для кредитного фінансування, ніж для грантового механізму. Однакова система показників не означає однакової логіки їх інтерпретації, але є однією з основних причин використання нечіткого виведення замість простого інтегрального індексу або лінійного зважування. Наочно методичний підхід щодо застосування нечіткої логіки у досліджуваній задачі наведено на рис. 2.1



Рис. 2.1. Передумови застосування нечіткої логіки в оцінюванні придатності інвестиційних інструментів. *Джерело: розроблено автором.*

Ще одним аргументом на користь нечіткого підходу є можливість моделювання обмеженої компенсації [159]. У традиційній адитивній моделі високе значення одного показника може математично компенсувати дуже низьке значення іншого. Для інвестиційних рішень така логіка не завжди прийнятна. Наприклад, низька вартість фінансування не робить інструмент придатним, якщо підприємство не може виконати обов'язкову вимогу щодо власної участі. Висока економічна результативність проєкту не усуває формальні обмеження доступу до певної програми. Висока суспільна значущість не компенсує повну відсутність необхідного гарантійного покриття для окремих механізмів. Через систему нечітких правил такі ситуації можуть

бути закладені безпосередньо у логіку моделі, що дозволяє перейти від простого агрегування показників до оцінювання їх взаємної сумісності [160, 161]. На рисунку 2.1 показано перехід від основних проблем вихідної інформації до відповідних методологічних можливостей нечіткої логіки. Неповнота даних зумовлює потребу в роботі з експертними оцінками, різнорідність показників – у формуванні єдиного простору їх інтерпретації, а нечіткість економічних меж – у використанні поступових переходів між станами.

Нечітка логіка в цьому дослідженні виконує функцію первинного механізму структурованого оцінювання інвестиційних альтернатив в умовах багатофакторності та часткової невизначеності. Її результатом є не визначення остаточної структури фінансування, а формування кількісної оцінки придатності кожного потенційного інструменту, яка надалі використовується в наступних етапах моделювання. Це створює методологічну основу для подальшого порівняння нечіткого підходу з іншими способами моделювання невизначеності та обґрунтування вибору відповідного механізму нечіткого виведення у наступних частинах підрозділу.

Формування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства в умовах післявоєнного відновлення не зводиться до вибору найдешевшого джерела ресурсів або інструменту з найменшим рівнем ризику. На практиці підприємство одночасно має враховувати власні можливості, параметри конкретного проєкту, умови доступу до окремих інвестиційних інструментів та зовнішні обмеження. Через це один і той самий інструмент може бути прийнятним для одного підприємства і неприйнятним для іншого, а його придатність може змінюватися навіть для того самого підприємства залежно від характеристик проєкту, що реалізується [162]. Наприклад, комерційний кредит може бути придатним для підприємства зі стабільними грошовими потоками, достатнім рівнем забезпечення та коротким горизонтом реалізації проєкту. Для капіталомісткого відновлювального проєкту з тривалим періодом окупності та високою суспільною значущістю той самий інструмент може

виявитися менш прийнятним. За таких умов більшу відповідність можуть мати пільгове кредитування, гарантійні механізми, грантові програми, участь приватного інвестора або механізми державно-приватного партнерства. Отже, оцінювати необхідно не інвестиційний інструмент сам по собі, а його відповідність конкретній ситуації.

У межах цього дослідження така ситуація описується через чотири групи факторів. Перша характеризує будівельне підприємство, друга – проєкт, третя – доступні інвестиційні ресурси та умови їх залучення, четверта – інституційне та ризикове середовище. Відповідно формуються підприємницький, проєктний, інвестиційно-ресурсний та інституційно-ризиковий контури.

Постановка задачі передбачає, що для заданого підприємства, конкретного проєкту та поточного стану зовнішнього середовища необхідно визначити ступінь придатності кожного доступного інвестиційного інструменту. Тому результатом моделювання не є узагальнений показник фінансового стану підприємства, його стійкості або інвестиційної привабливості. Такі характеристики можуть входити до системи вхідних показників, але вони не відповідають безпосередньо на питання про те, який інструмент доцільніше використовувати за заданої комбінації умов.

Для кожного і-го інвестиційного інструменту вводиться вихідна змінна:

$$S_i \in [0;1] \qquad (2.1)$$

де S_i – ступінь придатності і-го інвестиційного інструменту для заданої комбінації характеристик підприємства, проєкту, ресурсного середовища та зовнішніх умов.

Значення S_i, наближене до 1, означає високий ступінь відповідності інструменту заданим умовам. Значення, наближене до 0, свідчить про низьку відповідність. При цьому показник S_i не є ймовірністю фактичного отримання фінансування. Він також не відображає частку відповідного джерела у загальній структурі інвестиційного забезпечення. Наприклад, $S_i = 0{,}82$ для грантового інструменту не означає ані 82 % імовірності отримання гранту, ані

необхідності покривати 82 % інвестиційної потреби за рахунок грантових коштів. Це лише оцінка відповідності інструменту заданій ситуації.

Таке обмеження має принципове значення для подальшої логіки дослідження. Нечітка модель вирішує задачу попереднього оцінювання інструментів, але не визначає остаточну структуру інвестиційного забезпечення. Частки власних ресурсів, кредиту, грантового фінансування, приватного капіталу або інших джерел мають визначатися на наступних етапах з урахуванням вартості ресурсів, обмежень за їх обсягом, допустимого боргового навантаження, рівня ризику, очікуваної дохідності та інших критеріїв.

До множини потенційних інструментів можуть бути включені власні ресурси підприємства, комерційне банківське кредитування, пільгове кредитування, грантове фінансування, приватний інвестиційний капітал, державні та міжнародні програми, гарантійні механізми, публічно-приватне партнерство та змішані форми залучення ресурсів. Остаточний склад цієї множини має визначатися з урахуванням доступності відповідних механізмів для будівельних підприємств і проєктів післявоєнного відновлення.

Оцінювання повинно здійснюватися окремо для кожного інструменту. Причина полягає в тому, що одна й та сама характеристика може мати різний вплив залежно від способу залучення ресурсів. Висока ліквідність і стабільність грошових потоків підвищують здатність підприємства обслуговувати кредит, але не є основним критерієм придатності грантового фінансування [163, 164]. Для гранту більш суттєвими можуть бути відповідність проєкту умовам програми, суспільна значущість, територія реалізації, наявність співфінансування та цільове призначення коштів. Для приватного інвестора більшу роль можуть відігравати очікувана дохідність, горизонт повернення капіталу та рівень проєктного ризику. Для державно-приватного партнерства – масштаб проєкту, тривалість, можливість розподілу ризиків і участь публічної сторони.

Через це не можна використовувати одну універсальну логіку, за якою покращення будь-якого показника автоматично підвищує придатність усіх джерел. Наприклад, високий рівень власної ресурсної забезпеченості може підвищувати спроможність підприємства співфінансувати проєкт і тим самим полегшувати доступ до гранту або пільгового кредиту. Водночас він може знижувати потребу у дорогому комерційному кредиті. Суспільна значущість проєкту може позитивно впливати на придатність державної або міжнародної підтримки, але сама по собі не гарантує високої привабливості для приватного інвестора. Тому база правил має враховувати специфіку кожного інструменту.

Для формалізації цих залежностей використовується ієрархічна нечітка система Mamdani. Її вибір пов’язаний із двома особливостями задачі. По-перше, значна частина вхідних характеристик не має однозначних порогових значень. Межа між «низькою» і «середньою» капіталомісткістю, «достатньою» і «недостатньою» ресурсною забезпеченістю або «високим» і «середнім» ризиком залежить від контексту. По-друге, оцінювання інвестиційних інструментів ґрунтується не лише на числових величинах, а й на причинно-логічних зв’язках, які зручно задавати у формі правил типу «якщо – то».

Підприємницький контур позначається E. Він характеризує можливості самого підприємства щодо формування та обслуговування інвестиційного забезпечення. До нього мають увійти показники, які відображають масштаб підприємства, його власну ресурсну базу, здатність залучати зовнішні ресурси, управлінську спроможність і рівень цифрової та інформаційно-аналітичної зрілості. Конкретний склад показників формується окремо, щоб уникнути дублювання близьких характеристик.

Проєктний контур P описує конкретний будівельний або відновлювальний проєкт. Він має враховувати його капіталомісткість, тривалість, очікуваний економічний результат, суспільну значущість, терміновість та інші характеристики, які можуть змінювати придатність окремих джерел ресурсів. Вплив цих показників не завжди односпрямований. Збільшення масштабу проєкту, наприклад, може зменшувати можливість

фінансування лише за рахунок власних ресурсів, але одночасно підвищувати доцільність партнерських або змішаних форм.

Інвестиційно-ресурсний контур R характеризує умови залучення конкретних ресурсів. Тут враховуються доступність інструменту, вартість залучення, строки, вимоги до забезпечення або співфінансування, а також обмеження щодо використання коштів. Саме цей контур найбільше залежить від виду інструменту. Для комерційного кредиту ключовими будуть процентна ставка, строк, забезпечення та графік обслуговування. Для гранту – розмір доступного фінансування, частка співфінансування, цільове призначення, конкурсні умови та період реалізації. Тому ресурсні характеристики не можуть трактуватися однаково для всіх інструментів.

Інституційно-ризиковий контур I відображає умови, які формуються поза межами підприємства. До нього належать воєнні та територіальні ризики, регуляторні обмеження, валютні та макроекономічні фактори, наявність державних або міжнародних програм, можливість страхування та гарантування окремих ризиків. За інших однакових умов зміна цього контуру може суттєво змінити придатність інструменту. Наприклад, кредитний механізм, який є прийнятним за наявності державної гарантії або страхування воєнного ризику, може стати непридатним після скасування такого механізму.

На першому рівні ієрархії передбачається по п’ять первинних показників у кожному контурі. Таким чином, загальна кількість базових вхідних змінних становитиме близько 20. Для підприємницького контуру вони позначаються E_1–E_5, для проєктного – P_1–P_5, для інвестиційно-ресурсного – R_1–R_5, для інституційно-ризикового – I_1–I_5.

Структура першого рівня моделі має вигляд:

$$(E_1, E_2, \ldots, E_5) \rightarrow E(P_1, P_2, \ldots, P_5) \rightarrow P(R_1, R_2, \ldots, R_5) \rightarrow R(I_1, I_2, \ldots, I_5) \rightarrow I\text{Ці}$$

величини мають службове значення всередині ієрархічної системи. Їх не слід трактувати як універсальні індекси підприємницького потенціалу, проєктної

привабливості або інституційної якості. Їх функція полягає у стислому поданні відповідних груп умов для подальшого нечіткого виведення.

На верхньому рівні ієрархії чотири агреговані змінні використовуються для розрахунку ступеня придатності конкретного інструменту:

$(E, P, R, I) \to S_i$ Для кожного інвестиційного інструменту формується власна система правил верхнього рівня. Це дозволяє використовувати однакову загальну архітектуру, але різну логіку прийняття рішення. Якщо для комерційного кредиту одночасне поєднання високої платоспроможності підприємства, прийнятного ризику та достатньої дохідності проєкту може формувати високе S_i, то для гранту ключовими можуть бути інші поєднання характеристик. Отже, відмінність між інструментами закладається не тільки у значення вхідних параметрів, а й у саму базу правил.

Для заданої комбінації умов результатом роботи системи є вектор:

$$S = [S_1, S_2, \ldots, S_m] \qquad (2.2)$$

де m – кількість інвестиційних інструментів, що розглядаються.

Нечітка модель використовується на цьому етапі саме для попередньої діагностики сумісності між інструментом та умовами його застосування [165, 166]. Вона відповідає на питання «наскільки цей інструмент відповідає даній ситуації», але не на питання «яку частку інвестиційної потреби він повинен покривати». Друге завдання потребує вже кількісної оптимізації структури ресурсів.

Застосування нечіткої логіки дозволяє уникнути жорстких меж там, де економічний зміст показника змінюється поступово [167, 168]. Аналогічно можуть описуватися рівень ризику, управлінська зрілість, доступність ресурсів або терміновість проєкту [169, 170]. Разом із тим нечітка логіка не усуває потребу в обґрунтуванні параметрів моделі. Результат залежить від того, які показники включено до системи, як задано межі функцій належності та які правила використано. Якщо, наприклад, межі між низьким, середнім і високим рівнями встановлюються довільно, вихід моделі лише формально виглядатиме точним. Тому параметри функцій належності та база правил мають спиратися

на зміст показників, доступні статистичні дані, нормативні умови використання інвестиційних інструментів та експертні оцінки там, де числових даних недостатньо [171, 172].

Слабким місцем ієрархічної структури є часткова втрата інформації під час переходу від п’яти первинних показників до одного агрегованого значення E, P, R або I. Різні комбінації первинних змінних можуть дати близький агрегований результат. Наприклад, середнє значення проєктного контуру може бути отримане як за рахунок високої дохідності та низької суспільної значущості, так і за протилежної комбінації. Для окремих інвестиційних інструментів ці ситуації можуть мати різний зміст. Через це локальні підсистеми повинні формуватися так, щоб критичні для конкретного інструменту характеристики не втрачалися в процесі агрегування.

Інше обмеження пов’язане з динамікою інституційного середовища. Умови пільгового кредитування, грантових конкурсів, державних гарантій, міжнародних програм або страхування воєнних ризиків можуть змінюватися протягом відносно короткого періоду [173–175]. Тому модель не повинна розглядатися як система з незмінними параметрами. Частина змінних інвестиційно-ресурсного та інституційно-ризикового контурів потребуватиме оновлення при зміні умов доступу до ресурсів.

Концептуальна архітектура нечіткої моделі таким чином має два рівні. На першому рівні приблизно 20 первинних показників об’єднуються в чотири агреговані контури. На другому рівні їх поєднання використовується для оцінювання окремих інвестиційних інструментів. Загальну логіку можна подати так:

$$\{E_1,\dots,E_5,\ ,P_1,\dots,P_5,\ ,R_1,\dots,R_5,\ I_1\dots I_5\} \to \{E,P,R,I\} \to S_i$$ Для множини з m інструментів:

$$\{E,P,R,I\} \to \{S_1,S_2,\dots,S_m\}$$ Отримані значення S_i надалі використовуються не тільки для порівняння інвестиційних інструментів у практичній частині дослідження. Вони також формують вихідну основу наступного етапу

моделювання. Методом Монте Карло генерується велика кількість допустимих комбінацій первинних параметрів чотирьох контурів. Кожна така комбінація пропускається через нечітку систему, після чого для неї визначається вектор придатності інструментів.

У результаті формується синтетична вибірка виду:

$$(E_1,\ldots,E_5,\ ,P_1,\ldots,P_5,\ ,R_1,\ldots,R_5,\ I_1\ldots I_5)\rightarrow(S_1,S_2,\ldots,S_m)$$Ця вибірка надалі використовується для побудови моделей машинного навчання та пояснення сформованих залежностей між вхідними параметрами і придатністю інвестиційних інструментів. Машинне навчання в такій конструкції не є незалежним способом перевірки нечіткої системи. Воно відтворює залежності, закладені в нечітку модель, на великій кількості сценаріїв і дозволяє дослідити їх у формі, придатній для подальшого аналізу.

Побудова нечіткої моделі потребує переходу від загальної конструкції чотирьох контурів до системи змінних, які можна безпосередньо використовувати під час нечіткого виведення [176, 177]. Для цього кожний контур має бути представлений обмеженою кількістю показників, що характеризують різні сторони одного об’єкта і при цьому не дублюють один одного. За прийнятою архітектурою для кожного контуру використовується п’ять первинних змінних. Загальна кількість входів першого рівня становить 20.

До складу показників висувалися кілька вимог. По-перше, вони повинні мати зміст саме на рівні будівельного підприємства та конкретного проєкту, а не характеризувати фінансову систему або будівельну галузь у цілому. По-друге, показник повинен мати зрозумілий зв’язок із можливістю використання хоча б одного з інвестиційних інструментів. По-третє, значення має бути доступним із фінансової звітності, управлінського обліку, проєктної документації, умов програм фінансування або через формалізоване експертне оцінювання. Показники, для яких неможливо визначити спосіб вимірювання, до моделі не включалися.

Окремо враховувалася проблема кореляції між вхідними змінними. Наприклад, величина активів, обсяг доходу та чисельність працівників одночасно характеризують масштаб підприємства. Використання всіх трьох змінних окремо збільшило б вагу одного й того самого фактора. Тому для підприємницького контуру обрано лише один прямий показник масштабу, а інші змінні характеризують уже фінансову автономію, стабільність грошових потоків, управлінську та цифрово-аналітичну спроможність.

Аналогічний принцип використано для проєктного контуру. Капіталомісткість не замінюється кількома близькими показниками кошторисної вартості, площі або обсягу робіт. Тривалість проєкту виділяється окремо, оскільки її вплив на строкову відповідність інвестиційного інструменту відрізняється від впливу вартості проєкту. Економічна результативність відокремлена від суспільної значущості, що дає змогу не ототожнювати комерційно привабливі та соціально пріоритетні проєкти. Сформовану систему вхідних параметрів наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Система вхідних показників нечіткої моделі оцінювання придатності інвестиційних інструментів.

Код	Показник	Економічний зміст	Спосіб вимірювання	Вихідна шкала	Напрям впливу	Основне джерело даних
E1	Масштаб операційної діяльності підприємства	Відображає фактичний обсяг господарської діяльності та потенційну здатність реалізовувати проєкти відповідного	Чистий дохід від реалізації продукції, робіт і послуг за останні 12 місяців	млн грн/рік	переважно +	фінансова звітність, управлінський облік

		масштабу				
E2	Фінансова автономія підприємства	Характеризує частку активів, сформовану за рахунок власного капіталу	Власний капітал / активи	0–1	+	баланс підприємства
E3	Стабільність операційного грошового потоку	Показує регулярність формування внутрішнього грошового потоку, з якого можуть фінансуватися інвестиції та обслуговуватися зобов’язання	Розрахунковий коефіцієнт на основі динаміки операційного грошового потоку	0–1	+	звіт про рух грошових коштів, управлінський облік
E4	Управлінська зрілість	Характеризує здатність підприємства планувати, контролювати та координувати реалізацію інвестиційного проєкту	Формалізована оцінка за набором організаційно-управлінських критеріїв	1–5 балів	+	внутрішні регламенти, організаційні документи, експертне оцінювання
E5	Цифрово-аналітична зрілість	Відображає використання цифрових систем, обліку,	Формалізована оцінка рівня цифровізації та аналітичної	1–5 балів	+	інформаційні системи підприємства,

		планування, аналітики та обміну даними	підтримки управління			внутрішня документація
P1	Капіталомісткість проєкту	Визначає загальну потребу проєкту в інвестиційних ресурсах	Загальна інвестиційна потреба проєкту	млн грн	залежить від інструменту	кошторис, бізнес-план, техніко-економічне обґрунтування
P2	Очікувана економічна результативність проєкту	Характеризує співвідношення очікуваного економічного результату та вкладених ресурсів	Індекс дохідності дисконтованих грошових потоків	коефіцієнт	переважно +	фінансова модель проєкту
P3	Тривалість реалізації проєкту	Визначає часовий горизонт потреби в інвестиційних ресурсах	Кількість місяців від початку фінансування до завершення основного інвестиційного циклу	місяці	залежить від інструменту	календарний план, графік реалізації
P4	Суспільна значущість проєкту	Характеризує внесок проєкту у відновлення житлового фонду та задоволення суспільних потреб	Оцінка за формалізованою п’ятирівневою шкалою	1–5 балів	інструмент-залежний, для програм підтримки +	проєктна документація, програми відновлення, експертне оцінювання
P5	Терміновість реалізації	Відображає допустимість	Оцінка за п’ятирівневою	1–5 балів	інструмент-	план відновлення

	проєкту	відтермінування проєкту та необхідну швидкість мобілізації ресурсів	шкалою		залежний	, замовник, проєктна документація
R1	Рівень покриття інвестиційної потреби інструментом	Показує, яку частину загальної потреби проєкту потенційно може забезпечити конкретний інструмент	Доступний обсяг ресурсу / інвестиційна потреба	0–1	+	умови кредиту, гранту, програми, пропозиція інвестора
R2	Вартість залучення ресурсу	Відображає економічну ціну використання конкретного інструменту	Відносні витрати на залучення та обслуговування ресурсу	%	–	банківська пропозиція, умови інвестора, договори, програми
R3	Строкова відповідність ресурсу	Характеризує відповідність доступного строку використання ресурсу потребам проєкту	Строк доступності ресурсу / необхідний строк фінансування	0–1	+ до досягнення достатнього строку	умови інструменту, графік проєкту
R4	Навантаження на власні ресурси підприємства	Показує співвідношення обов’язкової власної участі	Необхідний власний внесок / доступні власні інвестиційні ресурси	коефіцієнт	–	умови фінансування, управлінськ

		та реально доступних власних ресурсів				ий облік
R5	Гнучкість умов використання ресурсу	Характеризує можливість зміни графіка, напрямів витрат, траншів і параметрів використання ресурсу	Формалізована оцінка обмежень інструменту	1–5 балів	+	кредитна, грантова або інвестиційна документація
I1	Воєнно-територіальний ризик	Відображає ризики фізичної втрати активів, зупинки робіт, обмеження доступу та логістики	П’ятирівнева оцінка ризику території реалізації	1–5 балів	–	карти ризику, страхові оцінки, дані органів влади
I2	Регуляторно-інституційна стабільність	Характеризує передбачуваність правил реалізації проєкту та використання обраного інструменту	Формалізована оцінка за п’ятирівневою шкалою	1–5 балів	+	нормативні акти, умови програм, експертне оцінювання
I3	Валютна експозиція інвестиційного забезпечення	Відображає частку ресурсів, платежів або зобов’язань,	Валютно-чутливі зобов’язання / загальний обсяг залучених ресурсів	0–1	–	договори, фінансова модель, валютна структура

		чутливих до зміни валютного курсу				ресурсів
I4	Доступність програм державної та міжнародної підтримки	Показує фактичну відповідність підприємства і проєкту формальним вимогам доступних програм	Частка програм, для яких виконуються критерії участі	0–1	+	державні та міжнародні програми підтримки
I5	Рівень гарантійного та страхового покриття	Характеризує частину ризикової експозиції, яка покрита гарантією або страхуванням	Покритий гарантією/страхуванням обсяг / обсяг ризикової експозиції	0–1	+	гарантійні договори, страхові поліси, умови програм

Джерело: розроблено автором

У табл. 4.1 наведені вихідні, а не нормовані шкали. Наприклад, E1 може вимірюватися десятками або сотнями мільйонів гривень, P3 – місяцями, тоді як E2 або R1 відразу мають безрозмірну форму. Перехід до спільного інтервалу [0;1] здійснюється лише перед фазифікацією [178, 179], що дозволяє спочатку зберегти економічний зміст показників і не змішувати процедуру їх визначення з процедурою нормування.

Позначення напряму впливу також не означає, що в усіх нечітких правилах використовується проста лінійна залежність. Для частини параметрів збільшення значення загалом покращує можливості підприємства або доступність ресурсу. Для інших зв’язок залежить від виду інвестиційного інструменту. Особливо це стосується капіталомісткості та тривалості проєкту,

суспільної значущості та терміновості. Їх вплив формується вже на рівні бази нечітких правил.

E1. Масштаб операційної діяльності підприємства. Показник E1 використовується для відображення фактичного масштабу господарської діяльності підприємства. За основну кількісну характеристику пропонується прийняти чистий дохід від реалізації будівельних робіт, продукції та послуг за останні 12 місяців. На відміну від вартості активів, цей показник безпосередньо характеризує обсяг діяльності, який підприємство фактично здійснює. Вихідне значення E1 вимірюється у млн грн на рік. Для підприємств із суттєвою сезонністю доцільно використовувати повний дванадцятимісячний період, а не дані одного кварталу. Якщо підприємство працює менше року, показник може бути перерахований у річний еквівалент, однак така оцінка має нижчу надійність. Масштаб підприємства не трактується як абсолютна перевага. Більший дохід підвищує здатність обслуговувати великі проєкти, виконувати вимоги кредиторів або брати на себе більшу частку співфінансування. Водночас сам по собі великий оборот не гарантує ліквідності чи стабільності грошових потоків. Саме тому E1 не замінює E2 та E3. Основними джерелами є фінансова звітність і дані управлінського обліку. Для практичного застосування моделі доцільно використовувати підтверджені дані за останній завершений фінансовий рік або за останні 12 місяців.

E2. Фінансова автономія підприємства показує, яка частина активів підприємства сформована за рахунок власного капіталу. Цей показник використовується не для повної оцінки фінансового стану, а для визначення ступеня залежності підприємства від зовнішніх зобов’язань до моменту реалізації нового інвестиційного проєкту.

Розрахунок здійснюється за формулою:

$$E_2 = \frac{K_{вл}}{A} \qquad (2.3)$$

де Квл – власний капітал підприємства; А – загальна вартість активів.

Значення E2 теоретично може бути меншим за 0 за наявності від’ємного власного капіталу, однак для нечіткої моделі такі випадки повинні окремо оброблятися на етапі нормування. Для фінансово стійкого підприємства коефіцієнт перебуває в додатному діапазоні від 0 до 1.

Вища фінансова автономія загалом розширює можливості використання боргових та змішаних інструментів, оскільки підприємство має більший власний буфер. Водночас вона не означає, що боргове фінансування автоматично стає кращим варіантом. Остаточний вплив формується разом із характеристиками проєкту та самого інструменту.

Джерелом є баланс підприємства за останній звітний період. Для підприємств зі значними сезонними коливаннями доцільно додатково перевіряти середнє значення за декілька кварталів.

E3. Стабільність операційного грошового потоку характеризує не величину, а регулярність формування операційного грошового потоку. Саме грошовий потік, а не бухгалтерський прибуток, визначає здатність підприємства своєчасно виконувати платежі, фінансувати частину інвестицій власними коштами та обслуговувати залучені ресурси.

Для оцінювання пропонується використати коефіцієнт, побудований на основі варіації операційного грошового потоку:

$$E_3 = \frac{1}{1 + CV_{OCF}} \tag{2.4}$$

де

$$CV_{OCF} = \frac{\sigma_{OCF}}{|\overline{OCF}|} \tag{2.5}$$

σOCF – стандартне відхилення операційного грошового потоку за обраний період; $\overline{OCF}$ – його середнє значення.

Чим менша мінливість грошового потоку відносно його середнього рівня, тим ближчим є E3 до 1. За високої нестабільності показник наближається до 0.

Для розрахунку доцільно використовувати квартальні дані щонайменше за 12 кварталів. Річні значення дають лише три спостереження за трирічний період, чого недостатньо для надійної оцінки варіації.

Якщо середній операційний грошовий потік є від'ємним або близьким до нуля, механічне використання коефіцієнта варіації стає некоректним. У такому випадку E3 має переводитися до найнижчої категорії або розраховуватися за спеціальним правилом. Це обмеження необхідно врахувати при програмній реалізації.

E4. Управлінська зрілість характеризує організаційну спроможність підприємства реалізовувати проєкт і виконувати вимоги, пов'язані із залученням інвестиційних ресурсів. Показник не повинен визначатися одним суб'єктивним запитанням типу «наскільки добре організоване управління». Для нього доцільно сформувати окрему карту оцінювання.

До критеріїв можуть входити наявність формалізованого планування, бюджетування, управління ризиками, розподілу відповідальності, контролю строків і витрат, внутрішнього аудиту, проєктного управління та регулярної управлінської звітності. Для зменшення суб'єктивності оцінка повинна ґрунтуватися не лише на думці керівника, а й на наявності документальних підтверджень: бюджетів, регламентів, системи відповідальності, звітів, планів управління ризиками.

E5. Цифрово-аналітична зрілість відображає здатність підприємства збирати, інтегрувати та аналізувати дані, необхідні для управління будівельними й інвестиційними процесами. Значення цього показника пов'язане, зокрема, з можливістю підготовки звітності для банку, грантодавця або приватного інвестора та контролю цільового використання ресурсів.

До оцінювання можуть бути включені електронний управлінський облік, планування ресурсів, цифровий контроль календарних графіків, управління договорами, використання інформаційного моделювання будівель, автоматизована аналітика та інтеграція основних інформаційних систем. E5 має позитивний напрям впливу, але його вага для різних інструментів

відрізнятиметься. Для невеликого проєкту, що фінансується власними ресурсами, цей фактор може мати обмежене значення. Для міжнародної програми з детальними вимогами до звітності його роль може бути суттєвою.

P1. Капіталомісткість проєкту визначає загальний обсяг ресурсів, необхідних для реалізації проєкту. До розрахунку повинні включатися всі інвестиційні витрати, які потребують фінансування протягом розрахункового горизонту.

$$P_1 = I_\Sigma \qquad (2.6)$$

де IΣ – загальна інвестиційна потреба проєкту, млн грн.

Джерелом є кошторисна документація, бізнес-план або техніко-економічне обґрунтування. Якщо фінансування здійснюється поетапно, доцільно використовувати не тільки загальну суму, а й календарний розподіл потреби. Однак у базовій нечіткій моделі P1 залишається одним агрегованим параметром.

Напрям впливу P1 не є однозначним. Зі збільшенням капіталомісткості знижується можливість фінансування лише власними ресурсами, але можуть зростати передумови для використання синдикованого кредитування, приватного капіталу, державно-приватного партнерства або змішаного фінансування. Через це P1 не повинен нормуватися за принципом «чим більше, тим краще».

P2. Очікувана економічна результативність проєкту характеризує здатність проєкту формувати економічний результат відносно обсягу вкладених ресурсів. Для забезпечення порівнюваності доцільно використовувати індекс дохідності дисконтованих потоків, а не абсолютне значення чистої приведеної вартості, яке суттєво залежить від масштабу проєкту.

Розрахунок:

$$P_2 = \frac{\sum_{t=1}^{T} C \frac{F_t^{+¿}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{T} \frac{I_t}{(1+r)^t}} ¿ \qquad (2.7)$$

де $CF^{+}t$ – позитивний грошовий потік проєкту в періоді t; It – інвестиційні витрати; r – ставка дисконтування; T – розрахунковий горизонт.

Значення P2 > 1 означає перевищення приведених надходжень над приведеними інвестиційними витратами. Значення нижче 1 свідчить про недостатню комерційну дохідність за прийнятої ставки дисконтування.

Для соціальних проєктів післявоєнного відновлення низьке P2 не означає автоматичну неприйнятність. Навпаки, така комбінація може знижувати придатність приватного інвестиційного капіталу, але одночасно підвищувати відносну роль грантових або бюджетно підтримуваних механізмів. Тому P2 взаємодіє з P4.

P3. Тривалість реалізації проєкту визначає часовий горизонт основного інвестиційного циклу. Відлік доцільно здійснювати від моменту першого залучення інвестиційних ресурсів до завершення будівництва та введення об’єкта в експлуатацію або до іншого моменту, після якого потреба в основному інвестиційному фінансуванні припиняється.

Значення P3 не має універсального позитивного або негативного напряму. Короткий проєкт може добре відповідати короткостроковому кредиту або власному фінансуванню. Для тривалого проєкту може бути потрібний довгостроковий кредит, приватний капітал чи партнерська модель. Водночас надто тривалий період підвищує ризик зміни вартості, попиту, регуляторних умов і параметрів самого інструменту.

P4. Суспільна значущість проєкту потрібний для розмежування проєктів, які можуть мати однакові фінансові характеристики, але різне значення для процесу відновлення. Наприклад, відновлення зруйнованого житлового фонду для внутрішньо переміщених осіб і будівництво комерційного житлового комплексу можуть мати подібну капіталомісткість,

але різну придатність для грантового чи пільгового фінансування. Напрям впливу є інструмент-залежним. Високий P4 може суттєво підвищувати придатність грантових, пільгових та партнерських схем, але не обов'язково приватного комерційного капіталу.

P5. Терміновість реалізації проєкту характеризує допустимий час очікування до початку та завершення проєкту. Він відрізняється від P3. Тривалість показує, скільки часу об'єктивно займає реалізація проєкту, а терміновість – наскільки критичним є його відтермінування. Висока терміновість підвищує вимоги до швидкості залучення ресурсів. Інструмент із низькою вартістю, але шестимісячною процедурою погодження може бути менш придатним, ніж дорожчий ресурс, доступний протягом декількох тижнів. Саме тому P5 має використовуватися разом із характеристиками ресурсного контуру.

R1. Рівень покриття інвестиційної потреби інструментом визначає, яку частину загальної інвестиційної потреби потенційно може забезпечити конкретний інструмент.

$$R_{1i} = min\left(\frac{V_i^{avail}}{I_\Sigma}, 1\right) \qquad (2.8)$$

де $V^{avail}i$ – максимально доступний обсяг ресурсу за і-м інструментом; IΣ – загальна інвестиційна потреба проєкту.

Обмеження значення одиницею вводиться тому, що ресурс, який перевищує потребу проєкту, не створює додаткової переваги з позиції покриття фінансування.

R2. Вартість залучення ресурсу характеризує економічні витрати підприємства, пов'язані з використанням конкретного джерела. Для боргових інструментів основою є процентна ставка, комісії та інші обов'язкові платежі. Для приватного капіталу – очікувана дохідність, яку вимагає інвестор. Для грантових ресурсів прямі витрати можуть бути мінімальними, але залишаються витрати на адміністрування, аудит, підготовку звітності або виконання спеціальних умов.

У базовому вигляді відносну вартість можна визначити як:

$$R_{2i} = \frac{C_i}{V_i} \cdot 100\% \qquad (2.9)$$

де Ci – сукупні витрати, безпосередньо пов'язані із залученням і використанням ресурсу; Vi – обсяг фактично доступного ресурсу.

Для інструментів із різними строками доцільно додатково переводити вартість до річного еквівалента. Конкретна процедура повинна бути однаковою для всіх альтернатив, які порівнюються. Напрям впливу негативний: за інших однакових умов збільшення вартості ресурсу знижує його придатність.

R3. Строкова відповідність ресурсу показує, чи відповідає період доступності ресурсу часовим потребам проєкту.

$$R_{3i} = min\left(\frac{T_i^{res}}{T^{need}}, 1\right) \qquad (2.10)$$

де $T_{res}i$ – строк, протягом якого ресурс може використовуватися; T^{need} – необхідний строк інвестиційного фінансування проєкту.

Якщо проєкту необхідне фінансування протягом 36 місяців, а інструмент надається лише на 12 місяців, R3 = 0,33. Якщо ресурс доступний 48 місяців, значення обмежується одиницею. Таке обмеження означає, що подовження строку понад потребу проєкту саме по собі не підвищує придатність. Додатковий строк може мати інші переваги, але вони не повинні двічі враховуватися в цьому показнику.

R4. Навантаження на власні ресурси підприємства. Багато зовнішніх інструментів не фінансують 100 % вартості проєкту. Грант може вимагати співфінансування, кредит – власного внеску, приватний інвестор – участі підприємства в капіталі проєкту. Тому необхідно оцінювати не лише доступність зовнішнього ресурсу, а й здатність підприємства виконати умови власної участі.

$$R_{4i} = \frac{V_i^{own,req}}{V^{own,avail}} \qquad (2.11)$$

де V^{own,req_i} – обсяг власних ресурсів, який підприємство повинно внести для використання і-го інструменту; $V^{own,avail}$ – реально доступні власні інвестиційні ресурси підприємства.

Якщо R4 < 1, підприємство має достатньо власних ресурсів для виконання вимоги. Значення, наближене до 1, означає майже повне використання доступного внутрішнього резерву. R4 > 1 означає, що умова власної участі за поточного стану підприємства не може бути виконана без залучення додаткового ресурсу. На відміну від більшості коефіцієнтів моделі, зростання R4 є негативним.

R5. Гнучкість умов використання ресурсу характеризує ступінь свободи підприємства під час фактичного використання залучених коштів. Два інструменти з однаковою вартістю та обсягом можуть суттєво відрізнятися можливістю змінювати графік вибірки коштів, структуру допустимих витрат, строки окремих траншів або параметри проєкту.

Для грантових програм R5 може бути нижчим через цільовий характер витрат. Для власних ресурсів він, як правило, буде високим. Це не означає, що власні ресурси автоматично є кращими, оскільки паралельно враховуються R1, альтернативна вартість та інші параметри.

I1. Воєнно-територіальний ризик характеризує ризик, пов’язаний із територією реалізації проєкту. До нього належать можливість фізичного пошкодження об’єкта, обмеження доступу до будівельного майданчика, ризик повторного руйнування, мінування території, порушення логістики та інші фактори, які безпосередньо впливають на реалізацію проєкту. Напрям впливу негативний. Водночас сила впливу залежить від інструменту. Наявність державної гарантії або страхового покриття може частково компенсувати високий I1, що відображається через взаємодію з I5.

I2. Регуляторно-інституційна стабільність відображає передбачуваність нормативних та інституційних умов, у яких підприємство реалізує проєкт і використовує конкретний інвестиційний інструмент.

Оцінювання може враховувати стабільність правил програми, дозвільних процедур, податкових умов, вимог до учасників, механізмів державної підтримки, а також ризик дострокової зміни умов фінансування.

I3. Валютна експозиція інвестиційного забезпечення показує, яка частина інвестиційного забезпечення або майбутніх платежів підприємства залежить від валютного курсу.

$$I_3 = \frac{V^{FX}}{V_\Sigma} \qquad (2.12)$$

де VFX – обсяг ресурсів або зобов'язань, номінованих в іноземній валюті чи безпосередньо прив'язаних до неї; VΣ – загальний обсяг відповідних інвестиційних ресурсів або зобов'язань.

Якщо підприємство одночасно отримує валютну виручку, може існувати природне хеджування. У розширеній версії показника доцільно враховувати лише непокриту валютну позицію. Для першої реалізації моделі простіша частка валютно-чутливих зобов'язань є більш прозорою.

Напрям впливу негативний: за інших однакових умов вища валютна експозиція збільшує невизначеність майбутніх платежів.

I4. Доступність програм державної та міжнародної підтримки характеризує не загальну кількість програм підтримки, а фактичну можливість конкретного підприємства та конкретного проєкту брати в них участь.

$$I_4 = \frac{n_{elig}}{n_{rel}} \qquad (2.13)$$

де nelig – кількість релевантних програм, формальні критерії яких виконує підприємство та проєкт; nrel – загальна кількість виявлених програм, потенційно релевантних для даного типу проєкту. Якщо релевантних програм немає, I4 приймається рівним 0. До критеріїв доступності можуть входити тип підприємства, місце реалізації проєкту, сектор, мінімальний і максимальний обсяг інвестицій, вимоги до співфінансування, цільове призначення, статус заявника та строки подання заявки. Напрям впливу позитивний. При цьому I4

необхідно регулярно оновлювати, оскільки склад програм і умови доступу до них можуть змінюватися.

I5. Рівень гарантійного та страхового покриття відображає частину ризикової експозиції, яка може бути передана гаранту, страховикові або іншій стороні.

$$I_5 = min\left(\frac{V^{cover}}{V^{risk}}, 1\right) \qquad (2.14)$$

де V^{cover} – обсяг зобов'язань або активів, покритий гарантією чи страхуванням; V^{risk} – загальний обсяг відповідної ризикової експозиції.

Значення I5 = 0 означає відсутність покриття, I5 = 1 – повне покриття врахованої експозиції. Показник особливо суттєвий для боргового фінансування та інструментів, які використовуються в умовах підвищеного територіального або політичного ризику. Гарантія не усуває самого ризику реалізації проєкту, але може змінити його розподіл між підприємством, кредитором, державою, міжнародною установою або страховиком.

Запропонована система з 20 показників дозволяє описати чотири різні групи умов без прямого дублювання змінних. Підприємницький контур відповідає на питання, що спроможне зробити саме підприємство. Проєктний – який об'єкт потребує ресурсів і за яких умов він реалізується. Інвестиційно-ресурсний – що фактично пропонує конкретний інструмент і яких дій він вимагає від підприємства. Інституційно-ризиковий – які зовнішні обмеження або механізми підтримки змінюють можливість використання цього інструменту.

2.2. Концепція імітаційно-предиктивного дослідження придатності інвестиційних інструментів будівельних підприємств

Нечітке моделювання дозволяє визначати ступінь придатності окремих інвестиційних інструментів для заданої конфігурації умов діяльності будівельного підприємства. На її вході враховуються характеристики підприємницького, проєктного, інвестиційно-ресурсного та інституційно-

ризикового контурів, а результатом є вектор оцінок придатності інвестиційних інструментів S_i у межах від 0 до 1 [180].

Така модель придатна для оцінювання конкретної ситуації, однак подальше формування архітектури інвестиційного забезпечення потребує аналізу значно ширшого простору можливих станів [181]. Параметри підприємства, характеристики проєкту, доступність фінансових ресурсів, вартість капіталу, рівень ризику та інституційні обмеження можуть змінюватися одночасно. У результаті кількість можливих конфігурацій швидко зростає, а багаторазове використання повної нечіткої системи в подальших оптимізаційних процедурах суттєво збільшує обчислювальне навантаження [182].

Тому в межах цього дослідження запропоновано перейти від одноразового нечіткого оцінювання до імітаційно-предиктивної системи, в якій результати Fuzzy Logic використовуються для формування навчального середовища машинного навчання. Основою такого переходу є імітаційне моделювання Монте Карло [183, 184]. Воно дозволяє сформувати велику кількість допустимих сценаріїв, кожен з яких описує окрему комбінацію параметрів чотирьох контурів. Після проходження через нечітку модель для кожного сценарію отримується набір значень придатності інвестиційних інструментів.

Узагальнено один сценарій можна представити як вектор вхідних характеристик:

$$X^{(k)} = \left(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, .., .. x_m^{(k)} \right), \qquad (2.15)$$

де k– номер імітаційного сценарію; m– кількість вхідних показників моделі.

Для кожного такого сценарію нечітка система формує вихідний вектор:

$$S^{(k)} = \left(S_1^{(k)}, S_2^{(k)}, .., .. S_n^{(k)} \right), \qquad (2.16)$$

де n– кількість інвестиційних інструментів, що розглядаються.

Сукупність пар $X^{(k)} \to S^{(k)}$ утворює синтетичний набір даних, який використовується для побудови предиктивної моделі. У цьому випадку

машинне навчання не замінює нечітку систему і не є засобом незалежної перевірки її правильності. Його функція полягає в апроксимації сформованої нечіткою моделлю залежності між параметрами інвестиційної ситуації та придатністю окремих інструментів.

Загальну логіку переходу від моделі до імітаційно-предиктивного блоку доцільно подати у вигляді схеми.



Рис. 2.2. Архітектура переходу від нечіткої моделі до імітаційно-предиктивної системи. Джерело: розроблено автором.

Така послідовність формує дворівневу модель. Перший рівень виконує змістовне оцінювання придатності інвестиційних інструментів на основі правил Fuzzy Logic. Другий рівень апроксимує отриману залежність засобами машинного навчання та забезпечує її швидке відтворення для нових комбінацій вхідних параметрів [185].

Важливо, що предметом прогнозування залишається не безпосередній обсяг фінансування або структура капіталу підприємства, а саме ступінь придатності конкретного інвестиційного інструменту за заданих умов. Такий підхід дозволяє зберегти логічний зв’язок між результатами 4.1 та наступною оптимізаційною моделлю. На етапі 4.3 прогнозовані значення S_iможуть використовуватися як один із ключових параметрів під час формування та порівняння альтернативних архітектур інвестиційного забезпечення.

Додатковою перевагою такого переходу є можливість застосування методів Explainable AI. Якщо нечітка модель задає логіку оцінювання через систему правил, то SHAP-аналіз дозволяє вже на рівні сурогатна-моделі

кількісно оцінити внесок окремих факторів у зміну придатності кожного інвестиційного інструменту, що створює основу не лише для прогнозування, а й для подальшої економічної інтерпретації отриманих залежностей.

Імітаційно-предиктивна система виконує проміжну, але принципово важливу функцію у загальній архітектурі дослідження. Вона трансформує результати нечіткого оцінювання у масштабований прогнозний інструмент, придатний для роботи з великою кількістю альтернатив і подальшого використання в багатокритеріальній оптимізації.

Імітаційно-предиктивна модель має охоплювати не одну задану конфігурацію умов, а широкий простір можливих станів будівельного підприємства та середовища реалізації інвестиційного рішення. Тому наступним етапом є формування множини сценаріїв, які відтворюють допустимі комбінації вхідних параметрів чотирьох контурів, сформованих у підрозділі 4.1.

Кожен імітаційний сценарій розглядається як окремий стан системи, що одночасно характеризує підприємство, проєкт, доступне інвестиційно-ресурсне середовище та інституційно-ризикові умови. Загальний вектор вхідних параметрів доцільно подати через чотири взаємопов'язані блоки:

$$X^{(k)}=\left[X_E^{(k)}, X_P^{(k)}, X_R^{(k)}, X_I^{(k)}\right], \qquad (2.17)$$

де X_E– показники підприємницького контуру; X_P– проєктного; X_R– інвестиційно-ресурсного; X_I– інституційно-ризикового контуру; k– номер сценарію.

Такий підхід дозволяє зберегти структуру нечіткої моделі 4.1 і водночас перейти від одиничного оцінювання до масового імітаційного експерименту. При цьому окремий сценарій не повинен трактуватися як випадковий набір незалежних чисел. Його параметри мають залишатися в межах економічно та логічно допустимої області.

Для кожного вхідного показника задається інтервал можливих значень:

$$x_j^{min} \le x_j^{(k)} \le x_j^{max}, \qquad (2.18)$$

де x_j^{min} та x_j^{max} визначають нижню і верхню межі допустимого значення j-го показника.

Межі доцільно встановлювати відповідно до шкал, використаних у нечіткій моделі. Якщо показники 4.1 попередньо нормовані до інтервалу $[0;1]$, сценарне моделювання також доцільно здійснювати в цьому просторі. Це усуває необхідність повторного масштабування і забезпечує безпосередню сумісність Монте Карло з уже сформованою FIS [186, 187].

Принципову структуру сценарного простору можна подати в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Структура простору імітаційних сценаріїв

Контур	Зміст параметрів	Роль у сценарії
Підприємницький	характеристики фінансового, організаційного та ресурсного стану підприємства	визначає внутрішню спроможність підприємства використовувати певні інвестиційні інструменти
Проєктний	параметри конкретного проєкту післявоєнного відновлення	характеризує потребу в ресурсах, масштаб, тривалість та специфіку фінансування
Інвестиційно-ресурсний	доступність, вартість та умови залучення інвестиційних ресурсів	формує зовнішні можливості використання окремих джерел та інструментів
Інституційно-ризиковий	нормативні, макроекономічні, воєнні та інші ризикові умови	визначає обмеження та ризики реалізації інвестиційного рішення

Джерело: розроблено автором

При формуванні сценаріїв необхідно враховувати не лише межі окремих змінних, а й можливі обмеження на їх спільні комбінації. Наприклад, частина

параметрів може бути економічно несумісною між собою або формувати конфігурації, які практично не можуть виникнути. Такі сценарії доцільно виключати до передачі в нечітку модель. Це дозволяє уникнути навчання ML-моделі на формально допустимих, але економічно беззмістовних поєднаннях.

У загальному вигляді допустимий простір сценаріїв можна визначити як:

$$\Omega = \left\{ X, : x_j^{min} \le x_j \le x_j^{max} g_r(X) \le 0 \right\}, \qquad (2.19)$$

де Ω– область допустимих сценаріїв; $g_r(X)$– система обмежень, що виключає економічно або логічно недопустимі комбінації параметрів.

Особливе значення має вибір імовірнісних розподілів вхідних змінних. Якщо для певного показника доступні достатні емпіричні дані, доцільно використовувати розподіл, що відповідає його фактичній поведінці. Якщо таких даних немає, можуть застосовуватися обмежені рівномірні розподіли в межах установлених інтервалів. У цьому випадку важливо прямо зазначити, що рівномірний розподіл використовується не як твердження про реальну ймовірність усіх станів, а як інструмент систематичного дослідження простору можливих значень.

Для формування синтетичного набору даних планується згенерувати орієнтовно 20 000–50 000 допустимих сценаріїв. Такий обсяг має забезпечити достатнє покриття багатовимірного простору факторів і створити базу для подальшого навчання кількох регресійних алгоритмів. Остаточний розмір вибірки доцільно визначити експериментально за критерієм стабілізації статистичних характеристик виходів та точності сурогатна-моделі.

Після визначення області допустимих станів системи наступним етапом є безпосереднє формування множини імітаційних сценаріїв. Для цього в роботі використовується метод Монте Карло, який дозволяє дослідити поведінку моделі за великої кількості комбінацій вхідних параметрів та сформувати інформаційну основу для подальшого машинного навчання.

У межах запропонованої моделі Монте Карло виконує не функцію прогнозування майбутнього стану підприємства, а функцію генерації

сценарного простору [188]. Кожна реалізація відображає один можливий стан будівельного підприємства, проєкту та зовнішнього інвестиційного середовища. Тому результатом імітаційного етапу є не один прогнозний показник, а множина вхідних конфігурацій, яка надалі використовується як основа для багаторазового запуску нечіткої моделі.

Для кожного сценарію k формується значення кожної вхідної змінної:

$$x_j^{(k)} \sim F_j(\theta_j), \qquad (2.20)$$

де F_j – заданий розподіл j-го показника; θ_j – параметри цього розподілу; $k = 1, \ldots, N$; N – загальна кількість імітаційних сценаріїв.

Вибір розподілу для конкретного показника залежить від характеру доступної інформації. У випадку наявності достатньої емпіричної бази параметри розподілу можуть визначатися за фактичними даними. Проте для частини характеристик, особливо пов'язаних з умовами післявоєнного відновлення, достатні статистичні ряди можуть бути відсутніми або недостатньо стабільними. У такій ситуації доцільно використовувати рівномірне генерування значень у межах установленого допустимого інтервалу.

Для нормованих показників це може бути подано як:

$$x_j^{(k)} \sim U(0,1), \qquad (2.21)$$

за умови, що весь інтервал $[0;1]$ має економічну інтерпретацію та відповідає області визначення показника в нечіткій моделі.

Використання рівномірного розподілу в такому випадку не означає припущення про однакову ймовірність виникнення всіх станів у реальній діяльності підприємства. Його роль полягає у забезпеченні достатньо рівномірного дослідження простору можливих умов. Це особливо важливо для формування навчальної вибірки, оскільки надмірна концентрація сценаріїв у вузькій області факторного простору може призвести до високої точності ML-моделі лише для найбільш типових конфігурацій і погіршити її поведінку на крайових значеннях. Тому на етапі Монте Карло важливо забезпечити не лише

велику кількість реалізацій, а й достатнє покриття багатовимірного простору вхідних параметрів [189, 190]. У цьому дослідженні доцільно сформувати початкову вибірку обсягом приблизно 20 000–50 000 сценаріїв. Такий діапазон розглядається як робочий і надалі має бути перевірений експериментально. Остаточна кількість сценаріїв визначатиметься не формально, а за стабілізацією вихідних статистик і якістю навчання сурогатна-моделей.

Процедура імітації включає кілька послідовних операцій. Спочатку генеруються значення вхідних показників для всіх чотирьох контурів. Далі сформовані комбінації перевіряються на відповідність установленим обмеженням. Сценарії, які порушують економічні або логічні умови, виключаються. Лише після цього допустимі конфігурації передаються на вхід нечіткої моделі.

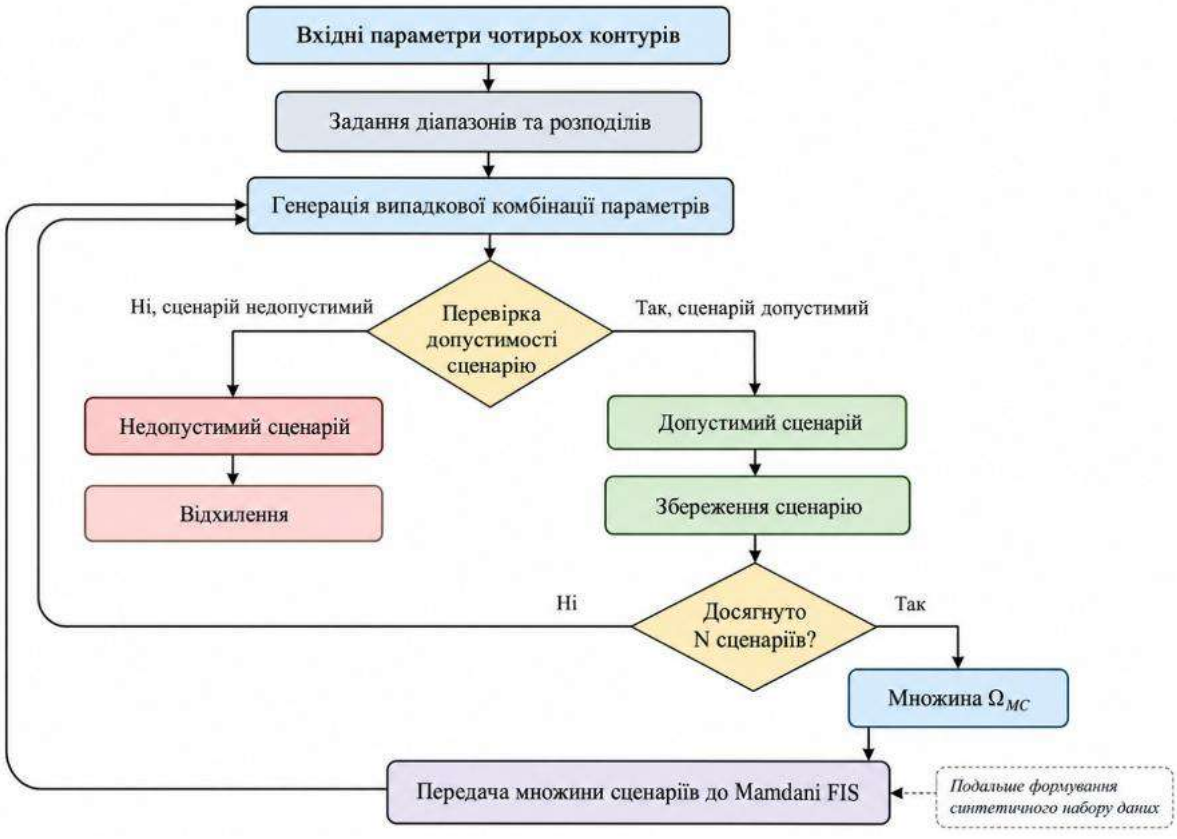

Рис. 2.3. Алгоритм формування допустимих сценаріїв методом Монте Карло. *Джерело: розроблено автором.*

Принципово важливим є питання залежності між вхідними показниками. Просте незалежне генерування всіх змінних є технічно

найпростішим варіантом, але не завжди економічно коректним. Частина характеристик підприємства або проєкту може бути взаємопов'язаною. Наприклад, окремі показники фінансової спроможності, вартості ресурсів, ризику або масштабу проєкту можуть демонструвати структурну залежність.

Тому повна модель Монте Карло повинна передбачати два режими. Для показників, між якими немає обґрунтованої залежності, допускається незалежне генерування [191]. Для взаємопов'язаних змінних необхідно або встановлювати кореляційну структуру, або задавати логічні обмеження на допустимі комбінації. Це має значення не лише для реалістичності сценаріїв, але й для подальшого машинного навчання. Якщо синтетичний датасет міститиме велику кількість комбінацій, що не мають економічного змісту, ML-модель навчатиметься відтворювати залежності в областях, які фактично не мають практичного застосування. Тому фільтрація сценарного простору є частиною методики, а не допоміжною технічною операцією.

Після формування множини допустимих сценаріїв кожна реалізація передається до Mamdani FIS:

$$S^{(k)} = F_{FIS}\left(X^{(k)}\right), \qquad (2.22)$$

де F_{FIS}– оператор нечіткого відображення вхідних параметрів у множину оцінок придатності інвестиційних інструментів.

У результаті одна реалізація Монте Карло трансформується з набору факторних характеристик у повну пару «входи–виходи»:

$$D^{(k)} = \left(X^{(k)}, S^{(k)}\right) \qquad (2.23)$$

Після виконання Nреалізацій формується множина:

$$D = \left\{\left(X^{(1)}, S^{(1)}\right), \left(X^{(2)}, S^{(2)}\right), .., .. \left(X^{(N)}, S^{(N)}\right)\right\}. \qquad (2.24)$$

Саме ця множина надалі стає синтетичним набором даних для машинного навчання. Доцільно також забезпечити відтворюваність імітаційного експерименту. Для цього під час програмної реалізації необхідно фіксувати початковий стан генератора випадкових чисел, що дозволить

повторно отримати ідентичну вибірку сценаріїв та перевірити результати розрахунків. Водночас для оцінювання стійкості моделі доцільно провести кілька додаткових запусків з іншими початковими значеннями генератора і порівняти основні статистичні характеристики отриманих вибірок [192, 193].

Ще одним контрольним елементом має бути перевірка того, наскільки сформована кількість сценаріїв достатня для подальшого моделювання. Просте збільшення N не гарантує автоматичного підвищення якості. Після певного обсягу додаткові реалізації можуть майже не змінювати розподіл виходів та не покращувати точність сурогатна-моделі. Тому в практичній частині доцільно порівняти, наприклад, результати для кількох послідовно зростаючих обсягів вибірки та визначити момент, після якого приріст точності стає незначним.

Окремо необхідно контролювати представленість крайових областей. Для майбутньої оптимізації вони мають особливе значення, оскільки оптимізаційний алгоритм часто шукає рішення поблизу меж допустимого простору. Якщо таких комбінацій у навчальній вибірці буде недостатньо, сурогатна-модель може добре працювати в центральній області, але давати більшу похибку саме там, де згодом формуватимуться потенційно ефективні інвестиційні рішення.

У результаті Монте Карло виконує в запропонованій системі роль генератора інформаційного середовища, в якому нечітка модель може бути систематично досліджена на великій кількості різних конфігурацій [194]. На відміну від традиційного використання Монте Карло для безпосереднього оцінювання ризику одного результуючого показника, тут метод застосовується ширше: він формує багатовимірний набір сценаріїв, який після проходження через Fuzzy Logic перетворюється на навчальну основу для побудови ML-сурогатна [195, 196].

Після формування множини допустимих сценаріїв методом Монте Карло кожна згенерована конфігурація передається до нечіткої моделі [197]. На цьому етапі відбувається перехід від імітаційного простору вхідних параметрів до

структурованого набору даних, придатного для машинного навчання. Вищенаведена процедура формує зв'язок між Fuzzy Logic та ML і є центральним елементом імітаційно-предиктивної моделі.

Для кожного сценарію $X^{(k)}$нечітка система виконує повний цикл фазифікації, застосування бази правил, агрегування та дефазифікації. На виході формується набір кількісних оцінок придатності інвестиційних інструментів:

$$S^{(k)}=\left(S_1^{(k)},S_2^{(k)},..,..S_n^{(k)}\right), \qquad (2.25)$$

де $S_i^{(k)}$– ступінь придатності i-го інвестиційного інструменту для умов k-го сценарію; n– кількість інвестиційних інструментів, що оцінюються моделлю.

Кожне значення S_iзнаходиться в інтервалі від 0 до 1. Значення, наближені до 0, характеризують низьку придатність інструменту за заданої комбінації умов, тоді як значення, наближені до 1, свідчать про його високу відповідність характеристикам підприємства, проєкту та зовнішнього середовища.

Таким чином, для кожної реалізації Монте Карло формується одна завершена пара:

$$X^{(k)} \to S^{(k)} \qquad (2.26)$$

Після послідовного опрацювання всієї множини сценаріїв утворюється синтетичний набір даних:

$$D=\left\{\left(X^{(k)},S^{(k)}\right)\right\}_{k=1}^{N}, \qquad (2.27)$$

де N– кількість допустимих сценаріїв, сформованих на попередньому етапі.

У структурному вигляді набір даних складається з двох блоків. Перший містить вхідні фактори чотирьох контурів, другий – вихідні значення нечіткої моделі. Якщо загальна кількість вхідних показників дорівнює m, а кількість інвестиційних інструментів – n, то структура одного рядка набору даних має вигляд:

$$d^{(k)}=\left[x_1^{(k)},x_2^{(k)},.,.,.,.,x_m^{(k)},S_1^{(k)},S_2^{(k)}...S_n^{(k)}\right] \qquad (2.28)$$

Відповідно, повний датасет можна представити у вигляді матриці розмірності:

$N \times (m+n)$.Це означає, що кожний рядок описує одну завершену інвестиційну ситуацію, тоді як стовпці відображають характеристики цієї ситуації та відповідні оцінки придатності інвестиційних інструментів (табл. 2.4).

Таблиця 2.4. Узагальнена структура синтетичного набору даних

Блок	Змінні	Роль у ML-моделі
Підприємницький контур	$x_1, \dots, x_a$	вхідні ознаки
Проєктний контур	$x_{a+1}, \dots, x_b$	вхідні ознаки
Інвестиційно-ресурсний контур	$x_{b+1}, \dots, x_c$	вхідні ознаки
Інституційно-ризиковий контур	$x_{c+1}, \dots, x_m$	вхідні ознаки
Придатність інструментів	$S_1, \dots, S_n$	цільові змінні

Джерело: розроблено автором

Принципово важливо, що такий набір даних має синтетичне походження. Він не є вибіркою фактичних спостережень за діяльністю будівельних підприємств. Тому результати машинного навчання надалі повинні інтерпретуватися саме в межах цієї модельної логіки [198]. Ця особливість має суттєве методологічне значення [199]. Якщо ML-модель демонструє високе значення R^2і низькі значення RMSE та MAE на тестовій вибірці, це насамперед означає, що вона добре відтворює залежності, сформовані нечіткою системою [200]. Такий результат не є самостійним доказом того, що Fuzzy Logic повністю відображає реальні інвестиційні процеси будівельних підприємств. Для підтвердження зовнішньої адекватності потрібні окремі реальні кейси, фактичні дані або експертне оцінювання.

Водночас синтетичний датасет має низку переваг у межах поставленого завдання. По-перше, він дозволяє сформувати значний обсяг спостережень навіть за відсутності достатньої кількості реальних інвестиційних кейсів післявоєнного відновлення. По-друге, він забезпечує контрольоване покриття різних станів чотирьох контурів. По-третє, дає можливість включити до

навчальної вибірки не лише типові, але й крайові та несприятливі ситуації, які в реальних даних можуть зустрічатися рідко.

Окремою перевагою є можливість забезпечити приблизно рівномірну представленість різних областей факторного простору. Для машинного навчання це важливо, оскільки сурогатна-модель у подальшому використовуватиметься не лише для прогнозування типових конфігурацій, але й у процедурі оптимізації. Оптимізаційний алгоритм може звертатися до таких комбінацій параметрів, які знаходяться поблизу меж допустимої області, тому їх недостатня представленість у навчальному датасеті створювала б ризик зростання похибки саме в найбільш важливих областях.

Перед використанням сформованого набору даних необхідно провести перевірку його структурної коректності. Насамперед контролюється відсутність пропущених або невизначених значень. Оскільки всі рядки генеруються програмно, поява таких значень може свідчити про помилки в реалізації нечітких правил, дефазифікації або обробці крайових значень.

Необхідно також перевірити, чи всі вихідні показники відповідають заданому інтервалу: $0 \le S_i^{(k)} \le 1$. Додатково аналізується розподіл кожної цільової змінної S_i. Якщо для певного інвестиційного інструменту переважна більшість значень концентрується у дуже вузькому інтервалі, це може означати, що відповідний вихід нечіткої моделі є недостатньо чутливим до зміни вхідних умов. Такий результат ще до етапу машинного навчання буде сигналом для перевірки структури FIS або системи правил.

Тому формування синтетичний датасету одночасно виконує ще одну функцію – дозволяє провести масову діагностику поведінки нечіткої моделі. Якщо модель запускається лише для кількох окремих підприємств або проєктів, частина її властивостей може залишитися непомітною. Імітація десятків тисяч сценаріїв дозволяє побачити повний спектр можливих виходів і виявити області надмірної концентрації, нечутливості або різких переходів.

Рисунок 2.4 деталізує саме механізм перетворення Монте Карло-сценаріїв у навчальний датасет.

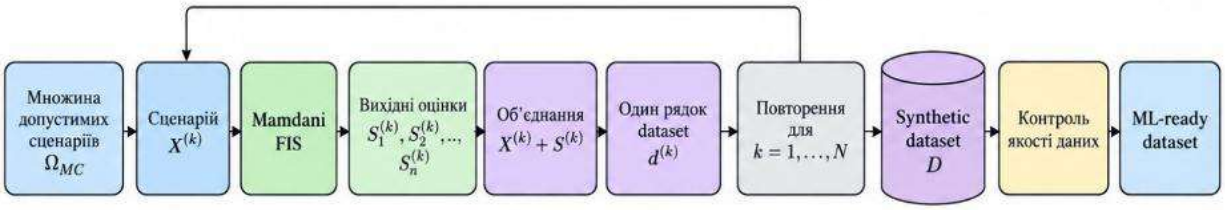

Рис. 2.4. Формування синтетичного набору даних на основі Монте Карло та Fuzzy Logic. *Джерело: розроблено автором.*

Після формування набору даних доцільно провести первинний описовий аналіз. Він має включати мінімальні, максимальні, середні значення, медіани, стандартні відхилення та основні характеристики розподілу як вхідних, так і вихідних змінних. Окремо варто оцінити кореляції між факторами та цільовими показниками. При цьому кореляційний аналіз не використовується як основний інструмент пояснення залежностей, оскільки Fuzzy Logic може формувати нелінійні та порогові взаємозв'язки, які слабко відображаються звичайними коефіцієнтами кореляції.

На етапі підготовки до ML також важливо уникнути витоку інформації між навчальною та тестовою частинами вибірки. Поділ на навчання, валідацію і тестування повинен здійснюватися до будь-яких операцій, параметри яких визначаються на основі даних. Якщо в подальшому застосовуватимуться додаткове масштабування, трансформації або інші способи попередньої обробки, їх параметри повинні визначатися тільки за навчальний набір.

Водночас у запропонованій моделі більшість вхідних показників уже приводяться до уніфікованої шкали на етапі Fuzzy Logic. Тому потреба в додатковому масштабуванні залежатиме від обраного алгоритму. Для Random Forest, XGBoost, CatBoost і Gradient Boosting масштабування зазвичай не є критичним, тоді як для MLP/ANN воно може мати суттєве значення. Окремо необхідно зберігати ідентифікатор кожного сценарію. Він не використовується як вхідна ознака ML-моделі, проте забезпечує можливість відтворити

конкретний прогноз, повернутися до початкової конфігурації параметрів та повторно перевірити її через Fuzzy Logic, що буде особливо корисним у подальшому, коли окремі рішення, знайдені оптимізаційним алгоритмом, перевірятимуться через первинну нечітку модель.

Формування датасету доцільно організувати так, щоб для кожного спостереження зберігалися:

- унікальний номер сценарію;
- усі вхідні показники чотирьох контурів;
- вихідні оцінки $S_1, \ldots, S_n$;
- ознака належності до основної або стресової області, якщо така вибірка формуватиметься окремо;
- за необхідності технічні параметри генерації, потрібні для відтворення сценарію.

Такий підхід дозволить використовувати одну інформаційну базу не лише для навчання ML, але й для подальшої перевірки точності, SHAP-аналізу та аналізу стійкості [201].

Сформований на попередньому етапі синтетичний набір даних створює основу для переходу від імітаційно-нечіткого моделювання до машинного навчання. У запропонованій системі ML не замінює нечітку модель і не використовується як засіб незалежної перевірки її правильності. Його завдання полягає у побудові апроксимаційної моделі, здатної відтворювати залежність між параметрами чотирьох контурів та оцінками придатності інвестиційних інструментів, сформованими Mamdani FIS.

Така постановка відповідає концепції сурогатного моделювання. Нечітка система залишається первинною моделлю, яка формує значення придатності S_i на основі заданої системи правил. Машинне навчання використовується як обчислювально швидший наближений аналог цієї системи. Це особливо важливо для наступного етапу дослідження, де оптимізаційний алгоритм повинен аналізувати велику кількість альтернативних конфігурацій інвестиційного забезпечення.

Задача машинного навчання має регресійний характер, оскільки цільовими змінними є безперервні значення ступеня придатності інвестиційних інструментів $S_i \in [0;1]$. Для кожного сценарію формується вектор вхідних ознак $X=(x_1, x_2, \ldots, x_m)$,де m – загальна кількість показників підприємницького, проєктного, інвестиційно-ресурсного та інституційно-ризикового контурів.

Цільовий вектор має вигляд:

$$S=(S_1, S_2, \ldots, S_n), \qquad (2.29)$$

де n – кількість інвестиційних інструментів, придатність яких оцінюється моделлю.

Завдання ML полягає у визначенні наближеної функції:

$\hat{F}: X \to \hat{S}$,яка для нового набору параметрів повинна формувати прогнозований вектор:

$$\hat{S}=(\hat{S}_1, \hat{S}_2, \ldots, \hat{S}_n), \qquad (2.30)$$

максимально близький до результату, який був би отриманий шляхом безпосереднього запуску нечіткої системи.

У межах такої постановки можливі дві принципово різні архітектури машинного навчання. Перша передбачає побудову окремої регресійної моделі для кожного інвестиційного інструменту. У цьому випадку для кожного виходу формується власна залежність $\hat{S}_i = f_i(X)$.Такий підхід дозволяє незалежно підбирати алгоритм та його параметри для кожного S_i. Це може бути доцільним, якщо придатність різних інвестиційних інструментів формується за неоднаковими нелінійними закономірностями. Для одного інструменту визначальними можуть бути характеристики фінансового стану підприємства, для іншого – параметри конкретного проєкту, доступність інвестиційних ресурсів або інституційні обмеження.

Друга архітектура ґрунтується на регресії з кількома виходами, коли одна модель одночасно прогнозує весь вектор виходів $\hat{F}(X)=(\hat{S}_1, \hat{S}_2, \ldots, \hat{S}_n)$.Її перевагою є компактність і єдина процедура прогнозування. Один запуск

моделі одразу формує оцінки придатності всіх інвестиційних інструментів, що спрощує подальшу інтеграцію з оптимізаційним алгоритмом. Крім того, окремі методи регресії з кількома виходами можуть використовувати спільну структуру вхідних даних та взаємозв'язок між окремими виходами.

Тому в практичній частині необхідно порівняти дві структури прогнозування $X \to (\hat{S}_1, \hat{S}_2, \ldots, \hat{S}_n)$ та $X \to \hat{S}_1, X \to \hat{S}_2, \ldots, X \to \hat{S}_n$. Різницю між цими підходами подано на рис. 2.5.

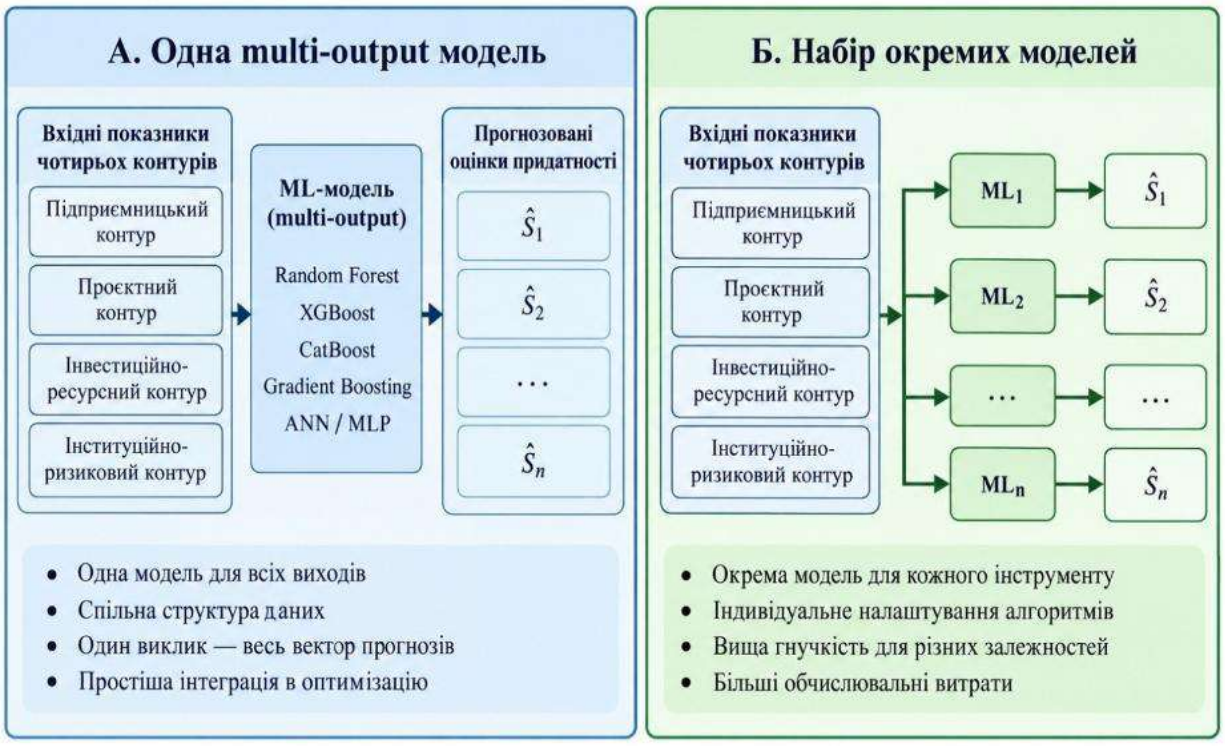

Рисунок 2.5. Альтернативні архітектури прогнозування придатності інвестиційних інструментів. *Джерело: розроблено автором.*

Вибір між цими підходами не доцільно здійснювати апріорно. Він має бути результатом порівняльного експерименту. Якщо одна багатовихідна модель забезпечить стабільно високу точність для всіх S_i, її використання буде методично та обчислювально виправданим. Якщо ж точність прогнозування окремих інструментів суттєво відрізнятиметься, доцільніше буде сформувати набір спеціалізованих регресійних моделей.

Принципово важливо, що ML-модель не повинна відтворювати внутрішню систему нечітких правил. Її завданням є апроксимація кінцевого функціонального зв'язку між вхідними параметрами та вихідними значеннями. У такій конструкції Fuzzy Logic виконує функцію формалізації логіки оцінювання інвестиційних інструментів, тоді як ML забезпечує швидке числове відтворення цієї логіки для нових сценаріїв. До сурогатної-моделі висувається кілька основних вимог. Першою є достатньо висока точність прогнозування у всьому допустимому просторі сценаріїв. При цьому оцінювання лише середньої похибки є недостатнім. Модель повинна зберігати прийнятну точність також у крайових областях, оскільки саме до них може наближатися оптимізаційний алгоритм під час пошуку ефективних конфігурацій інвестиційного забезпечення.

Другою вимогою є стабільність отриманих результатів. Якість моделі не повинна суттєво залежати від одного конкретного розподілу спостережень між навчальною та тестовою вибірками. Тому поряд з основним поділом набору даних доцільно застосувати повторні розбиття або крос-валідацію. Це дозволить оцінити, наскільки отримані показники точності відтворюються при зміні складу навчальної вибірки.

Третя вимога стосується діапазону прогнозованих значень. Оскільки виходи Mamdani FIS обмежені інтервалом $0 \le S_i \le 1$,прогнози сурогатна-моделі також повинні відповідати цій області. Для алгоритмів, які можуть формувати значення нижче 0 або вище 1, необхідно передбачити контроль таких випадків. Їх поява може свідчити про недостатню якість апроксимації, особливо поблизу меж навчального простору.

Четвертою вимогою є обчислювальна ефективність. Для одиничного прогнозу різниця у швидкості між алгоритмами може бути несуттєвою. Проте в подальшій оптимізаційній процедурі кількість звернень до сурогатна-моделі може бути значною. Тому за близьких значень R^2, RMSE та MAE доцільно враховувати також швидкість прогнозування та загальні обчислювальні витрати.

Окреме обмеження стосується області застосування ML-моделі. Вона повинна використовуватися переважно для інтерполяції всередині простору, сформованого Монте Карло [202, 203]. Прогнозування за межами діапазонів, представлених у навчальних даних, є екстраполяцією і не може вважатися достатньо надійним без додаткової перевірки. Тому простір майбутньої оптимізації повинен бути узгоджений з областю навчання сурогатна-моделі $\Omega_{OPT} \subseteq \Omega_{ML} \subseteq \Omega_{MC}$.Це означає, що оптимізаційний алгоритм не повинен формувати рішення у тих областях факторного простору, де ML-модель не має достатньої навчальної підтримки [204]. Такий принцип зменшує ризик отримання формально привабливих, але ненадійних конфігурацій, які виникають внаслідок екстраполяції.

Для найбільш перспективних рішень доцільно передбачити додатковий контроль. Після формування Парето-множини у наступному оптимізаційному блоці відібрані конфігурації можуть бути повторно пропущені через первинну Mamdani FIS. Після цього прогнозовані значення $\hat{S}_i$порівнюються з виходами нечіткої моделі S_i. Така процедура дозволить перевірити сурогатна-модель саме для тих альтернатив, які потенційно можуть увійти до кінцевої архітектури інвестиційного забезпечення.

Після постановки задачі машинного навчання наступним етапом є формування набору регресійних алгоритмів, між якими буде здійснюватися порівняльний експеримент. Оскільки залежність між параметрами чотирьох контурів та придатністю інвестиційних інструментів формується нечіткою системою Mamdani, вона потенційно може мати виражений нелінійний, пороговий та взаємодіючий характер. Тому використання лише лінійної регресії як основного прогнозного інструменту було б недостатнім.

2.3. Концепція формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства.

Під архітектурою інвестиційного забезпечення в межах дослідження пропонується розуміти структуровану сукупність доступних для підприємства

інвестиційних джерел та інструментів із визначеними частками їх участі у фінансуванні конкретного проєкту [205]. Така архітектура формується з урахуванням характеристик підприємства, параметрів проєкту, умов залучення ресурсів та обмежень інституційно-ризикового середовища [206–208].

Один і той самий обсяг інвестиційної потреби може бути забезпечений різними способами [209]. Наприклад, підприємство може збільшувати частку власних ресурсів і знижувати боргове навантаження або, навпаки, залучати більший обсяг кредитного фінансування для збереження власної ліквідності. Додаткове використання грантових, гарантійних чи партнерських інструментів здатне зменшувати вартість залучення ресурсів, але одночасно створювати додаткові вимоги до строків, звітності, співфінансування або відповідності умовам певної програми [210]. Різні конфігурації мають неоднакові економічні переваги та обмеження.

Формування архітектури інвестиційного забезпечення тому не може бути зведене до максимізації одного показника [211]. Зниження вартості ресурсів може супроводжуватися збільшенням ризику або часу їх мобілізації. Вища диверсифікація джерел зменшує залежність від одного інструменту, однак ускладнює управління структурою фінансування. Зростання частки власних ресурсів підвищує фінансову незалежність, але обмежує можливості підприємства щодо одночасного фінансування інших проєктів, що зумовлює необхідність постановки задачі як багатокритеріальної [212].

Вхідними даними оптимізаційної моделі є результати оцінювання придатності інвестиційних інструментів, параметри підприємства та проєкту, характеристики доступних джерел фінансування, а також зовнішні умови реалізації проєкту. Оцінки, отримані за допомогою нечіткої моделі та моделі машинного навчання, використовуються для виключення непридатних або малопридатних інструментів із подальшого розгляду (рис. 2.6). Таким чином скорочується простір можливих рішень і формується початкова множина інструментів, із яких може складатися архітектура [213].

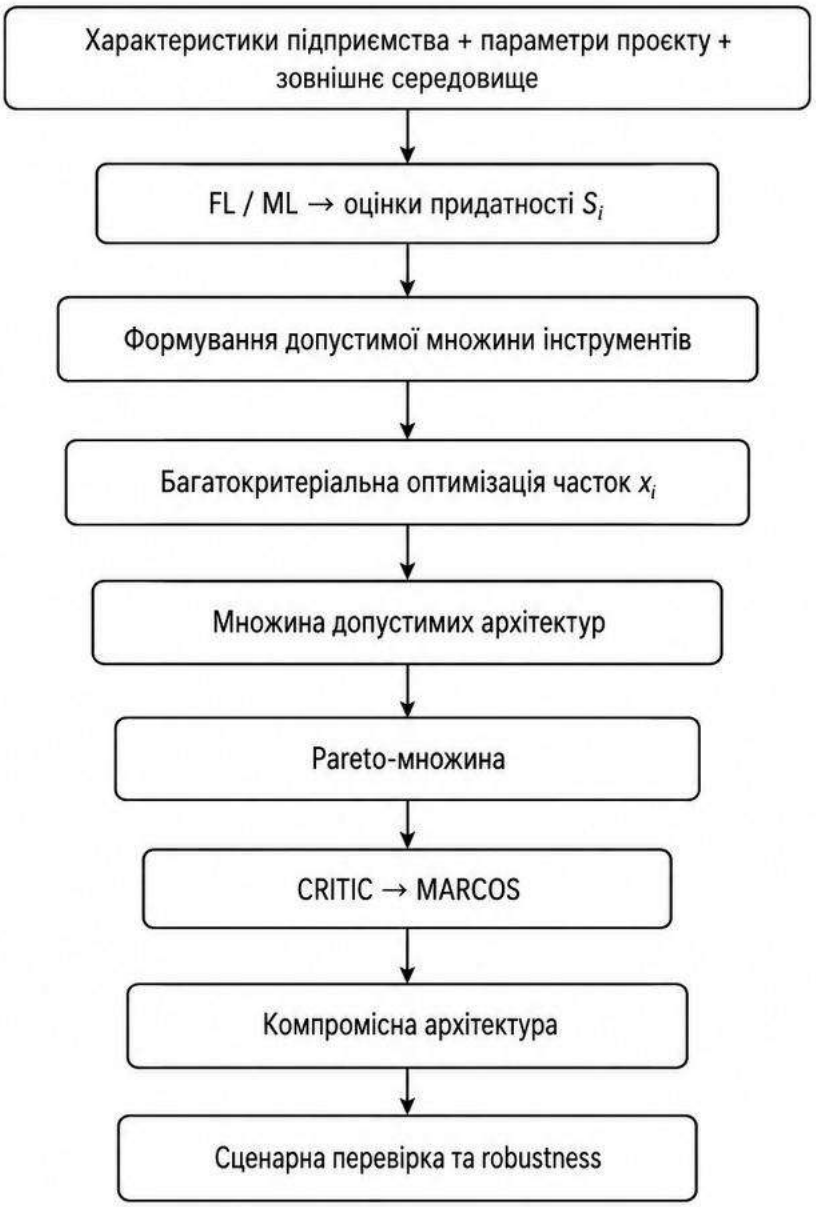

Рис. 2.6. Логіка переходу від оцінювання інвестиційних інструментів до формування архітектури інвестиційного забезпечення. *Джерело: розроблено автором.*

Для кожної потенційної конфігурації мають виконуватися встановлені обмеження. До них належать повне забезпечення потреби проєкту в інвестиційних ресурсах, допустимий рівень боргового фінансування, мінімальна частка власної участі, доступність конкретного інструменту, обмеження щодо строків, вартості, забезпечення та співфінансування.

Додатково враховуються вимоги, що можуть визначатися типом підприємства, параметрами проєкту або умовами державних, донорських і гарантійних програм [214, 215].

У результаті формується множина допустимих архітектур, кожна з яких забезпечує необхідний обсяг фінансування, але відрізняється структурою, вартістю, ризиком, часом мобілізації ресурсів, концентрацією фінансування та складністю управління. Оскільки поліпшення одного критерію може погіршувати інший, оптимізаційна модель повинна формувати не єдине рішення, а сукупність недомінованих альтернатив.

Для формалізації задачі формування архітектури інвестиційного забезпечення введемо множину інвестиційних інструментів, які потенційно можуть бути використані будівельним підприємством для фінансування конкретного проєкту:

$$I = \{1,2,\ldots,n\}, \qquad (2.31)$$

де n – загальна кількість інвестиційних інструментів, що розглядаються в межах моделі.

До цієї множини можуть входити власні ресурси підприємства, банківські кредити, пільгове кредитування, приватний капітал, кошти інституційних інвесторів, грантові ресурси, державні та міжнародні програми підтримки, гарантійні механізми, проєктне фінансування та інші інструменти, доступні в конкретних умовах післявоєнного відновлення. При цьому сам факт наявності інструменту на фінансовому ринку ще не означає можливість його використання конкретним підприємством [216, 217]. Допустимість кожного інструменту визначається з урахуванням результатів попередніх етапів моделювання та фактичних умов його залучення.

Основною змінною рішення є частка кожного інвестиційного інструменту в загальній структурі фінансування проєкту $x_i \in [0;1], i = 1,\ldots,n$, де x_i характеризує частку загальної потреби в інвестиційних ресурсах, яка покривається за рахунок і-го інструменту.

Сукупність таких часток формує вектор $A=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, який у межах дослідження інтерпретується як конкретна архітектура інвестиційного забезпечення.

Разом із неперервною змінною x_i доцільно ввести бінарну змінну $y_i \in \{0;1\}$, де $y_i = 1$, якщо і-й інструмент включено до архітектури інвестиційного забезпечення, та $y_i = 0$, якщо він не використовується.

Необхідність введення бінарної змінної пов'язана з тим, що в оптимізаційній задачі потрібно визначати одночасно два компоненти рішення. Перший стосується складу архітектури, тобто того, які саме інструменти доцільно використовувати. Другий визначає інтенсивність їх використання, тобто частку кожного інструменту в загальній структурі фінансування. Такий підхід дозволяє відокремити ситуацію, коли певний інструмент формально доступний підприємству, від ситуації, коли оптимізаційна модель фактично включає його до сформованої конфігурації [218].

Для зв'язку відносної структури фінансування з реальним масштабом проєкту вводиться загальна потреба в інвестиційних ресурсах K. Тоді абсолютний обсяг фінансування, який залучається за рахунок і-го інструменту, визначається як:

$$F_i = K\, x_i, \qquad (2.32)$$

де F_i – абсолютний обсяг ресурсу, що припадає на і-й інвестиційний інструмент.

Таке представлення має практичну перевагу. Оптимізаційна модель може працювати переважно з нормованими частками x_i, що спрощує порівняння різних конфігурацій, а після визначення раціональної структури переводити результат у конкретні грошові значення. Завдяки цьому одна й та сама математична конструкція може бути використана для проєктів різного масштабу без зміни базової логіки моделі [219, 220].

Кожен інвестиційний інструмент характеризується сукупністю параметрів, які визначають економічні умови та обмеження його використання. У загальному вигляді їх можна представити вектором:

$$P_i=(c_i,r_i,t_i,u_i,l_i,k_i,\ldots), \qquad (2.33)$$

де c_i – вартість залучення ресурсів; r_i – рівень ризику; t_i – час, необхідний для мобілізації ресурсу; u_i – максимально допустима частка інструменту; l_i – мінімальна частка за умови його включення до архітектури; k_i – показник організаційної або транзакційної складності використання інструменту.

Склад вектора P_i не є жорстко фіксованим. Для окремих інструментів можуть додатково враховуватися строк фінансування, необхідність забезпечення, валютна складова, наявність пільгового періоду, вимоги щодо співфінансування, граничний розмір фінансування, умови гарантування, цільове призначення ресурсів або вимоги до звітності. Таким чином, параметризація інструментів має відображати не лише їхню ціну, а й реальні умови доступу до відповідного ресурсу.

Особливе місце в оптимізаційній моделі займає показник придатності інвестиційного інструменту $S_i \in [0;1]$. Значення S_i формується на попередніх етапах дослідження. У нечіткій моделі воно відображає ступінь відповідності конкретного інвестиційного інструменту характеристикам підприємства, проєкту та умовам зовнішнього середовища. На наступному етапі ця залежність відтворюється моделлю машинного навчання, що дозволяє швидко прогнозувати S_i для значної кількості комбінацій вхідних параметрів.

У межах оптимізаційної моделі S_i не доцільно безпосередньо трактувати як частку фінансування. Значення придатності відповідає на питання, наскільки інструмент відповідає заданим умовам, але не визначає автоматично, яку частку загальної потреби в ресурсах він повинен покривати. Саме оптимізаційна модель має встановити таку частку з урахуванням усієї системи цілей та обмежень.

Для попереднього відокремлення доступних і недоступних інструментів вводиться параметр $a_i \in [0;1]$,де $a_i = 1$ означає, що інструмент може бути включений до оптимізаційної задачі, а $a_i = 0$ – що його використання за заданих умов виключається.

Одним із можливих механізмів визначення a_i є застосування порогового рівня придатності:

$$a_i = \begin{cases} 1, & S_i \geq S_{min}, \\ 0, & S_i < S_{min}, \end{cases} \qquad (2.34)$$

де S_min – мінімально допустимий рівень придатності.

При цьому значення S_min не слід наперед розглядати як універсальну константу. Воно може залежати від жорсткості відбору інструментів та від конкретних умов практичного застосування моделі. Тому в подальшому доцільно перевірити кілька значень порогу і встановити, наскільки його зміна впливає на склад допустимої множини та кінцеву архітектуру.

Поряд із придатністю необхідно враховувати і формальну доступність інструменту. Наприклад, певний грантовий механізм може мати високу оцінку S_i, але на момент реалізації проєкту відповідна програма може бути закритою або недоступною для підприємства певного типу. Аналогічно кредитний продукт може відповідати потребам проєкту, але бути недоступним через недостатню кредитоспроможність або відсутність необхідного забезпечення. В моделі доцільно розмежовувати поняття придатності та фактичної доступності.

Крім характеристик окремих інструментів, у модель включаються параметри самого будівельного підприємства. Вони можуть характеризувати обсяг власних ресурсів, рівень ліквідності, допустиме боргове навантаження, наявність забезпечення, фінансову стійкість, можливість співфінансування, поточну кредитну експозицію та інші характеристики, які безпосередньо впливають на можливість залучення зовнішнього капіталу [221].

Друга група параметрів стосується проєкту. До неї належать загальна інвестиційна потреба K, тривалість реалізації, графік фінансування, необхідність авансового ресурсного забезпечення, очікувані грошові потоки, строки повернення залученого капіталу та допустима структура джерел фінансування. Для проєктів післявоєнного відновлення особливого значення

можуть також набувати строки мобілізації коштів і можливість поетапного фінансування будівельних робіт [222, 223].

Третя група охоплює параметри інвестиційно-ресурсного контуру. Вони характеризують умови конкретних джерел та інструментів: вартість, строки, максимальний доступний обсяг, вимоги до співфінансування, можливість комбінування з іншими інструментами та обмеження щодо напрямів використання коштів.

Четверта група пов’язана з інституційно-ризиковим контуром. До неї можуть входити процентні ставки, валютний курс, рівень гарантійного покриття, доступність державної та донорської підтримки, регуляторні обмеження, ризик зміни умов програм фінансування та інші параметри зовнішнього середовища. На наступних етапах ці параметри можуть розглядатися не лише як фіксовані величини, а і як змінні сценарних та імітаційних розрахунків (табл. 2.5).

Таблиця 2.5. Контури формування вихідних умов оптимізаційної задачі

Контур	Інформаційне наповнення	Роль у формуванні архітектури
Підприємницький	масштаб діяльності, фінансова автономія, стабільність грошових потоків, управлінська та цифрово-аналітична зрілість	визначає ресурсну спроможність підприємства та межі використання окремих джерел
Проєктний	інвестиційна потреба, економічна результативність, тривалість реалізації, соціальна значущість, терміновість	визначає обсяг, строки та специфіку потреби у фінансуванні
Інвестиційно-	доступні джерела, їх вартість,	формує безпосередній

ресурсний	ризик, строки мобілізації, мінімальні та максимальні частки	набір альтернатив оптимізаційної задачі
Інституційно-ризиковий	програмні обмеження, доступність пільгових механізмів, грантів, ППП, боргові ліміти, зовнішня невизначеність	звужує допустимий простір рішень і визначає стійкість сформованої архітектури

Джерело: розроблено автором

Таким чином, параметричну основу оптимізаційної моделі формують чотири взаємопов'язані блоки: характеристики підприємства, характеристики проєкту, характеристики інвестиційних інструментів та параметри інституційно-ризикового середовища. Такий поділ безпосередньо відповідає прийнятій у дослідженні системі чотирьох контурів і дозволяє зберегти єдину логіку побудови моделі на різних етапах [224, 225].

У результаті оптимізаційна модель оперує двома типами змінних рішення – x_i та y_i, а також набором параметрів, які визначають допустимість і економічні характеристики можливих конфігурацій. Значення S_i, отримані на попередніх етапах, звужують простір потенційних рішень, а параметри підприємства, проєкту, інструментів та зовнішнього середовища задають конкретні умови, в яких формується архітектура. Такий математичний опис створює основу для наступного етапу – формування системи обмежень. Саме через систему обмежень визначається, які комбінації x_i та y_i є не лише математично можливими, а й економічно, фінансово та інституційно допустимими для конкретного будівельного підприємства і конкретного проєкту післявоєнного відновлення (рис. 2.7).

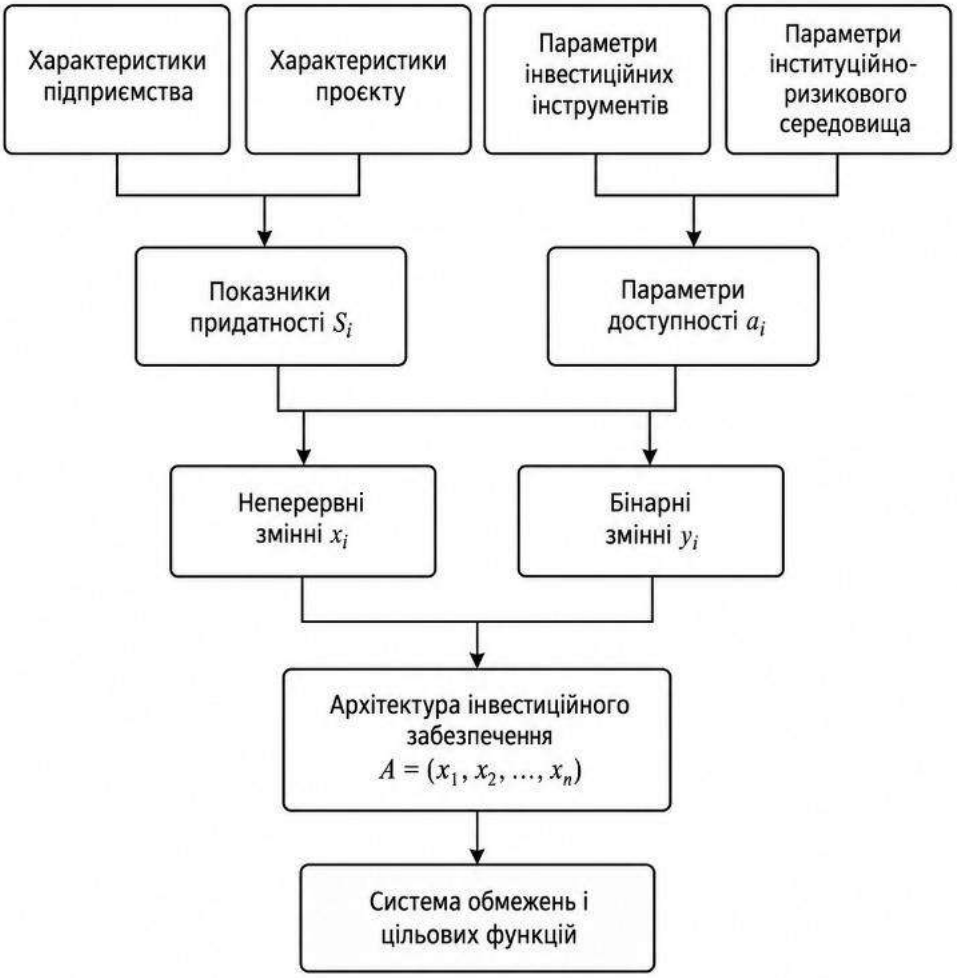

Рис. 2.7. Структура змінних і параметрів оптимізаційної моделі формування архітектури інвестиційного забезпечення. *Джерело: розроблено автором.*

Формування допустимої архітектури інвестиційного забезпечення потребує не лише визначення часток окремих інструментів, а й встановлення системи умов, які відображають реальні фінансові, проєктні та інституційні обмеження. Саме система обмежень визначає межі простору рішень і відокремлює формально можливі конфігурації від тих, які можуть бути реалізовані конкретним будівельним підприємством.

Базовою умовою є повне покриття інвестиційної потреби проєкту. Наступною групою є обмеження щодо мінімальної та максимальної частки окремого інструменту. У загальному вигляді вони можуть бути записані так:

$$l_i y_i \le x_i \le u_i y_i, \qquad (2.35)$$

де l_i – мінімальна частка інструменту за умови його використання; u_i – максимально допустима частка; y_i – бінарна змінна включення інструменту до архітектури.

Таке обмеження одночасно виконує дві функції. Якщо $y_i = 0$, тоді $x_i = 0$, тобто інструмент не може бути включений до структури. Якщо $y_i = 1$, його частка повинна знаходитися у встановленому діапазоні. Це дозволяє уникнути нереалістичних конфігурацій, у яких певний інструмент формально присутній у структурі, але має економічно незначну частку.

Окремо враховується доступність інвестиційного інструменту $y_i \leq a_i$, де $a_i = 1$, якщо інструмент доступний підприємству, та $a_i = 0$, якщо його використання за заданих умов неможливе.

Це обмеження є важливим зв'язком між попередніми етапами моделювання та оптимізаційною частиною. Якщо інструмент не пройшов відбір за показником придатності або не відповідає формальним умовам доступності, він автоматично виключається з простору оптимізаційних рішень.

З огляду на фінансову стійкість підприємства доцільно окремо встановити мінімальну частку власної участі. Таке обмеження може бути обумовлене як внутрішніми вимогами підприємства, так і умовами зовнішнього фінансування. Для окремих кредитних, грантових або гарантійних програм співфінансування з боку підприємства є обов'язковою умовою доступу до ресурсу.

Водночас надмірна частка власного капіталу також може бути небажаною, оскільки вона зменшує ліквідність підприємства та обмежує можливість фінансування інших проєктів. Таким чином, для фінансово стійкого підприємства межа може бути вищою, тоді як для підприємства з уже значним борговим навантаженням вона має знижуватися.

Для окремих інструментів можуть діяти абсолютні обмеження за максимальним доступним обсягом або, з урахуванням зв'язку між абсолютним обсягом і часткою. Таке обмеження є особливо важливим для грантів,

державних програм, гарантійних механізмів або кредитних ліній, для яких часто встановлюється граничний обсяг фінансування.

Окрема група обмежень пов’язана зі строками залучення ресурсів. Якщо проєкт потребує мобілізації фінансування не пізніше певного моменту T_max, тоді інструменти з надмірно тривалим строком залучення можуть бути виключені $t_i y_i \le T_{max}$.У більш складному випадку, коли проєкт реалізується поетапно, доцільно враховувати часову структуру потреби у фінансуванні. Тоді для кожного періоду p може бути сформована умова достатності ресурсів:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{ip} \ge K_p, \qquad (2.36)$$

де Fip – обсяг ресурсу, доступний від і-го інструменту в періоді p; Kp – потреба проєкту у фінансуванні в цьому періоді.

Це дозволяє уникнути ситуації, коли загальний обсяг фінансування є достатнім, але частина ресурсів надходить пізніше, ніж це потрібно для виконання будівельних робіт. Для інструментів, які потребують забезпечення, може бути введене окреме ресурсне обмеження. Таке обмеження має практичне значення для кредитних та гарантійних механізмів. Навіть якщо підприємство формально має можливість залучити певний обсяг боргового фінансування, фактичний доступ до нього може бути обмежений недостатнім обсягом прийнятного забезпечення.

Для грантових, пільгових або гарантійних інструментів часто існують умови обов’язкового співфінансування. Доцільно також враховувати можливі несумісності між окремими інструментами. Деякі програми фінансування можуть забороняти одночасне використання інших форм державної чи донорської підтримки. У такому випадку для двох взаємовиключних інструментів i та j може бути використано обмеження $y_i + y_j \le 1$. Навпаки, окремі інструменти можуть бути взаємопов’язаними. Наприклад, гарантійний механізм може бути застосований лише разом із кредитним інструментом. Тоді $y_g \le y_c$,де y_g – використання гарантії, а y_c – використання відповідного кредитного ресурсу.

Ще одним важливим аспектом є обмеження кількості одночасно використаних інструментів. Надмірна кількість джерел може збільшувати адміністративне навантаження, ускладнювати координацію платежів та підвищувати транзакційні витрати. Для цього може бути задана умова:

$$\sum_{i=1}^{n} y_i \le N_{max}, \qquad (2.37)$$

де Nmax – максимально допустима кількість інструментів у структурі фінансування.

За необхідності можна встановити і мінімальну кількість джерел $\sum_{i=1}^{n} y_i \ge N_{min}$, якщо стратегія підприємства передбачає обов'язкову диверсифікацію фінансування.

Суттєвим є і обмеження концентрації ресурсів в одному джерелі. Навіть якщо окремий інструмент є дешевим або доступним, надмірна залежність від нього може створювати ризик для реалізації проєкту. Тому для кожного і може бути задано:

$$x_i \le H_{max}, \qquad (2.38)$$

де Hmax – максимально допустима частка одного інструменту в загальній структурі.

Частина обмежень може мати сценарний характер. Наприклад, у різних сценаріях післявоєнного відновлення можуть змінюватися доступність грантів, максимальні кредитні ліміти, процентні ставки, гарантійне покриття або частка державної підтримки. У такому випадку відповідні параметри доцільно задавати як сценарно залежні:

$$u_i^{(s)}, a_i^{(s)}, D_{max}^{(s)}, F_i^{max\,(s)}, \qquad (2.39)$$

де s – номер сценарію.

Це дозволяє не змінювати базову структуру моделі, а адаптувати її до різних умов зовнішнього середовища через параметри.

Узагальнено допустиму множину архітектур можна представити як:

$$\Omega = \left\{ A, = (x_1, \ldots, x_n) \mid g_j(A) \le 0 \; h_k(A) = 0 \right\}, \qquad (2.40)$$

де gj(A) – система нерівностей, що описують фінансові, ресурсні, інституційні та проєктні обмеження; hk(A) – система обов'язкових рівностей.

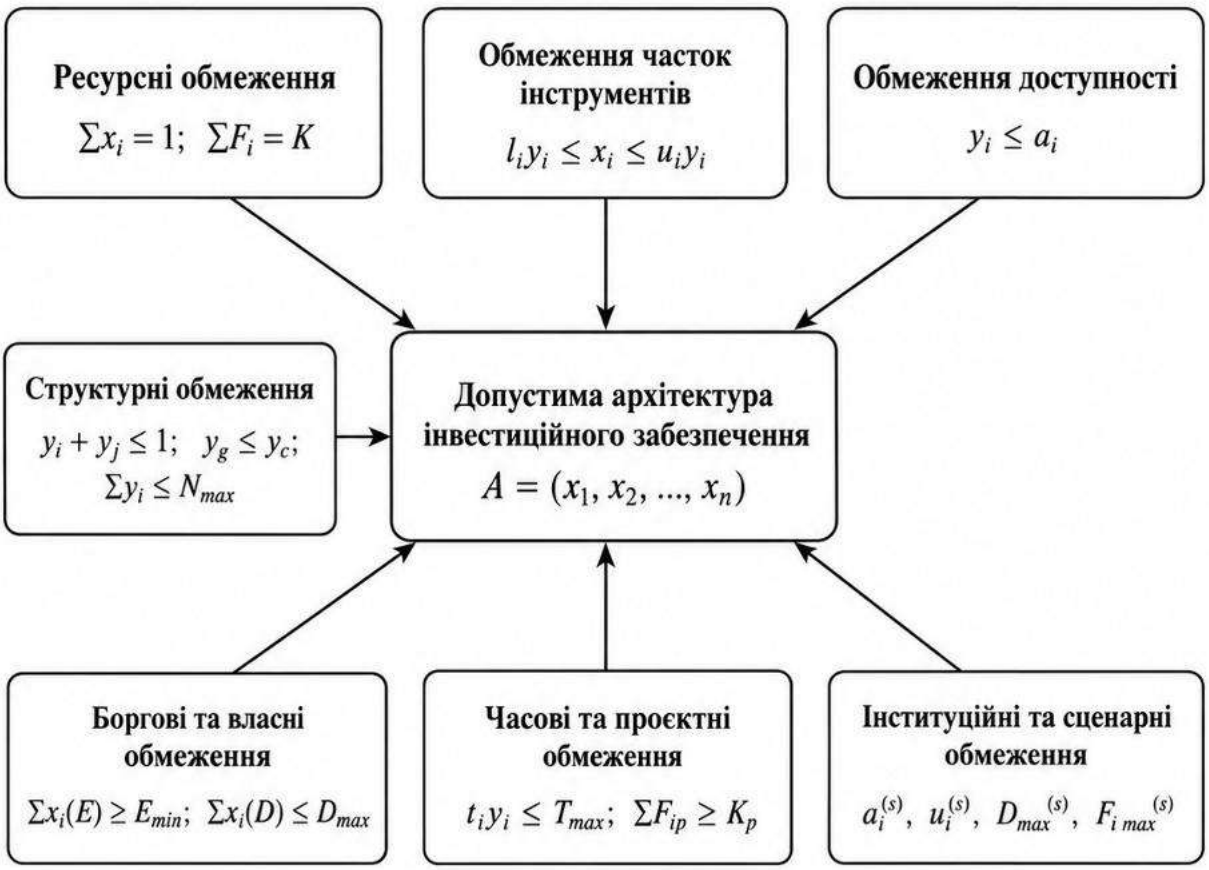

Рис. 2.8. Система обмежень формування допустимої архітектури інвестиційного забезпечення. *Джерело: розроблено автором.*

Оптимізація здійснюється не на всьому теоретично можливому просторі значень x_i, а лише в межах множини Ω, яка відображає реальні умови функціонування конкретного підприємства та реалізації конкретного проєкту.

Сформована система обмежень має модульний характер. Частина умов є універсальною для всіх задач формування інвестиційної архітектури, зокрема повне покриття потреби у фінансуванні, зв'язок між x_i та y_i, мінімальні і максимальні частки інструментів. Інші обмеження активуються залежно від конкретної конфігурації підприємства, проєкту та зовнішнього середовища. Це дозволяє використовувати одну математичну модель для різних практичних випадків без зміни її загальної структури [226–228].

У результаті система обмежень перетворює вихідну множину потенційних інструментів у множину реально допустимих архітектур. Подальша багатокритеріальна оптимізація здійснюється вже всередині цієї множини, тобто порівнюються лише ті конфігурації, які одночасно задовольняють фінансові можливості підприємства, потреби проєкту, умови залучення ресурсів і зовнішні інституційні вимоги [229].

Після визначення змінних рішення та системи обмежень наступним етапом є формування цільових функцій, за якими оцінюються допустимі архітектури інвестиційного забезпечення. На відміну від однокритеріальної постановки, де оптимізація зводиться до пошуку мінімального або максимального значення одного показника, у цьому дослідженні необхідно одночасно враховувати декілька характеристик структури фінансування. Це пов’язано з тим, що економічно приваблива за одним критерієм архітектура може бути менш прийнятною за іншим [230].

Для конкретного будівельного підприємства важливо не лише зменшити вартість залучення ресурсів. Необхідно також контролювати рівень ризику, швидкість мобілізації коштів, залежність від окремих джерел та складність управління сформованою структурою. Саме тому задача формування архітектури інвестиційного забезпечення розглядається як багатокритеріальна [231].

У загальному вигляді оптимізаційну задачу можна представити як пошук такого вектора архітектури $A=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$,для якого одночасно оптимізується сукупність цільових функцій $min\, F(A)=\left[F_1,(A), F_2,(A), F_3(A) F_4(A) F_5(A)\right]$. У межах запропонованої моделі доцільно використовувати п’ять основних цільових функцій: вартість залучення ресурсів, ризик, час мобілізації фінансування, концентрацію структури та організаційно-транзакційну складність. Такий набір дозволяє охопити основні економічні компроміси, не перевантажуючи оптимізаційну задачу надмірною кількістю критеріїв.

Першим критерієм є сукупна вартість залучення ресурсів. Для різних інвестиційних інструментів вона може включати процентні платежі, комісії, вартість гарантій, плату за організацію фінансування, вартість власного та залученого капіталу, а також інші витрати, безпосередньо пов'язані з використанням певного джерела.

У базовому вигляді цільова функція вартості може бути записана як:

$$F_1(A)=\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \to min, \qquad (2.41)$$

де c_i – приведена або нормована вартість використання і-го інструменту.

Якщо необхідно враховувати не лише змінні, а й фіксовані витрати на залучення окремих джерел, функцію доцільно розширити:

$$F_1(A)=\sum_{i=1}^{n} c_i x_i+\sum_{i=1}^{n} f_i y_i \to min, \qquad (2.42)$$

де f_i – фіксовані організаційні, юридичні або транзакційні витрати, які виникають у разі використання і-го інструменту.

Таке розширення є важливим для ситуацій, коли використання великої кількості джерел формально зменшує середню вартість фінансування, але потребує додаткових витрат на переговори, оформлення, аудит, звітність або юридичний супровід [2, 232].

Для практичних розрахунків параметр c_i доцільно визначати у порівнянній формі для всіх інструментів. Якщо окремі джерела мають різні строки, графіки платежів або пільгові періоди, простого порівняння номінальних процентних ставок буде недостатньо. У такому випадку доцільно використовувати ефективну або приведену вартість ресурсу.

Другим критерієм є ризик сформованої структури фінансування . Для будівельного підприємства ризик може бути пов'язаний із можливістю зміни процентних ставок, валютного курсу, умов рефінансування, припинення програми підтримки, затримки фінансування або зміни вимог до залучення ресурсу.

У базовій постановці сукупний рівень ризику архітектури може бути представлений як зважена сума ризиків окремих інструментів:

$$F_2(A)=\sum_{i=1}^{n} r_i x_i \to min, \qquad (2.43)$$

де r_i – оцінка ризику використання і-го інвестиційного інструменту.

Такий варіант є відносно простим та зберігає лінійну структуру моделі. Водночас він передбачає, що ризики окремих інструментів розглядаються незалежно один від одного.

Для складнішої постановки може враховуватися взаємозалежність між ризиками різних джерел. Тоді функція набуває вигляду:

$$F_2(A)=\sum_{i=1}^{n} r_i x_i+\lambda\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_{ij} x_i x_j \to min, \quad (2.44)$$

де q_{ij} характеризує взаємозв'язок ризиків між і-м та j-м інструментами, а λ визначає вагомість ефекту їх взаємодії.

У такій постановці можуть враховуватися, наприклад, ситуації, коли два джерела одночасно залежать від одного макроекономічного або інституційного чинника. Проте використання цього варіанта переводить модель у клас квадратичних або нелінійних задач. Тому остаточний вибір між лінійною та розширеною функцією ризику доцільно здійснити після аналізу фактичних даних у практичній частині.

Третім критерієм є швидкість формування необхідного обсягу фінансування. Для проєктів післявоєнного відновлення цей критерій має особливе значення, оскільки затримка надходження ресурсів може спричинити перенесення початку робіт, збільшення вартості будівництва або порушення графіка реалізації проєкту.

Найпростішим варіантом є середньозважений час мобілізації:

$$F_3(A)=\sum_{i=1}^{n} t_i x_i \to min, \qquad (2.45)$$

де t_i – час, необхідний для фактичного отримання ресурсу за і-м інструментом.

Проте для інвестиційного проєкту критичним може бути не середній, а максимальний час очікування ресурсу, без якого фінансування не може

вважатися повністю сформованим. Вибір між середньозваженим і максимальним часом залежить від специфіки конкретного проєкту. Для проєктів із поетапним фінансуванням доцільним може бути перший варіант, тоді як для проєктів, де початок робіт залежить від повного закриття фінансової потреби, більш обґрунтованим є другий.

Четвертим критерієм є концентрація фінансування. Надмірна залежність від одного джерела може створити загрозу для реалізації проєкту в разі затримки, скорочення або припинення відповідного фінансування.

Одним із найпростіших показників концентрації є найбільша частка одного інструменту:

$$F_4(A) = \max_i x_i \to min. \qquad (2.46)$$

Альтернативним варіантом є використання індексу концентрації:

$$F_4(A) = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \to min. \qquad (2.47)$$

У цьому випадку зростання частки одного або декількох інструментів призводить до швидшого збільшення значення функції. Такий показник краще відображає загальну концентрацію структури, однак має квадратичну форму.

При цьому мінімізація концентрації не повинна розглядатися як самоціль. Надмірна диверсифікація може створити протилежну проблему – суттєве ускладнення управління фінансуванням. Саме тому критерій концентрації необхідно розглядати разом із наступною цільовою функцією.

П’ята цільова функція характеризує складність управління сформованою архітектурою. Залучення великої кількості джерел може вимагати одночасного виконання різних договірних умов, графіків платежів, процедур звітності, аудиту, забезпечення та моніторингу.

У базовому вигляді складність може оцінюватися як:

$$F_5(A) = \sum_{i=1}^{n} k_i y_i \to min, \qquad (2.48)$$

де k_i – коефіцієнт організаційної або транзакційної складності і-го інструменту.

Таким чином, загальну багатокритеріальну постановку можна представити як $min\{F_1,(A),F_2,(A),F_3(A)F_4(A)F_5(A)\}, A \in \Omega$.Принципово важливо, що ці функції не об’єднуються на цьому етапі в один інтегральний показник шляхом попереднього задавання суб’єктивних ваг. Такий підхід міг би приховати реальні компроміси між критеріями. Наприклад, збільшення ваги вартості автоматично зміщувало б результат у бік найдешевших архітектур навіть тоді, коли вони характеризуються значно більшим ризиком або часом мобілізації.

У запропонованій моделі кожен критерій зберігається як окрема цільова функція. Оптимізація повинна визначити множину таких рішень, для яких подальше поліпшення одного критерію неможливе без погіршення принаймні одного іншого, що створює основу для формування Парето-ефективної множини. При цьому частина показників, які на початковому етапі могли розглядатися як можливі критерії оптимізації, до цільових функцій не включається. Зокрема, достатність ресурсів, мінімальна власна участь, граничне боргове навантаження, доступність інструменту, відповідність строкам проєкту та формальним вимогам доцільніше задавати через систему обмежень. Інакше модель могла б допустити економічно неприйнятну конфігурацію лише тому, що вона має високе значення іншої цільової характеристики.

Подібне розмежування між цільовими функціями та обмеженнями є принциповим для побудови моделі. Обмеження визначають, які архітектури можуть бути реалізовані, тоді як цільові функції визначають, які з допустимих архітектур є ефективнішими за основними економічними характеристиками.

Окремо слід враховувати, що частина параметрів цільових функцій може змінюватися залежно від сценарію (рис. 2.9). Процентні ставки, ризиковість джерел, час мобілізації та фактична складність залучення ресурсу не є постійними в умовах післявоєнного відновлення. Тому в подальшому цільові функції можуть бути записані в сценарній формі:

$$F_m^{[s]}(A), m=1,\ldots,5, \qquad (2.49)$$

де s – сценарій зовнішнього середовища.

Це дозволить перевірити, чи залишається архітектура ефективною після зміни ключових параметрів та наскільки суттєво змінюється її положення відносно інших допустимих рішень.

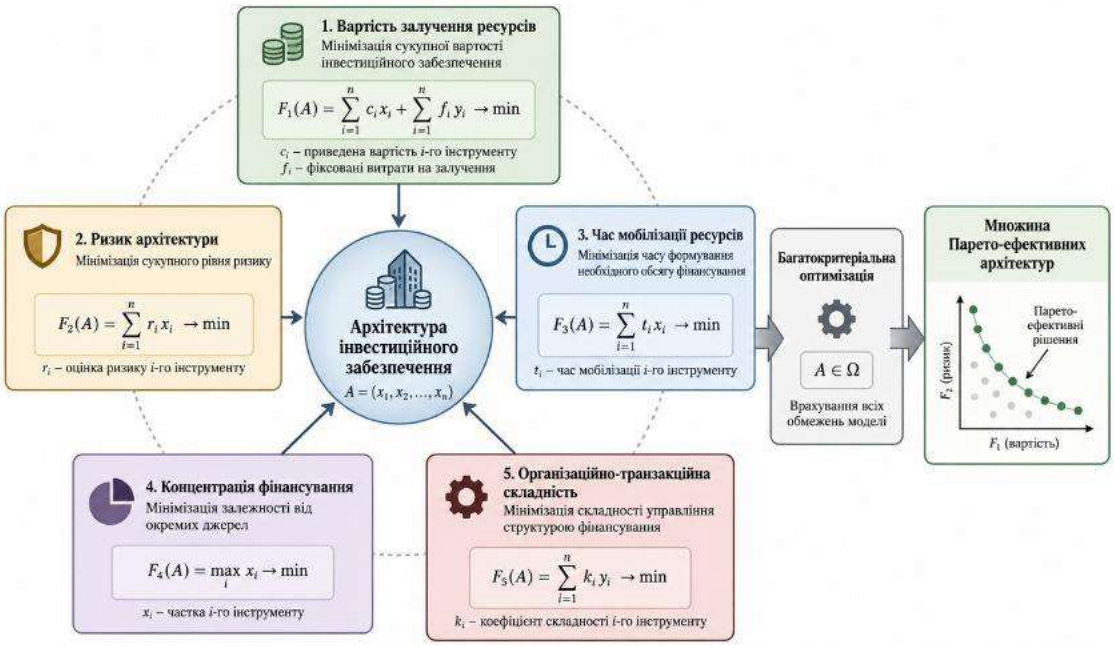

Рис. 2.9. Система цільових функцій багатокритеріальної оптимізації архітектури інвестиційного забезпечення. *Джерело: розроблено автором.*

Сформована система цільових функцій забезпечує одночасне врахування п’яти основних характеристик інвестиційної архітектури: вартості, ризику, швидкості мобілізації ресурсів, концентрації фінансування та складності управління. Їх спільне використання дає змогу перейти від пошуку умовно «найдешевшої» структури до пошуку множини економічно збалансованих конфігурацій, кожна з яких відображає інший компроміс між основними характеристиками інвестиційного забезпечення.

Висновки до розділу 2.

1. Сформовано модельну логіку оцінювання, яка перетворює неоднорідні дані про підприємство, проєкт і умови фінансування на порівнювані оцінки придатності окремих інвестиційних інструментів. Вхідними даними моделі

визначено не лише фінансові величини, а й характеристики, які мають якісний або експертний характер і потребують формалізації. Водночас вихід моделі інтерпретується саме як ступінь відповідності інструмента заданій інвестиційній ситуації: він не ототожнюється ані з імовірністю фактичного залучення коштів, ані з рекомендованою часткою фінансування. Таке розмежування створює методичну основу для коректного переходу від оцінювання інструментів до подальшого формування фінансової структури.

2. Обґрунтовано використання ієрархічної нечітко-логічної системи Мамдані для формалізації залежностей, які мають нелінійний, пороговий та інструментально специфічний характер. Її логіка передбачає послідовне узагальнення характеристик у межах окремих контурів із подальшим оцінюванням придатності конкретного інструмента, що дає змогу зберегти економічний зміст проміжних оцінок. Застосування лінгвістичних термів і правил типу «якщо — то» дає змогу описувати поступові переходи між станами, не зводячи їх до жорсткої межі «придатний / непридатний». Для критично несприятливих поєднань умов передбачено обмеження компенсації: сильні позиції за окремими характеристиками не повинні автоматично нівелювати чинники, які істотно обмежують застосування певного інструмента.

3. Сконструйовано систему вхідних характеристик, придатну для формалізованого оцінювання й подальшого використання у сценарному та оптимізаційному аналізі. Показники добиралися з огляду на їхню економічну інтерпретованість на рівні підприємства й конкретного проєкту, зв’язок із можливістю використання інвестиційних інструментів, доступність даних та відсутність надмірного дублювання. Зокрема, для масштабних характеристик підприємства й проєкту передбачено уникнення включення кількох близьких показників, які могли б надмірно посилити вплив одного фактора. Поєднання кількісних даних із формалізованими якісними оцінками дало змогу представити інвестиційну ситуацію в єдиному просторі параметрів, зберігши відмінності між економічною результативністю проєкту та його суспільною значущістю.

4. Обґрунтовано дворівневу логіку імітаційно-прогнозного оцінювання: первинна нечітка система формалізує змістовні правила визначення придатності,

а модель машинного навчання наближено відтворює сформовані нею залежності для багаторазових розрахунків. Такий розподіл функцій дає змогу використовувати переваги обох підходів: нечітка модель забезпечує інтерпретовану логіку оцінювання, а прогнозна модель — обчислювальну швидкість під час аналізу великої кількості сценаріїв. При цьому прогнозується не фактичний обсяг фінансування й не структура капіталу підприємства, а оцінка придатності кожного інструмента за заданого набору умов. Модель машинного навчання в цій конструкції виконує роль обчислювального аналога нечіткої системи, а не самостійного джерела оцінки реальної поведінки підприємств.

5. Розроблено принцип формування сценарного простору, за яким імітаційні реалізації мають охоплювати можливі поєднання параметрів, але залишатися в межах економічно та логічно допустимих умов. Для цього передбачено встановлення інтервалів змінних, урахування доступних емпіричних розподілів, а за їх відсутності — використання рівномірного генерування як засобу дослідження простору, а не як твердження про фактичну ймовірність станів. Перед передаванням сценаріїв до нечіткої системи несумісні комбінації мають відсіюватися, а взаємозалежності параметрів — ураховуватися, щоб навчальна вибірка не містила економічно беззмістовних конфігурацій. Така побудова сценарної бази спрямована на репрезентативне охоплення не лише типових, а й граничних станів інвестиційної ситуації.

6. Визначено методичні вимоги до прогнозної апроксимації, необхідні для її надійного застосування в подальшому оптимізаційному пошуку. Якість моделі має оцінюватися не тільки за середньою точністю, а й за стабільністю результатів, поведінкою на крайових ділянках сценарного простору та дотриманням діапазону вихідних оцінок нечіткої системи. Область оптимізаційного пошуку, своєю чергою, має бути узгоджена з простором, представленим у навчальних даних, щоб не спиратися на неперевірену екстраполяцію. Для альтернатив, що можуть бути рекомендовані до використання, передбачено додаткове зіставлення прогнозних оцінок із результатами первинної нечіткої моделі; це знижує ризик того, що обчислювально швидша апроксимація спотворить оцінювання саме тих конфігурацій, які мають управлінське значення.

7. Формалізовано архітектуру інвестиційного забезпечення як оптимізаційне рішення, у якому одночасно визначаються склад використовуваних інструментів і частка кожного з них у фінансуванні проєкту. Для цього розмежовано бінарне рішення про включення інструмента до структури та неперервне рішення про інтенсивність його участі. Переведення часток у абсолютні обсяги через загальну інвестиційну потребу проєкту поєднує відносну структуру фінансування з її ресурсним масштабом. Така постановка дає змогу аналізувати не лише те, які інструменти потенційно можуть бути використані, а й те, чи входять вони до конкретної фінансової конфігурації та яку роль у покритті потреби проєкту виконують.

8. Обґрунтовано послідовне відокремлення умов допустимості архітектури від критеріїв її ефективності. До допустимих належать конфігурації, що забезпечують покриття потреби проєкту й одночасно відповідають обмеженням щодо доступності ресурсів, боргового навантаження, власної участі, строків та інших умов залучення. Критерії ефективності застосовуються вже для порівняння альтернатив усередині сформованої множини допустимих рішень. Такий поділ має принципове управлінське значення: модель не може компенсувати порушення обов’язкової умови, наприклад недостатність фінансування, кращим результатом за іншим критерієм. Модульність обмежень також дає змогу адаптувати постановку до умов конкретного підприємства, проєкту та програми фінансування без зміни загальної логіки моделі.

9. Сформовано багатокритеріальну постановку, у якій оптимізація не зводиться до пошуку однієї умовно найкращої структури за наперед установленим пріоритетом. Економічні характеристики фінансування зберігаються як окремі критерії, оскільки попереднє зведення їх до єдиного показника може приховати суттєві компроміси між альтернативами. Результатом має бути множина недомінованих архітектур, що забезпечують різні співвідношення вартості, ризику, швидкості мобілізації, концентрації ресурсів і складності управління, що створює методичну основу для подальшого застосування процедур багатокритеріального вибору.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

3.1. Застосування нечіткої логіки в задачах інвестиційного забезпечення будівельних підприємств.

Невизначеність в інвестиційній діяльності будівельного підприємства може мати різну природу [233]. В одних випадках вона пов’язана з випадковістю майбутніх подій, в інших – з неповнотою інформації, невизначеністю меж між економічними станами, експертним характером оцінок або складністю взаємодії факторів. Тому вибір математичного апарату має залежати не лише від наявності невизначеності, а насамперед від її типу та від того, який результат необхідно отримати [234].

Для задачі формування архітектури інвестиційного забезпечення можна виділити декілька основних підходів: детерміноване моделювання, ймовірнісні методи, інтервальний аналіз, теорію нечітких множин, нечіткі когнітивні моделі та методи машинного навчання. Кожний із них вирішує власний клас задач і по-різному трактує невизначеність.

Таблиця 3.1. Порівняльна характеристика підходів до моделювання невизначеності в інвестиційних рішеннях будівельного підприємства

Підхід	Який тип невизначеності враховує	Вимоги до вихідних даних	Робота з якісними оцінками	Інтерпретованість результату	Основне обмеження для досліджуваної задачі
Детерміновані моделі	невизначеність безпосередньо не моделюється	точні значення параметрів	обмежена	висока	потребують жорстких порогів і не відображають перехідні стани
Ймовірнісні моделі	випадковість і статистична мінливість	бажано достатній обсяг спостереже	обмежена	середня	нечіткість економічних оцінок не тотожна

		нь або задані розподіли			випадковості
Інтервальний аналіз	невідоме точне значення в заданих межах	нижня та верхня межі параметра	частково	висока	не описує ступінь належності значення до економічного стану
Нечіткі множини	нечіткість меж, лінгвістична та експертна невизначеність	числові та якісні дані	висока	висока	потребує обґрунтування функцій належності та бази правил
Нечіткі когнітивні карти	невизначені причинно-наслідкові зв’язки	експертні оцінки сили зв’язків	висока	висока	краще описують структуру взаємодій, ніж придатність конкретного інструменту
Машинне навчання	складні приховані закономірності у даних	значний набір спостережень	опосередковано	залежить від алгоритму	за відсутності достатніх даних не може бути початковим механізмом оцінювання

Джерело: розробка автора

Детерміновані моделі є найпростішим способом формалізації інвестиційного рішення. Вони передбачають, що всі ключові параметри відомі або приймаються як фіксовані [235, 236]. Такий підхід добре працює для розрахунків вартості капіталу, строків погашення, грошових потоків або інших показників, де зв’язок між входом і результатом можна задати однозначно.

Однак у досліджуваній задачі частина параметрів має іншу природу. Наприклад, неможливо встановити одну універсальну межу, після якої управлінська зрілість підприємства стає «достатньою» для роботи з грантовим фінансуванням або ППП. Аналогічно значення суспільної значущості чи регуляторної стабільності не мають природної бінарної межі. Використання жорсткого порогу в таких випадках означало б штучне перетворення

поступової економічної зміни на дискретний перехід. Ймовірнісні методи дозволяють враховувати інший тип невизначеності – випадковість. Якщо відомий або може бути обґрунтовано заданий розподіл майбутньої вартості ресурсу, строку реалізації чи грошового потоку, ймовірнісна модель дає змогу оцінювати множину можливих результатів [237]. Проте твердження «фінансова автономія підприємства є середньою» і твердження «ймовірність певного рівня фінансової автономії становить 60 %» описують різні явища. У першому випадку йдеться про нечіткість економічної категорії, у другому – про випадковість події. Підміна одного типу невизначеності іншим може призвести до неправильної інтерпретації результату.

Ймовірнісний апарат у дослідженні доцільно використовувати не замість нечіткої моделі, а на наступному етапі. Після того як нечітка система формалізує зв’язок між характеристиками підприємства, проєкту та придатністю інвестиційного інструменту, імітаційне моделювання дозволяє дослідити поведінку цієї системи у великій кількості можливих сценаріїв [238, 239].

Інтервальний аналіз займає проміжне положення. Він доцільний у ситуації, коли точне значення параметра невідоме, але можна визначити допустимі межі. Наприклад, очікувану вартість ресурсу можна задати інтервалом, якщо на момент оцінювання остаточні умови фінансування ще не встановлені. Перевагою такого підходу є простота та прозорість. Водночас сам інтервал не показує, наскільки конкретне значення відповідає поняттям «низький ризик», «достатнє покриття» або «висока придатність». Усі значення в межах інтервалу формально залишаються допустимими, хоча їх економічна якість може суттєво відрізнятися.

Теорія нечітких множин дозволяє працювати саме з такою нечіткістю. Значення показника не просто потрапляє або не потрапляє до певної категорії, а характеризується ступенем належності до декількох сусідніх станів. Завдяки цьому можна описати поступові переходи між низьким, середнім і високим рівнями без запровадження різких порогів. Для задачі оцінювання

інвестиційних інструментів це має ще одну перевагу. Нечітка система дозволяє задавати не лише окремі характеристики, а й правила їх спільної інтерпретації [240]. Наприклад, один і той самий рівень фінансової автономії може мати різну вагу для комерційного кредиту, гранту та приватного інвестування. Така залежність природно задається через окремі бази правил.

Нечіткі когнітивні карти також можуть працювати з якісними та експертними оцінками, але вирішують дещо іншу задачу [241]. Їх сильна сторона полягає у відображенні мережі причинно-наслідкових зв'язків між факторами. Вони добре підходять для аналізу того, як зміна одного елемента системи впливає на інші.

Методи машинного навчання здатні відтворювати складні нелінійні залежності без попереднього жорсткого задання їх математичної форми. За наявності достатньої кількості якісних спостережень вони можуть бути використані для прогнозування або класифікації придатності інвестиційних рішень [144]. Основним обмеженням на початковому етапі є потреба у навчальній вибірці. Для специфічної задачі формування інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у післявоєнних умовах достатня кількість однорідних спостережень може бути відсутня [242, 243]. Крім того, використання машинного навчання як початкової моделі ускладнює пояснення того, чому певний інструмент отримав конкретну оцінку.

Тому у прийнятій методології машинне навчання не замінює нечітку систему, а використовується після неї. Нечітка модель формує структуровану залежність на основі економічної логіки та правил, імітаційне моделювання генерує велику кількість допустимих сценаріїв, а методи машинного навчання надалі використовуються для апроксимації та пояснення сформованої залежності [244–246].

Загальне співвідношення розглянутих підходів наведено на рис. 3.1.

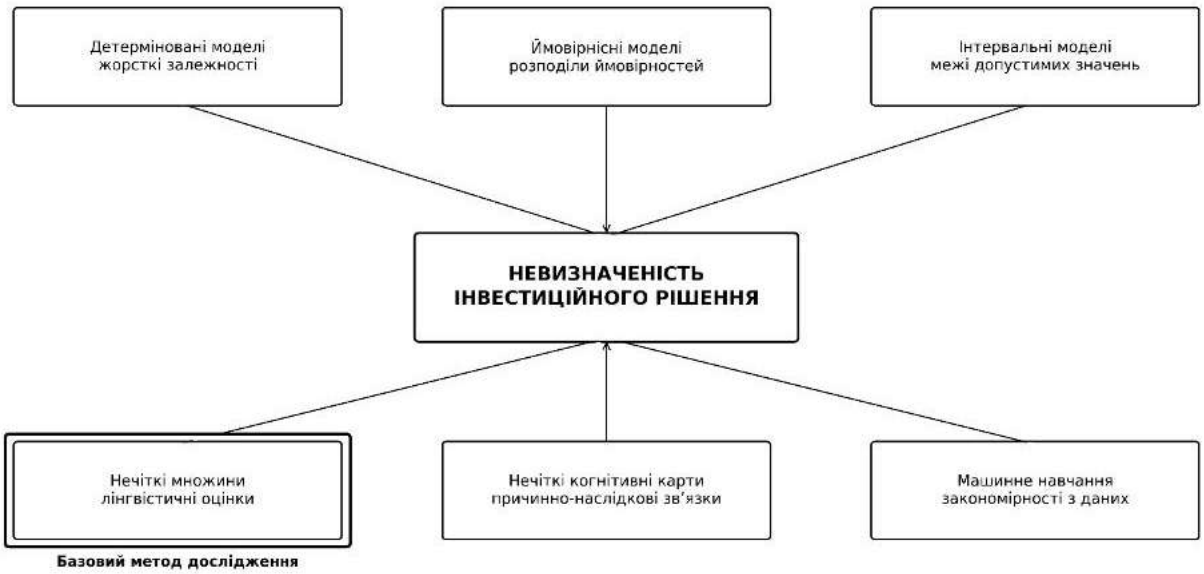

Рис. 3.1. Підходи до моделювання невизначеності в інвестиційних рішеннях. Джерело: розроблено автором.

Рисунок 3.1 показує, що розглянуті методи не є взаємозамінними. Вони відповідають різним формам невизначеності та можуть використовуватися послідовно в межах одного дослідження.

Для першого етапу задачі ключовою є не випадковість майбутніх значень, а нечіткість економічної оцінки та необхідність поєднання різнорідних факторів. Саме тому базовим інструментом обрано теорію нечітких множин і нечітке виведення. Ймовірнісний та імітаційний підходи при цьому не відкидаються. Вони використовуються на наступному етапі для формування великої множини допустимих комбінацій параметрів і дослідження поведінки нечіткої моделі в ширшому просторі сценаріїв. Методи машинного навчання, своєю чергою, застосовуються для побудови апроксимаційних моделей і встановлення впливу окремих факторів на вихідні оцінки [247].

У результаті формується послідовність, у якій кожний метод виконує окрему функцію: нечітка логіка формалізує якісну та лінгвістичну невизначеність, імітаційне моделювання досліджує сценарну мінливість, а машинне навчання виявляє та пояснює складні закономірності у

сформованому масиві даних [248]. Такий розподіл ролей дозволяє уникнути ситуації, коли один математичний метод використовується для опису різних за природою видів невизначеності. Саме тому нечітка логіка обрана базовим механізмом першого етапу формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства [249].

Теорія нечітких множин базується на припущенні, що належність об'єкта до певного класу не обов'язково має бути бінарною. У класичній множині елемент або належить до неї, або не належить. У нечіткій множині належність задається поступово – від повної невідповідності до повної відповідності [250, 251]. Для економічних та управлінських задач така постановка є природною. Показники діяльності підприємства рідко мають універсальні межі, після яких їх можна однозначно віднести до «низьких» або «високих». Те саме стосується характеристик проєкту, вартості ресурсу, регуляторної стабільності, рівня гарантійного покриття або доступності програм підтримки.

Основним елементом нечіткої множини є функція належності, яка показує ступінь відповідності конкретного значення певному лінгвістичному стану:

$$\mu_A(x) \in [0;1] \qquad (3.1)$$

де μA(x) – ступінь належності значення x до нечіткої множини A.

Значення 0 означає відсутність належності, значення 1 – повну належність, а проміжні величини описують перехідний стан. Наприклад, нормоване значення показника 0,62 може одночасно частково належати до категорій «середній» і «високий». Саме завдяки цьому модель не потребує жорсткого поділу економічного простору на ізольовані області.

У контексті дослідження архітектури інвестиційного забезпечення нечіткі множини використовуються для опису станів первинних показників та проміжних оцінок [252]. До них можуть належати фінансова автономія підприємства, стабільність операційного грошового потоку, капіталомісткість

проєкту, строкова відповідність ресурсу, територіальна безпечність або доступність програм підтримки.

Основні поняття, які використовуються при побудові нечіткої моделі, узагальнено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Основні поняття нечіткого моделювання та їх інтерпретація в задачі інвестиційного забезпечення

Поняття	Зміст	Інтерпретація у досліджуваній задачі
Нечітка множина	сукупність елементів із різним ступенем належності	множина значень показника, що відповідають певному економічному стану
Функція належності	визначає ступінь відповідності значення певній нечіткій множині	показує, наскільки параметр можна вважати низьким, середнім або високим
Лінгвістична змінна	змінна, значення якої задаються словами або словосполученнями	фінансова автономія, придатність інструменту, суспільна значущість тощо
Лінгвістичний терм	окремий якісний стан лінгвістичної змінної	«низький», «середній», «високий»
Фазифікація	перетворення числового значення у ступені належності	перехід від нормованого показника до нечітких станів
Нечітке правило	логічний зв’язок між вхідними станами та виходом	описує, як комбінація характеристик впливає на придатність інструменту
Агрегування	об’єднання результатів активованих правил	формування сукупного нечіткого виходу
Дефазифікація	перетворення нечіткого виходу в числове значення	отримання кінцевої оцінки придатності S_i

Джерело: розроблено автором

Одним із ключових понять є лінгвістична змінна. На відміну від звичайної числової змінної, вона описується не тільки конкретними числами, а й якісними станами. Тобто лінгвістичні терми не повинні механічно повторювати однакові слова для всіх показників. Їх назва має відповідати

економічному змісту змінної. Типову систему трьох функцій належності наведено на рис. 3.3.

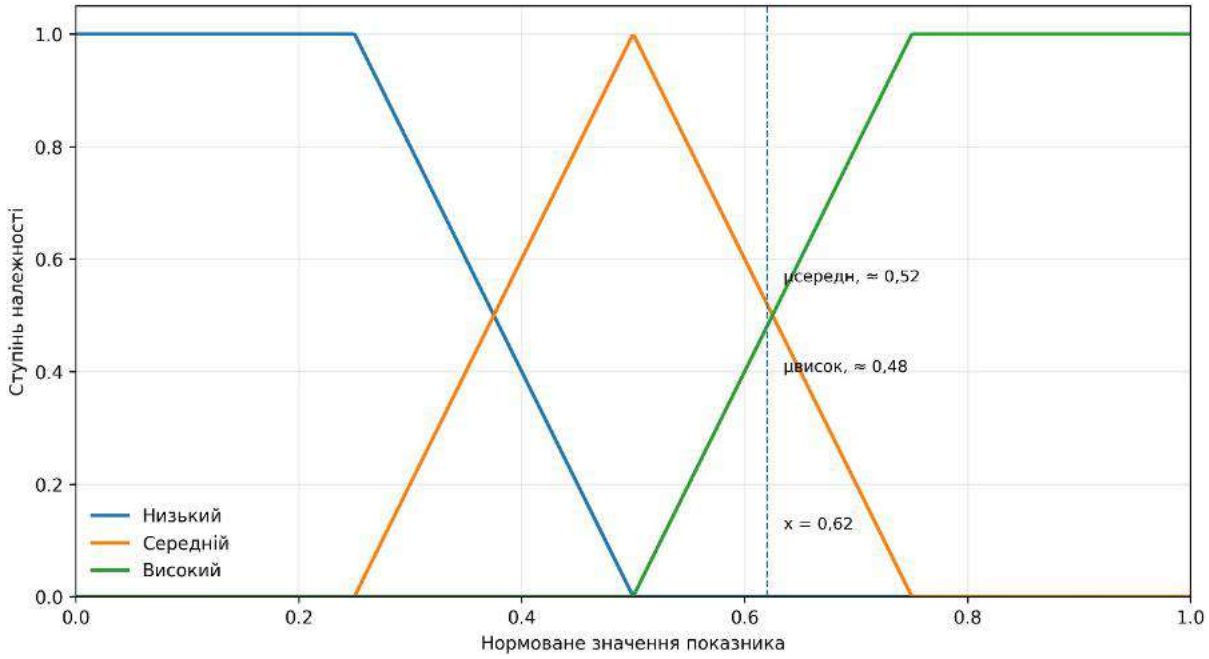

Рис. 3.3. Типова система лінгвістичних термів нечіткої змінної. *Джерело: розроблено автором.*

На рисунку показано три перекривні області – низьку, середню та високу. Перекриття є принциповою властивістю нечіткої моделі [253]. Воно означає, що значення поблизу межі не переходить миттєво з одного стану до іншого.

Наступним важливим елементом є фазифікація. Вона полягає у перетворенні нормованого числового значення на декілька ступенів належності. Після цього система працює вже не з одним числом, а з його лінгвістичною інтерпретацією [254, 255]. Після фазифікації взаємозв'язок між показниками задається за допомогою правил типу «якщо – то». У загальному вигляді правило може мати таку логіку: якщо фінансова автономія висока і стабільність грошового потоку висока, то підприємницька відповідність кредитному інструменту висока. Правила формують економічний зміст нечіткої моделі [256, 257]. Функції належності визначають, у якому стані перебуває показник, а база правил визначає, що означає ця комбінація станів для конкретного інвестиційного рішення. Це відрізняє нечітку модель від простого шкалювання або нормування. Нормоване значення саме по собі ще не

містить логіки прийняття рішення. Вона виникає лише після поєднання функцій належності та системи правил.

Для побудови системи можуть використовуватися різні механізми нечіткого виведення. Вони відрізняються способом формування вихідної частини правил, процедурою агрегування та способом отримання числового результату. Тому наступним кроком є порівняння основних моделей нечіткого виведення та обґрунтування вибору підходу Mamdani для задачі оцінювання придатності інвестиційних інструментів. Наступним методологічним питанням є структура самої нечіткої системи. Використання значної кількості вхідних показників у межах одного рівня призводить до різкого збільшення кількості можливих комбінацій правил. Тому далі доцільно обґрунтувати перехід від одноріневої до ієрархічної структури нечіткого моделювання.

Збільшення кількості вхідних показників у нечіткій системі істотно ускладнює формування бази правил. Для кожної додаткової змінної необхідно враховувати її можливі лінгвістичні стани та їх взаємодію з іншими входами. За невеликої кількості параметрів це не створює суттєвих труднощів, однак при переході до багатофакторних економічних задач кількість потенційних комбінацій швидко зростає [258].

У досліджуваній задачі оцінювання інвестиційних інструментів одночасно враховуються характеристики підприємства, проєкту, умов залучення ресурсу та інституційно-ризикового середовища. Загалом модель оперує двадцятьма первинними показниками. Якщо кожний із них описувати лише трьома лінгвістичними станами – низьким, середнім і високим, – теоретична кількість можливих комбінацій становитиме $3^{20} = 3\,486\,784\,401$. Очевидно, що побудова однієї одноріневої бази правил такого масштабу не має практичного сенсу. Навіть якщо використовувати лише частину комбінацій, система стає складною для перевірки, коригування та економічної інтерпретації.

Проблема полягає не тільки в кількості правил. В одноріневій моделі правило мало б одночасно враховувати фінансову автономію підприємства,

стабільність грошового потоку, капіталомісткість і тривалість проєкту, вартість ресурсу, доступність програм підтримки, гарантійне покриття та інші характеристики. Таке правило було б важко сформулювати змістовно і ще важче пояснити його роль у кінцевому результаті. Тому для багатофакторних задач доцільним є використання ієрархічної нечіткої структури, у якій загальна задача розподіляється між декількома локальними підсистемами. Кожна з них обробляє логічно однорідну групу показників і формує проміжну оцінку, яка далі використовується на інтегральному рівні.

Для задачі формування архітектури інвестиційного забезпечення така декомпозиція відповідає економічній природі об'єкта дослідження. Первинні показники доцільно групувати за чотирма контурами: підприємницьким; проєктним; інвестиційно-ресурсним; інституційно-ризиковим. Кожний контур характеризує окрему сторону придатності інвестиційного інструменту.

На першому рівні кожен із цих контурів оцінюється окремою локальною нечіткою підсистемою. У результаті двадцять первинних показників замінюються чотирма агрегованими оцінками, що зберігають зміст відповідного контуру [259, 260]. На другому рівні ці оцінки об'єднуються у кінцевий показник придатності інвестиційного інструменту. Ієрархічний підхід дає декілька практичних переваг. Перша полягає у суттєвому скороченні складності окремої бази правил. Якщо локальна підсистема має п'ять входів із трьома станами, її повний простір становить 243 можливі комбінації. Для другого рівня з чотирма входами – 81 комбінацію. Ці величини вже можуть бути перевірені та осмислені. При цьому не обов'язково механічно використовувати всі можливі комбінації. База правил може формуватися на основі економічної логіки, критичних станів, типових сценаріїв та обмежувальних умов. Однак навіть у такому випадку ієрархічна структура задає зрозумілі межі кожної локальної задачі.

Друга перевага полягає у можливості діагностики результату. Якщо модель одразу перетворює двадцять входів у один кінцевий показник, пояснити причину низького значення складніше. В ієрархічній системі можна

встановити, чи проблема пов’язана з підприємницькою спроможністю, характеристиками проєкту, умовами ресурсу або зовнішнім середовищем.

Третя перевага пов’язана з модульністю. Окремі підсистеми можна уточнювати або калібрувати без повної перебудови всієї моделі. Наприклад, зміна правил, які стосуються грантових програм, не потребує перегляду логіки оцінювання комерційного кредиту або власного фінансування.

Структурну відмінність між двома підходами наведено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Порівняння однорівневої та ієрархічної структури нечіткої моделі. *Джерело: розроблено автором.*

На рисунку 3.4 однорівнева модель представлена як єдина система, до якої одночасно надходить велика кількість вхідних характеристик. Ієрархічна структура передбачає попереднє групування показників у локальні контури, отримання проміжних оцінок і лише після цього їх інтеграцію. Для даного дослідження важливо, що ієрархічність не означає простого арифметичного агрегування показників. Усередині кожного рівня зберігається нечітке виведення. Взаємозв’язки між параметрами визначаються правилами, а не фіксованою сумою ваг. Так само проміжні оцінки не є самостійними кінцевими індексами. Їх функція полягає у стисканні інформації всередині логічно

однорідного контуру та передачі її на наступний рівень без необхідності одночасного опрацювання всіх двадцяти первинних показників.

Ієрархічна структура має і певне обмеження. Після формування локальної оцінки частина деталізації первинних входів неминуче втрачається. Дві різні комбінації початкових параметрів можуть сформувати близький локальний результат. Тому проміжні оцінки доцільно зберігати разом із первинними даними, а поведінку локальних підсистем – перевіряти окремо. У дослідженні цей недолік компенсується збереженням результатів усіх рівнів моделі та подальшим аналізом поверхонь відгуку, граничних сценаріїв і чутливості.

Використання ієрархічної структури зумовлене не лише необхідністю скоротити кількість правил. Вона забезпечує логічне розділення факторів, вищу інтерпретованість, діагностику причин результату та можливість модульного коригування системи.

Після визначення структури нечіткої системи наступним методологічним завданням є перетворення нормованих числових показників на лінгвістичні стани. Саме цей етап визначає, як система трактуватиме проміжні значення і наскільки плавно змінюватиметься результат при переході від одного економічного стану до іншого. У нечіткому моделюванні функція належності виконує роль зв’язку між числовим і лінгвістичним представленням показника. Її форма задає, наскільки певне значення відповідає термам «низький», «середній», «високий» або іншим змістовно еквівалентним категоріям.

Для економічних показників доцільно використовувати функції простої форми, параметри яких можна пояснити та перевірити. Надмірно складні функції збільшують кількість параметрів моделі, але не обов’язково підвищують якість її економічної інтерпретації. Тому в межах дослідження базовими обрано трикутні та трапецієподібні функції належності.

Трикутна функція добре описує проміжний стан, для якого існує одна найбільш характерна область. Трапецієподібна форма є зручнішою для крайніх

станів, оскільки дозволяє виділити інтервал значень, які повністю належать до категорії «низький» або «високий». Основні причини такого вибору наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Методологічні принципи формування функцій належності

Принцип	Реалізація в нечіткій моделі	Методологічне призначення
Простота форми	використання трикутних і трапецієподібних функцій	збереження інтерпретованості
Перекриття сусідніх термів	одночасна часткова належність до двох станів	усунення різких переходів
Спільний діапазон	нормування більшості входів до [0;1]	уніфікація різнорідних показників
Обмежена кількість термів	три терми для первинних змінних	контроль складності бази правил
Детальніший кінцевий вихід	п’ять термів для S_i	точніше розмежування рівнів придатності
Економічна інтерпретація	назви термів відповідають змісту показника	уникнення формального використання однакових назв
Можливість калібрування	параметри можуть коригуватися після перевірки моделі	адаптація до емпіричних або експертних даних
Стабільність	зміна параметра не повинна створювати необґрунтованих стрибків	забезпечення логічної поведінки моделі

Джерело: розроблено автором.

Для більшості первинних показників використовується тритермова шкала. У загальному випадку вона складається зі станів: низький – середній – високий. Для окремих змінних назви адаптуються до їх економічного змісту. Наприклад, для тривалості проєкту доцільніше використовувати категорії «коротка – середня – тривала», а для капіталомісткості – «низька – середня – висока». Така адаптація є важливою, оскільки однакова числова шкала не означає однакової економічної інтерпретації.

П’ять термів на виході дозволяють відокремити крайні стани від просто низької або високої придатності. Це особливо корисно для подальшого аналізу,

коли необхідно виділити не один інструмент із максимальним значенням, а групу альтернатив із високою або дуже високою відповідністю. Таким чином, система функцій належності виконує дві взаємопов’язані функції. З одного боку, вона забезпечує плавний перехід від числових значень до якісних станів. З іншого – контролює складність всієї нечіткої системи.

Для первинних показників доцільною є тритермова шкала, яка забезпечує достатню деталізацію без надмірного збільшення бази правил. Для кінцевої придатності використовується п’ятитермова шкала, що дає змогу точніше розмежувати рівні результату.

База правил є змістовним ядром нечіткої моделі, оскільки саме вона визначає, як поєднання окремих характеристик підприємства, проєкту, ресурсу та зовнішнього середовища перетворюється на локальну або інтегральну оцінку. Функції належності лише показують, до яких лінгвістичних станів належить конкретне значення показника. Економічний висновок виникає на наступному етапі – після застосування правил типу «якщо – то». Для інвестиційних рішень база правил не повинна формуватися як механічний перелік усіх теоретично можливих комбінацій. Значно важливіше забезпечити змістовне покриття типових, критичних і граничних ситуацій, які можуть виникати при використанні конкретного інструменту фінансування.

У межах дослідження формування правил спирається на декілька джерел: економічну логіку функціонування підприємства, умови використання інвестиційних інструментів, експертні оцінки, аналіз типових сценаріїв та подальшу перевірку узгодженості результатів, що дозволяє уникнути ситуації, коли база правил відображає лише суб’єктивні уявлення розробника моделі (табл. 3.4). За функціональним призначенням правила доцільно поділити на декілька груп .

Сприятливі правила описують комбінації, за яких використання відповідного інструменту є економічно узгодженим. Наприклад, для комерційного кредиту сприятливим є поєднання достатньої фінансової автономії, стабільного грошового потоку та прийнятного строку фінансування.

Таблиця 3.4. Основні типи нечітких правил у моделі оцінювання інвестиційних інструментів

Тип правила	Зміст	Приклад економічної інтерпретації	Роль у моделі
Сприятливе	фіксує комбінацію характеристик, яка підвищує придатність інструменту	висока фінансова автономія та стабільний грошовий потік підвищують відповідність кредиту	формує верхню частину шкали
Обмежувальне	знижує оцінку при несприятливому значенні одного або декількох факторів	недостатній строк ресурсу зменшує ресурсну відповідність	не допускає надмірно оптимістичної оцінки
Критичне	визначає стан, який суттєво обмежує результат незалежно від інших переваг	неспроможність забезпечити обов'язкову власну участь	реалізує некомпенсаційну логіку
Компенсаційне	допускає часткове врівноваження слабкого фактора сильними характеристиками	середня ресурсна відповідність може бути прийнятною за високої підприємницької та проєктної відповідності	забезпечує гнучкість моделі
Інструмент-специфічне	враховує особливу логіку конкретного джерела	висока суспільна значущість суттєво підвищує придатність гранту або ППП	відрізняє логіку різних інструментів

Джерело: складено автором за [261-263]

Для грантового механізму більшу роль можуть відігравати суспільна значущість проєкту, його терміновість та доступність програм підтримки.

Через це однаковий набір вхідних показників не повинен автоматично формувати однакові правила для всіх інструментів. База правил має бути інструмент-специфічною. Обмежувальні правила використовуються у випадках, коли несприятливе значення певного параметра не робить інструмент повністю непридатним, але суттєво знижує його відповідність. Наприклад, кредит може залишатися можливим при середній стабільності грошового потоку, однак його оцінка буде нижчою, ніж за стабільного фінансового стану.

Критичні правила мають іншу природу. Вони застосовуються тоді, коли слабкість певного параметра не повинна повністю компенсуватися високими значеннями інших. Для інвестиційної задачі це особливо важливо. Якщо підприємство не здатне забезпечити необхідний власний внесок, низька вартість ресурсу або висока економічна результативність проєкту не повинні автоматично формувати високу придатність такого інструменту. Саме тому в моделі використовується принцип обмеженої компенсації.

Структурну логіку формування правил наведено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Логіка формування бази нечітких правил. *Джерело: розроблено автором.*

Сприятливі правила описують комбінації, за яких використання відповідного інструменту є економічно узгодженим. Наприклад, для

комерційного кредиту сприятливим є поєднання достатньої фінансової автономії, стабільного грошового потоку та прийнятного строку фінансування. На рисунку 3.5 показано, що правила формуються не з одного джерела. Економічна логіка задає загальні причинні зв'язки, формальні умови інструментів – обов'язкові обмеження, експертні оцінки – ситуації, які складно описати нормативно, а сценарний аналіз використовується для перевірки того, чи не виникають суперечливі або нелогічні виходи.

Окремо необхідно контролювати повноту бази правил. Для будь-якої допустимої комбінації вхідних станів система повинна мати можливість сформувати результат. Якщо певна область простору входів не активує жодного правила, це свідчить про прогалину в моделі.

Другим критерієм є несуперечливість. Дві близькі комбінації входів не повинні без економічної причини формувати радикально різні виходи. Третім критерієм є спрямованість реакції. Для показників, економічний вплив яких однозначний, поліпшення стану не повинно погіршувати результат. Наприклад, збільшення гарантійного покриття за незмінних інших умов не повинно знижувати інституційно-ризикову відповідність. Водночас така монотонність не є обов'язковою для всіх змінних. Тривалість або капіталомісткість проєкту можуть мати різний ефект залежно від інструменту. Для ППП великий масштаб може бути перевагою, а для самофінансування – обмеженням.

Методологічно доцільно також розділяти формальні обмеження і нечіткі правила. Якщо умова є бінарною за своєю суттю – наприклад, проєкт не відповідає критеріям програми, – її не потрібно перетворювати на нечітке правило. Такий інструмент доцільніше виключити ще до запуску нечіткого виведення, що дозволяє зберегти нечітку систему для тих ситуацій, де справді існує поступова економічна оцінка. База правил формується як поєднання сприятливих, обмежувальних, критичних, компенсаційних та інструмент-специфічних залежностей. Її завдання полягає не в механічному охопленні

максимальної кількості комбінацій, а в тому, щоб відобразити економічно обґрунтовану поведінку системи.

Після фазифікації вхідних значень і активації бази правил нечітка система повинна об’єднати часткові результати та перетворити їх у кінцеву числову оцінку. Цей етап охоплює кілька послідовних операцій: визначення ступеня активації правил, формування нечітких виходів, їх агрегування та дефазифікацію.

Для моделі Mamdani доцільно використовувати прості й добре інтерпретовані оператори. Якщо правило містить декілька умов, поєднаних логічним оператором «І», рівень його активації визначається за найменшим ступенем належності серед відповідних умов. Для оператора «АБО» використовується максимальне значення.

Такий підхід має зрозумілу економічну інтерпретацію (табл. 3.5). Якщо правило вимагає одночасного виконання декількох сприятливих умов, його результат не повинен бути сильнішим за найслабшу з них. Наприклад, якщо фінансова автономія має високий ступінь належності, але стабільність грошового потоку лише частково відповідає високому рівню, сила всього правила обмежується слабшою умовою.

Таблиця 3.5. Послідовність операцій у моделі нечіткого виведення Mamdani

Етап	Операція	Прийнятий підхід	Економічний зміст
1	фазифікація	визначення ступенів належності	перехід від числового значення до лінгвістичних станів
2	поєднання умов «І»	мінімум	сила правила обмежується найслабшою умовою
3	поєднання умов «АБО»	максимум	достатньою є найсильніша з альтернативних умов
4	формування	обрізання вихідної	наслідок масштабується

	наслідку правила	функції належності	відповідно до сили правила
5	агрегування	максимум	об’єднання всіх активованих правил в один нечіткий вихід
6	дефазифікація	центр ваги	перетворення нечіткого результату на числову оцінку
7	інтерпретація	шкала [0;1]	визначення ступеня придатності інструменту

Джерело: розроблено автором за [264–266]

Після визначення сили кожного активованого правила формується його нечіткий вихід. У моделі Mamdani відповідна функція належності обрізається на рівні активації правила. У результаті кожне правило формує окремий фрагмент вихідної нечіткої множини.

Наступним кроком є агрегування. Оскільки для однієї комбінації вхідних параметрів можуть одночасно активуватися декілька правил, їх результати об’єднуються в одну вихідну нечітку множину. Для цього використовується оператор максимуму.

Зміст такої процедури полягає в тому, що різні правила можуть підтримувати один і той самий або сусідні вихідні стани. Агрегований результат враховує всі активовані правила і відображає сукупну реакцію системи.

Після агрегування результат ще не має вигляду одного числа. Він представлений нечіткою множиною, яка показує, наскільки вихід відповідає різним рівням придатності. Для практичного використання необхідно перетворити її на одне числове значення.

Для цього в дослідженні використовується метод центру ваги, який визначає положення умовного центру агрегованої вихідної області:

$$y^{*} = \frac{\int y\,\mu(y)\,dy}{\int \mu(y)\,dy} \qquad (3.2)$$

Метод центру ваги є доцільним для досліджуваної задачі з кількох причин. По-перше, він враховує всю форму агрегованого виходу, а не лише її максимальну точку. По-друге, забезпечує плавну зміну результату при невеликих змінах входів. По-третє, добре узгоджується з використанням перекривних функцій належності.

На відміну від вибору категорії з максимальним ступенем належності, центр ваги дозволяє зберегти інформацію про перехідний стан між сусідніми рівнями. Це особливо важливо, коли результат одночасно частково відповідає, наприклад, середній і високій придатності.

Послідовність формування кінцевої оцінки представлено на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Послідовність нечіткого виведення та формування кінцевої оцінки. *Джерело: розроблено автором.*

На рисунку показано, що числові значення спочатку перетворюються на ступені належності, після чого активуються правила, агрегуються їх виходи і виконується дефазифікація. Кінцевим результатом є значення S_i у межах від 0 до 1.

Для ієрархічної моделі ця процедура виконується двічі. На першому рівні вона використовується для формування локальних контурних оцінок. На

другому – для інтеграції цих оцінок у кінцевий показник придатності конкретного інвестиційного інструменту.

Саме тут виникає важливе методологічне питання щодо трактування S_i. Правильну інтерпретацію наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Зміст та обмеження інтерпретації показника S_i

Трактування	Чи є коректним	Пояснення
ступінь придатності інструменту	так	показує відповідність умовам підприємства, проєкту та середовища
ймовірність отримання фінансування	ні	потребує статистичної моделі фактичних результатів
частка джерела у структурі фінансування	ні	частки визначаються на наступному оптимізаційному етапі
готовий рейтинг 1–6	лише умовно	близькі значення не повинні трактуватися як суттєво різні
критерій попереднього відбору	так	дозволяє виділити множину придатних альтернатив
вхід для наступної оптимізації	так	S_i може використовуватися разом із вартістю, ризиком, обсягом та іншими параметрами

Джерело: розроблено автором

Головне призначення S_i полягає у вимірюванні відповідності інвестиційного інструменту конкретній ситуації, а не у прийнятті остаточного рішення щодо структури фінансування.

Це має пряме значення для загальної логіки дослідження. На першому етапі нечітка модель скорочує простір альтернатив і формує кількісну характеристику їх придатності. На наступних етапах до цієї інформації

додаються обсяг доступного ресурсу, його вартість, строк, ризик та інші критерії, після чого вже може визначатися структура інвестиційного забезпечення.

У підсумку процедури агрегування та дефазифікації забезпечують перехід від множини частково активованих нечітких правил до одного числового результату, не втрачаючи при цьому поступового характеру економічної оцінки. Побудова нечіткої моделі не завершується визначенням функцій належності та формуванням бази правил [267]. Необхідно окремо перевірити, чи система поводиться логічно в різних областях вхідного простору, чи не має прогалин у правилах і чи не реагує надмірно різко на невеликі зміни параметрів [268].

Для нечіткої моделі термін «адекватність» має дещо інший зміст, ніж для статистичної або регресійної моделі. Якщо відсутня велика вибірка фактичних спостережень із відомими «правильними» виходами, адекватність не можна оцінювати лише через похибку прогнозу. У такому випадку основна увага приділяється внутрішній логічній узгодженості, відповідності економічному змісту задачі та стійкості реакції моделі. Тому перевірка здійснюється за декількома напрямами.

Таблиця 3.7. Основні напрями перевірки нечіткої моделі

Напрям перевірки	Що контролюється	Очікуваний результат
Покриття бази правил	чи існує вихід для всіх допустимих комбінацій входів	відсутність областей без активованих правил
Граничні сценарії	реакція на одночасно сприятливі, середні та несприятливі стани	відповідність логічно очікуваним рівням S_i
Спрямованість реакції	поведінка при зміні одного показника	логічна монотонність там, де вона економічно

		обґрунтована
Поверхні відгуку	спільний вплив двох параметрів	плавна та змістовна форма поверхні
Локальна стійкість	реакція на невеликі збурення входів	відсутність непропорційних стрибків S_i
Чутливість до функцій належності	вплив зміни параметрів функцій	збереження загальної логіки результатів
Перевірка близьких альтернатив	поведінка при малих відмінностях між S_i	уникнення штучно жорсткого ранжування
Інструмент-специфічна логіка	чи відповідають реакції природі конкретного інструменту	різна поведінка кредиту, гранту, приватного капіталу, ППП

Джерело: розроблено автором

Першим етапом є перевірка повноти покриття бази правил. Для будь-якої допустимої комбінації вхідних значень система повинна сформувати нечіткий вихід. Якщо певний набір параметрів не активує жодного правила, модель не може коректно працювати в цій області. Така проблема особливо небезпечна при подальшому імітаційному моделюванні. При ручній перевірці декількох сценаріїв прогалина може залишитися непоміченою, але при генерації тисяч комбінацій вона проявиться у вигляді пропущених або невизначених результатів. Тому перед масовим використанням моделі доцільно перевіряти базу правил на великій множині випадкових або квазівипадкових комбінацій входів.

Другий напрям – граничні сценарії. Вони дозволяють перевірити базову логіку системи без складної статистики. Наприклад, якщо всі локальні контури перебувають у високому стані, кінцева придатність повинна потрапляти до

високої або дуже високої зони. Якщо всі контури низькі – результат повинен бути дуже низьким. Більш змістовними є проміжні граничні сценарії. Якщо три контури високі, а один критично низький, результат не повинен автоматично залишатися дуже високим. Такий тест дозволяє перевірити, чи справді реалізовано принцип обмеженої компенсації.

Наступним елементом є перевірка спрямованості реакції. Для показників, економічний вплив яких однозначний, модель повинна демонструвати передбачувану поведінку. Наприклад, при незмінних інших умовах збільшення гарантійного покриття не повинно знижувати інституційно-ризикову відповідність. Аналогічно підвищення фінансової автономії не повинно погіршувати підприємницьку відповідність кредитному інструменту. Проте монотонність не є універсальною вимогою.

Деякі показники мають контекстний характер. Наприклад, тривалість проєкту може по-різному впливати на комерційний кредит і ППП. Для кредиту надмірно довгий горизонт може бути обмеженням, а для партнерського механізму – допустимою або навіть характерною умовою. Тому перевірка повинна враховувати не лише напрям зміни, а й економічну природу показника.

Одним із найнаочніших способів аналізу є поверхні відгуку. Вони показують зміну S_i при одночасному варіюванні двох входів за фіксованих інших параметрів. Систему перевірки нечіткої моделі узагальнено на рис. 3.7.

Нечітка модель у межах дослідження не розглядається як завершений самодостатній механізм прийняття інвестиційного рішення. Її функція полягає у первинному структуруванні багатофакторної інформації та формуванні кількісної оцінки придатності кожного потенційного інвестиційного інструменту для конкретної комбінації «будівельне підприємство – проєкт – зовнішнє середовище».

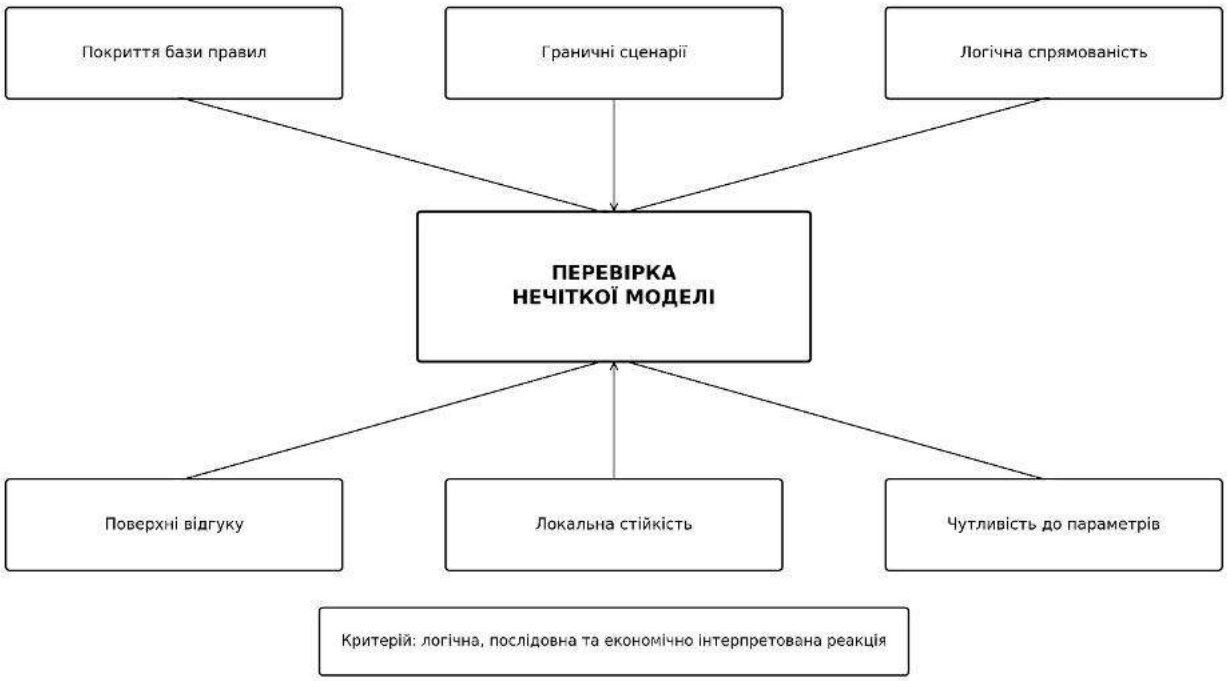

Рис. 3.7. Система перевірки адекватності та стійкості нечіткої моделі. *Джерело: розроблено автором.*

На рисунку показано шість взаємопов’язаних напрямів контролю: покриття бази правил, граничні сценарії, логічну спрямованість, поверхні відгуку, локальну стійкість і чутливість до параметрів моделі. Жоден із цих тестів окремо не є достатнім. Лише їх сукупність дозволяє оцінити, чи система формує послідовну й економічно інтерпретовану реакцію в різних областях вхідного простору (табл. 3.8).

Таблиця 3.8. Приклади контрольних сценаріїв для перевірки нечіткої моделі

Контрольна ситуація	Очікувана реакція
усі контури високі	дуже висока придатність
усі контури середні	середня придатність
усі контури низькі	дуже низька придатність
три високі, один середній	висока або наближена до високої
три високі, один критично низький	зниження до середньої або низької зони
поступове покращення однозначного	відсутність необґрунтованого

стимулятора	зниження S_i
невелике збурення входу поблизу межі термів	плавна зміна S_i
два інструменти з дуже близькими S_i	інтерпретація як групи близьких альтернатив

Джерело: розроблено автором

Модель вважається методологічно прийнятною, якщо вона забезпечує повне покриття допустимого простору, формує очікувані граничні реакції, не містить необґрунтованих стрибків, зберігає інструмент-специфічну логіку та демонструє достатню стійкість до малих змін параметрів. Після такої перевірки нечітка система може використовуватися як базовий генератор оцінок придатності для ширшого сценарного аналізу. Саме на цьому завершується локальна методологія нечіткого моделювання і виникає перехід до її місця в загальній послідовності дослідження – від формування S_i до імітаційного моделювання, машинного навчання та подальшої оптимізації архітектури інвестиційного забезпечення.

Нечітка логіка займає початкову позицію у загальній методологічній послідовності. На цьому етапі різнорідні кількісні та якісні показники перетворюються на систему локальних і кінцевих оцінок, які відображають відповідність окремих джерел та механізмів фінансування умовам конкретного підприємства і проєкту.

Результатом є не готова структура фінансування, а вектор придатності інвестиційних інструментів. Такий вектор виконує роль інформаційного базису для наступних етапів дослідження. Подальша методологія будується таким чином, щоб кожний наступний метод вирішував окрему задачу, не дублюючи функції попереднього.

3.2. Методологічні засади імітаційно-предиктивного моделювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства.

Формування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства в умовах післявоєнного відновлення відбувається за високої мінливості зовнішнього середовища. На рішення щодо використання власних ресурсів, кредитних коштів, грантів, приватного капіталу або механізмів державно-приватного партнерства одночасно впливають фінансовий стан підприємства, характеристики конкретного проєкту, параметри доступних джерел фінансування, інституційні умови та ризики. Значна частина цих характеристик не може бути визначена одним фіксованим значенням на весь період реалізації проєкту. Тому дослідження доцільно орієнтувати не на один розрахунковий стан, а на множину можливих комбінацій вихідних умов.

У такій постановці імітаційне моделювання виконує функцію дослідження простору можливих станів підприємства та інвестиційного проєкту. На відміну від детермінованого розрахунку, за якого кожному параметру задається одне значення, імітаційний підхід дозволяє багаторазово змінювати комбінації параметрів і спостерігати, як це впливає на придатність окремих інвестиційних інструментів.

Для завдань цього дослідження така властивість має принципове значення. Один і той самий інструмент фінансування може бути доцільним за певної конфігурації параметрів і втрачати привабливість при зміні навіть декількох ключових умов. Наприклад, підвищення фінансової стійкості підприємства саме по собі не означає автоматичного зростання доцільності кредитування, якщо одночасно погіршуються параметри вартості ресурсу, доступності гарантій або ризиковості території. Аналогічно висока суспільна значущість проєкту може підвищувати потенціал грантового чи пільгового фінансування, але лише за наявності відповідних програм підтримки. Тому завдання полягає не в оцінюванні окремих факторів ізольовано, а в дослідженні їх комбінацій.

У запропонованій методології імітаційне моделювання не замінює нечітку систему оцінювання, розроблену на попередньому етапі. Ці інструменти виконують різні функції. Нечітка модель визначає ступінь

придатності інвестиційного інструменту за заданого стану підприємства, проєкту, ресурсного та інституційного середовища. Імітаційний блок, своєю чергою, формує велику кількість таких станів і забезпечує систематичне дослідження поведінки нечіткої моделі в широкому діапазоні умов.

Таблиця 3.9. Функціональне призначення основних складових імітаційно-предиктивного підходу

Складова	Основне призначення	Результат
Нечітке моделювання	оцінювання придатності інвестиційних інструментів за конкретної комбінації умов	оцінки придатності S1–S6
Імітаційне моделювання	формування множини можливих станів підприємства, проєкту та зовнішнього середовища	масив сценаріїв
Формування синтетичного набору даних	поєднання параметрів сценаріїв із результатами FIS	навчальна інформаційна база
Машинне навчання	апроксимація залежності між вхідними параметрами та оцінками придатності	швидка прогнозна модель
Пояснюваний ШІ	визначення факторів, що найбільше впливають на прогноз	інтерпретація впливів
Багатокритеріальна оптимізація	пошук раціонального поєднання інвестиційних інструментів	структура інвестиційного забезпечення

Джерело: розроблено автором

Послідовність цих складових утворює єдину методологічну систему. Її важливо розглядати саме як послідовність взаємопов’язаних етапів, а не як набір незалежних методів. Нечітка логіка забезпечує змістовне відображення експертних знань і нелінійних залежностей. Імітаційне моделювання розширює область дослідження від окремих контрольних ситуацій до великої множини можливих комбінацій факторів. Машинне навчання створює

швидкий апроксимаційний механізм, необхідний для подальшого багаторазового оцінювання альтернатив під час оптимізації.

У цьому контексті доцільно виділяти три рівні дослідження (рис. 2.8). Перший рівень пов’язаний з формуванням правил оцінювання придатності інвестиційних інструментів. Він реалізується засобами нечіткої логіки. Другий рівень охоплює генерування та аналіз великої кількості сценаріїв, тобто формування інформаційного простору для виявлення закономірностей. Третій рівень передбачає використання апроксимаційної моделі для швидкого прогнозування та подальшого пошуку раціональної структури інвестиційного забезпечення.

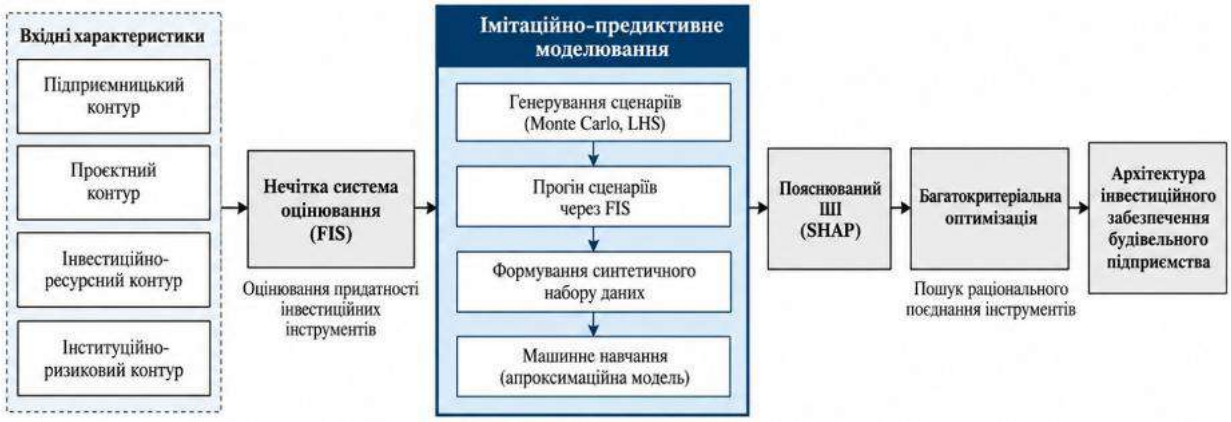

Рис. 3.8. Місце імітаційно-предиктивного моделювання в загальній методології формування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором*

Принципово важливим є також розмежування імітаційного моделювання та прогнозування майбутнього стану конкретного підприємства [269, 270]. Сформовані сценарії не слід трактувати як прогноз того, що певна комбінація факторів обов’язково виникне на практиці. Їх функція полягає в іншому – забезпечити достатньо широке та контрольоване охоплення можливих станів системи. В подальшому використовується не один прогнозний сценарій, а велика сукупність комбінацій параметрів [271].

Такий підхід особливо актуальний для післявоєнного відновлення, де статистична база щодо майбутніх інвестиційних механізмів є обмеженою, а

частина інституційних умов ще формується. За таких обставин побудова моделі лише на історичних спостереженнях може не охоплювати можливих майбутніх конфігурацій. Імітаційне моделювання дозволяє дослідити ці конфігурації в межах заздалегідь визначених допустимих інтервалів, не підміняючи при цьому емпіричні дані вигаданими спостереженнями [272].

Водночас синтетичне походження сценаріїв створює важливе методологічне обмеження. Якість отриманих результатів залежить від коректності заданих меж параметрів, логічних обмежень та структури первинної нечіткої моделі. Тому імітаційний блок не може розглядатися як незалежне підтвердження правильності FIS. Він відтворює та деталізує поведінку системи в заданому просторі умов. Зовнішня перевірка моделі на реальних проєктах або експертно оцінених випадках залишається окремим завданням.

Імітаційне моделювання охоплює декілька методологічно різних підходів, кожен з яких орієнтований на певний тип досліджуваних систем. Вибір конкретного методу залежить від того, що саме має бути відтворено: випадкові комбінації параметрів, послідовність подій у часі, накопичення ресурсів, поведінка окремих учасників або взаємодія великої кількості автономних суб’єктів [273, 274].

Для завдання формування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства головним є не відтворення виробничого процесу в реальному часі та не моделювання поведінки окремих інвесторів. Основна потреба полягає в системному дослідженні великої кількості можливих станів підприємства, проєкту, інвестиційних ресурсів та інституційного середовища. Тому доцільно спочатку порівняти основні класи імітаційних методів за їх можливостями та відповідністю поставленому завданню.

Таблиця 3.10. Порівняльна характеристика методів імітаційного моделювання

Метод	Основний	Переваги	Обмеження	Відповідність

	принцип			завданню дослідження
Монте Карло	багаторазове формування комбінацій випадкових значень параметрів у заданих межах	простота реалізації; можливість роботи з великою кількістю факторів; придатність до аналізу невизначеності	за простого випадкового вибирання можливе нерівномірне покриття простору; потребує значної кількості сценаріїв	висока
Метод латинського гіперкуба (LHS)	стратифіковане формування вибірки з рівномірним охопленням діапазону кожної змінної	ефективніше покриття багатовимірного простору; менша залежність результатів від випадкового скупчення сценаріїв	не враховує автоматично логічні залежності між показниками; потребує додаткового контролю допустимості сценаріїв	дуже висока
Квазівипадкові послідовності Sobol	детерміноване формування точок із низькою нерівномірністю розподілу	висока рівномірність покриття; ефективність для аналізу чутливості	складніша організація експерименту; не завжди потрібна для базового формування навчальної вибірки	висока
Дискретно-подієве моделювання	опис системи як послідовності подій, що змінюють її стан у часі	добре відтворює технологічні та організаційні процеси, черги, ресурси й часові затримки	потребує детального опису подій і часової структури; менш придатне для дослідження багатовимірних комбінацій факторів	низька
Системна динаміка	моделювання накопичень, потоків і зворотних зв’язків	придатна для аналізу довгострокової динаміки та взаємного впливу агрегованих показників	потребує побудови системи потоків і контурів зворотного зв’язку; орієнтована передусім на	середня

			часову динаміку	
Агентне моделювання	моделювання поведінки автономних учасників та їх взаємодії	дозволяє досліджувати складну поведінку інвесторів, підприємств, державних установ та інших учасників	висока складність; потребує правил поведінки агентів та значної кількості припущень	середня

Джерело: розроблено автором

Порівняння показує, що дискретно-подієве, системно-динамічне та агентне моделювання мають значний потенціал для дослідження окремих аспектів інвестиційного процесу, але вирішують дещо інші завдання [275–277]. Дискретно-подієвий підхід був би доцільним, наприклад, для моделювання проходження інвестиційної заявки, процедур погодження або виконання будівельного проєкту в часі. Системна динаміка краще підходить для вивчення довгострокових змін обсягів інвестицій, накопичення капіталу чи взаємодії фінансових потоків. Агентне моделювання могло б використовуватися для відтворення поведінки банків, інвесторів, державних органів та будівельних підприємств [278, 279].

У цьому дослідженні така деталізація не є основною метою. Центральним об’єктом залишається будівельне підприємство та його рішення щодо вибору й поєднання інвестиційних інструментів за різних комбінацій умов. Тому найбільш відповідною є група методів статистичного імітаційного моделювання.

Особливе значення має поєднання Монте Карло та методу латинського гіперкуба. Важливо уточнити, що LHS доцільно розглядати не як повністю окремий вид імітаційного моделювання, а як спосіб організації вибірки всередині сценарного експерименту. Монте Карло задає загальну логіку багаторазового дослідження можливих станів системи, тоді як LHS визначає, яким чином точки розміщуються у багатовимірному просторі параметрів.

При простому випадковому формуванні сценаріїв можливе скупчення значної кількості спостережень у певних частинах простору та недостатнє

представлення інших областей. За великої кількості параметрів така проблема посилюється. LHS зменшує цей недолік шляхом поділу діапазону кожної змінної на інтервали та забезпечення представлення кожного з них у сформованій вибірці. Методологічне співвідношення основних підходів показано на рис. 3.10.

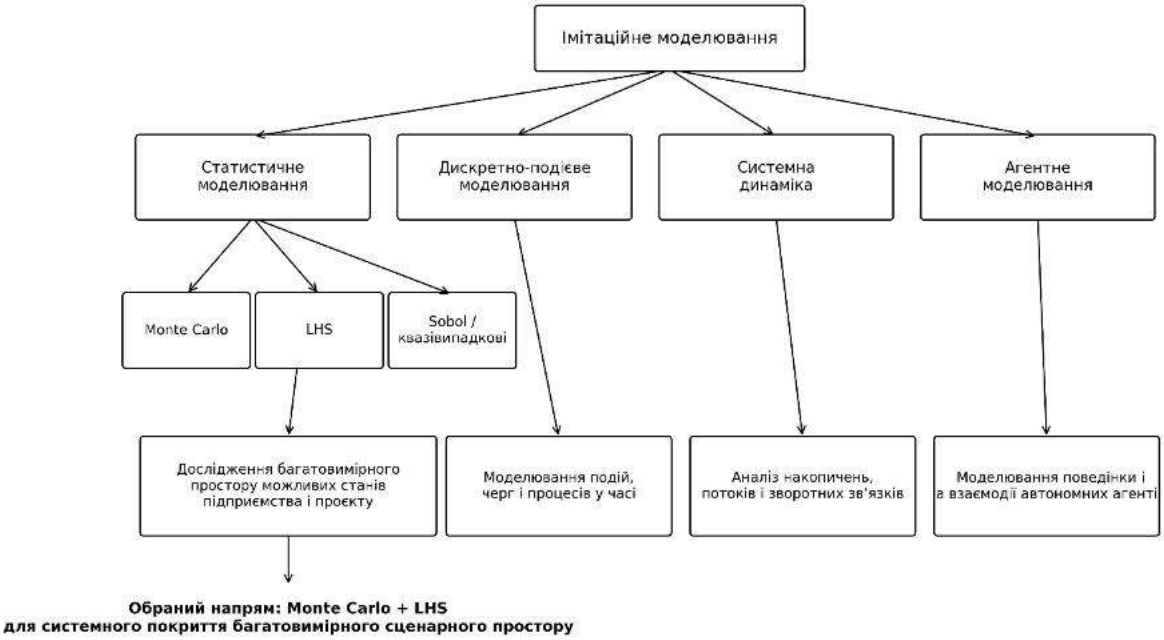

Рис. 3.10. Класифікація методів імітаційного моделювання та їх місце в дослідженні інвестиційного забезпечення. *Джерело: розроблено автором*

У межах запропонованої методології поєднання Монте Карло та LHS забезпечує три важливі властивості сценарної вибірки. По-перше, вона охоплює широкий діапазон можливих станів системи. По-друге, покриття простору є більш рівномірним, ніж за простого випадкового формування сценаріїв. По-третє, зберігається можливість подальшого введення логічних обмежень, що виключають економічно неможливі або внутрішньо суперечливі комбінації [280, 281].

Обраний підхід можна визначити як сценарне моделювання Монте Карло з організацією багатовимірної вибірки методом латинського гіперкуба. Така конструкція дозволяє системно досліджувати простір можливих станів без необхідності вводити складну часову або поведінкову модель учасників інвестиційного процесу.

Після вибору способу формування сценарної вибірки наступним етапом є визначення структури простору, у межах якого генеруються можливі стани системи. У цьому дослідженні сценарій розглядається як узгоджена комбінація характеристик будівельного підприємства, інвестиційного проєкту, доступних джерел фінансування та інституційно-ризикового середовища.

Такий підхід дозволяє відійти від оцінювання одного умовного «середнього» стану підприємства. Кожний сценарій формує окрему ситуацію, для якої надалі визначається придатність інвестиційних інструментів. Відповідно, сценарний простір має відображати не лише варіацію окремих показників, а й різноманітність їх спільних комбінацій.

У структурі моделі виділено чотири взаємопов'язані контури: підприємницький, проєктний, інвестиційно-ресурсний та інституційно-ризиковий. Їх поєднання формує повний вектор стану системи:

$$X^{(k)} = \left[X_E^{(k)}, X_P^{(k)}, X_R^{(k)}, X_I^{(k)} \right], \qquad (3.3)$$

де $X_E^{(k)}$– характеристики підприємства; $X_P^{(k)}$ – характеристики інвестиційного проєкту; $X_R^{(k)}$– параметри інвестиційних ресурсів; , $X_I^{(k)}$ – інституційні умови та ризики для k-го сценарію.

Таблиця 3.11. Структура багатовимірного сценарного простору

Контур	Зміст	Методологічна роль
Підприємницький	фінансові, ресурсні, управлінські та організаційні характеристики будівельного підприємства	відображає внутрішню спроможність підприємства залучати й використовувати інвестиційні ресурси
Проєктний	масштаб, економічні характеристики, тривалість, суспільна	визначає вимоги конкретного проєкту до структури його

	значущість та інші параметри проєкту	фінансування
Інвестиційно-ресурсний	доступність ресурсів, їх вартість, умови залучення та гнучкість використання	характеризує параметри потенційних джерел інвестиційного забезпечення
Інституційно-ризиковий	регуляторні умови, програми підтримки, гарантійні механізми та ризики зовнішнього середовища	визначає зовнішні обмеження та можливості використання інвестиційних інструментів

Джерело: розроблено автором

Формування сценарного простору передбачає приведення вихідних показників до єдиної шкали. У межах моделі використовуються нормовані значення в інтервалі від 0 до 1. Це спрощує спільне використання показників різної економічної природи та забезпечує їх сумісність із нечіткою системою оцінювання.

Водночас нормування не означає, що всі значення в межах інтервалу мають однаковий економічний зміст. Для кожного показника зберігається власна інтерпретація: низьке значення може характеризувати як несприятливий стан, так і, навпаки, низький рівень певного ризику. Тому напрям економічного впливу задається не самою шкалою, а структурою нечітких правил та функцій належності.

Особливого значення набуває забезпечення достатнього покриття багатовимірного простору. За наявності значної кількості показників навіть велика кількість випадкових сценаріїв не гарантує рівномірного представлення всіх областей. Саме тому для формування основної вибірки використовується метод латинського гіперкуба. Він забезпечує представлення різних ділянок діапазону кожного показника та зменшує ризик надмірної концентрації сценаріїв поблизу окремих комбінацій.

Разом з тим механічне комбінування значень може створювати сценарії, які математично допустимі, але економічно суперечливі. Наприклад, певні характеристики проєкту, ресурсів або інституційного середовища можуть мати логічні взаємозалежності. Тому після формування сценаріїв необхідно передбачати контроль їх допустимості.

У межах дослідження доцільно розрізняти три групи таких перевірок. Перша стосується технічних меж показників і правильності нормування. Друга охоплює логічну несуперечливість сформованих комбінацій. Третя пов’язана з контролем того, наскільки повно сценарна вибірка охоплює внутрішні та крайові області простору.

Таблиця 3.12. Основні види контролю сценарної вибірки

Вид контролю	Що перевіряється	Призначення
Контроль меж	належність усіх показників заданим інтервалам	виключення технічних помилок
Логічний контроль	відсутність внутрішньо суперечливих комбінацій	забезпечення економічної допустимості сценаріїв
Контроль покриття	представлення центральних і крайових областей простору	запобігання однобічному формуванню вибірки
Контроль повторюваності	наявність повних або майже повних дублікатів	збереження інформаційного різноманіття
Контроль стабільності	зміна основних статистичних характеристик при збільшенні кількості сценаріїв	обґрунтування достатнього обсягу вибірки

Джерело: розроблено автором

Методологічна структура формування сценарного простору наведена на рис. 3.13.

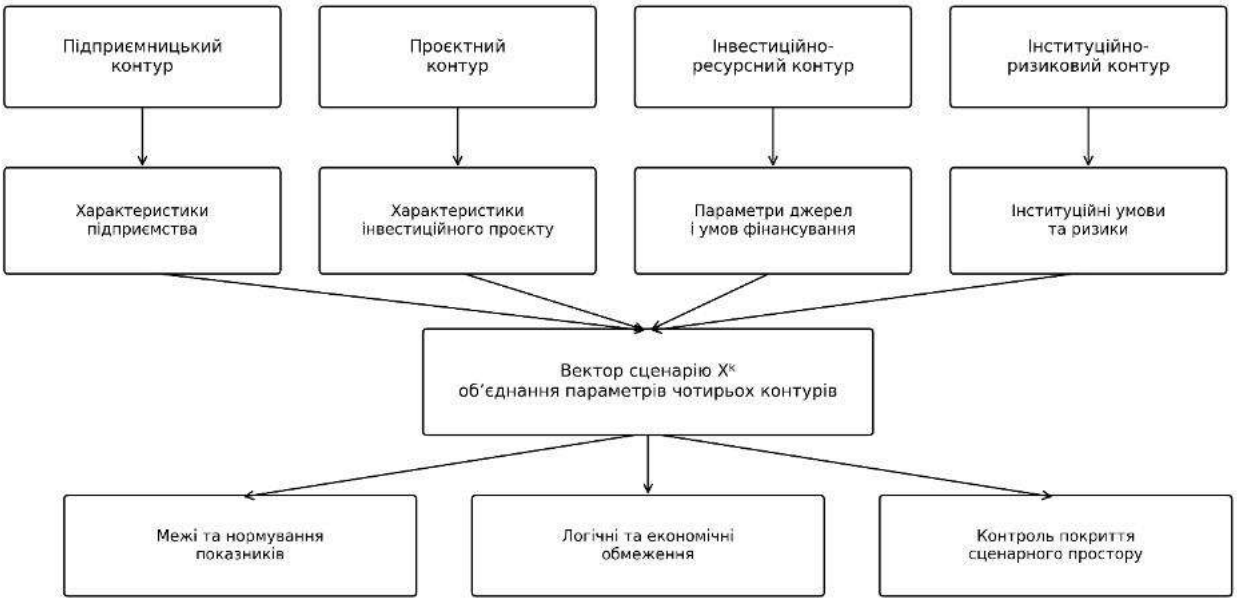

Рис. 3.13. Формування багатовимірного сценарного простору інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором*

Важливо, що сформована множина сценаріїв не є набором прогнозів майбутнього розвитку подій. Вона виконує функцію дослідницького простору, у межах якого перевіряється поведінка моделі за різних комбінацій умов. Тому частота появи певного типу сценарію у вибірці не повинна автоматично трактуватися як оцінка ймовірності його реалізації на практиці.

Ця відмінність особливо важлива для інвестиційних рішень у післявоєнному відновленні, де майбутні інституційні умови, механізми підтримки та параметри фінансових ресурсів можуть змінюватися. Завдання сценарного моделювання полягає не в передбаченні одного найбільш імовірного стану, а в забезпеченні достатньо широкого поля для перевірки різних конфігурацій.

Сформований багатовимірний сценарний простір сам по собі не дає відповіді на питання щодо придатності конкретних інвестиційних інструментів. Для цього кожний сценарій має бути інтерпретований з позиції

економічної логіки, закладеної в нечіткій системі оцінювання. Саме тому наступним етапом є послідовне поєднання сценарного моделювання з FIS.

У межах запропонованого підходу кожний сценарій містить повний набір характеристик чотирьох контурів. Після його формування відповідні значення передаються до нечіткої системи, яка виконує оцінювання за заздалегідь визначеними функціями належності та правилами Mamdani. На виході отримується набір значень S1–S6, що характеризують ступінь придатності окремих інвестиційних інструментів.

Загальну послідовність можна представити у спрощеному вигляді:

$$X(k) \rightarrow FIS \rightarrow S(k), \qquad (3.4)$$

де X(k) – параметри k-го сценарію, а S(k) – набір оцінок придатності інвестиційних інструментів.

Принципово важливо, що для всіх сформованих сценаріїв використовується одна й та сама зафіксована структура FIS. Не змінюються функції належності, база правил, способи агрегування та дефазифікації. Варіюються лише значення вхідних показників. Завдяки цьому відмінності між отриманими оцінками S1–S6 відображають реакцію системи на зміну характеристик підприємства, проєкту, ресурсів і зовнішнього середовища.

Таблиця 3.11. Послідовність інтеграції сценарного моделювання та FIS

Етап	Зміст	Результат
1.Формування сценарію	задається комбінація показників чотирьох контурів	вектор параметрів конкретного стану системи
2. Передача параметрів до FIS	значення використовуються як входи нечіткої системи	активізація відповідних функцій належності
3. Застосування бази правил	виконується нечітке логічне виведення	агрегована оцінка для кожного інструменту

4. Дефазифікація	нечіткий результат перетворюється на числову оцінку	значення S1–S6
5. Збереження результату	вхідні параметри поєднуються з виходами FIS	один запис синтетичного набору даних

Джерело: розроблено автором

Такий спосіб поєднання двох блоків дозволяє суттєво розширити можливості нечіткої системи. Якщо FIS застосовується лише до невеликої кількості контрольних ситуацій, вона демонструє поведінку моделі у вибраних точках. Сценарне моделювання дає можливість багаторазово повторити це оцінювання для значно ширшої множини можливих станів.

Водночас імітаційний блок не змінює змістовної логіки FIS. Він лише багаторазово використовує її для різних комбінацій параметрів. Тому вихідні оцінки S1–S6 слід трактувати як результати однієї й тієї самої системи правил за різних умов, а не як незалежні спостереження з реальної діяльності підприємств.

Це розмежування є особливо важливим для подальшого машинного навчання. Сформована вибірка має синтетичне походження, оскільки і вхідні сценарії, і цільові значення S1–S6 формуються всередині модельного середовища. Відповідно, майбутня апроксимаційна модель навчається відтворювати поведінку FIS, а не безпосередньо прогнозувати фактичні інвестиційні рішення будівельних підприємств.

Методологічний зв’язок між сценарним блоком і нечіткою системою наведено на рис. 3.14.

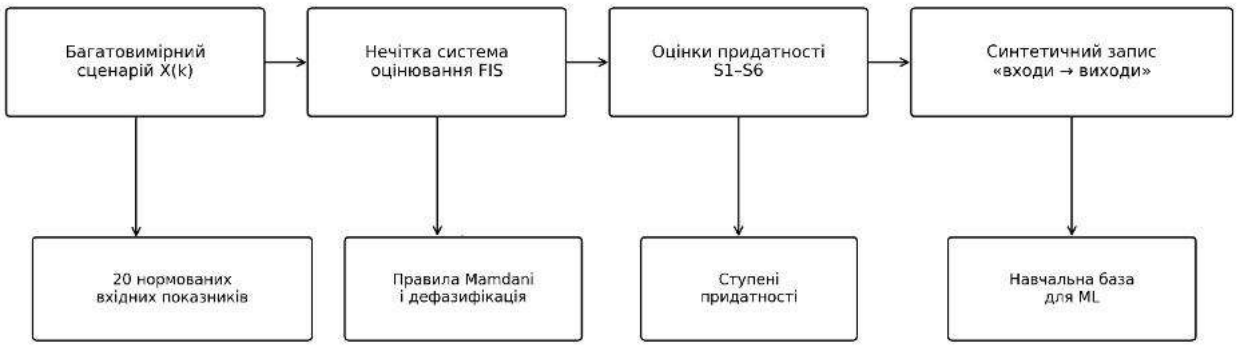

Рис. 3.14. Поєднання сценарного моделювання з нечіткою системою оцінювання. *Джерело: розроблено автором*

Перевагою такого підходу є можливість сформувати велику кількість пар «вхідні умови – оцінки придатності». Це створює інформаційну базу, достатню для подальшого виявлення складних нелінійних залежностей між характеристиками сценарію та результатами оцінювання.

Одночасно з цим виникає необхідність контролю якості сформованих даних. Для кожного запису мають бути перевірені повнота вхідних значень, допустимість діапазонів, коректність виходів FIS та відсутність технічних помилок. Доцільно також контролювати розподіл оцінок S1–S6, щоб переконатися, що сформована вибірка містить достатньо різноманітні результати, а не концентрується лише в обмеженій частині шкали.

У запропонованій методології FIS виконує роль основного змістовного механізму оцінювання, тоді як сценарне моделювання забезпечує масштаб і різноманітність досліджуваних умов. Їх поєднання створює основу для наступного етапу – формування синтетичного набору даних, придатного для навчання та перевірки апроксимаційних моделей.

Поєднання сценарного моделювання з нечіткою системою оцінювання створює передумови для формування синтетичного набору даних. Його призначення полягає у накопиченні великої кількості пар «умови сценарію – результат оцінювання», які надалі використовуються для побудови апроксимаційної моделі.

Кожний запис такого набору містить дві частини. Перша охоплює вхідні показники чотирьох контурів, що характеризують конкретний стан підприємства, проєкту, ресурсного та інституційного середовища. Друга містить результати FIS у вигляді оцінок придатності S1–S6. Таким чином, синтетичний набір зберігає прямий зв’язок між початковими умовами та реакцією нечіткої системи.

У цьому дослідженні доцільно використовувати структуру (табл. 3.12), за якої один рядок відповідає одному сценарію. Такий підхід спрощує подальше навчання моделей, дозволяє зберігати ідентифікатор сценарію та забезпечує можливість повернення до конкретної комбінації параметрів у разі потреби додаткової перевірки.

Таблиця 3.12. Структура синтетичного набору даних

Блок даних	Зміст	Призначення
Ідентифікатор сценарію	унікальний номер або код сценарію	забезпечення простежуваності розрахунків
Підприємницькі показники	характеристики внутрішнього стану підприємства	опис першого контуру
Проєктні показники	характеристики конкретного інвестиційного проєкту	опис другого контуру
Інвестиційно-ресурсні показники	параметри джерел та умов фінансування	опис третього контуру
Інституційно-ризикові показники	зовнішні умови, програми підтримки та ризики	опис четвертого контуру
Оцінки S1–S6	результати проходження сценарію через FIS	цільові змінні для навчання моделей

Джерело: розроблено автором

Принциповою особливістю такого набору є його синтетичне походження. Вхідні комбінації не є результатом безпосереднього спостереження за реальною сукупністю будівельних підприємств. Вони формуються в межах заданого сценарного простору. Аналогічно вихідні

оцінки не є фактичними рішеннями інвесторів або підприємств, а результатами нечіткої моделі.

Це визначає і межі інтерпретації. Синтетичний набір даних дозволяє досліджувати внутрішню поведінку моделі в широкому діапазоні умов, але не замінює емпіричну базу реальних інвестиційних проєктів. Його основне завдання – створити достатньо повну інформаційну основу для навчання моделі, яка швидко відтворюватиме результати FIS.

Після формування кожного нового запису необхідний контроль якості (табл.3.13). Він не обмежується лише перевіркою відсутності пропущених значень. Важливо також контролювати діапазони показників, коректність результатів FIS, наявність повторюваних сценаріїв та розподіл цільових змінних.

Таблиця 3.13. Основні напрями контролю якості синтетичного набору даних

Напрям контролю	Зміст перевірки	Значення для подальшого моделювання
Повнота даних	відсутність пропущених або невизначених значень	запобігання технічним помилкам під час навчання
Допустимість значень	відповідність входів і виходів установленим межам	контроль коректності формування сценаріїв
Виявлення дублікатів	пошук повністю повторюваних записів	збереження різноманітності вибірки
Аналіз розподілів	перевірка варіативності S1–S6	оцінювання придатності даних для регресійної задачі
Контроль крайових станів	наявність сценаріїв поблизу меж допустимого простору	перевірка поведінки моделі у складних умовах
Контроль стабільності	порівняння статистичних характеристик при збільшенні обсягу вибірки	обґрунтування достатньої кількості сценаріїв

Джерело: розроблено автором

Методологічну послідовність формування синтетичного набору даних наведено на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Формування синтетичного набору даних на основі сценаріїв і FIS. *Джерело: розроблено автором.*

Окремого обґрунтування потребує обсяг синтетичної вибірки. Занадто мала кількість сценаріїв може призвести до недостатнього представлення окремих областей багатовимірного простору. Водночас просте збільшення їх кількості саме по собі не гарантує покращення якості даних, якщо сценарії формуються нерівномірно або містять значну кількість повторюваних комбінацій.

Тому достатність вибірки доцільно оцінювати не лише за абсолютною кількістю сценаріїв, а й за стабілізацією її основних характеристик. Якщо зі збільшенням кількості спостережень середні значення, стандартні відхилення та структура розподілів S1–S6 змінюються лише незначно, це свідчить про достатнє охоплення сформованого сценарного простору. Важливо також забезпечити представлення крайових областей. Для машинного навчання недостатньо добре описати лише центральні, найбільш типові комбінації факторів. Майбутня модель має залишатися працездатною і для ситуацій, у яких декілька характеристик одночасно наближаються до мінімальних або максимальних значень. Саме тому контроль крайових сценаріїв має бути передбачений уже на стадії формування даних.

У результаті формується структурований масив, у якому кожній комбінації умов відповідає зафіксована реакція FIS. Такий набір може бути використаний для навчання, налаштування та перевірки різних алгоритмів

машинного навчання. Водночас апроксимаційна модель не повинна розглядатися як нове незалежне джерело знань про придатність інвестиційних інструментів. Вона навчається на результатах FIS і тому відтворює закладені в ній залежності. Її основне призначення полягає у значному прискоренні подальших багаторазових розрахунків, що особливо важливо на етапі багатокритеріальної оптимізації. Таким чином, синтетичний набір даних виконує функцію проміжної ланки між імітаційно-нечітким та прогнозним блоками дослідження. Наступним етапом є вибір підходу до побудови апроксимаційної моделі та визначення алгоритмів, здатних найбільш точно відтворювати залежність між параметрами сценарію й оцінками S1–S6.

Після формування синтетичного набору даних наступним етапом є побудова моделі, здатної швидко відтворювати результати FIS для нових комбінацій вхідних параметрів [282]. Така модель виконує апроксимаційну функцію: вона не замінює змістовну логіку нечіткої системи, а навчається відтворювати сформовану нею залежність між параметрами сценарію та оцінками придатності інвестиційних інструментів.

Необхідність такого етапу пов’язана передусім із подальшою оптимізацією. Під час пошуку раціональної структури інвестиційного забезпечення може знадобитися оцінити дуже велику кількість альтернатив. Багаторазовий повний розрахунок через нечітку систему є можливим, але потребує більше обчислювальних ресурсів. Апроксимаційна модель дозволяє виконувати такі оцінювання значно швидше.

Для побудови апроксимаційного ядра доцільно розглядати декілька алгоритмів машинного навчання, що відрізняються способом побудови залежності між входами та виходами (табл. 3.14). Порівняння альтернатив необхідне, оскільки наперед визначити найкращий алгоритм для конкретної структури даних неможливо.

Таблиця 3.14. Характеристика алгоритмів машинного навчання для апроксимації результатів FIS

Алгоритм	Принцип роботи	Переваги	Основні обмеження
Random Forest	побудова ансамблю дерев рішень та усереднення їх прогнозів	стійкість до нелінійних залежностей; відносно проста інтерпретація; невисокі вимоги до попередньої підготовки даних	можливе перенавчання за надмірної складності; велика кількість дерев збільшує обсяг моделі
Gradient Boosting	послідовне додавання моделей, кожна з яких коригує помилки попередніх	висока точність для структурованих даних; добре відтворює нелінійні залежності	чутливість до налаштування кількості дерев і швидкості навчання
XGBoost	удосконалений градієнтний бустинг із регуляризацією та оптимізованим навчанням	висока точність; контроль складності; ефективна робота з багатофакторними залежностями	потребує добору гіперпараметрів; складніша внутрішня структура
CatBoost	бустинг на деревах із механізмами зменшення зміщення під час навчання	висока стійкість; добра узагальнювальна здатність; придатність до складних нелінійних залежностей	вища обчислювальна складність порівняно з простішими ансамблями
MLP	багатошарова нейронна мережа, що апроксимує складні функціональні залежності	висока гнучкість; можливість відтворення складних нелінійних взаємозв’язків	потребує масштабування даних і ретельного налаштування; результати можуть бути менш стабільними

Джерело: розроблено автором за [283–290]

Усі зазначені алгоритми вирішують регресійну задачу, оскільки цільові значення S1–S6 є безперервними. При цьому важливо забезпечити однакові умови їх порівняння. Для цього синтетичний набір даних поділяється на навчальну, валідаційну та тестову частини. Навчальна вибірка використовується для побудови моделі, валідаційна – для налаштування її

параметрів, а тестова – лише для незалежної перевірки після завершення навчання. Такий поділ дозволяє уникнути ситуації, коли алгоритм оцінюється на тих самих даних, на яких він навчався. У протилежному випадку висока точність може характеризувати лише запам’ятовування навчальних спостережень, а не здатність правильно відтворювати поведінку FIS для нових сценаріїв. Окремого методологічного рішення потребує архітектура прогнозування [291, 292]. Можливі два основні підходи. Перший передбачає побудову окремої моделі для кожного з виходів S1–S6. Другий полягає у використанні єдиної багатовихідної моделі, яка одночасно прогнозує всі шість оцінок.

Таблиця 3.15. Порівняння архітектур прогнозування S1–S6

Архітектура	Переваги	Обмеження	Умови доцільності
Окремі моделі для S1–S6	кожна модель адаптується до специфіки конкретного інструменту; простіше аналізувати помилки	необхідно підтримувати декілька моделей	доцільно, якщо залежності для різних інструментів суттєво відрізняються
Багатовихідна модель	спільне використання інформації про взаємозв’язки між виходами; компактніша структура	можливий компроміс між точністю окремих виходів	доцільно, якщо між S1–S6 існує виражена спільна структура

Джерело: розроблено автором

Вибір між цими архітектурами не повинен здійснюватися лише на підставі теоретичних міркувань. Навіть за наявності кореляцій між S1–S6 спільна модель не обов’язково буде точнішою. Якщо кожний інвестиційний інструмент формується власною системою нечітких правил, окремі моделі можуть краще відтворювати відповідні залежності [293]. Тому обидві архітектури доцільно перевіряти експериментально.

Загальну методологію побудови апроксимаційної моделі наведено на рис. 3.16.



Рис. 3.16. Методологія побудови апроксимаційної моделі машинного навчання.
Джерело: розроблено автором

Порівняння алгоритмів має здійснюватися за сукупністю характеристик. Недостатньо орієнтуватися лише на один показник точності. Модель може мати низьку середню похибку, але демонструвати нестабільність для окремих інструментів або крайових сценаріїв. Аналогічно висока точність на навчальній вибірці може супроводжуватися суттєвим погіршенням результатів на нових даних.

Тому при виборі апроксимаційного ядра необхідно враховувати точність прогнозу, стійкість результатів, узагальнювальну здатність, поведінку на крайових сценаріях та обчислювальну ефективність. Остаточне рішення має ґрунтуватися на їх сукупності, а не на одному формальному критерії.

Важливо також обмежувати сферу використання навченої моделі. Вона є надійною лише в межах того простору параметрів, який був представлений у синтетичній вибірці. Використання моделі для комбінацій, що істотно

виходять за ці межі, фактично означає екстраполяцію й може призводити до непередбачуваних результатів.

Вибір апроксимаційної моделі не доцільно здійснювати лише за одним показником точності. Для подальшого використання в оптимізаційних розрахунках модель має не тільки добре відтворювати результати FIS у середньому, а й зберігати якість на нових даних, не демонструвати систематичних помилок у крайових областях та забезпечувати достатню швидкість прогнозування. Тому оцінювання доцільно проводити послідовно за кількома групами критеріїв: точність, узагальнювальна здатність, стійкість, поведінка на крайових сценаріях та обчислювальна ефективність.

Таблиця 3.16. Система критеріїв оцінювання апроксимаційної моделі

Група критеріїв	Показник або спосіб перевірки	Методологічне призначення
Точність	R^2, RMSE, MAE	оцінювання відповідності прогнозів результатам FIS
Узагальнювальна здатність	порівняння результатів на навчальній, валідаційній і тестовій вибірках	виявлення перенавчання або недостатнього навчання
Стійкість	аналіз залишків і повторюваності результатів	перевірка відсутності систематичного зміщення
Крайові сценарії	окрема перевірка сценаріїв поблизу меж допустимого простору	контроль поведінки моделі у складних умовах
Стресове тестування	оцінювання моделі для сценаріїв з одночасним наближенням кількох показників до граничних значень	перевірка надійності за нетипових комбінацій
Узгодженість виходів	оцінювання точності окремо для S1–S6	запобігання ситуації, коли висока середня точність приховує слабкий прогноз окремого інструменту
Обчислювальна ефективність	час навчання та швидкість прогнозування	оцінювання придатності моделі до масових оптимізаційних розрахунків

Джерело: розроблено автором за [294–297]

Перший рівень перевірки пов’язаний із точністю. Для цього доцільно використовувати кілька взаємодоповнюючих показників. R^2 характеризує частку варіації виходів FIS, яку здатна відтворити модель. RMSE є більш чутливим до великих помилок, тоді як MAE показує середню абсолютну величину відхилення прогнозу. Їх спільне використання дає більш повне уявлення про якість моделі, ніж орієнтація лише на один критерій.

Не менш важливо оцінювати точність окремо для кожного з виходів S1–S6. Усереднений показник може бути високим навіть тоді, коли один із інвестиційних інструментів прогнозується суттєво гірше за інші. Для подальшої оптимізації така ситуація є небажаною, оскільки локальна похибка може вплинути на вибір структури інвестиційного забезпечення.

Другий рівень перевірки стосується узагальнювальної здатності. Висока точність на навчальних даних ще не означає, що модель зберігатиме її для нових сценаріїв. Тому результати необхідно порівнювати на навчальній, валідаційній і тестовій вибірках. Значне погіршення якості на тестовій частині є ознакою перенавчання, тоді як низька точність уже на навчальній вибірці може свідчити про недостатню складність моделі.

Наступним елементом є аналіз залишків – різниць між оцінками FIS і прогнозами апроксимаційної моделі. Якщо залишки концентруються поблизу нуля і не мають вираженого зміщення в один бік, модель не демонструє систематичного завищення або заниження оцінок. Натомість наявність стійкого зміщення потребує додаткового налаштування або перегляду структури моделі.

Особливу увагу необхідно приділяти крайовим сценаріям. Під час оптимізації можуть виникати комбінації, у яких декілька параметрів одночасно наближаються до мінімальних або максимальних значень. Саме в таких областях прогнозні моделі часто працюють гірше, оскільки відповідні спостереження є менш типовими.

Тому доцільно виділяти окрему підмножину стресових сценаріїв та порівнювати точність моделі на ній із результатами для всієї тестової вибірки. Якщо похибка зростає лише незначно, це свідчить про достатню стійкість. Якщо ж спостерігається різке погіршення, використання моделі для подальшої оптимізації потребує додаткових обмежень.

Методологію багаторівневої перевірки наведено на рис. 3.17.



Рис. 3.17. Багаторівнева оцінка якості апроксимаційної моделі.
Джерело: розроблено автором

Окремим критерієм є обчислювальна ефективність [298]. У цьому дослідженні машинне навчання використовується не як самоціль, а як засіб прискорення масового оцінювання альтернатив. Тому модель із дещо вищою точністю, але надмірною обчислювальною складністю, не обов’язково буде найкращим рішенням для оптимізаційного блоку.

Разом з тим швидкодія не повинна мати пріоритет над якістю. Спочатку модель має пройти перевірку точності, узагальнювальної здатності та стійкості. Лише після цього доцільно порівнювати альтернативи за часом навчання й прогнозування [299, 300]. Таким чином, фінальний вибір апроксимаційної моделі має ґрунтуватися на сукупності критеріїв. Найкращою є не модель із максимальним значенням одного показника, а та, яка забезпечує достатньо високу точність для всіх виходів, стабільну поведінку на нових і крайових сценаріях та необхідну швидкість для подальшої оптимізації.

Висока точність прогнозування сама по собі не є достатньою підставою для використання моделі в задачах формування інвестиційного забезпечення. Для практичного застосування важливо розуміти, які саме фактори формують оцінку придатності окремого інвестиційного інструменту, наскільки сильним є їх вплив і чи змінюється він залежно від стану підприємства або параметрів проєкту. Саме тому до методології включено SHAP-аналіз. Його призначення полягає в поясненні внеску кожного вхідного показника у сформований моделлю прогноз. На відміну від звичайного ранжування важливості ознак, SHAP дозволяє оцінювати не лише загальну значущість фактора, а й напрям та величину його впливу для конкретного сценарію [301]. У межах дослідження доцільно виділяти три рівні такої інтерпретації: глобальний, нелінійний та локальний.

Таблиця 3.17. Рівні SHAP-аналізу апроксимаційної моделі

Рівень аналізу	Основне питання	Методологічне призначення
Глобальний	які показники найбільше впливають на S1–S6?	визначення провідних факторів для кожного інвестиційного інструменту
Нелінійний	як змінюється вплив фактора залежно від його значення?	виявлення порогів, зон підвищеної чутливості та ефекту насичення
Локальний	чому для конкретного сценарію отримано саме таку оцінку?	пояснення окремого прогнозу через внесок кожного показника
Аналіз взаємодій	як поєднання двох факторів змінює результат?	виявлення ситуацій, коли вплив одного показника залежить від рівня іншого

Джерело: розроблено автором

Глобальний рівень дозволяє ранжувати показники за їх середнім внеском у прогноз. Це дає змогу встановити, які характеристики підприємства, проєкту, ресурсів або зовнішнього середовища є найбільш значущими для конкретного інвестиційного інструменту [302, 303].

Такий аналіз особливо важливий через те, що структура впливів для різних S1–S6 може істотно відрізнятися. Фактори, які визначають доцільність використання власних коштів, не обов'язково будуть такими самими для грантового фінансування, комерційного кредиту або державно-приватного партнерства.

Другий рівень пов'язаний з аналізом форми залежності. У моделях, що відтворюють поведінку нечіткої системи, вплив показників не обов'язково є лінійним. Зміна фактора з 0,2 до 0,3 може мати інший ефект, ніж зміна з 0,7 до 0,8. Це може бути пов'язано з переходами між лінгвістичними станами, активізацією різних нечітких правил або взаємодією декількох параметрів.

Тому SHAP дозволяє виявляти області, де невелика зміна показника спричиняє суттєву зміну прогнозу, а також ділянки, де подальше зростання фактора вже майже не змінює результат. Такі закономірності мають важливе управлінське значення, оскільки допомагають відрізнити критичні параметри від тих, подальше покращення яких не дає суттєвого приросту придатності інструменту.

Локальний рівень використовується для пояснення окремої інвестиційної ситуації. У цьому випадку аналізується, які фактори підвищили прогнозовану придатність конкретного інструменту, а які, навпаки, її знизили. Така інтерпретація особливо корисна для аналізу сценаріїв, що надалі потрапляють до множини найбільш перспективних рішень.

Методологічну структуру SHAP-інтерпретації наведено на рис. 3.18.

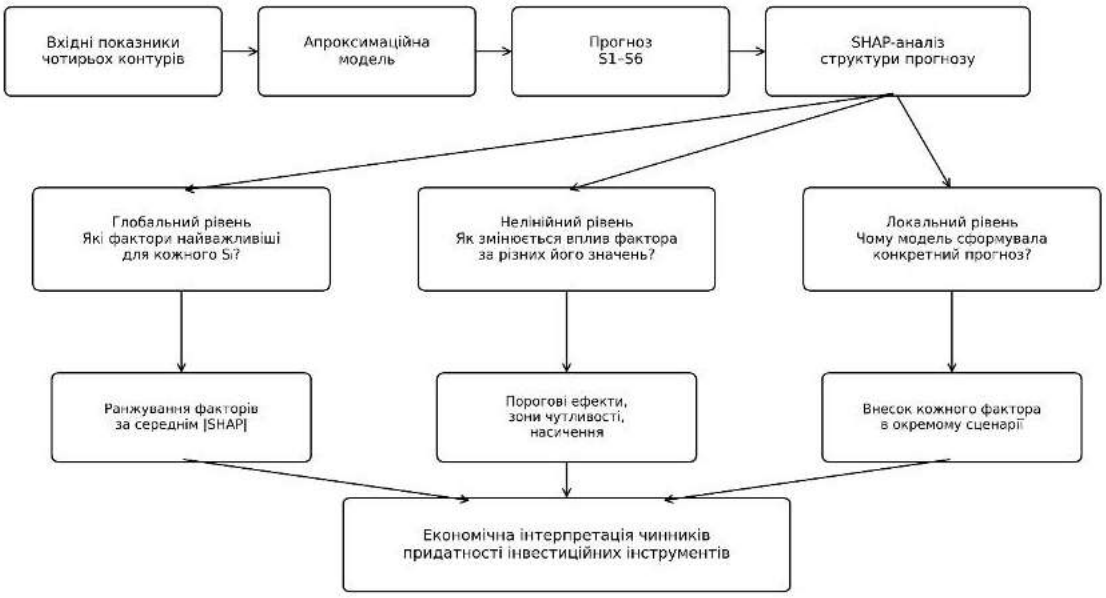

Рис. 3.18. Рівні SHAP-інтерпретації апроксимаційної моделі.
Джерело: розроблено автором

Окремо слід враховувати взаємодію факторів. Для інвестиційного забезпечення вона має принципове значення, оскільки вплив одного показника часто залежить від рівня іншого. Наприклад, позитивний ефект високої ресурсної спроможності підприємства може бути обмежений несприятливим інституційним середовищем або надмірною вартістю фінансового ресурсу.

Аналіз таких взаємодій дозволяє перейти від простого ранжування факторів до розуміння їх спільної дії. Це особливо важливо для моделі, побудованої на основі FIS, де значна частина логіки закладена саме у правилах типу «якщо – то» та поєднанні декількох умов [304].

Разом з тим SHAP-результати потребують коректної інтерпретації. Вони пояснюють поведінку апроксимаційної моделі, але не доводять причинно-наслідковий характер виявлених залежностей. Високе значення SHAP певного показника означає, що модель активно використовує його для формування прогнозу, але не означає автоматично, що саме цей фактор є причиною відповідного економічного результату.

Це обмеження є особливо важливим у цьому дослідженні, оскільки апроксимаційна модель навчається на синтетичному наборі даних, сформованому на основі FIS. Тому SHAP фактично розкриває структуру

залежностей, закладених у ланцюгу «сценарне моделювання – нечітка система – машинне навчання». Водночас такий аналіз виконує важливу контрольну функцію. Якщо провідні фактори, виявлені апроксимаційною моделлю, суттєво суперечать логіці FIS або економічному змісту інвестиційного інструменту, це може свідчити про проблеми навчання або недостатню якість апроксимації [305].

SHAP-аналіз використовується не лише як засіб пояснення прогнозів, а й як додатковий інструмент перевірки внутрішньої узгодженості всієї імітаційно-предиктивної системи. Після визначення структури впливів необхідно окремо окреслити межі застосування моделі, порядок її контрольної перевірки та методологічні обмеження сформованого підходу.

Завершальним елементом методології є визначення меж, у яких апроксимаційна модель може використовуватися без втрати змістовної узгодженості з первинною FIS. Це особливо важливо тому, що машинне навчання в запропонованій схемі виконує допоміжну, а не самостійну функцію. Його завдання полягає у швидкому відтворенні результатів нечіткої системи для великої кількості сценаріїв і подальшому використанні цих оцінок в оптимізаційних розрахунках [306].

Внутрішня перевірка моделі має охоплювати не лише середні показники точності, а й контроль на спеціально відібраних сценаріях. До таких сценаріїв доцільно відносити комбінації, що раніше використовувалися для перевірки FIS, крайові стани сценарного простору, а також випадки з близькими оцінками декількох інвестиційних інструментів (табл.3.18). Саме в останній групі навіть невелика похибка апроксимації може змінити порядок альтернатив.

Тому апроксимаційну модель доцільно використовувати насамперед для масового оцінювання великої кількості варіантів, тоді як фінальні перспективні рішення необхідно повторно перевіряти через первинну нечітку систему. Такий підхід дозволяє поєднати швидкість машинного навчання з логічною прозорістю FIS.

Таблиця 3.18. Основні обмеження імітаційно-предиктивного підходу та способи їх контролю

Обмеження	Потенційний наслідок	Спосіб контролю
Синтетичне походження даних	результати відображають логіку моделі, а не безпосередньо реальну поведінку підприємств	окреме трактування внутрішньої та зовнішньої перевірки
Залежність від структури FIS	помилки або спрощення в базі правил можуть передаватися машинній моделі	перевірка правил, контрольних сценаріїв і логіки виходів
Обмеженість навчального простору	прогноз поза дослідженими межами може бути ненадійним	заборона або обмеження екстраполяції
Локальні великі помилки	окремі альтернативи можуть бути оцінені неточно	повторна перевірка фінальних рішень через FIS
Зміна зовнішнього середовища	навчена модель може втрачати актуальність	оновлення меж, правил, сценаріїв і повторне навчання
Залежність від заданих функцій належності	результати чутливі до способу формалізації експертних оцінок	аналіз чутливості та експертне коригування
Відсутність емпіричної зовнішньої перевірки	не можна трактувати високу точність як підтвердження реальної прогностичної здатності	подальша перевірка на реальних або експертно оцінених випадках

Джерело: розроблено автором

Принципово важливо розрізняти внутрішню та зовнішню перевірку. Внутрішня перевірка показує, наскільки добре машинна модель відтворює поведінку зафіксованої FIS. Вона дозволяє оцінити точність апроксимації, стабільність на нових сценаріях та збереження логіки ранжування інструментів.

Зовнішня перевірка має інше призначення. Вона повинна відповідати на питання, наскільки сама модель придатності інвестиційних інструментів узгоджується з реальною практикою. Для цього можуть використовуватися

фактичні інвестиційні проєкти, рішення будівельних підприємств або експертно оцінені кейси. Така перевірка не підміняється високими значеннями R^2 чи низькою похибкою машинної моделі, оскільки ці показники характеризують лише точність відтворення FIS.

Ще одним важливим обмеженням є використання моделі поза межами навчального простору. Якщо новий сценарій суттєво відрізняється від комбінацій, на яких навчалася апроксимаційна модель, результат фактично є екстраполяцією. У таких випадках зростає ризик некоректного прогнозу, тому доцільно або обмежувати допустиму область використання, або формувати нові сценарії та повторно навчати модель.

Окремої уваги потребує зміна зовнішнього середовища. Умови післявоєнного відновлення можуть змінюватися достатньо швидко: з’являтимуться нові програми підтримки, гарантійні механізми, правила доступу до фінансування, змінюватимуться ризикові характеристики та інституційні умови. Тому модель не повинна розглядатися як статична конструкція.

У разі суттєвих змін необхідно оновити межі вхідних показників, за потреби скоригувати функції належності та базу правил FIS, сформувати новий сценарний масив і повторити навчання апроксимаційної моделі. Таким чином, методологія передбачає можливість її регулярного оновлення без зміни загальної архітектури.

Структуру контрольної перевірки та основні межі застосування моделі наведено на рис. 3.19.

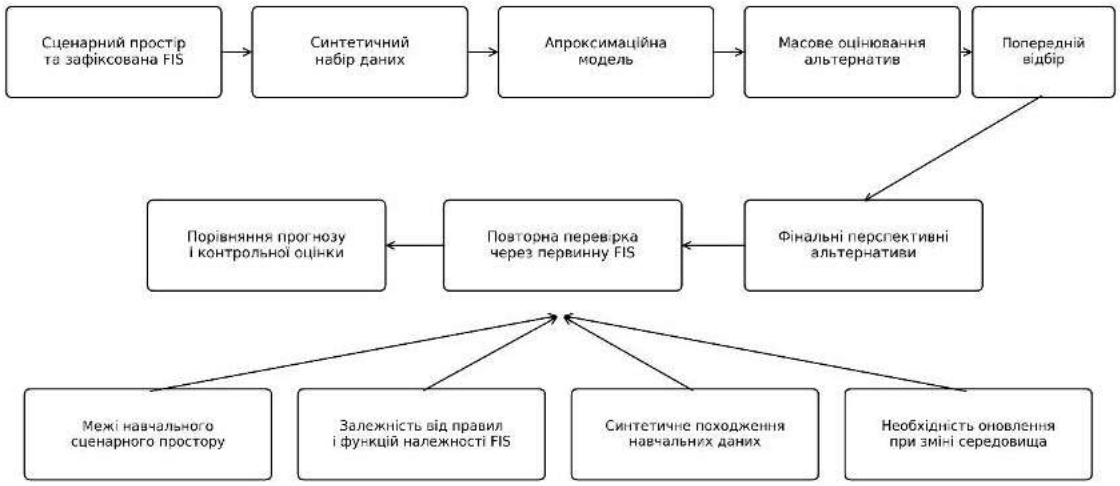

Рис. 3.19. Контрольна перевірка та межі застосування імітаційно-предиктивної моделі. *Джерело: розроблено автором*

Особливе значення має контроль фінальних альтернатив. Під час оптимізації апроксимаційна модель може оцінювати десятки або сотні тисяч можливих конфігурацій значно швидше, ніж повний цикл нечіткого виведення. Проте після формування обмеженої множини найбільш перспективних рішень доцільно повернутися до первинної FIS та повторно визначити S1–S6 уже без апроксимації [307].

Якщо розбіжності між прогнозом і контрольним значенням є незначними, рішення можна вважати узгодженим із первинною моделлю. Якщо ж різниця є суттєвою або змінює порядок найбільш придатних інструментів, таку альтернативу необхідно аналізувати окремо.

Таким чином, машинна модель в запропонованій методології не замінює FIS, а розширює її практичні можливості. FIS залишається змістовним ядром оцінювання, сценарне моделювання забезпечує широкий простір умов, а машинне навчання виконує функцію швидкої апроксимації.

У результаті формується завершена імітаційно-предиктивна схема, яка забезпечує перехід від оцінювання придатності окремих інвестиційних інструментів до масового аналізу альтернатив.

3.3. Методологія багатокритеріального формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства.

Під архітектурою інвестиційного забезпечення у дослідженні пропонується розуміти впорядковану структуру джерел та інструментів фінансування інвестиційного проєкту будівельного підприємства, у якій для кожного використаного інструменту визначено його частку в загальній потребі у фінансуванні. На відміну від традиційного підходу, за якого оцінюється доцільність залучення окремого кредиту, гранту або приватного капіталу, архітектурний підхід передбачає аналіз взаємодії декількох джерел у межах єдиної фінансової конструкції [308].

Об'єктом оптимізаційного вибору є не окремий інвестиційний інструмент, а їх композиція. Для кожного потенційного джерела вводиться частка x_i, яка характеризує його внесок у покриття загальної інвестиційної потреби. Підсумковий результат може бути представлений як вектор:

$$A^{*}=\left[x_1^{*}, x_2^{*}, \ldots, x_n^{*}\right] \qquad (3.5)$$

де A* – раціональна архітектура інвестиційного забезпечення; x_i^* – рекомендована частка і-го інвестиційного інструменту.

Принциповою особливістю такого підходу є те, що значення x_i^* визначається не ізольовано, а з урахуванням характеристик підприємства, характеристик проєкту, результатів попереднього оцінювання придатності інструментів та системи економічних і структурних обмежень. Таким чином, одна й та сама форма фінансування може бути доцільною для одного поєднання «підприємство – проєкт» і другорядною або недоступною для іншого [309].

Методологічна постановка задачі спирається на чотири взаємопов'язані контури, сформовані в загальній концепції дослідження: підприємницький, проєктний, інвестиційно-ресурсний та інституційно-ризиковий. Кожний із них впливає на простір допустимих інвестиційних рішень, але виконує різну функцію [310, 311].

У межах запропонованої методології ці контури не оптимізуються окремо. Їхня функція полягає у формуванні параметрів та обмежень, на основі яких розраховується допустимий простір інвестиційних архітектур. Завдяки цьому оптимізаційна модель не є абстрактною задачею розподілу фінансових ресурсів, а прив’язується до конкретного будівельного підприємства та конкретного проєкту відновлення [312].

Важливим вихідним елементом є результат попереднього етапу оцінювання придатності інвестиційних інструментів. Для кожного джерела формується показник S_i, який характеризує ступінь його відповідності параметрам підприємства, проєкту та зовнішнього середовища. На цьому рівні оцінка придатності виконує функцію попереднього фільтра. Інструменти, що не досягають установленого мінімального рівня, не включаються до подальшої оптимізації.

Такий підхід дозволяє уникнути принципової методологічної помилки, коли математична модель формально комбінує джерела, які за характеристиками підприємства або проєкту фактично не можуть бути використані. Водночас сама висока оцінка S_i ще не означає, що відповідний інструмент повинен мати найбільшу частку у кінцевій архітектурі. Після проходження фільтра він стає одним із допустимих елементів оптимізаційного простору, а його фактична роль визначається вже співвідношенням критеріїв та обмежень.

Саме тому третій методологічний етап не дублює попередні етапи Fuzzy Logic та ML. Їхні результати виступають вхідною інформацією для оптимізації. Якщо попередній етап відповідає на питання «наскільки придатний кожний інструмент?», то багатокритеріальна оптимізація має відповісти на інше питання: «яке поєднання придатних інструментів забезпечує найбільш раціональну структуру фінансування?».

Місце цього етапу в загальній методології представлено на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Місце оптимізаційного етапу в методології формування інвестиційної архітектури. *Джерело: розроблено автором.*

Оптимізаційна постановка передбачає одночасне використання неперервних і дискретних рішень. Неперервна частина задачі пов'язана з визначенням часток фінансування, тоді як дискретна – з самим фактом включення або невключення окремого інструменту до архітектури. Це має важливе економічне значення, оскільки структура не повинна містити формально нескінченно малих часток великої кількості джерел лише для покращення окремого критерію. Якщо інструмент включається до фінансової конструкції, його використання має відповідати економічно доцільному діапазону [313].

Відповідно, задача формування архітектури має два взаємопов'язані рівні. Перший визначає склад фінансування – тобто перелік джерел, які фактично використовуються. Другий визначає структуру – частку кожного обраного джерела. Саме така постановка дозволяє моделювати реальні фінансові рішення, де підприємство спочатку має визначити доступний набір інструментів, а потім сформувати пропорції між ними [314].

Ще однією важливою особливістю є те, що в дослідженні не вводиться єдина універсальна цільова функція на кшталт мінімізації вартості фінансування. Такий підхід був би надмірно спрощеним, оскільки для проєктів післявоєнного відновлення критичними можуть бути не лише ціна ресурсу, але й строки його отримання, рівень залежності від одного джерела, ризик припинення фінансування або адміністративна складність відповідного механізму.

Тому задача від початку формулюється як багатокритеріальна. Кожна допустима архітектура оцінюється одночасно за декількома характеристиками, а результатом оптимізаційного етапу стає не одна точка, а множина недомінованих компромісних рішень. Уже після формування такої множини здійснюється подальше багатокритеріальне ранжування і визначення архітектури, яка забезпечує найбільш збалансоване співвідношення властивостей.

Методологічна постановка задачі ґрунтується на послідовному звуженні простору можливих рішень. Спочатку з усієї сукупності потенційних джерел залишаються інструменти, які відповідають параметрам конкретного підприємства і проєкту. Далі з них формуються структурно допустимі комбінації. Після цього визначаються недоміновані архітектури за системою економічних критеріїв, а вже серед них здійснюється вибір раціональної структури [315].

Кінцевим результатом цієї процедури є не загальна рекомендація щодо переваги певної форми фінансування, а конкретний набір часток $x_1^* \dots x_n^*$, які можуть бути переведені в абсолютні обсяги ресурсів відповідно до інвестиційної потреби проєкту. Саме ця властивість забезпечує перехід від діагностичного оцінювання інвестиційних можливостей до прикладного інструменту підтримки управлінських рішень будівельного підприємства [316].

Після визначення придатності окремих інвестиційних інструментів наступним методологічним етапом є формування простору допустимих рішень. Його призначення полягає у виключенні таких поєднань джерел фінансування, які формально можуть бути сформовані математично, але не відповідають характеристикам підприємства, проєкту або встановленим фінансовим та інституційним обмеженням. Основні групи таких обмежень наведено в табл. 3.19.

Таблиця 3.19. Система обмежень формування допустимої інвестиційної архітектури

Група обмежень	Зміст	Методологічна функція
Придатність інструменту	інструмент включається лише за умови проходження встановленого порогу придатності	виключення джерел, що не відповідають параметрам підприємства або проєкту
Повне покриття потреби	сума часток використаних джерел повинна забезпечувати 100 % інвестиційної потреби	гарантує завершеність фінансової структури
Межі часток	кожний інструмент має мінімальну та максимальну допустиму частку	запобігає економічно незначущому або надмірному використанню окремого джерела
Власна участь	задається мінімальна та, за потреби, максимальна частка власних ресурсів	враховує фінансову участь і ліквідність підприємства
Боргове навантаження	обмежується сукупна частка кредитних інструментів	забезпечує контроль фінансової стійкості
Кількість джерел	встановлюються мінімальна та максимальна кількість активних інструментів	стримує надмірне ускладнення архітектури
Інституційні вимоги	враховуються умови грантових, кредитних, партнерських та інших програм	забезпечує відповідність конкретним механізмам фінансування
Проєктні обмеження	строки, масштаб, потреба у швидкій мобілізації ресурсів, специфіка проєкту	адаптує архітектуру до умов конкретного проєкту
Підприємницькі обмеження	фінансова автономія, масштаб діяльності, здатність до співфінансування	враховує можливості конкретного підприємства

Джерело: розроблено автором

Особливе значення має вимога власної участі. Для інвестиційних проєктів частина ресурсів підприємства може виконувати декілька функцій одночасно: забезпечувати первинне фінансування, підтверджувати зацікавленість підприємства у реалізації проєкту, зменшувати залежність від

зовнішнього капіталу та виконувати умови окремих програм співфінансування. Водночас надмірна частка власних ресурсів може погіршувати ліквідність підприємства. Тому власна участь також повинна мати визначені межі [317].

Аналогічна логіка застосовується до боргового фінансування. Комерційні та пільгові кредити можуть істотно розширювати ресурсні можливості підприємства, однак їх сукупна частка не повинна виходити за межі допустимого боргового навантаження. На відміну від обмеження окремого інструменту, борговий ліміт застосовується до групи джерел і тому може істотно змінювати допустимий розподіл часток навіть тоді, коли кожний кредитний інструмент окремо відповідає своїй максимальній межі [318].

Окремо встановлюється кількість інструментів, які можуть одночасно входити до архітектури. Надто мала кількість джерел може створювати високу залежність від одного механізму фінансування, тоді як надмірна кількість ускладнює переговорні процедури, контроль умов, документообіг та координацію фінансових потоків. Тому кількість активних інструментів розглядається як окреме структурне обмеження, а не лише як результат оптимізації [319].

Інституційні обмеження можуть мати більш специфічний характер. Для грантового фінансування це можуть бути максимальний рівень покриття витрат або вимога співфінансування, для пільгового кредитування – вимоги до власної участі або цільового використання коштів, для ППП – необхідність відповідності проєкту встановленим процедурним та правовим умовам. Такі параметри можуть змінюватися залежно від конкретної програми, тому в методології вони розглядаються як змінні зовнішні обмеження.

Важливо, що введення обмежень здійснюється до початку багатокритеріальної оптимізації. Це означає, що модель не повинна витрачати обчислювальні ресурси на аналіз структур, які не можуть бути реалізовані за заданих умов. Спочатку формується допустимий простір, а вже всередині нього здійснюється пошук Парето-ефективних архітектур.

Послідовність формування такого простору наведено на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Послідовність формування допустимої множини інвестиційних архітектур. *Джерело: розроблено автором.*

Методологічно процес складається з п’яти послідовних фільтрів. Спочатку задається початкова множина потенційних інструментів. Далі вона скорочується за результатами оцінювання придатності. Після цього застосовуються структурні й фінансові обмеження, перевіряється можливість повного покриття інвестиційної потреби, а структури, які задовольняють усі умови, включаються до допустимої множини.

При цьому слід розрізняти поняття допустимого складу та допустимої архітектури. Склад визначає лише перелік інструментів, які використовуються одночасно. Архітектура додатково містить конкретні частки цих інструментів. Для одного й того самого складу може існувати велика кількість допустимих

розподілів часток, тому простір рішень має змішаний дискретно-неперервний характер.

Ця особливість є однією з причин використання змішаної цілочислової оптимізації на наступному етапі. Бінарні змінні відповідають за включення джерел до структури, а неперервні – за розподіл інвестиційної потреби між ними. Таким чином, модель одночасно визначає склад і пропорції фінансової архітектури.

У результаті формується множина допустимих рішень, яка містить лише ті архітектури, що відповідають параметрам підприємства, проєкту та зовнішнього середовища і можуть забезпечити повне фінансування інвестиційної потреби. Множина є вхідним простором для подальшої багатокритеріальної оптимізації.

Після формування множини допустимих інвестиційних архітектур виникає необхідність їх порівняння за економічними та організаційними характеристиками. Сам факт допустимості означає лише те, що певна структура може бути сформована за встановлених обмежень і забезпечує повне покриття інвестиційної потреби. Проте серед допустимих структур можуть одночасно існувати дешевші й дорожчі, швидші й повільніші, більш або менш ризикові, концентровані чи складні в реалізації рішення. Тому наступним етапом є формування системи критеріїв, яка дозволяє оцінювати кожну архітектуру як цілісну конструкцію.

Для вирішення цієї задачі запропоновано використовувати п’ять критеріїв: вартість залучення ресурсів, ризик, час мобілізації фінансування, концентрацію джерел та організаційно-транзакційну складність. Такий набір охоплює не лише фінансову сторону рішення, а й його реалізованість у часовому, структурному та управлінському вимірах.

Принциповим положенням методології є відмова від зведення задачі до мінімізації лише вартості фінансування. Для будівельного підприємства найдешевша структура може виявитися недостатньо швидкою, надмірно залежною від одного джерела або складною з погляду погоджень,

контрактного супроводу та контролю умов залучення ресурсів. Тому критерії розглядаються одночасно, а раціональна архітектура визначається як компроміс між ними. Взаємозв'язок п'яти критеріїв представлено на рис. 3.10.



Рис. 3.10. Система критеріїв формування раціональної інвестиційної архітектури. *Джерело: розроблено автором.*

Особливістю сформованої системи є наявність об'єктивних компромісів між критеріями. Зниження вартості може вимагати використання інструментів із довшим строком мобілізації. Зменшення концентрації, як правило, передбачає включення більшої кількості джерел, що може збільшувати організаційну складність. Скорочення часу, навпаки, може потребувати використання дорожчих комерційних ресурсів. Тому покращення одного показника не гарантує покращення архітектури в цілому.

Наявність таких протиріч є підставою для застосування багатокритеріального підходу. У межах допустимої множини можуть існувати структури, одна з яких дешевша, друга – швидша, третя – менш ризикова, а четверта – краще диверсифікована. Безпосереднє зведення цих властивостей

до одного показника на початковому етапі могло б приховати важливі компроміси та істотно залежало б від наперед заданих ваг.

В запропонованій методології ваги критеріїв не задаються до оптимізації. Спочатку формується множина недомінованих архітектур за всіма п’ятьма критеріями. Лише після цього на основі характеристик отриманої Парето-множини визначається інформаційна вагомість критеріїв методом CRITIC. Така послідовність дозволяє уникнути ситуації, коли суб’єктивно задані ваги ще до початку оптимізації фактично визначають бажаний тип рішення.

Запропоновані критерії також виконують різні функції. Вартість і ризик відображають переважно фінансову якість архітектури, час – її операційну реалізованість, концентрація – структурну стійкість, а складність – управлінську здійсненність. Їх спільне використання дозволяє оцінити архітектуру не лише як фінансовий розподіл, а як комплексне управлінське рішення.

Важливо також розмежовувати критерії оптимізації та обмеження моделі. Наприклад, максимальна допустима боргова частка є жорстким обмеженням: структура, яка його порушує, взагалі не потрапляє до допустимої множини. Натомість концентрація є критерієм: висока концентрація не робить архітектуру автоматично недопустимою, але погіршує її положення порівняно з більш диверсифікованими альтернативами.

Таке розмежування забезпечує гнучкість моделі. Жорсткі вимоги підприємства, програми чи фінансового механізму задаються у вигляді обмежень, тоді як характеристики, щодо яких можливий економічно обґрунтований компроміс, включаються до системи критеріїв.

У результаті кожна допустима архітектура отримує п’ятивимірний критеріальний профіль, який відображає її вартість, ризик, час, концентрацію та складність. Подальше завдання полягає у пошуку таких структур, для яких неможливо покращити один критерій без погіршення щонайменше одного іншого. Для формування цієї множини в наступному підпункті

обґрунтовується застосування багатокритеріальної оптимізації AUGMECON2 у поєднанні зі змішаною цілочисловою моделлю MILP [320, 321].

Після формування множини допустимих інвестиційних архітектур та визначення системи критеріїв наступним методологічним етапом є пошук таких рішень, які забезпечують найкращі можливі компроміси між вартістю, ризиком, часом мобілізації, концентрацією та організаційно-транзакційною складністю. Оскільки ці критерії мають різну економічну природу та можуть змінюватися у протилежних напрямах, використання однієї агрегованої цільової функції є недостатнім [322].

Для вирішення цієї задачі доцільно застосовувати метод AUGMECON2 як удосконалений варіант ε-constraint підходу у поєднанні зі змішаною цілочисловою моделлю MILP [323]. Така комбінація відповідає структурі досліджуваної задачі, оскільки одночасно враховує неперервні частки джерел фінансування та дискретний факт включення або виключення окремого інструменту [324].

У межах MILP-постановки змінні x_i визначають частки окремих джерел, а бінарні змінні y_i – факт їх використання, що дозволяє одночасно вирішувати дві задачі: сформувати склад архітектури та визначити пропорції між її елементами [325, 326].

Принцип ε-constraint полягає в тому, що один із критеріїв використовується як основна цільова функція, а решта переводяться у систему обмежень із заданими допустимими рівнями. У запропонованій методології як основну цільову функцію доцільно використовувати вартість ресурсів F_1, тоді як ризик, час мобілізації, концентрація та складність обмежуються через ε-рівні. Водночас вибір F_1 як основної цілі не означає пріоритету вартості в підсумковому рішенні. Її роль є технічною: вона використовується для розв’язання окремої MILP-задачі при фіксованих межах інших критеріїв. Після зміни ε-рівнів утворюється множина різних компромісних рішень.

Ця властивість відрізняє AUGMECON2 від підходів, де всі критерії одразу зводяться до однієї зваженої суми [327]. Якщо ваги задаються до оптимізації, вони фактично визначають напрям пошуку і можуть приховувати частину Парето-ефективних рішень. AUGMECON2, навпаки, дозволяє систематично досліджувати простір критеріїв без попереднього суб'єктивного визначення їх важливості.

Вибір AUGMECON2 визначається насамперед характером самої задачі. Значна частина її умов має лінійну форму, а структурні рішення природно описуються бінарними змінними. Це робить MILP-постановку придатною для точного розв'язання окремих оптимізаційних задач.

При цьому стохастичні еволюційні алгоритми, зокрема NSGA-II, також можуть використовуватися як альтернативний інструмент, особливо у разі подальшого введення нелінійних залежностей, складних функцій ризику або взаємодій між джерелами. Однак у базовій постановці вони не є необхідними, оскільки структура задачі дозволяє використовувати точні методи математичного програмування.

AUGMECON2 є розвитком класичного ε-constraint підходу і спрямований на усунення проблеми слабко ефективних рішень. Для цього до основної цільової функції може вводитися малий додатковий компонент, який стимулює покращення допоміжних критеріїв у межах заданих ε-обмежень. У методологічному сенсі це дозволяє більш чітко відокремлювати справді недоміновані архітектури від формально допустимих, але слабких рішень [328, 329].

Алгоритм багатокритеріальної оптимізації включає декілька послідовних етапів (рис. 3.11). Методологічно важливо також розрізняти простір допустимих рішень і Парето-множину. Допустима множина включає всі структури, які не порушують обмежень. AUGMECON2 виконує подальший відбір і залишає лише ті рішення, які мають реальний компромісний сенс за системою критеріїв [330]. У результаті оптимізаційний етап не формує одну

«найкращу» архітектуру. Його завдання – побудувати множину недомінованих рішень, кожне з яких характеризується власним профілем переваг і недоліків.



Рисунок 3.11. Алгоритм багатокритеріальної оптимізації інвестиційної архітектури методом AUGMECON2. *Джерело: розроблено автором.*

Багатокритеріальна оптимізація в запропонованій методології є проміжним, але ключовим етапом. Вона звужує початковий простір до множини економічно змістовних компромісів, не вводячи передчасно суб'єктивного пріоритету окремих критеріїв.

Отримана множина надалі використовується для аналізу Парето-компромісів, визначення інформаційної вагомості критеріїв методом CRITIC

та підсумкового ранжування альтернатив методом MARCOS [331, 332]. Результатом багатокритеріальної оптимізації є не одна інвестиційна архітектура, а множина рішень, кожне з яких характеризується власним співвідношенням вартості, ризику, часу мобілізації, концентрації та організаційно-транзакційної складності. Саме тому після виконання серії MILP-розрахунків за різними комбінаціями ε-рівнів необхідно перейти до виділення недомінованих альтернатив, які формують Парето-множину.

Парето-підхід використовується для ситуацій, у яких одночасне покращення всіх критеріїв є неможливим. Для формування інвестиційної архітектури це є типовим випадком. Зменшення вартості фінансування може супроводжуватися збільшенням часу мобілізації ресурсів; зниження концентрації потребує залучення додаткових джерел і може підвищувати організаційну складність; скорочення часу може вимагати використання дорожчих фінансових інструментів. Тому пошук одного рішення, яке було б найкращим одночасно за всіма критеріями, у більшості випадків є неможливим.

Основним поняттям цього етапу є домінування. Архітектура A домінує архітектуру B, якщо вона не є гіршою за B за жодним із критеріїв і принаймні за одним критерієм має кращий результат.

Для критеріїв, що мінімізуються, ця умова може бути записана так $F_k(A) \le F_k(B), k = 1, \dots, m$ і хоча б для одного критерію виконується $F_k(A) < F_k(B)$. Якщо для певної архітектури не існує іншого допустимого рішення, яке домінує її за всіма критеріями, така архітектура є Парето-ефективною, або недомінованою [333]. У контексті дослідження це означає, що Парето-ефективна архітектура має економічний сенс як компромісне рішення (табл. 3.20). Її неможливо покращити за одним критерієм без погіршення щонайменше одного іншого. Такі структури доцільно передавати на наступний етап багатокритеріального вибору [334].

Допустимі рішення, які домінуються іншими архітектурами, вилучаються з подальшого аналізу. Їх збереження не має практичного сенсу,

оскільки для кожного такого рішення існує інша структура, яка забезпечує не гірші результати за всіма критеріями і кращий результат хоча б за одним із них.

Таблиця 3.20. Класифікація рішень у процесі формування Парето-множини

Тип рішення	Характеристика	Роль у подальшому аналізі
Недопустиме	порушує хоча б одне структурне, фінансове або інституційне обмеження	виключається до початку багатокритеріального аналізу
Допустиме домінуване	відповідає всім обмеженням, але існує інша архітектура, не гірша за всіма критеріями	виключається після перевірки домінування
Слабко ефективне	не має очевидного прямого домінування, але може поступатися за сукупністю критеріїв через особливості ε-constraint процедури	додатково контролюється в AUGMECON2
Парето-ефективне	неможливо покращити один критерій без погіршення іншого	включається до Парето-множини
Раціональна архітектура	Парето-ефективне рішення, яке отримало найвищу підсумкову оцінку після CRITIC–MARCOS	використовується як практична рекомендація

Джерело: розроблено автором.

Парето-множина є проміжним рівнем між математичною оптимізацією та остаточним управлінським вибором. Вона суттєво звужує простір рішень, але ще не визначає єдину рекомендовану структуру. Аналіз Парето-множини дозволяє перейти від простого переліку ефективних альтернатив до розуміння внутрішньої структури оптимального простору: визначити крайні рішення,

групи близьких архітектур, стабільні інструменти та джерела, які виконують переважно адаптаційну функцію.

Однак сама Парето-множина не визначає остаточного пріоритету між недомінованими альтернативами. Кожна з них має право залишатися ефективною, оскільки покращує певні характеристики за рахунок інших.

Після формування Парето-множини наступним методологічним завданням є визначення відносної вагомості критеріїв, за якими недоміновані архітектури будуть порівнюватися на завершальному етапі вибору. Цей крок є принципово важливим, оскільки Парето-ефективність лише підтверджує відсутність домінування, але не встановлює, який із критеріїв має сильніше впливати на підсумковий вибір.

У традиційних багатокритеріальних моделях ваги нерідко задаються експертно. Такий підхід дозволяє безпосередньо врахувати управлінські пріоритети, однак одночасно створює ризик суб’єктивності. У запропонованій методології для основного розрахунку доцільно використовувати об’єктивне визначення ваг методом CRITIC, оскільки він формує ваги безпосередньо на основі структури даних, отриманих у Парето-множині.

Це означає, що значущість вартості, ризику, часу мобілізації, концентрації та організаційно-транзакційної складності не задається наперед. Вона визначається після оптимізації на основі того, наскільки кожний критерій реально відрізняє Парето-ефективні архітектури та наскільки його інформація відрізняється від інформації інших критеріїв.

Метод CRITIC поєднує два компоненти: варіативність та конфліктність критерію. Варіативність характеризує здатність показника диференціювати альтернативи. Якщо значення певного критерію майже однакові для всіх Парето-архітектур, він містить відносно мало інформації для подальшого ранжування. Навпаки, якщо значення істотно відрізняються, критерій краще розділяє альтернативи і його інформаційний внесок зростає. Другим компонентом є конфліктність. Вона визначається на основі кореляцій між критеріями. Якщо два показники змінюються майже однаково, один із них

частково дублює інформацію іншого. Якщо ж між ними існує слабкий або протилежний зв'язок, кожний із критеріїв містить додаткову самостійну інформацію про властивості архітектури. Поєднання цих двох характеристик робить CRITIC придатним для досліджуваної задачі. Вага критерію зростає тоді, коли він одночасно має достатню варіативність і не дублює інформацію інших показників.

Перед розрахунком ваг значення критеріїв нормуються, оскільки F_1–F_5 мають різні одиниці виміру та масштаби. Вартість може бути представлена у відсотках, час – у місяцях, тоді як ризик, концентрація і складність задаються у безрозмірній формі. Нормування усуває вплив масштабу і забезпечує коректне порівняння інформаційного внеску критеріїв. У запропонованій системі всі п'ять критеріїв мають напрям мінімізації. Тому після нормування кращим значенням відповідає вищий рівень нормованої оцінки, а гіршим – нижчий, що забезпечує однакову логіку подальших розрахунків. Логіку процедури представлено на рис. 3.12.



Рис. 3.12. Логіка визначення об'єктивних ваг критеріїв методом CRITIC
Джерело: розроблено автором за [335–339].

Важливо, що ваги CRITIC формуються після багатокритеріальної оптимізації, а не до неї. Така послідовність має принципове методологічне значення. Якби ваги були задані ще на етапі AUGMECON2, вони могли б змістити пошук у бік заздалегідь пріоритетних критеріїв і звузити множину компромісних рішень. У запропонованій методології спочатку формується Парето-множина без попереднього ранжування критеріїв, і лише після цього визначається їх відносна інформаційна вагомість.

CRITIC не впливає на сам факт Парето-ефективності. Його функція полягає в тому, щоб підготувати отриману множину до наступного етапу – ранжування, шо дозволяє чітко розділити два різні завдання. AUGMECON2 визначає які архітектури є ефективними, а CRITIC – які критерії містять найбільше інформації для їх подальшого порівняння [340].

Метод також дозволяє уникнути автоматичного припущення, що економічна вартість повинна мати найбільшу вагу. Якщо в межах Парето-множини вартість змінюється незначно або тісно корелює з іншим показником, її інформаційна вага може бути нижчою. Натомість критерій, який сильно розрізняє альтернативи і слабо дублює інші, може отримати більший внесок у підсумкову оцінку.

Для дослідження архітектури інвестиційного забезпечення це є особливо важливим, оскільки структура компромісів може змінюватися залежно від характеристик підприємства, проєкту та зовнішнього середовища. В одній конфігурації найбільше розрізняти архітектури може час мобілізації, в іншій – концентрація, ризик або вартість.

Ваги не повинні розглядатися як постійні універсальні коефіцієнти для всіх підприємств і проєктів. Вони є характеристикою конкретної множини ефективних альтернатив, сформованої за конкретних вихідних умов. Ця властивість робить CRITIC адаптивним елементом методології. Якщо змінюються доступність фінансування, боргові обмеження, максимальні частки інструментів або параметри ризику, змінюється Парето-множина, а разом із нею може змінитися й інформаційна структура критеріїв [341].

Водночас об’єктивність CRITIC не означає повної відмови від управлінських пріоритетів. У практичному застосуванні підприємство може додатково провести контрольний розрахунок із експертними або стратегічними вагами, наприклад якщо для конкретного проєкту критичною є швидкість мобілізації або мінімізація власної участі. Проте в базовій методології CRITIC використовується як нейтральна відправна точка, що не потребує попереднього суб’єктивного втручання.

Ще однією перевагою методу є можливість інтерпретувати самі отримані ваги. Висока вага певного критерію свідчить про те, що саме за ним Парето-архітектури найбільше відрізняються або вступають у суттєвий компроміс з іншими показниками. Тому результати CRITIC мають не лише технічне, а й аналітичне значення [342]. Наприклад, висока вага концентрації означатиме, що недоміновані архітектури суттєво відрізняються за залежністю від одного джерела і цей показник містить інформацію, яку недостатньо відображають інші критерії. Аналогічно висока вага часу мобілізації свідчитиме про значну диференціацію архітектур за швидкістю формування фінансового пакета. Таким чином, CRITIC виконує подвійну функцію: формує ваги для подальшого багатокритеріального ранжування і водночас дозволяє визначити, які характеристики найбільше структурують Парето-множину [343].

Після визначення вектора ваг w_1–w_5 стає можливим перейти до завершального етапу вибору серед недомінованих альтернатив. Для цього в наступному підпункті використовується метод MARCOS, який порівнює кожну Парето-архітектуру одночасно з ідеальним та антиідеальним рішенням і формує підсумковий порядок їх пріоритетності.

Формування Парето-множини дозволяє вилучити доміновані рішення та залишити лише архітектури, кожна з яких характеризується економічно змістовним компромісом між критеріями. Проте наявність недомінованого статусу ще не визначає, яка з таких альтернатив є найбільш доцільною для практичного використання. Тому після визначення об’єктивних ваг критеріїв методом CRITIC необхідний завершальний етап багатокритеріального вибору – ранжування Парето-ефективних архітектур.

Для цього в запропонованій методології використовується метод MARCOS, який оцінює кожну альтернативу одночасно відносно двох орієнтирів – ідеального та антиідеального рішення. Такий принцип є доцільним для досліджуваної задачі, оскільки дозволяє врахувати не лише наближеність архітектури до найкращих можливих значень критеріїв, але й ступінь її віддалення від найгіршого допустимого профілю.

Вихідною інформацією для MARCOS є Парето-множина, сформована на попередньому етапі, та вектор ваг критеріїв, визначений методом CRITIC. До ранжування не потрапляють довільні допустимі структури. Метод працює лише з тими архітектурами, які вже пройшли перевірку на недомінованість.

Це принципово відрізняє MARCOS від самої оптимізації. AUGMECON2 відповідає на питання, які рішення є Парето-ефективними, тоді як MARCOS визначає, яка з уже ефективних альтернатив має найбільш збалансований критеріальний профіль [344].

Першим етапом MARCOS є формування розширеної матриці рішень [345]. До фактичних Парето-ефективних альтернатив додаються два умовні орієнтири:

- ідеальна альтернатива, яка має найкращі значення за всіма критеріями;
- антиідеальна альтернатива, яка має найгірші значення за всіма критеріями.

Оскільки всі п’ять критеріїв у запропонованій системі мінімізуються, ідеальному рішенню відповідають мінімальні значення F_1–F_5, а антиідеальному – максимальні. Такий підхід не означає, що ідеальна альтернатива реально існує серед допустимих архітектур. Вона виконує роль еталонної точки для порівняння. Аналогічно антиідеальна альтернатива використовується як умовна нижня межа якості рішення. Перевагою такої послідовності є чітке функціональне розмежування етапів. CRITIC визначає вагомість критеріїв, але не ранжує архітектури. MARCOS, навпаки, використовує вже сформовані ваги та визначає відносний пріоритет альтернатив [242, 346].

Особливе значення має використання ідеальної та антиідеальної альтернатив. Якщо оцінювати архітектури лише за відстанню до ідеалу, дві структури можуть мати подібну позицію, хоча одна з них одночасно знаходиться значно ближче до найгіршого профілю. MARCOS враховує обидва напрями порівняння, що підвищує змістовність фінального ранжування [249].

Метод також добре узгоджується з логікою досліджуваної задачі, оскільки результати не потребують введення нового набору експертних коефіцієнтів. Ваги критеріїв уже сформовані CRITIC, а MARCOS використовує їх без зміни [347, 348].

У результаті кожна Парето-архітектура отримує числове значення функції корисності та порядкове місце. Архітектура з найвищим значенням Ui розглядається як раціональна для заданих вихідних умов, оскільки забезпечує найбільш сприятливе співвідношення між п’ятьма критеріями з урахуванням їх інформаційної вагомості. При цьому термін «раціональна» є методологічно коректнішим, ніж «абсолютно оптимальна». Обране рішення є найкращим серед сформованих Парето-ефективних альтернатив за конкретних параметрів підприємства, проєкту, фінансових інструментів та зовнішніх обмежень. Якщо ці параметри змінюються, може змінитися як Парето-множина, так і ваги CRITIC та підсумкове ранжування MARCOS [349]. Тому перше місце MARCOS не повинно трактуватися як універсальна незмінна рекомендація. Воно характеризує найбільш збалансовану архітектуру для конкретної конфігурації умов.

Важливим елементом інтерпретації є також різниця між першими позиціями рейтингу. Якщо функції корисності кількох альтернатив є дуже близькими, це означає, що існує група майже рівноцінних структур. У такому випадку доцільно додатково враховувати практичні фактори, які не були формалізовані в основних критеріях, або перевірити стабільність рейтингу при зміні параметрів. Якщо ж перша архітектура істотно випереджає наступні, це свідчить про більш чітко виражену перевагу її критеріального профілю. Окремого аналізу потребує структура самої першої альтернативи. MARCOS визначає не лише її номер у рейтингу. Оскільки для кожної альтернативи зберігаються значення xi, результат можна безпосередньо перевести у практичну структуру джерел фінансування [350]. Водночас навіть отримання першої позиції MARCOS ще не завершує методологічну процедуру. Раціональна архітектура сформована для певного набору параметрів, які в

умовах післявоєнного відновлення можуть суттєво змінюватися. Ставки фінансування, доступність грантів, кредитні ліміти, строки мобілізації та можливості приватного капіталу характеризуються значною невизначеністю.

Вибір раціональної інвестиційної архітектури методом MARCOS завершує процедуру багатокритеріального ранжування для заданого набору вихідних параметрів [351]. Однак для умов післявоєнного відновлення такого результату недостатньо. Вартість фінансових ресурсів, доступність пільгових програм, грантів і приватного капіталу, строки мобілізації коштів та допустимий рівень боргового навантаження можуть суттєво змінюватися. Тому архітектура, яка є раціональною за базових умов, потребує додаткової перевірки на стійкість до зміни зовнішнього середовища.

Для цього в методології передбачено сценарний аналіз, у межах якого змінюється не один окремий параметр, а узгоджена сукупність характеристик інвестиційного середовища. Такий підхід дозволяє дослідити поведінку архітектури за альтернативних режимів відновлення і встановити, чи зберігається її структура при одночасній зміні декількох факторів.

Сценарії при цьому не розглядаються як прогноз конкретного майбутнього стану ринку. Їх функція полягає у формуванні контрольованих модельних збурень, які дозволяють перевірити межі стійкості рішення. Тому значення параметрів сценаріїв у практичному застосуванні можуть бути адаптовані відповідно до актуальних умов фінансування, програм міжнародної підтримки, банківських вимог та інвестиційної політики підприємства.

Вихідною точкою є базова архітектура A_0^*, визначена після послідовного застосування AUGMECON2, CRITIC та MARCOS. Для кожного альтернативного сценарію змінюються окремі параметри фінансового середовища, після чого повторюється весь розрахунковий ланцюг, а не лише перераховуються значення критеріїв для незмінної структури.

Це є принципово важливим. Якщо, наприклад, зменшується допустима частка боргового фінансування або скорочується доступність грантів, базова архітектура може стати недопустимою. У такому випадку модель повинна

сформувати новий простір рішень, нову Парето-множину та новий рейтинг альтернатив. Для сценарної перевірки доцільно використовувати п’ять типових режимів зовнішнього середовища (табл. 3.21).

Таблиця 3.21. Сценарії перевірки стійкості інвестиційної архітектури

Сценарій	Загальна характеристика	Основні напрями зміни параметрів	Методологічне призначення
S_1 – повільне відновлення	обмежена ресурсна підтримка та погіршення фінансових умов	зростання вартості, ризику і часу; зниження доступності зовнішніх джерел; жорсткіше боргове обмеження	перевірка архітектури за несприятливої динаміки
S_2 – активна донорська підтримка	розширення міжнародних та грантових програм	зниження вартості і ризику; скорочення строків; збільшення доступності грантів і пільгових ресурсів	оцінювання реакції на сприятливе інституційне середовище
S_3 – активізація приватного капіталу	посилення ролі приватних інвесторів та партнерських механізмів	розширення частки приватного капіталу та ППП; пом’якшення окремих ресурсних обмежень	перевірка можливості структурного зміщення до приватних джерел
S_4 – змішаний базовий	поєднання різних джерел без суттєвих шоків	збереження базових параметрів	формування контрольної точки для порівняння
S_5 – стресовий	одночасне погіршення фінансових та інституційних умов	значне зростання вартості, ризику і часу; скорочення доступності ресурсів; посилення боргових обмежень	встановлення межі структурної стійкості архітектури

Джерело: розроблено автором.

До параметрів, які можуть змінюватися між сценаріями, належать:

- вартість комерційного та пільгового кредитування;

- ризикові характеристики інструментів;
- строки мобілізації ресурсів;
- максимальна доступна частка грантового фінансування;
- максимальна частка приватного капіталу;
- допустима частка ППП;
- граничний рівень боргового фінансування;
- за потреби – інші програмні чи інституційні обмеження.

Важливо, що зміни параметрів повинні відображати логіку самого сценарію. Наприклад, донорський сценарій не зводиться лише до збільшення максимальної частки грантів. Він також може передбачати скорочення строків залучення коштів і зниження ризиків доступу до пільгового фінансування. Стресовий сценарій, навпаки, має поєднувати одночасне погіршення декількох характеристик.

Для кожного сценарію процедура складається з таких етапів:

1. коригування параметрів інвестиційних інструментів та обмежень;
2. повторне формування допустимої множини;
3. виконання багатокритеріальної оптимізації;
4. формування нової Парето-множини;
5. повторне визначення ваг CRITIC;
6. повторне ранжування MARCOS;
7. визначення сценарної раціональної архітектури;
8. порівняння її з базовим рішенням.

Сценарний аналіз охоплює не лише зміни результативних показників, але й структурну перебудову самої архітектури. Логіку процедури наведено на рис. 3.13.

Оцінювання робастності доцільно здійснювати за декількома взаємопов’язаними ознаками.

Першою є сталість складу інструментів. Якщо в більшості сценаріїв у раціональній архітектурі зберігаються ті самі основні джерела фінансування,

це свідчить про наявність структурного ядра, яке не залежить від незначних змін середовища.

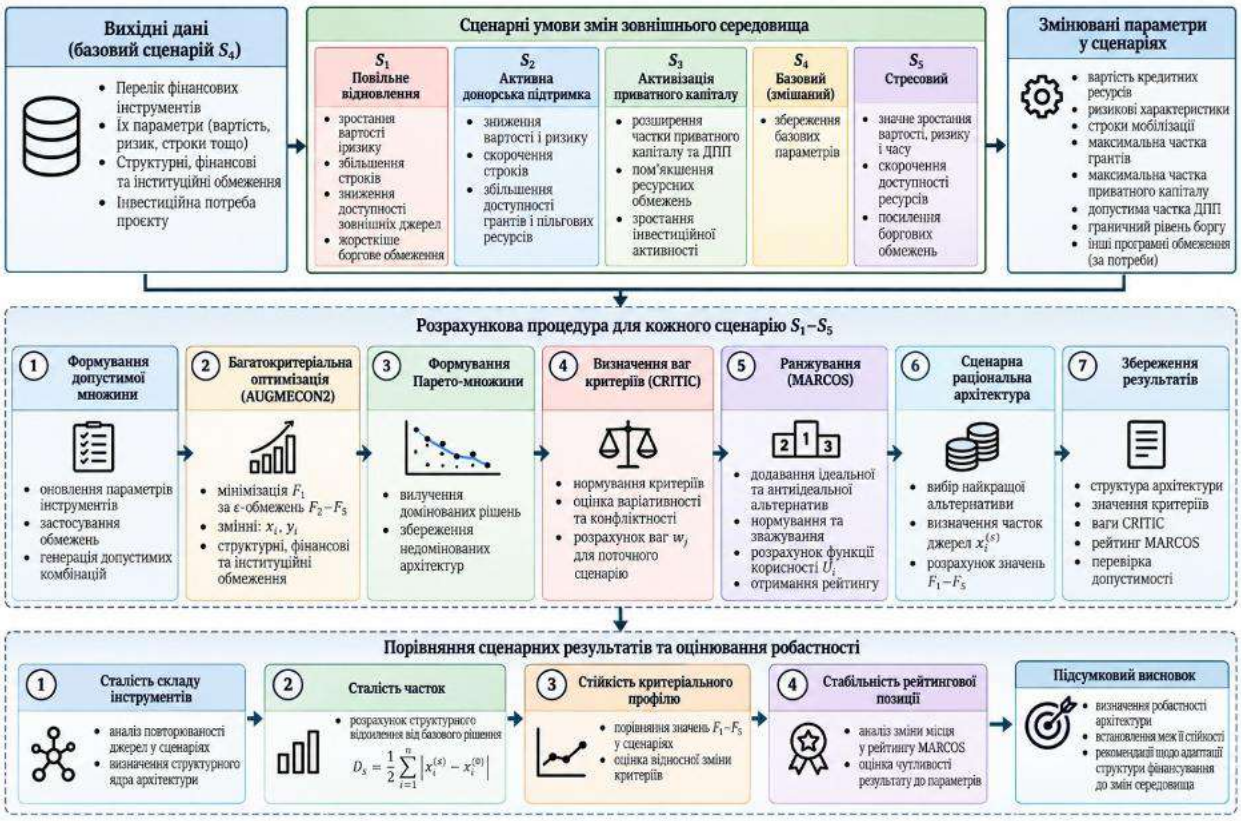

Рис. 3.13. Сценарна перевірка та оцінювання робастності інвестиційної архітектури. *Джерело: розроблено автором.*

Другою характеристикою є сталість часток. Навіть якщо набір інструментів не змінюється, співвідношення між ними може суттєво перебудовуватися. Тому необхідно оцінювати не лише факт включення джерела, але й масштаб перерозподілу фінансування.

Третьою характеристикою є стійкість критеріального профілю. Для кожного сценарію необхідно аналізувати зміну вартості, ризику, часу мобілізації, концентрації та складності. Навіть якщо склад архітектури зберігається, погіршення зовнішніх умов може істотно змінити її економічні характеристики.

Четвертим аспектом є стійкість рейтингової позиції. Якщо базова архітектура після зміни параметрів продовжує посідати перше або одне з

провідних місць, її можна вважати відносно робастною. Якщо вона швидко витісняється іншими структурами навіть за невеликих збурень, це свідчить про вузьку зону її переваги.

П’ятою характеристикою є збереження допустимості. Цей аспект є навіть важливішим за рейтинг. Архітектура може мати сприятливий профіль критеріїв, але перестати відповідати оновленим обмеженням. Наприклад, скорочення максимального боргового ліміту може зробити базову структуру математично недопустимою незалежно від її попереднього рейтингу.

В методології доцільно розрізняти два типи нестійкості:

- критеріальну, коли архітектура залишається допустимою, але втрачає перевагу за сукупністю критеріїв;
- структурну, коли зміна обмежень взагалі унеможливлює збереження попередньої структури.

Друге явище має особливе практичне значення, оскільки вимагає не просто коригування параметрів, а пошуку нового джерела фінансування або нового співвідношення між уже використаними інструментами.

Окремо необхідно враховувати, що ваги CRITIC також можуть змінюватися між сценаріями. Це є закономірним результатом зміни структури Парето-множини. Наприклад, у стресових умовах архітектури можуть сильніше відрізнятися за часом мобілізації або складністю, унаслідок чого інформаційна вага цих критеріїв зростатиме.

Тому методологічно некоректно автоматично переносити ваги CRITIC з базового сценарію на всі інші умови, якщо завдання полягає саме у повному повторному моделюванні. Для кожної сценарної Парето-множини ваги повинні визначатися повторно.

Аналогічне застереження стосується значень функції корисності MARCOS [352, 353]. Їх не слід безпосередньо порівнювати між різними сценаріями як абсолютну міру покращення або погіршення. У кожному сценарії змінюється склад альтернатив, ідеальні та антиідеальні точки, а також

ваги критеріїв. Тому MARCOS використовується передусім для внутрішнього ранжування альтернатив у межах конкретного сценарію.

Для міжсценарного порівняння доцільніше використовувати фактичні критерії F_1–F_5, частки джерел, структурне відхилення та факт збереження або зміни складу архітектури.

Робастною можна вважати таку архітектуру, яка за широкого діапазону сценарних умов:

- зберігає допустимість;
- зберігає основний склад джерел;
- потребує відносно невеликого перерозподілу часток;
- не демонструє критичного погіршення ключових критеріїв;
- залишається серед пріоритетних альтернатив після повторного ранжування.

Сценарний аналіз дозволяє встановити межі стійкості рішення, але він охоплює лише заздалегідь сформовані комбінації параметрів. Він не дає повної відповіді на питання, який саме параметр найбільше впливає на зміну архітектури і наскільки сильними є взаємодії між факторами.

Сценарний аналіз дозволяє оцінити поведінку інвестиційної архітектури за декількох наперед визначених комбінацій зовнішніх умов. Однак він не дає повної відповіді на питання, які саме параметри найбільше формують кінцевий результат, наскільки сильним є їх самостійний вплив і яку роль відіграють взаємодії між ними. Для вирішення цього завдання до методології включено глобальний аналіз чутливості методом Sobol.

На відміну від локального аналізу, за якого один параметр змінюється поблизу базового значення при незмінності інших, метод Sobol досліджує весь заданий простір невизначеності. Одночасне варіювання параметрів дозволяє оцінити не лише їх прямий вплив, але й ефекти взаємодії, які особливо важливі для моделі з обмеженнями, порогами доступності та дискретним вибором інвестиційних інструментів.

У запропонованій методології Sobol-аналіз виконує дві взаємопов’язані функції. Перша полягає у визначенні того, які параметри найбільше впливають на результативні характеристики вже сформованої архітектури. Друга – у встановленні того, які параметри здатні змінити саму структуру фінансування, тобто частки джерел та склад раціональної архітектури.

Такий дворівневий підхід є важливим, оскільки зміна параметра може суттєво впливати на вартість або ризик, але практично не змінювати структуру фінансування. І навпаки, параметр може мати відносно помірний вплив на окремий критерій, але після перетину певної межі зробити базову архітектуру недопустимою і спричинити її перебудову.

Перший рівень аналізу передбачає фіксацію структури раціональної архітектури. Частки x_i залишаються незмінними, тоді як параметри вартості, ризику, часу та інших характеристик змінюються у встановлених діапазонах. Для кожної комбінації параметрів повторно визначаються значення критеріїв F_1–F_5.

Такий рівень дозволяє відповісти на питання: що найбільше впливає на характеристики обраної архітектури, якщо її структура залишається незмінною?

Другий рівень має складнішу логіку. Тут аналізується вже не лише критеріальний профіль, а структура кінцевого рішення. Для кожної комбінації параметрів перевіряється допустимість Парето-ефективних альтернатив, після чого повторно здійснюється їх оцінювання CRITIC–MARCOS [354]. У результаті можуть змінюватися частки джерел, склад активних інструментів та відстань від базової архітектури. Другий рівень відповідає на питання: які фактори здатні змусити підприємство реально перебудувати структуру фінансування?

Основні групи факторів для глобального аналізу наведено в табл. 3.22. Для кожного фактора задається інтервал можливих значень. Межі повинні бути достатньо широкими для відображення суттєвої невизначеності, але водночас

економічно обґрунтованими. Вони можуть встановлюватися на основі сценарних діапазонів, фактичних умов фінансування, програмних обмежень або результатів експертного аналізу.

Таблиця 3.22. Параметри глобального аналізу чутливості інвестиційної архітектури

Група факторів	Приклади параметрів	Основний об’єкт впливу	Методологічне значення
Вартісні	зміна вартості кредитних та інших ресурсів	F_1, рейтинг альтернатив	оцінювання стійкості до зміни ціни фінансування
Ризикові	зміна ризикових характеристик інструментів	F_2	визначення чутливості до погіршення фінансового та інституційного середовища
Часові	зміна строків мобілізації ресурсів	F_3	оцінювання впливу затримок фінансування
Ресурсні	максимальна частка гранту, приватного капіталу, ППП	частки x_i, допустима множина	встановлення впливу доступності окремих джерел
Боргові	гранична частка кредитного фінансування	склад і частки архітектури	визначення фінансового обмеження, здатного змінити структуру
Порогові	мінімальна придатність S_{min}	доступність інструментів	оцінювання стійкості до жорсткості попереднього відбору

Джерело: розроблено автором.

Після визначення меж формується квазівипадкова Sobol-послідовність. Її використання забезпечує більш рівномірне заповнення багатовимірного простору параметрів порівняно зі звичайним випадковим Монте Карло-відбором. Для отримання стабільних оцінок базовий розмір вибірки доцільно задавати як степінь числа два, а остаточну достатність вибірки перевіряти шляхом зіставлення результатів для декількох її обсягів.

Основними показниками глобальної чутливості є індекс першого порядку S_1 та повний індекс ST. Співвідношення між Si та STi має важливе аналітичне значення. Якщо обидва індекси близькі, вплив параметра є

переважно прямим. Якщо ж STi суттєво перевищує Si, основна частина його впливу реалізується через взаємодію з іншими факторами.

Для інвестиційної архітектури така ситуація є цілком очікуваною. Наприклад, підвищення порогу придатності може саме по собі не змінювати базову структуру, поки основні джерела значно перевищують установлену межу. Проте якщо одночасно посилюється боргове обмеження і виникає необхідність замінити частину кредитного фінансування, значення S_{min} вже визначатиме, які резервні інструменти залишаються доступними. параметр набуває значущості саме через взаємодію з іншим обмеженням.

Sobol-аналіз дозволяє перейти від простого твердження про стійкість рішення до більш глибокої інтерпретації: встановити, що саме забезпечує цю стійкість і які параметри здатні її порушити.

Це має безпосереднє управлінське значення. Якщо найбільший ST отримує вартість кредитного ресурсу, підприємству необхідно передусім контролювати цінові умови фінансування. Якщо домінує борговий ліміт, ключовим стає контроль допустимого кредитного навантаження. Якщо значним є поріг придатності, особливо важливо підтримувати достатній набір резервних інструментів.

Глобальний аналіз також дозволяє розрізнити чутливість результату і чутливість рішення. Це різні характеристики. Архітектура може залишатися незмінною, хоча її вартість або ризик суттєво коливаються. Або, навпаки, невелика зміна критичного обмеження може спричинити помітну структурну перебудову. Саме тому в запропонованій методології Sobol не дублює сценарний аналіз. Сценарний аналіз відповідає на питання, як поводиться архітектура за конкретних комплексних сценаріїв, а Sobol – які фактори у всьому просторі невизначеності найбільше визначають її поведінку. Поєднання цих двох підходів істотно підсилює оцінювання робастності. Сценарії забезпечують економічно зрозумілу перевірку альтернативних режимів відновлення, а глобальна чутливість встановлює фундаментальні фактори зміни результатів та структури фінансування.

Після виконання Sobol-аналізу методологічний ланцюг є практично завершеним: визначено допустимий простір, сформовано Парето-множину, встановлено ваги критеріїв, вибрано раціональну архітектуру, перевірено її поведінку за сценаріями та встановлено ключові фактори глобальної чутливості. Розглянуті методи утворюють єдину послідовність формування інвестиційної архітектури будівельного підприємства. Її принципова відмінність від традиційного вибору джерел фінансування полягає в тому, що рішення формується не шляхом послідовного відбору окремих найбільш привабливих інструментів, а через системне поєднання оцінювання їх придатності, математичної оптимізації, багатокритеріального ранжування та перевірки стійкості. Узагальнену послідовність інтегрованої методології наведено в табл. 3.23.

Таблиця 3.23. Інтегрований алгоритм формування раціональної архітектури інвестиційного забезпечення

Етап	Метод / процедура	Основна операція	Результат
1	Формування вихідних даних	опис підприємства, проєкту, інструментів і зовнішніх умов	інформаційна база моделі
2	Fuzzy Logic / ML	оцінювання придатності інструментів	показники S_i та набір доступних джерел
3	Формування допустимої множини	застосування структурних, фінансових та інституційних обмежень	множина Ω
4	Система F_1–F_5	багатокритеріальний опис архітектур	критеріальні профілі

5	AUGMECON2 / MILP	оптимізація за системою ε-рівнів	множина потенційно ефективних структур
6	Парето	перевірка домінування	Парето-множина
7	CRITIC	визначення інформаційної вагомості критеріїв	вектор ваг w_1–w_5
8	MARCOS	ранжування Парето-архітектур	раціональна архітектура A*
9	Сценарний аналіз	повторний розрахунок за альтернативних умов	сценарна стійкість і межі перебудови
10	Sobol	глобальна оцінка чутливості	ключові фактори та їх взаємодії
Підсумок	Інтеграція результатів	перехід від часток до конкретних обсягів	структура фінансування + суми + оцінка стійкості

Запропонований алгоритм має модульну структуру. Кожний його етап виконує окрему функцію і не дублює попередній. Оцінювання придатності звужує перелік потенційних інструментів; обмеження визначають реалізовані структури; AUGMECON2 формує простір ефективних компромісів; CRITIC встановлює інформаційну вагомість критеріїв; MARCOS завершує вибір; сценарний та Sobol-аналіз перевіряють стійкість отриманого рішення [305, 355].

Водночас етапи логічно пов’язані між собою, тому зміна вихідних умов автоматично може поширюватися на весь подальший ланцюг. Наприклад, зміна параметрів підприємства може змінити придатність джерел, що вплине

на допустиму множину, склад Парето-рішень, ваги CRITIC і в кінцевому підсумку – на структуру [345].

Така властивість є важливою для практичного використання моделі. Методологія не формує одну статичну «правильну» структуру фінансування, а створює адаптивний механізм її визначення для конкретного підприємства, конкретного проєкту та конкретного стану інвестиційного середовища.

При цьому результат має два рівні. Перший – управлінський: конкретні джерела, їх частки та абсолютні обсяги. Другий – аналітичний: інформація про компроміси між критеріями, стійкість структури, критичні параметри та можливі напрями адаптації в разі зміни зовнішніх умов.

Поєднання цих двох рівнів дозволяє перейти від оцінювання інвестиційних можливостей до підтримки конкретного управлінського рішення щодо ресурсного забезпечення проєкту післявоєнного відновлення.

Висновки до розділу 3.

1. Обґрунтовано вибір математичних методів відповідно до природи невизначеності, притаманної оцінюванню інвестиційних інструментів. Детерміновані моделі доцільні для розрахунку параметрів із чітко заданими значеннями, імовірнісні — для аналізу випадкової мінливості за наявності обґрунтованих розподілів, а інтервальні — для опису невідомих значень у визначених межах. Натомість нечітка логіка відповідає ситуаціям, коли економічні стани мають поступові переходи, а частина критеріїв виражається якісно або експертно. Таке розмежування запобігає підміні нечіткості економічної оцінки випадковістю подій і дає підстави поєднувати різні методи послідовно, відповідно до їхнього призначення.

2. Методологію побудови нечіткої системи конкретизовано через процедури нормування показників, вибору функцій належності, формування лінгвістичних термів і конструювання бази правил. Використання трикутних і трапецієподібних функцій належності з перекриттям сусідніх термів дає змогу відображати плавну зміну економічного стану та уникати необґрунтованих

стрибків оцінки поблизу умовних меж. Водночас шкали й назви термів мають відповідати змісту конкретних показників, а правила — охоплювати сприятливі, обмежувальні, критичні, компенсаційні та інструментально специфічні ситуації. Завдяки цьому експертні судження перетворюються на формалізовані залежності, придатні для аналізу та перевірки.

3. Визначено методологічні умови прийнятності нечіткої моделі до її використання в подальших розрахунках. Перевірка має охоплювати повноту покриття допустимої області, логічність реакції на зміну вхідних параметрів, коректність крайових оцінок, відсутність необґрунтованих розривів і збереження специфіки оцінювання різних інструментів. Важливо також зберігати проміжні результати моделі: вони дають змогу простежити, які саме групи характеристик зумовили підсумкову оцінку, та діагностувати причини її зміни. Нечітке оцінювання в методології дослідження виконує функцію первинного структурування інформації й формування оцінок придатності, які передаються на наступні етапи, але самі по собі ще не визначають структуру фінансування.

4. Обґрунтовано застосування імітаційного моделювання для дослідження не окремої розрахункової ситуації, а множини можливих поєднань характеристик підприємства, проєкту та умов фінансування. Порівняльний аналіз методів показує, що для цієї задачі важливо не тільки генерувати значення в заданих межах, а й забезпечити достатнє охоплення багатовимірного простору та контролювати допустимість сформованих комбінацій. У цьому контексті латинський гіперкуб сприяє рівномірнішому представленню діапазонів вхідних параметрів, тоді як логічні й економічні обмеження відсіюють сценарії, несумісні з умовами досліджуваної системи. Згенеровані сценарії слід трактувати як експериментальний простір для перевірки поведінки моделі, а не як оцінки ймовірності майбутніх станів підприємств.

5. Сформовано методичну послідовність отримання синтетичної інформаційної бази: спочатку визначається сценарна конфігурація вхідних

характеристик, далі перевіряється її допустимість, після чого незмінена нечітка система оцінює придатність інструментів, а вхідні й вихідні значення об’єднуються в один запис даних. Якість такого набору потребує контролю повноти й діапазонів значень, повторюваності сценаріїв, розподілу вихідних оцінок, охоплення крайових областей і стабільності статистичних характеристик зі збільшенням вибірки. Ці вимоги важливі для того, щоб навчальні дані відображали різноманітність модельного простору, а не лише його центральні або найчастіше генеровані ділянки. Водночас синтетичне походження даних визначає межі висновків: вони характеризують поведінку нечіткої системи за заданих правил і сценарних умов, а не встановлюють емпіричні закономірності для всієї сукупності будівельних підприємств.

6. Розроблено методологічну логіку машинної апроксимації, за якою прогнозна модель навчається відтворювати виходи нечіткої системи та забезпечувати швидкі повторні розрахунки. Вибір між окремими моделями для інструментів і багатовихідною архітектурою має здійснюватися порівняльно, оскільки залежності, що формують оцінку придатності різних інструментів, можуть істотно відрізнятися. Перевірювання прогнозу доцільно проводити не лише за сукупною точністю, а й за похибками для окремих виходів, стабільністю на нових і граничних сценаріях, коректністю діапазону оцінок та обчислювальною ефективністю. Застосування SHAP-аналізу доповнює цю перевірку економічною інтерпретацією внеску характеристик у прогнозовану придатність. Такий контроль визначає, наскільки апроксимаційна модель відтворює логіку нечіткого оцінювання; він не є незалежним підтвердженням її відповідності фактичним рішенням підприємств, кредиторів чи інвесторів.

7. Сформовано методологічну послідовність багатокритеріального вибору, у якій спочатку визначаються допустимі фінансові конфігурації, потім серед них виокремлюються недоміновані альтернативи, а вже після цього виконується їх ранжування. Такий порядок принциповий для економічної обґрунтованості рішення: невиконання обов’язкових ресурсних, фінансових

або інституційних вимог не може бути компенсоване перевагою за іншим критерієм. Відокремлення умов допустимості від критеріїв ефективності також зберігає зміст кожного типу управлінського судження: обмеження встановлюють межі здійсненності, а цільові критерії дають змогу порівнювати рішення в цих межах.

8. Обґрунтовано застосування послідовності «AUGMECON2 — CRITIC — MARCOS» як трьох процедур із різними функціями в процесі вибору. AUGMECON2 використовується для формування множини Парето-ефективних рішень без попереднього зведення всіх цілей до одного показника; CRITIC визначає інформаційну вагомість критеріїв з огляду на варіативність їхніх значень і взаємну пов’язаність; MARCOS ранжує вже відібрані альтернативи відносно ідеального й антиідеального профілів. Отже, оптимізація формує простір економічно ефективних компромісів, а методи зважування та ранжування забезпечують вибір раціонального варіанта в цьому просторі. Результат такого вибору є умовним щодо параметрів підприємства, проєкту, доступних ресурсів і застосованої системи критеріїв, а тому не може трактуватися як універсальна структура фінансування.

9. Розроблено методологічну основу перевірки робастності рішення, що поєднує сценарне переоцінювання архітектури з аналізом глобальної чутливості. Сценарна процедура передбачає зміну узгоджених параметрів середовища та повторне виконання основних етапів вибору, що дає змогу виявити, чи зберігаються склад і пропорції джерел, допустимість структури, її критеріальний профіль і рейтингове становище. Додаткове розмежування критеріальної нестійкості, за якої архітектура залишається допустимою, але втрачає перевагу, та структурної нестійкості, за якої змінені обмеження унеможливлюють збереження попередньої конфігурації, має безпосереднє управлінське значення. Глобальний аналіз чутливості доповнює сценарне порівняння визначенням чинників, що найбільше впливають на економічні характеристики незмінної структури або спричиняють перебудову самого

рішення. Через це методологія дає змогу обґрунтовувати не лише вибір фінансування, а й умови, за яких його слід переглянути

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ.

4.1. Ієрархічна нечітка модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства.

Початковим етапом в побудові моделі нечіткої логіки є фазифікація вхідних змінних, тобто перехід від точного числового значення до ступенів належності певним лінгвістичним станам. На цьому етапі числовий показник перестає трактуватися як однозначно «низький», «середній» або «високий». Одне значення може одночасно належати до двох сусідніх станів із різним ступенем.

Для первинних змінних моделі прийнято три лінгвістичні стани. Використання більшої кількості термів на першому рівні збільшило б деталізацію, але водночас суттєво ускладнило б формування бази правил. Повна база правил не обов’язково повинна містити всі математично можливі комбінації, однак така різниця показує, що використання п’яти термів для кожної первинної змінної на цьому етапі не дає пропорційного виграшу в точності. Тому для вхідного рівня використовується три стани, а більша деталізація залишена для кінцевого виходу S_i.

Систему лінгвістичних змінних першого рівня наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Лінгвістичні змінні первинного рівня нечіткої моделі

Код	Нормована нечітка змінна	Лінгвістичні терми
E1	Масштаб операційної діяльності	малий / середній / великий
E2	Фінансова автономія	низька / середня / висока
E3	Стабільність операційного грошового потоку	низька / середня / висока
E4	Управлінська зрілість	низька / середня / висока
E5	Цифрово-аналітична зрілість	низька / середня / висока

P1	Капіталомісткість проєкту	низька / середня / висока
P2	Економічна результативність проєкту	низька / середня / висока
P3	Тривалість реалізації проєкту	коротка / середня / тривала
P4	Суспільна значущість проєкту	низька / середня / висока
P5	Терміновість реалізації проєкту	низька / середня / висока
R1	Рівень покриття інвестиційної потреби	низький / середній / високий
R2	Цінова прийнятність ресурсу	низька / середня / висока
R3	Строкова відповідність ресурсу	низька / середня / висока
R4	Спроможність виконати вимогу власної участі	низька / середня / висока
R5	Гнучкість умов використання ресурсу	низька / середня / висока
I1	Територіальна безпечність реалізації проєкту	низька / середня / висока
I2	Регуляторно-інституційна стабільність	низька / середня / висока
I3	Валютна стійкість інвестиційного забезпечення	низька / середня / висока
I4	Доступність програм державної та міжнародної підтримки	низька / середня / висока
I5	Гарантійне та страхове покриття	низьке / середнє / високе

Джерело: розроблено автором.

Для опису лінгвістичних термів використовуються трикутні та трапецієподібні функції належності. Їх вибір пов’язаний насамперед із прозорістю інтерпретації. Для кожної точки можна однозначно визначити межі, у яких починається та завершується належність до певного стану. Це спрощує як формування правил, так і подальше пояснення результатів моделі.

Трикутна функція належності задається трьома параметрами a, b і c:

$$\mu_{\triangle}(x;a;b;c)=\begin{cases}0, & x\le a,\\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a<x<b,\\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b\le x<c,\\ 0, & x\ge c.\end{cases} \qquad (4.1)$$

Трапецієподібна функція визначається чотирма параметрами a, b, c і d:

$$\mu_{\square}(x;a;b;c;d)=\begin{cases}0, & x\le a,\\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a<x<b,\\ 1, & b\le x\le c,\\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c<x<d,\\ 0, & x\ge d.\end{cases} \qquad (4.2)$$

Для крайніх термів «низький» і «високий» використовуються трапецієподібні функції. Це дозволяє сформувати ділянки, у межах яких дуже низькі або дуже високі значення вважаються повністю належними до відповідного стану. Для середнього терма використовується трикутна функція, максимальна належність якої припадає на центральну частину діапазону.

Для базової конфігурації первинних входів прийнято такі параметри:

$$\mu_L(x)=\mu_{\square}(x;0;0;0{,}25;0{,}50)\,\mu_M(x)=\mu_{\triangle}(x;0{,}25;0{,}50;0{,}75)\,\mu_H(x)=\mu_{\square}(x;0{,}50;0{,}75;1;1) \qquad (4.3)$$

де L – низький рівень; M – середній; H – високий.

Застосування однакових базових параметрів функцій належності для більшості нормованих входів спрощує модель, але не означає, що межі 0,25; 0,50 та 0,75 мають універсальний економічний зміст. Вони задають початкову геометрію нечіткого простору. Якщо для конкретного показника існують економічно або нормативно обґрунтовані межі, функції належності повинні бути скориговані.

Для проміжних виходів чотирьох локальних підсистем також використовується діапазон [0;1]. На цьому рівні доцільно залишити три лінгвістичні стани: низька, середня та висока контурна відповідність. У тих локальних підсистемах, де правила відрізняються залежно від конкретного

інструменту, ці виходи фактично набувають форми E_i, P_i, R_i або I_i. Позначення E, P, R та I надалі використовується як скорочене для представлення архітектури моделі.

Для проміжних виходів приймаються ті самі базові функції належності:

$$\mu_L(y)=\mu_{\square}(y;0;0;0{,}25;0{,}50)\mu_M(y)=\mu_{\triangle}(y;0{,}25;0{,}50;0{,}75)$$

$$\mu_H(y)=\mu_{\square}(y;0{,}50;0{,}75;1;1) \qquad (4.4)$$

де y позначає відповідний проміжний вихід E, P, R або I.

Для кінцевої змінної S_i трьох термів недостатньо. Її значення використовується для порівняння декількох інвестиційних інструментів, тому надто грубе розбиття на «низьку», «середню» та «високу» придатність могло б приховувати відмінності між альтернативами. Наприклад, два інструменти зі значеннями 0,68 та 0,88 формально могли б належати до однієї категорії «висока», хоча з позиції подальшого ранжування різниця між ними є суттєвою. Для кінцевого виходу використовується п’ять лінгвістичних термів: дуже низька – низька – середня – висока – дуже висока придатність.

Базова система функцій належності для S_i задається таким чином:

$$\mu_{VL}(S_i)=\mu_{\square}(S_i;0;0;0{,}10;0{,}25)\mu_L(S_i)=\mu_{\triangle}(S_i;0;0{,}25;0{,}50)$$

$$\mu_M(S_i)=\mu_{\triangle}(S_i;0{,}25;0{,}50;0{,}75)\mu_H(S_i)=\mu_{\triangle}(S_i;0{,}50;0{,}75;1)\mu_{VH}(S_i)=\mu_{\square}(S_i;0{,}75;0{,}90;1;1)$$

(4.5)

де VL – дуже низька, L – низька, M – середня, H – висока, VH – дуже висока придатність.

Використання п’яти термів саме для вихідної змінної не створює такого збільшення кількості можливих правил, як розширення кількості термів усіх вхідних показників. Умовна частина правила залишається побудованою на трьох станах входів, а п’ять термів використовуються лише для його наслідку.

Для зручності базові параметри функцій належності наведено у табл. 4.2. Зони перекриття між сусідніми функціями не є технічною похибкою. Вони потрібні для того, щоб одна вхідна ситуація могла активувати декілька правил одночасно. Якщо, наприклад, строкова відповідність ресурсу має значення

0,65, система частково активує правила для середньої та високої відповідності. Після агрегування це створює проміжний результат, а не примушує модель обирати один із двох станів.

Таблиця 4.2. Базові параметри функцій належності нечіткої моделі

Рівень моделі	Лінгвістичний терм	Тип функції	Параметри
Первинні входи	низький	трапецієподібна	(0; 0; 0,25; 0,50)
Первинні входи	середній	трикутна	(0,25; 0,50; 0,75)
Первинні входи	високий	трапецієподібна	(0,50; 0,75; 1; 1)
E, P, R, I	низька відповідність	трапецієподібна	(0; 0; 0,25; 0,50)
E, P, R, I	середня відповідність	трикутна	(0,25; 0,50; 0,75)
E, P, R, I	висока відповідність	трапецієподібна	(0,50; 0,75; 1; 1)
S_i	дуже низька придатність	трапецієподібна	(0; 0; 0,10; 0,25)
S_i	низька придатність	трикутна	(0; 0,25; 0,50)
S_i	середня придатність	трикутна	(0,25; 0,50; 0,75)
S_i	висока придатність	трикутна	(0,50; 0,75; 1)
S_i	дуже висока придатність	трапецієподібна	(0,75; 0,90; 1; 1)

Джерело: розроблено автором.

Надто вузькі зони перекриття наближали б нечітку систему до звичайної порогової класифікації. Надто широкі, навпаки, зменшували б здатність системи розрізняти стани. Для базової конфігурації перекриття приблизно у чверті нормованого діапазону є достатнім для початкового моделювання.

Остаточна форма функцій має перевірятися за результатами сценарного аналізу.

Параметри функцій належності не слід розглядати як наперед відомі точні характеристики економічної системи. На першому етапі вони задають логічно узгоджену початкову структуру. Після реалізації моделі необхідно перевірити її на контрольних профілях підприємств і проєктів, а також на граничних комбінаціях параметрів. Якщо, наприклад, незначна зміна одного входу спричиняє непропорційно сильну зміну S_i або модель практично не реагує на показник у економічно значущому діапазоні, межі функцій повинні бути скориговані.

Для цього може використовуватися локальний аналіз чутливості функцій належності. Якщо параметр функції зміщується на величину δ, оцінюється зміна кінцевого результату:

$$\Delta S_i = S_i(\theta + \delta) - S_i(\theta) \qquad (4.6)$$

де θ – параметр функції належності.

Якщо невелика зміна θ систематично змінює ранжування інструментів, відповідна ділянка моделі є нестійкою й потребує додаткового обґрунтування. Якщо ж результат майже не змінюється в достатньо широкому діапазоні параметрів, форма функції не є критичною для висновку.

Ще одним способом перевірки є аналіз монотонності там, де економічна логіка однозначна. Наприклад, за незмінних інших умов збільшення строкової відповідності R3 не повинно знижувати ресурсну придатність інструменту. Збільшення гарантійного покриття I5 також не повинно погіршувати кінцевий результат, якщо інші параметри залишаються незмінними. Якщо модель демонструє протилежну поведінку, проблема може бути не у функціях належності, а в суперечливій базі правил.

Фазифікація в моделі здійснюється на трьох рівнях деталізації. Первинні входи описуються трьома лінгвістичними станами. Проміжні виходи E, P, R та I також мають три стани відповідності. Кінцевий показник S_i описується п’ятьма рівнями придатності. Така структура дозволяє обмежити складність

локальних систем і водночас зберегти достатню диференціацію кінцевих оцінок.

Наступним кроком є побудова чотирьох локальних нечітких підсистем, у яких визначені функції належності поєднуються з правилами агрегації первинних показників. Саме на цьому рівні формується перехід від E1–E5, P1–P5, R1–R5 та I1–I5 до агрегованих характеристик E, P, R та I. Ієрархічна структура моделі передбачає, що первинні вхідні показники не передаються безпосередньо до кінцевої системи оцінювання S_i. Спочатку вони обробляються в межах чотирьох локальних нечітких підсистем. Кожна така підсистема відповідає одному з контурів і перетворює п'ять первинних характеристик на одну узагальнену оцінку в діапазоні [0;1].

На цьому етапі доцільно уточнити позначення локальних виходів. Використання одного універсального значення E, P, R або I для всіх інвестиційних інструментів призвело б до часткової втрати інформації. Однакова комбінація характеристик підприємства може бути сприятливою для банківського кредиту і менш сприятливою для грантового фінансування. Те саме стосується характеристик проєкту, ресурсних умов та зовнішніх ризиків.

Тому локальні виходи визначаються окремо для кожного і-го інвестиційного інструменту:

$$E_i = F_E^{(i)}(E_1, E_2, E_3, E_4, E_5) P_i = F_P^{(i)}(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5) R_i = F_R^{(i)}(R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}, R_{5i})$$

$$I_i = F_I^{(i)}(I_{1i}, I_{2i}, I_{3i}, I_{4i}, I_{5i}) \qquad (4.7)$$

де E_i – підприємницька відповідність умовам використання і-го інструменту; P_i – проєктна відповідність; R_i – інвестиційно-ресурсна відповідність; I_i – інституційно-ризикова відповідність.

Для всіх локальних виходів $E_i, P_i, R_i, I_i \in [0;1]$. Таке уточнення не означає, що для кожного інструменту формується інший набір первинних показників. Структура входів залишається сталою. Відрізняється їх інтерпретація в базі нечітких правил. Наприклад, фінансова автономія E2 використовується для

оцінювання і кредиту, і гранту, і приватного інвестування, але її значення для цих інструментів різне.

Значення локальних виходів не формуються як арифметичне середнє п’яти показників. Таке рішення було б простішим, але не враховувало б взаємодію факторів. Наприклад, висока фінансова автономія не може повністю компенсувати нестабільний операційний грошовий потік при оцінюванні комерційного кредиту. Аналогічно низька вартість ресурсу не робить інструмент придатним, якщо він покриває лише невелику частину потреби або надається на строк, значно коротший за необхідний.

У нечіткій системі така взаємодія задається через правила. Тому два профілі з однаковими середніми значеннями вхідних параметрів можуть сформувати різні локальні виходи.

Підприємницька підсистема оцінює, наскільки характеристики самого будівельного підприємства відповідають вимогам використання конкретного інвестиційного інструменту. Вхідний вектор має вигляд $E=\left[E_1, E_2, E_3, E_4, E_5\right]$. До підсистеми входять масштаб операційної діяльності, фінансова автономія, стабільність операційного грошового потоку, управлінська зрілість та цифрово-аналітична зрілість. Їх значення для різних способів інвестиційного забезпечення не однакове. Для комерційного кредитування значну роль мають E2 і E3, оскільки вони безпосередньо пов'язані із запасом фінансової стійкості та здатністю обслуговувати зобов'язання. Для грантового фінансування E3 може мати меншу вагу, тоді як E4 і E5 набувають більшого значення через вимоги до управління проєктом, підтвердження витрат, звітності та контролю цільового використання коштів.

Для приватного інвестора фінансові характеристики підприємства також мають значення, але оцінка не обмежується ними. Підприємство з порівняно невисокою фінансовою автономією може залишатися прийнятним партнером, якщо має достатній масштаб діяльності, досвід управління великими проєктами та сформовану систему контролю.

Для власних ресурсів логіка відрізняється. Висока фінансова автономія і стабільний операційний грошовий потік підвищують можливість самофінансування. Проте великий масштаб підприємства сам по собі не означає, що використання власного капіталу буде оптимальним. Підприємство може мати значний оборот і одночасно обмежений обсяг вільних грошових коштів. Тому підприємницький вихід E_i слід трактувати не як загальну «якість підприємства», а як його організаційно-економічну спроможність працювати з конкретним інструментом.

Проєктна підсистема визначає відповідність параметрів конкретного будівельного або відновлювального проєкту умовам використання і-го інструменту. Вхідний вектор $P=[P_1, P_2, P_3, P_4, P_5]$. До підсистеми входять капіталомісткість, економічна результативність, тривалість реалізації, суспільна значущість і терміновість. Цей блок є найбільш показовим з точки зору необхідності інструмент-специфічної інтерпретації. Наприклад, висока економічна результативність P2 є позитивною характеристикою для приватного інвестора або комерційного кредитора. Для грантового фінансування вона також не є негативною, але може поступатися за значенням суспільній значущості P4 та відповідності пріоритетам програми.

Вихід P_i відображає не загальну «привабливість проєкту», а відповідність його параметрів конкретному способу інвестиційного забезпечення $P_i \in [\text{низька}, \text{середня}, \text{висока}]$. За низького P_i самі характеристики проєкту суперечать основній логіці використання інструменту. Високий P_i означає, що масштаб, строк, економічні та суспільні параметри проєкту загалом відповідають механізму залучення ресурсу.

На відміну від E_i і P_i, які формуються на основі характеристик підприємства та проєкту, R_i безпосередньо описує параметри конкретного інвестиційного інструменту. Для кожного і-го інструменту формується окремий вхідний вектор $R_i=[R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}, R_{5i}]$. До нього входять рівень покриття інвестиційної потреби, цінова прийнятність ресурсу, строкова

відповідність, спроможність підприємства виконати вимогу власної участі та гнучкість умов використання. Саме R_i безпосередньо показує, наскільки конкретна пропозиція відповідає потребі конкретного проєкту. Наприклад, два банківські кредити можуть бути однаковими за економічною природою, але суттєво відрізнятися за R_i через різний максимальний обсяг, процентну ставку, строк або вимогу власного внеску.

Інституційно-ризикова підсистема оцінює зовнішні умови використання і-го інвестиційного інструменту. Її структура має вигляд $I_i=\left[I_{1i}, I_{2i}, I_{3i}, I_{4i}, I_{5i}\right]$.

До підсистеми входять територіальна безпечність, регуляторно-інституційна стабільність, валютна стійкість, доступність державних і міжнародних програм, а також гарантійне та страхове покриття.

Не всі ці змінні однаково залежать від виду інструменту. Воєнно-територіальний ризик визначається переважно місцем реалізації проєкту і тому початково може бути однаковим для всіх альтернатив. Проте його фактичний вплив на придатність різних інструментів відрізняється. Кредитор може суттєво обмежувати фінансування об'єктів у зоні підвищеного ризику, тоді як міжнародна програма відновлення може, навпаки, бути спеціально орієнтована на такі території. Тому інституційно-ризиковий вихід також формується як інструмент-специфічний $I_i \in \left(\text{низька}, \text{середня}, \text{висока}\right)$. Низьке I_i означає, що зовнішнє середовище створює суттєві обмеження для використання інструменту. Високе I_i означає, що ризики, регуляторні умови та наявні механізми підтримки загалом не перешкоджають його застосуванню.

Для кожної підсистеми використовується однакова загальна схема обробки даних. Спочатку нормоване точне значення кожного входу перетворюється на ступені належності трьом лінгвістичним станам. Потім активуються правила, умови яких відповідають поточній комбінації значень. Результати активованих правил агрегуються у вихідну нечітку множину.

Для підприємницького контуру цей процес можна подати як:

$$\left(E_1, E_2, E_3, E_4, E_5\right) \rightarrow \left\{\mu_{E_1}, ., ., .. \mu_{E_5}\right\} \rightarrow R_E^{\{i\}} \rightarrow E_i \qquad (4.8)$$

де $\mathcal{R}$E(i) – база правил підприємницької підсистеми для і-го інструменту.

Аналогічно:

$$\left(P_1,.,..P_5\right)\rightarrow R_P^{(i)}\rightarrow P_i\left(R_{1i},.,..R_{5i}\right)\rightarrow R_R^{(i)}\rightarrow R_i\left(I_{1i},.,..I_{5i}\right)\rightarrow R_I^{(i)}\rightarrow I_i \qquad (4.9)$$

У межах прийнятої системи Mamdani локальний вихід спочатку формується як нечітка множина. Після дефазифікації отримується числове значення E_i, P_i, R_i або I_i в інтервалі [0;1]. На верхньому рівні це значення знову фазифікується за функціями належності «низька – середня – висока» і використовуєтьс для визначення S_i. Така послідовність означає, що між двома рівнями ієрархії передається не вся первинна інформація, а чотири компактні числові оцінки $Z_i=\left[E_i,P_i,R_i,I_i\right]$. Саме цей вектор є входом верхнього рівня.

Перевагою такої архітектури є можливість аналізувати не лише кінцеве S_i, а й причину його формування. Наприклад, для одного інструменту можуть бути отримані $E_i=0{,}82$, $P_i=0{,}77$, $R_i=0{,}34$, $I_i=0{,}61$. У такій ситуації низьке кінцеве значення S_i може бути пов'язане не зі станом підприємства або характеристиками проєкту, а саме з ресурсними умовами. Це має практичне значення: проблема потенційно може бути усунена шляхом пошуку іншої пропозиції того самого типу інструменту. В іншому випадку $E_i=0{,}79$, $P_i=0{,}28$, $R_i=0{,}84$, $I_i=0{,}73$ ресурс є доступним і прийнятним за умовами, але характеристики самого проєкту погано відповідають логіці його використання. Зміна кредитора або постачальника ресурсу тут не вирішить проблему.

Модель не передбачає жорсткого взаємного компенсування контурів. У звичайній зваженій сумі дуже високе значення одного компонента може математично компенсувати критично низьке значення іншого. Для інвестиційних рішень така властивість не завжди прийнятна. Наприклад, висока дохідність проєкту не може компенсувати повну недоступність відповідної кредитної програми, а висока управлінська зрілість підприємства не компенсує неможливість виконати обов'язкову вимогу співфінансування.

У нечіткій системі такі обмеження можна задавати правилами з некомпенсаційною логікою. Якщо певний параметр або контур є критичним для інструменту, низький його рівень може обмежувати кінцевий результат незалежно від високих значень інших характеристик. Разом із тим модель не повинна перетворювати кожне слабке значення на автоматичну заборону. Наприклад, середня фінансова автономія може компенсуватися стабільним грошовим потоком і гарантійним механізмом. Тому жорсткі обмежувальні правила застосовуються лише там, де існує реальна економічна або формальна умова доступу.

Для власних ресурсів, комерційного кредиту, пільгового кредиту, гранту, приватного інвестора та державно-приватного партнерства загальна структура, наприклад, залишається $F_E^{(i)}:(E_1,.,..E_5)\to E_i$, але набір активних причинно-наслідкових зв'язків відрізняється. Це дозволяє одночасно зберегти порівнюваність оцінок і не змушує модель припускати, що всі інструменти реагують на одні й ті самі характеристики однаково. Локальний рівень також створює основу для подальшої діагностики моделі. Під час практичного застосування можна аналізувати не тільки кінцеву матрицю S_i, а й матриці E_i, P_i, R_i та I_i. Це дозволить встановити, чому два інструменти з близькими кінцевими оцінками мають різну внутрішню структуру придатності. Наприклад, комерційний кредит може отримати S = 0,64 переважно завдяки високій підприємницькій та проєктній відповідності, але мати слабку ресурсну складову через високу вартість. Пільговий кредит із S = 0,66 може мати нижчу доступність, але значно кращі ресурсні умови. Однаковий або близький кінцевий результат у такому випадку не означає однакову природу альтернатив.

Водночас інструмент-специфічна побудова локальних підсистем збільшує кількість правил, які потребують обґрунтування. Це є одним із основних обмежень запропонованої архітектури. Якщо бази правил формувати виключно експертним шляхом без системної перевірки, різні підсистеми можуть містити приховані суперечності. Тому правила мають будуватися за

єдиними принципами, перевірятися на повноту, несуперечливість і відповідність граничним сценаріям.

Інше обмеження пов'язане з дефазифікацією проміжних виходів. Перехід від повної нечіткої множини до одного числа E_i, P_i, R_i або I_i неминуче стискає інформацію. Однак передавання повних нечітких множин між рівнями суттєво ускладнило б обчислення та інтерпретацію системи. Для поставленої задачі використання чітких проміжних оцінок є прийнятним компромісом, особливо з урахуванням подальшого багаторазового запуску моделі в процесі імітаційного моделювання.

База нечітких правил задає причинно-наслідкові зв’язки між вхідними характеристиками та локальними виходами E_i, P_i, R_i, I_i, а на верхньому рівні – між чотирма контурними оцінками та кінцевою придатністю S_i. Саме через правила у модель вводиться економічна логіка використання окремих інвестиційних інструментів. Функції належності лише визначають, наскільки конкретне значення належить до певного лінгвістичного стану. Вони самі не встановлюють, чи є цей стан сприятливим для кредиту, гранту, власного фінансування або державно-приватного партнерства.

У загальному вигляді k-те правило для і-го інвестиційного інструменту записується як:

$$R_k^{(i)}: IF\ \ x_1\ \ is\ \ A_{1k} \wedge\ x_2\ \ is\ \ A_{2k} \wedge \ldots \wedge\ x_n\ \ is\ \ A_{nk}\ THEN\ \ y_i\ \ is\ \ B_k \quad (4.10)$$

де $x_1,\ldots,x_n$ – вхідні змінні відповідної підсистеми; $A_1k,\ldots,A_nk$ – їх лінгвістичні стани; y_i – вихід локальної або верхньої нечіткої підсистеми; Bk – лінгвістичний стан виходу.

Для локальних підсистем n = 5, а для верхнього рівня n = 4 $\left(E_i, P_i, R_i, I_i\right) \to S_i$. Якщо всі п’ять входів локальної підсистеми мають по три лінгвістичні стани, повний комбінаторний простір містить $3^5 = 243$можливі комбінації. Для чотирьох входів верхнього рівня $3^4 = 81$комбінацію.

У межах моделі доцільно використовувати п’ять типів правил.

Перший тип – базові сприятливі правила. Вони описують ситуації, коли сукупність характеристик загалом відповідає умовам використання інструменту. Другий тип – обмежувальні правила. Вони фіксують фактори, які суттєво знижують придатність інструменту незалежно від частини інших характеристик. Третій тип – критичні правила. Вони використовуються у випадках, коли порушення певної умови практично блокує використання інструменту. Наприклад, неможливість виконати обов'язкову вимогу співфінансування не може бути повністю компенсована високою управлінською зрілістю. Четвертий тип – компенсаційні правила. Вони дозволяють врахувати ситуації, коли слабка характеристика частково компенсується іншою. Наприклад, середня фінансова автономія може поєднуватися зі стабільним грошовим потоком і гарантійним покриттям. П'ятий тип – інструмент-специфічні правила, які відображають особливості конкретного джерела або механізму залучення ресурсів. Така структура необхідна через те, що проста логіка «чим більше високих оцінок, тим вищий вихід» для інвестиційних рішень є недостатньою.

Загальну логіку верхнього рівня наведено у табл. 4.3. У двох рядках залишено формулювання «середній або низький», оскільки кінцевий наслідок залежить від конкретного інструменту. Для гранту низький ресурсний контур через невеликий обсяг доступного фінансування не обов'язково робить весь інструмент непридатним, якщо він розглядається як частина змішаної структури. Для кредиту низький ресурсний контур через неприйнятну ставку або строк може мати сильніший негативний ефект. Тому база верхнього рівня також має бути інструмент-специфічною. Для правил, у яких умови поєднуються оператором AND, ступінь активації k-го правила в системі Mamdani визначається мінімальним значенням належності $\alpha_k = min\left[\mu_{A_{1k}},(x_1),\mu_{A_{2k}},(x_2)\ldots\mu_{A_{nk}}(x_n)\right]$. База правил не повинна будуватися лише на інтуїції автора моделі. Для її формування використовуються декілька типів інформації.

Таблиця 4.3. Базові правила верхнього рівня

E_i	P_i	R_i	I_i	S_i
високий	високий	високий	високий	дуже високий
високий	високий	високий	середній	високий
високий	високий	середній	високий	високий
високий	середній	високий	високий	високий
середній	високий	високий	високий	високий
середній	середній	середній	середній	середній
низький	високий	високий	високий	середній
високий	низький	високий	високий	середній
високий	високий	низький	високий	середній або низький
високий	високий	високий	низький	середній або низький
низький	низький	середній	середній	низький
середній	середній	низький	низький	низький
високий	високий	низький	низький	дуже низький
низький	низький	низький	низький	дуже низький

Джерело: розроблено автором.

База вважається достатньо повною, якщо для будь-якої допустимої комбінації входів активується принаймні одне правило:

$$\forall x \in \Omega : \exists R_k, \alpha_k(x) > 0 \qquad (4.11)$$

де Ω – допустимий простір входів.

Після формування та перевірки баз правил наступним етапом є побудова інтегрального верхнього рівня моделі, на якому чотири локальні оцінки перетворюються на кінцевий показник придатності S_i для кожного інвестиційного інструменту. Після визначення вхідних показників, функцій належності та бази правил нечітка модель переходить до безпосереднього формування вихідних оцінок. Для цього використовується механізм нечіткого виведення Mamdani. Однакова процедура застосовується як у локальних

підсистемах E_i, P_i, R_i, I_i, так і на верхньому рівні при визначенні кінцевої придатності інвестиційного інструменту S_i.

Послідовність обчислень складається з чотирьох основних операцій: фазифікації вхідних значень, активації відповідних правил, об'єднання результатів активованих правил та дефазифікації отриманої вихідної нечіткої множини.

На етапі фазифікації кожне нормоване числове значення з інтервалу [0;1] перетворюється на ступені належності визначеним раніше лінгвістичним термам. Наприклад, значення 0,65 може одночасно характеризувати показник як «середній» і «високий», але з різними ступенями належності. Через це одна комбінація вхідних параметрів може активувати декілька правил одночасно.

Для правил, у яких умови поєднуються оператором «І», сила активації визначається за найменшим ступенем належності серед усіх передумов правила $\alpha_k = min(\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n)$.Такий підхід відповідає логіці системи Mamdani: виконання правила обмежується найслабшою з його умов. Якщо, наприклад, одна передумова виконується зі ступенем 0,80, а друга – 0,55, правило активується зі ступенем 0,55. Оператор «АБО» використовується рідше, переважно для правил, у яких декілька альтернативних умов можуть призвести до одного наслідку. У такому випадку враховується найбільший ступінь належності.

Кожне активоване правило формує відповідну частину вихідної нечіткої множини. Якщо правило має наслідок «висока придатність» і активувалося зі ступенем 0,60, функція належності цього стану враховується саме до рівня 0,60. Аналогічна операція виконується для всіх правил, що спрацювали для заданої комбінації параметрів. Після цього результати правил об'єднуються. Для системи Mamdani використовується операція максимуму, тобто в кожній точці вихідної шкали зберігається найбільший ступінь належності, сформований активованими правилами. У результаті утворюється одна агрегована нечітка множина.

Кінцевий результат при цьому не визначається одним найсильнішим правилом. Певна ситуація може одночасно частково відповідати середній, високій і дуже високій придатності. Після агрегування всі ці компоненти враховуються разом. Завдяки цьому невелика зміна одного вхідного параметра не повинна призводити до різкого переходу від одного рівня виходу до іншого.

Агрегований результат залишається нечітким і безпосередньо не придатний для порівняння інвестиційних інструментів. Тому завершальним етапом є дефазифікація – перетворення вихідної нечіткої множини на одне числове значення. У моделі для цього використовується метод центру ваги.

Після дефазифікації локального рівня для кожного і-го інвестиційного інструменту отримуються чотири числові оцінки: E_i – підприємницька відповідність; P_i – проєктна відповідність; R_i – інвестиційно-ресурсна відповідність; I_i – інституційно-ризикова відповідність. Кожна з них належить інтервалу [0;1]. Далі ці значення знову фазифікуються за термами «низька», «середня» та «висока» і передаються до верхньої нечіткої підсистеми. На основі окремої бази правил формується кінцева оцінка S_i.

Для кожного інструменту обчислення фактично відбувається у два етапи. Спочатку 20 первинних параметрів зводяться до чотирьох контурних оцінок. Потім ці чотири оцінки використовуються для визначення придатності конкретного інструменту.

У скороченому вигляді загальна логіка моделі має вигляд $\left(E_1;-;E_5;\ P_1-P_5\ R_1-R_5\ I_1-I_5\right)\rightarrow\left(E_i,P_i,R_i,I_i\right)\rightarrow S_i.$ Для кожного інвестиційного інструменту ця процедура виконується окремо. У результаті для однієї ситуації «підприємство – проєкт – зовнішнє середовище» формується набір значень S_1, S_2, …, S_m.

Механізм нечіткого виведення повинен забезпечувати не тільки отримання числового результату, а й логічно передбачувану поведінку моделі. Тому після програмної реалізації її необхідно перевірити на граничних і типових сценаріях. Для показників з однозначним напрямом впливу реакція

системи має бути логічно монотонною. Наприклад, за незмінних інших умов зростання строкової відповідності ресурсу не повинно знижувати R_i, а збільшення гарантійного або страхового покриття не повинно погіршувати I_i.

Для змінних з інструмент-залежним впливом, зокрема капіталомісткості та тривалості проєкту, монотонність не вимагається. Їх вплив може мати різний напрям для різних інструментів. Велика капіталомісткість, наприклад, може знижувати придатність власного фінансування і водночас підвищувати доцільність партнерської моделі.

Також аналізуються поверхні відгуку. Для цього два вхідні параметри послідовно змінюються в межах [0;1], а решта залишаються фіксованими. Отримана поверхня дозволяє побачити, як змінюється E_i, P_i, R_i, I_i або S_i. Різкі стрибки або локальні провали без зрозумілої економічної причини можуть свідчити про суперечливість правил або невдало задані функції належності.

Водночас сама по собі нелінійність поверхні не є недоліком. Для окремих інвестиційних рішень максимум придатності може виникати не при мінімальному або максимальному значенні показника, а в певному проміжному діапазоні. Наприклад, приватне інвестування може бути малопридатним для дуже малих проєктів, мати високу придатність для середніх і великих та знову знижуватися для проєктів надмірного масштабу через концентрацію ризику.

Після завершення нечіткого виведення для кожного інструменту формується одне значення S_i у діапазоні [0;1]. Однакова шкала та однаковий спосіб дефазифікації забезпечують можливість порівнювати результати між різними інвестиційними альтернативами. При цьому однакові значення S_i не означають однакової внутрішньої структури оцінки. Наприклад, два інструменти можуть отримати $S = 0{,}70$, але для першого сильними сторонами будуть підприємницький і проєктний контури, а для другого – ресурсний та інституційний. Тому при практичному аналізі поряд із S_i доцільно зберігати також E_i, P_i, R_i та I_i.

Механізм нечіткого виведення забезпечує послідовний перехід від нормованих характеристик підприємства, проєкту, інвестиційного ресурсу та зовнішнього середовища до чотирьох локальних оцінок і далі до кінцевого показника S_i. Отримані значення використовуються для формування вектора придатності інвестиційних інструментів, який є кінцевим результатом нечіткої частини моделі та вихідною основою подальшого сценарного й імітаційного аналізу.

Кінцевим результатом нечіткої моделі для однієї конкретної ситуації є не окрема інтегральна оцінка, а набір значень придатності для всіх інвестиційних інструментів, включених до аналізу. Кожний інструмент оцінюється незалежно за однаковою загальною архітектурою, але з власними параметрами ресурсного та інституційного контурів і власною базою правил.

Якщо у моделі розглядається m інвестиційних інструментів, результат можна представити у вигляді вектора:

$$S=[S_1, S_2, \ldots, S_m] \qquad (4.12)$$

де S_i – ступінь придатності і-го інвестиційного інструменту.

Для базової конфігурації дослідження доцільно використовувати шість основних альтернатив: власні ресурси підприємства, комерційний кредит, пільговий кредит, грантове фінансування, приватний інвестиційний капітал і публічно-приватне партнерство. Відповідно $S=[S_{own}, S_{comm}, S_{pref}, S_{grant}, S_{priv}, S_{PPP}]$. Такий перелік не є закритим. Якщо в конкретній ситуації доступні окремі міжнародні програми, гарантійні механізми, проєктне фінансування або інші форми залучення ресурсів, вони можуть бути включені до вектора як додаткові альтернативи.

Практичний зміст вектора полягає в тому, що для однієї комбінації «підприємство – проєкт – зовнішнє середовище» всі інструменти отримують оцінки в однаковому діапазоні [0;1]. Це дає можливість безпосередньо порівнювати їх між собою. Наприклад, для певного підприємства та проєкту може бути отримано $S=[0{,}72;\ ;0{,}41;\ ;0{,}79;\ 0{,}84\ \ 0{,}55\ \ 0{,}66]$. У цьому випадку

найвищі значення мають грантове фінансування та пільговий кредит, тоді як комерційний кредит характеризується нижчою відповідністю заданим умовам. Проте такий результат не означає, що саме грант повинен бути обраний як єдине джерело ресурсів.

Це розмежування необхідне для правильної інтерпретації S_i. Показник придатності не є часткою фінансування. Якщо Sgrant = 0,84, це не означає, що грантовими коштами доцільно покривати 84 % потреби проєкту. Аналогічно Scomm = 0,41 не означає, що кредит повинен становити 41 % структури ресурсів.

Причина полягає в тому, що S_i характеризує відповідність інструменту умовам його використання, але не визначає фактичний доступний обсяг ресурсу. Грант із дуже високою придатністю може бути обмежений сумою, яка покриває лише 10–20 % потреби проєкту. Комерційний кредит із нижчим значенням S_i може при цьому залишатися єдиним джерелом, здатним забезпечити решту необхідного капіталу.

Вектор S використовується як діагностичний результат, а не як готова структура інвестиційного забезпечення.

Для практичного аналізу доцільно одночасно з кінцевими S_i зберігати чотири локальні оцінки для кожного інструменту. Тоді результат для і-го інструменту можна представити як $Z_i=[E_i, P_i, R_i, I_i, S_i]$, що дозволяє бачити не тільки кінцевий рівень придатності, а й причини його формування.

Наприклад, два інструменти можуть мати однакову кінцеву оцінку S = 0,68, але принципово різну внутрішню структуру:

Інструмент	E_i	P_i	R_i	I_i	S_i
Комерційний кредит	0,82	0,76	0,42	0,68	0,68
Пільговий кредит	0,70	0,71	0,81	0,51	0,68

У першому випадку основним обмеженням є ресурсний контур. Це може бути наслідком високої вартості кредиту, недостатнього строку або жорстких умов забезпечення. У другому випадку ресурсні параметри кращі, але

сильніше обмеження формується інституційно-ризиковим контуром, наприклад через обмежену доступність програми або відсутність гарантійного механізму.

Якщо аналізувати лише S_i, ця різниця буде втрачена.

Важливо також не переоцінювати невеликі відмінності між S_i. Якщо один інструмент має 0,74, а інший 0,76, така різниця не дає достатніх підстав говорити про суттєву перевагу другого. Обидва значення належать до близької області високої придатності, а їх порядок може змінитися при незначному коригуванні параметрів функцій належності або окремих правил.

Тому поряд із абсолютними значеннями доцільно аналізувати різницю $\Delta S_{ij} = | S_i - S_j |$. Невеликі значення ΔSij означають, що інструменти за поточних умов мають близьку придатність і потребують подальшого порівняння за вартістю, обсягом доступного ресурсу, ризиком та іншими критеріями. Як робоче правило для практичної частини можна виділяти три ситуації. Якщо різниця між двома S_i значна, наприклад 0,20–0,30 і більше, нечітка модель уже чітко розрізняє відповідність інструментів. Якщо різниця становить близько 0,05–0,10, альтернативи є близькими, і висновок потрібно робити разом із локальними оцінками E_i, P_i, R_i, I_i. Якщо різниця становить декілька сотих, ранжування не повинно трактуватися як стійке без додаткової перевірки чутливості. Ці межі не є формальними критеріями відбору і не включаються до самого алгоритму. Вони можуть використовуватися лише для інтерпретації практичних результатів.

Окремим результатом моделі є можливість визначити інструменти, які мають дуже низьку придатність і можуть бути виключені з подальшого аналізу. Наприклад, якщо S_i залишається нижчим за 0,20 у базовому сценарії та при помірних змінах основних входів, включення такого інструменту до подальшої оптимізації може бути недоцільним.

Водночас жорстке відсікання тільки за одним значенням S_i також має ризик. Інструмент із низькою загальною придатністю може мати специфічну функцію у змішаній структурі. Наприклад, грант, що покриває невелику

частину потреби, може мати середній S_i, але суттєво знижувати середню вартість усієї комбінації ресурсів. Тому остаточний відбір інструментів має виконуватися не лише за значенням S_i.

Для декількох підприємств або декількох проєктів результати формуються у вигляді багаторядкової матриці. Якщо аналізується n ситуацій і m інструментів, маємо:

$$M_S = \begin{bmatrix} S_1^{(1)} & \cdots & S_m^{(1)} \\ S_1^{(2)} & \cdots & S_m^{(2)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_1^{(n)} & \cdots & S_m^{(n)} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Кожний рядок відповідає окремій комбінації «підприємство – проєкт – зовнішнє середовище», а кожний стовпець – конкретному інвестиційному інструменту.

Ця форма особливо важлива для наступного етапу дослідження. Після переходу до імітаційного моделювання кількість рядків збільшується від декількох тестових профілів до тисяч або десятків тисяч сценаріїв. Для кожного сценарію зберігаються первинні вхідні параметри та розраховані значення S_i.

Структура одного спостереження синтетичної вибірки тоді має вигляд:

$$\left[E_1,\ldots,E_5,\ ,P_1,\ldots,P_5,\ ,R_1,\ldots,R_5,\ I_1\ldots I_5\right] \rightarrow \left[S_1,\ldots,S_m\right] \quad (4.14)$$

На відміну від практичної матриці придатності, де головний інтерес становлять самі S_i, у синтетичній вибірці зберігаються всі первинні входи. Це необхідно для подальшого навчання моделей машинного навчання та аналізу впливу окремих факторів.

Доцільно також зберігати проміжні E_i, P_i, R_i та I_i. Тоді структура набору даних включатиме три рівні інформації: первинні показники, контурні оцінки та кінцеву придатність. Така структура підвищує інтерпретованість наступного етапу, оскільки дозволяє визначити, через який саме контур певний первинний показник впливає на S_i. Вектор придатності є проміжним, але принципово важливим результатом усієї першої методичної стежки. Він переводить якісно

різні інструменти у спільну порівнювану шкалу, не перетворюючи їх передчасно на частки структури інвестиційного забезпечення.

Побудована нечітка модель має бути реалізована як послідовність взаємопов'язаних обчислювальних процедур, починаючи з підготовки вихідних даних і завершуючи формуванням вектора придатності інвестиційних інструментів. На цьому етапі принципово важливо зберегти логіку, закладену в попередніх підрозділах: модель не повинна змішувати формальну доступність інструменту з його економічною придатністю, первинні показники – з агрегованими контурними оцінками, а значення S_i – з майбутніми частками джерел у структурі інвестиційного забезпечення.

Одиницею розрахунку є конкретна комбінація «будівельне підприємство – проєкт – стан зовнішнього середовища». Для неї формується набір підприємницьких і проєктних характеристик, а для кожного потенційного інвестиційного інструменту – окремий набір ресурсних та частини інституційно-ризикових параметрів.

У найпростішому випадку при шести інвестиційних інструментах одна ситуація включає спільні характеристики підприємства E1–E5 і проєкту P1–P5, а також інструмент-специфічні значення $R1_i$–$R5_i$ та, де це необхідно, $I1_i$–$I5_i$. Така структура дозволяє оцінювати, наприклад, декілька кредитних або грантових пропозицій без зміни характеристик самого підприємства і проєкту.

Загальну послідовність обчислень наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Алгоритм реалізації нечіткої моделі.

Етап	Операція	Результат
1	Введення характеристик підприємства	E1–E5
2	Введення характеристик проєкту	P1–P5
3	Формування параметрів доступних інструментів	$R1_i$–$R5_i$

4	Введення інституційно-ризикових параметрів	$I1_i$–$I5_i$
5	Контроль повноти та коректності вихідних даних	перевірений набір входів
6	Перевірка формальної доступності інструменту	$A_i = 0$ або $A_i = 1$
7	Нормування показників	усі входи в інтервалі [0;1]
8	Фазифікація	ступені належності лінгвістичним станам
9	Розрахунок локальних нечітких підсистем	E_i, P_i, R_i, I_i
10	Фазифікація локальних виходів	стани локальних контурів
11	Нечітке виведення верхнього рівня	нечіткий вихід S_i
12	Дефазифікація	числове $S_i \in [0;1]$
13	Повторення для всіх інструментів	S1–S_m
14	Формування вектора та матриці результатів	вектор S і локальні оцінки
15	Перевірка логіки та збереження результатів	готовий результат сценарію

Джерело: розроблено автором

Важливо, щоб програмна реалізація зберігала модульність цієї послідовності. Нормування, функції належності, бази правил, механізм нечіткого виведення та формування вихідних таблиць доцільно реалізовувати як окремі блоки. У такому випадку зміна, наприклад, функції належності P2 не потребуватиме переписування всієї моделі.

Це має значення і для подальшого калібрування. Після аналізу тестових сценаріїв може виявитися, що певна функція належності задана надто широко або окреме правило формує нелогічний результат. Якщо структура моделі модульна, можна змінити лише відповідний елемент і повторити розрахунок.

Після кожної зміни параметрів необхідно повторно виконувати базові перевірки. Насамперед контролюються крайні сценарії. За сприятливих значень усіх релевантних характеристик модель повинна формувати високу або дуже високу придатність відповідного інструменту. За одночасно несприятливих – низьку або дуже низьку.

Окремо перевіряються сценарії з одним слабким контуром. Наприклад, комбінація високих E_i, P_i та I_i при низькому R_i показує, наскільки ресурсна невідповідність обмежує кінцеве S_i. Аналогічна перевірка проводиться для кожного з чотирьох контурів.

Наступна група перевірок стосується поступової зміни одного показника. Якщо всі інші входи фіксуються, а E2, R3 або I5 змінюється від 0 до 1, результат повинен відповідати закладеній економічній логіці. Для стимулятора не повинні виникати випадкові зниження виходу, якщо вони не спричинені взаємодією з іншою змінною. Для інструмент-залежних показників, таких як P1 або P3, допускається нелінійна реакція.

Після локальних перевірок аналізуються двовимірні поверхні відгуку. Саме вони дозволяють виявити поведінку, яку складно побачити при зміні лише одного входу. Наприклад, висока економічна результативність може підвищувати придатність приватного інвестування лише до певного рівня капіталомісткості. За дуже великого проєкту ефект може змінюватися через концентрацію ризику.

Програмний алгоритм також повинен зберігати всі вихідні параметри сценарію разом із результатами. Для одного спостереження доцільно записувати щонайменше первинні входи, ознаки доступності A_i, локальні виходи E_i, P_i, R_i, I_i та кінцеві S_i. Це дозволить надалі відтворити будь-який результат без повторного ручного введення даних.

Така структура даних особливо важлива для переходу до наступної методичної стежки. Під час імітаційного моделювання алгоритм залишається тим самим. Змінюється лише спосіб отримання вхідних параметрів. Замість

одного вручну сформованого профілю генерується велика кількість допустимих комбінацій.

Для кожного q-го сценарію виконується одна й та сама послідовність:

$$X^{(q)} \rightarrow \left\{ E_i^{(q)}, P_i^{(q)}, R_i^{(q)}, I_i^{(q)} \right\} \rightarrow S_i^{(q)} \qquad (4.15)$$

У результаті після N запусків формується синтетичний набір даних, у якому кожний рядок містить одну реалізацію параметрів і відповідні виходи нечіткої моделі.

На рисунку 4.1 представлено ієрархічну структуру нечіткої моделі, що реалізується у два етапи.

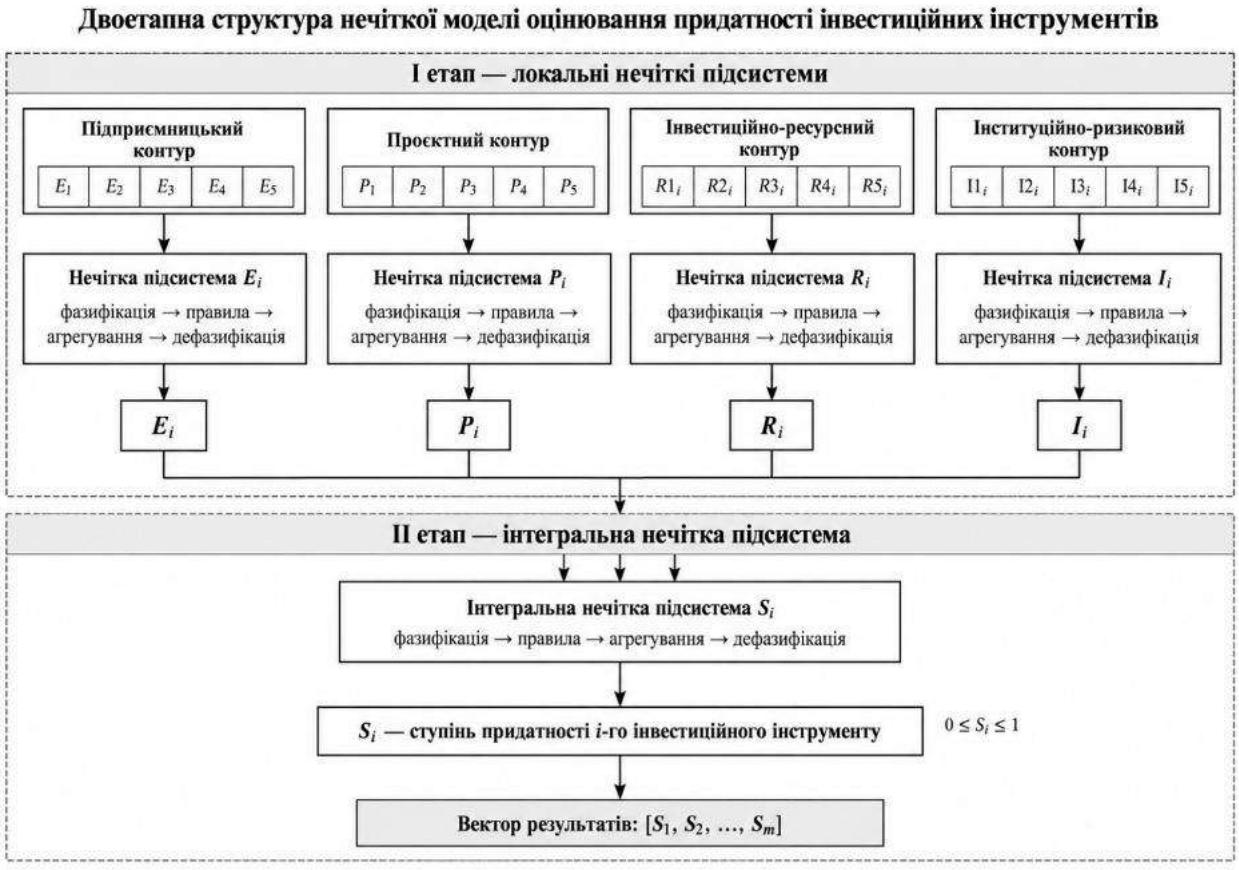

Рис. 4.1. Двоетапна структура нечіткої моделі оцінювання придатності інвестиційних інструментів. *Джерело: розроблено автором.*

На першому етапі первинні показники чотирьох контурів – підприємницького, проєктного, інвестиційно-ресурсного та інституційно-ризикового – обробляються в окремих локальних нечітких підсистемах з

формуванням агрегованих оцінок E_i, P_i, R_i та I_i. На другому етапі ці оцінки надходять до інтегральної нечіткої підсистеми, результатом якої є показник $S_i \in [0;1]$, що характеризує ступінь придатності і-го інвестиційного інструменту. Сукупність значень S_1, S_2, …, S_m формує вектор придатності інвестиційних альтернатив для конкретної комбінації «підприємство – проєкт – зовнішнє середовище».

Кінцевий результат роботи алгоритму для одного сценарію має містити щонайменше три рівні інформації: початковий профіль підприємства та проєкту, локальні оцінки чотирьох контурів і кінцевий вектор S. Це дозволяє використовувати модель не тільки як розрахунковий механізм, але і як діагностичну систему.

Наприклад, сама інформація про те, що комерційний кредит має S = 0,43, є недостатньою для управлінського висновку. Якщо при цьому Ecredit = 0,82, Pcredit = 0,74, Rcredit = 0,28 та Icredit = 0,61, причина низької придатності локалізується переважно в умовах ресурсу. Пошук іншої банківської пропозиції може змінити ситуацію без зміни підприємства або проєкту. Якщо ж низьким є Pcredit, проблема пов’язана з самим проєктом і зміна кредитора може не дати суттєвого результату. Така можливість простежити шлях від первинних параметрів до кінцевої оцінки є однією з причин використання ієрархічної, а не однорівневої нечіткої структури.

4.2. Імітаційно-предиктивна модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства.

Для обґрунтованого вибору прогнозної моделі в дослідженні доцільно порівняти декілька алгоритмів, які належать до різних підходів машинного навчання та мають різний механізм апроксимації нелінійних залежностей. До базового набору включаються: Random Forest; Gradient Boosting; XGBoost; CatBoost; багатошаровий перцептрон MLP.

Такий набір дозволяє зіставити ансамблеві деревоподібні моделі, послідовні boosting-алгоритми та нейромережевий підхід. Важливо, що жодна з моделей не визначається наперед як пріоритетна. Їх придатність повинна бути встановлена за фактичними результатами навчання на сформованому синтетичному датасеті.

Random Forest являє собою ансамбль регресійних дерев, у якому кінцевий прогноз формується шляхом агрегування результатів окремих моделей. Його перевагою у межах поставленої задачі є здатність відтворювати складні нелінійні залежності без необхідності попередньо задавати їх функціональну форму. Алгоритм є відносно стійким до шуму, добре працює з великою кількістю вхідних ознак і не потребує обов'язкового масштабування даних.

Для запропонованої моделі Random Forest важливий також як своєрідний базовий нелінійний орієнтир. Якщо більш складні boosting-моделі або нейронна мережа не забезпечать суттєвого підвищення точності, використання Random Forest може виявитися більш раціональним з огляду на простоту налаштування та стабільність.

Прогноз Random Forest можна узагальнено представити як:

$$\hat{S}_i(X)=\frac{1}{B}\sum_{b=1}^{B} T_b(X), \qquad (4.16)$$

де B– кількість дерев; $T_b(X)$– прогноз b-го дерева для заданого вектора параметрів.

Gradient Boosting ґрунтується на іншій логіці. Нові дерева будуються послідовно, причому кожне наступне дерево намагається компенсувати похибки попередньої композиції. Це дозволяє поступово уточнювати складну функціональну залежність і часто забезпечує високу точність на структурованих табличних даних.

У загальному вигляді модель boosting може бути представлена як:

$$\hat{S}_i(X)=F_0(X)+\sum_{t=1}^{T}\eta h_t(X), \qquad (4.17)$$

де $F_0(X)$– початковий прогноз; $h_t(X)$– t-те базове дерево; T– кількість ітерацій boosting; η– швидкість навчання.

Для цього алгоритму особливого значення набуває баланс між кількістю дерев, їх складністю та швидкістю навчання. Надмірне збільшення складності може підвищити точність на навчальному наборі, але одночасно збільшити ризик перенавчання.

XGBoost є розвитком градієнтного boosting з додатковими механізмами регуляризації та оптимізації процесу побудови дерев. Його включення до порівняння доцільне через високу ефективність цього класу моделей для табличних даних та здатність відтворювати складні нелінійні залежності і взаємодії між факторами.

Для задачі прогнозування S_i важливою є можливість XGBoost контролювати складність моделі через глибину дерев, мінімальні вимоги до поділу вузлів, параметри регуляризації, часткове використання спостережень і ознак. Це дозволяє гнучко налаштовувати модель під структуру синтетичного датасету і одночасно обмежувати перенавчання.

CatBoost також належить до сімейства градієнтного boosting, однак має інший механізм побудови дерев та стабілізації навчання. У первинному вигляді алгоритм особливо орієнтований на роботу з категоріальними змінними, проте його використання є доцільним і для числових даних. У межах цього дослідження інтерес становить насамперед його здатність формувати точні та стійкі нелінійні апроксимації без надмірно складного попереднього опрацювання даних.

Порівняння XGBoost і CatBoost має практичний сенс, оскільки обидва алгоритми належать до boosting-підходу, але використовують різні внутрішні механізми навчання. Тому навіть на одному датасет вони можуть демонструвати різну точність для окремих інвестиційних інструментів.

Окрему групу становить багатошаровий перцептрон MLP. На відміну від деревоподібних алгоритмів, він апроксимує залежність між входами і виходами через систему взаємопов’язаних нейронних шарів.

Для одного прихованого шару загальну логіку можна представити як:

$$\hat{S}=f_2\left(W_2 f_1\left(W_1 X+b_1\right)+b_2\right), \qquad (4.17)$$

де W_1, W_2– матриці ваг; b_1, b_2– вектори зміщень; f_1та f_2– функції активації.

MLP є особливо цікавим у контексті регресії з кількома виходами, оскільки одна мережа природно може мати декілька вихідних нейронів і одночасно прогнозувати весь вектор $\left(\hat{S}_1, \hat{S}_2, \ldots, \hat{S}_n\right)$.Водночас нейронна мережа є більш чутливою до вибору архітектури, масштабування даних, швидкості навчання та інших гіперпараметрів. Для неї також важливішою є достатня кількість навчальних спостережень, тому сформований обсяг у десятки тисяч сценаріїв створює прийнятні передумови для її використання. Основні характеристики обраних алгоритмів наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Порівняльна характеристика ML-алгоритмів, включених до дослідження.

Алгоритм	Тип моделі	Основна перевага для задачі	Потенційне обмеження
Random Forest	ансамбль незалежних дерев	стабільність, нелінійність, невисокі вимоги до попередньої обробки	може поступатися boosting-моделям за точністю
Gradient Boosting	послідовний ансамбль дерев	поступове уточнення складної залежності	чутливість до параметрів навчання
XGBoost	регуляризований gradient boosting	висока точність, контроль складності, моделювання взаємодій	потребує ретельного налаштування
CatBoost	gradient boosting	стабільне навчання та добра апроксимація складних залежностей	більша обчислювальна складність порівняно з простими моделями
MLP	нейронна мережа	гнучка апроксимація та природна підтримка багатовихідності	чутливість до масштабування, архітектури та параметрів навчання

Джерело: розроблено автором.

Для коректності порівняння всі моделі повинні навчатися на однаковій вихідній вибірці та оцінюватися на одному тестовому наборі. Це принципово важливо, оскільки різний склад тестових даних може створити хибне враження про перевагу одного алгоритму над іншим.

Разом з тим однаковість умов не означає однаковість гіперпараметрів. Для кожного алгоритму необхідно проводити окреме налаштування, оскільки його складність визначається різними параметрами. Для Random Forest такими параметрами є, зокрема, кількість дерев, максимальна глибина і мінімальна кількість спостережень у вузлах. Для boosting-моделей важливими є кількість і глибина дерев, час навчання, частка використовуваних спостережень та ознак. Для MLP необхідно визначити кількість прихованих шарів, число нейронів, функції активації, коефіцієнт навчання та механізм регуляризації.

Підбір гіперпараметрів повинен здійснюватися тільки на навчальному та валідаційному датасеті. Тестовий набір не може використовуватися для вибору структури моделі або параметрів навчання, оскільки в такому випадку він втрачає функцію незалежної внутрішньої перевірки апроксимаційної здатності.

Для зменшення залежності результатів від одного конкретного поділу даних доцільно використати крос-валідацію в межах навчального датасету. Це особливо важливо під час підбору гіперпараметрів, коли один випадково сприятливий валідаційний набір може призвести до вибору надмірно складної конфігурації.

Необхідно також розмежувати дві задачі порівняння. Перша полягає у визначенні найкращого типу алгоритму. Друга – у виборі найкращої архітектури прогнозування: одна багатовихідна модель або набір окремих моделей для різних S_i. Тому практичний експеримент фактично має матричну структуру *алгоритм* × *архітектура прогнозування* × *інвестиційний інструмент*.

Водночас не обов’язково, щоб один алгоритм виявився найкращим для всіх інвестиційних інструментів. Можлива ситуація, коли, наприклад, XGBoost

забезпечує найменшу похибку для однієї групи виходів, а CatBoost або MLP – для іншої. У такому випадку необхідно окремо вирішити, чи виправдане використання гібридного набору моделей, чи перевагу слід надати одній універсальній сурогатна-моделі з дещо меншою, але більш стабільною точністю. Для подальшої оптимізації другий варіант може бути практично зручнішим, оскільки спрощує обчислювальну архітектуру. Однак таке рішення може бути прийняте лише після отримання фактичних результатів. Порівняння моделей повинно охоплювати не лише середні показники точності. Необхідно додатково аналізувати максимальні похибки, поведінку в крайових областях, стабільність між різними запусками та швидкість формування прогнозу. Особливо важливо перевірити, чи не виникає ситуація, коли дуже високе загальне значення R^2 маскує значні помилки для окремого інвестиційного інструменту або конкретної частини факторного простору.

Після формування набору альтернативних ML-алгоритмів наступним етапом є організація процедури їх навчання та перевірки. Її завдання полягає не лише у визначенні моделі з найменшою середньою похибкою, а й у встановленні того, наскільки стабільно вона відтворює результати Mamdani FIS у різних частинах сценарного простору.

Сформований синтетичний датасет доцільно розділити на три незалежні частини: навчальну, валідаційну та тестову. Навчальна вибірка використовується безпосередньо для оцінювання параметрів моделей. Валідаційна – для підбору гіперпараметрів і вибору конфігурації алгоритму. Тестова вибірка використовується лише після завершення навчання та налаштування для фінального оцінювання якості сурогатна-моделі.

У загальному вигляді $D = D_{train} \cup D_{val} \cup D_{test}$, за умови $D_{train} \cap D_{val} = D_{train} \cap D_{test} = D_{val} \cap D_{test} = \varnothing$. Конкретне співвідношення між частинами вибірки може бути визначене під час практичного експерименту. Для набору даних обсягом у десятки тисяч спостережень прийнятним є, наприклад, розподіл 70–80 % для навчання, 10–15 % для валідації та 10–15 % для

фінального тестування. Остаточне співвідношення доцільно встановити після формування фактичного обсягу датасету.

Поділ повинен виконуватися один раз для всіх алгоритмів, що забезпечить коректність їх подальшого порівняння. Якщо Random Forest, XGBoost, CatBoost, Gradient Boosting та MLP оцінюються на різних тестових наборах, відмінності між метриками можуть бути спричинені не властивостями моделей, а різною складністю вибірок.

Для підбору гіперпараметрів доцільно застосувати k-fold крос-валідацію в межах навчального набору. Навчальні дані поділяються на K частин, після чого модель послідовно навчається на $K-1$ частинах і перевіряється на тій, що залишилася. Процедура повторюється для всіх блоків, а кінцева оцінка формується як середнє значення метрики.

$$CV = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} M_k, \qquad (4.17)$$

де M_k – значення обраної метрики на k-й ітерації крос-валідації.

Такий підхід зменшує залежність результату від одного випадкового валідаційного розподілу та дозволяє оцінити стабільність моделі при зміні складу навчальної вибірки. Для датасету, що містить десятки тисяч сценаріїв, доцільним може бути використання 5-fold або 10-fold крос-валідацію. Остаточне значення K визначається з урахуванням обчислювальних витрат.

Для порівняння моделей використовуються три основні метрики: коефіцієнт детермінації R^2, середньоквадратична помилка RMSE та середня абсолютна помилка MAE. Їх спільне застосування дозволяє оцінити якість прогнозу з різних позицій.

Коефіцієнт детермінації визначається як:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{N}\left(S_i^{(k)} - \hat{S}_i^{(k)}\right)^2}{\sum_{k=1}^{N}\left(S_i^{(k)} - \overline{S}_i\right)^2}. \qquad (4.18)$$

R^2 характеризує частку варіації вихідного показника, яку відтворює сурогатна-модель. Чим ближче значення до 1, тим точніше ML апроксимує результати нечіткої системи.

RMSE визначається як:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left(S_i^{(k)} - \hat{S}_i^{(k)}\right)^2}. \qquad (4.19)$$

Ця метрика сильніше реагує на великі окремі похибки. Для подальшої оптимізації це має суттєве значення, оскільки навіть невелика кількість значних відхилень може вплинути на відбір Парето-ефективних рішень.

Середня абсолютна помилка визначається як:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} \mid S_i^{(k)} - \hat{S}_i^{(k)} \mid . \qquad (4.20)$$

MAE є більш безпосередньо інтерпретованою характеристикою середнього відхилення прогнозу від результату Fuzzy Logic. Оскільки всі значення S_i нормовані в інтервалі [0;1], MAE також можна безпосередньо трактувати в межах тієї самої шкали.

Вибір найкращої моделі не повинен здійснюватися лише за одним показником. Високе значення R^2 може поєднуватися з окремими значними помилками, які виявляються через RMSE. Водночас низький MAE ще не гарантує відсутності рідкісних, але критичних відхилень. Тому остаточне рішення має ґрунтуватися на сукупності метрик.

Для багатовихідної архітектури оцінювання потрібно здійснювати як у цілому для моделі, так і окремо для кожного інвестиційного інструменту. Для і-го виходу визначаються $R_i^2, RMSE_i, MAE_i$.

Поряд з точністю необхідно перевіряти перенавчання. Для цього порівнюються метрики на навчальному, валідаційному та тестових наборах. Якщо модель демонструє майже ідеальні результати на навчальній вибірці, але значно гірші на нових даних, це свідчить про надмірне пристосування до навчального набору.

Загально таку ситуацію можна характеризувати через розрив між помилками $\Delta_{overfit} = RMSE_{test} - RMSE_{train}$. Невелика різниця тестової помилки потребує зменшення складності моделі, посилення регуляризації або зміни її гіперпараметрів.

Для MLP додатково доцільно контролювати динаміку навчальної втрати та валідаційної втрати за епохами навчання. Якщо навчальна втрата продовжує зменшуватися, а валідаційна втрата починає зростати, подальше навчання вже не покращує здатність до узагальнення. У такому випадку може застосовуватися рання зупинка.

Для деревоподібних моделей контроль перенавчання здійснюється через обмеження глибини дерев, мінімальної кількості спостережень у вузлах, час навчання, кількості boosting-ітерацій та інших параметрів регуляризації.

Особливу увагу необхідно приділити аналізу залишків $e_i^{(k)} = S_i^{(k)} - \hat{S}_i^{(k)}$. Недостатньо лише встановити середній рівень помилки. Необхідно перевірити, чи не зростає вона систематично для певних діапазонів S_i або комбінацій вхідних факторів. Наприклад, модель може добре прогнозувати середні значення придатності, але суттєво недооцінювати або переоцінювати інструменти при S_i, близьких до 0 або 1.

До стандартного тестового набору доцільно додати окрему стресову перевірку. Для неї формується підмножина сценаріїв, що містять крайові або рідкісні комбінації параметрів. Її завданням є оцінити поведінку сурогатна-моделі в областях, які потенційно є найбільш складними для апроксимації.

У загальному вигляді:

$$D_{stress} \subset \Omega_{MC}, \qquad (4.21)$$

де D_{stress} формується з конфігурацій, розташованих поблизу меж допустимого сценарного простору або таких, що характеризуються поєднанням несприятливих параметрів.

Ця перевірка є особливо важливою через майбутнє використання ML у багатокритеріальній оптимізації. Оптимізатор не обов’язково концентруватиметься на центральній частині розподілу. Навпаки, частина

Парето-ефективних конфігурацій може виникати поблизу границь допустимого простору. Тому сурогатна-модель повинна бути перевірена саме в таких зонах.

Процедуру оцінювання доцільно представити у вигляді окремої схеми.

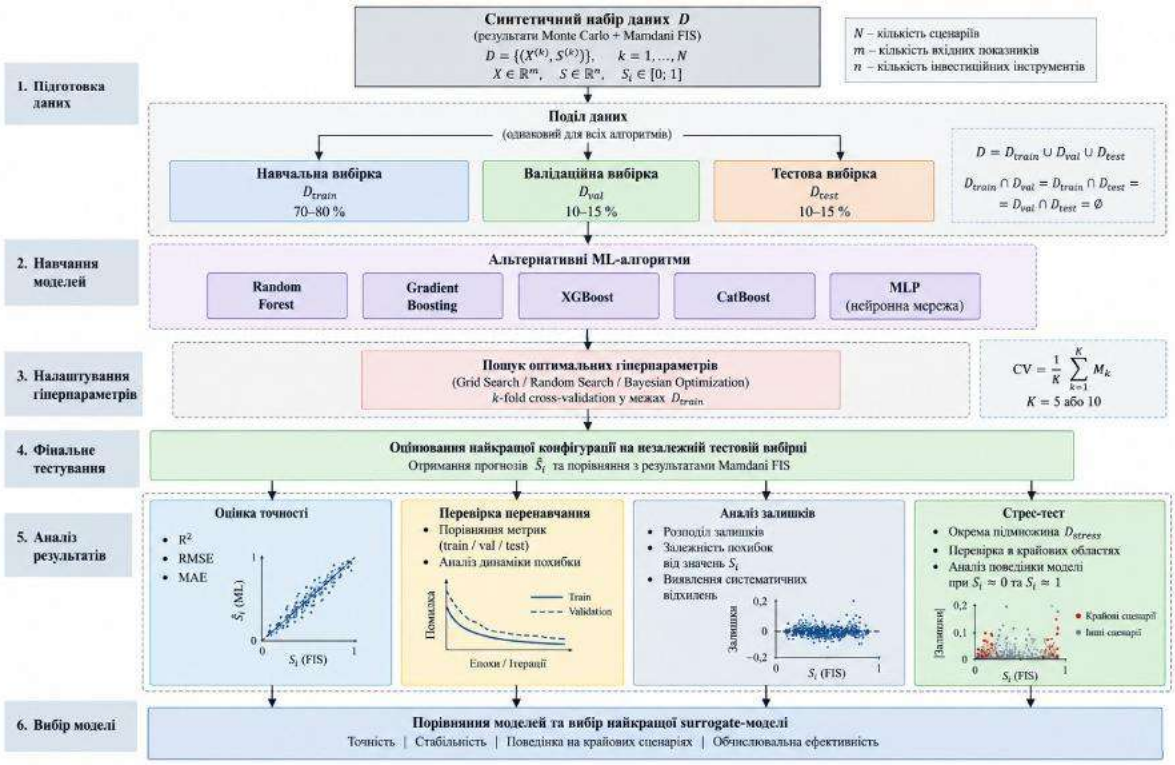

Рис. 4.2. Схема навчання та багаторівневої перевірки сурогатна-моделей. *Джерело: розроблено автором.*

Окремим критерієм повинна бути обчислювальна продуктивність. Для кожної моделі доцільно зафіксувати щонайменше час навчання та час прогнозування великого пакета сценаріїв. Другий показник є більш важливим для подальшого використання, оскільки модель навчається один раз, але викликатися в оптимізаційному циклі може багаторазово.

Порівняння сурогатна-моделей доцільно виконувати за чотирма групами критеріїв: точність, стабільність, поведінка на крайових сценаріях, обчислювальна ефективність. Це дозволяє уникнути ситуації, коли модель обирається виключно через найвище R^2, хоча має суттєві похибки для окремих

інструментів або нестабільну поведінку в областях, важливих для подальшої оптимізації.

Після навчання та багаторівневої перевірки альтернативних ML-алгоритмів необхідно визначити модель, яка буде використана як прогнозне ядро подальшої оптимізації. Її вибір не повинен ґрунтуватися лише на максимальному значенні R^2або мінімальному RMSE. Для сурогатна-моделі важливо одночасно забезпечити високу точність, відсутність вираженого перенавчання, стабільність прогнозів для різних інвестиційних інструментів, прийнятну поведінку на крайових сценаріях та достатню обчислювальну швидкість. Тому підсумкове порівняння доцільно здійснювати за декількома групами критеріїв. Перша характеризує точність апроксимації Mamdani FIS і включає R^2, RMSE та MAE. Друга відображає здатність до узагальнення через співвідношення результатів на навчальному, валідаційному і тестовому наборах. Третя оцінює робастність, тобто збереження прийнятної точності для крайових і стресових сценаріїв. Четверта характеризує обчислювальну ефективність, насамперед швидкість формування прогнозу. Узагальнену систему критеріїв вибору наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Критерії вибору фінальної сурогатна-моделі

Група критеріїв	Показники	Бажана характеристика
Точність	R^2, RMSE, MAE	високе R^2, низькі RMSE та MAE
Узагальнення	навчання / валідація / test metrics	мінімальний розрив між вибірками
Стабільність	варіація результатів при повторних розбиттях	невелика мінливість метрик
Робастність	RMSE, MAE на D_{stress}	відсутність різкого погіршення
Покриття виходів	метрики для кожного S_i	відсутність слабкого прогнозування окремих інструментів
Обчислювальна ефективність	час прогнозування	мінімальні витрати за прийнятної точності

Джерело: розроблено автором.

Для кожної моделі результати необхідно аналізувати як у середньому, так і окремо для кожної цільової змінної. Це особливо важливо для багатовихідної архітектури. Модель може демонструвати високий середній R^2, але суттєво гірше прогнозувати придатність одного або двох інвестиційних інструментів. У такій ситуації агрегована оцінка створюватиме надмірно оптимістичне уявлення про якість сурогатна-моделі.

Окремо аналізується розрив між результатами на навчальній і тестовій вибірках. Якщо дві моделі мають близьке значення RMSE, але одна з них демонструє значно більшу різницю між навчальною і тестовою метриками, перевагу доцільно надавати стабільнішій моделі. Такий вибір зменшує ризик перенавчання і підвищує надійність прогнозів для нових сценаріїв.

Важливим є також питання вибору між однією універсальною багатовихідною моделлю та набором окремих регресорів. Якщо одна багатовихідна модель забезпечує близьку до найкращої точність для всіх інструментів, її використання має переваги з погляду простоти архітектури. Один прогнозний блок легше інтегрувати з оптимізаційним алгоритмом, простіше зберігати, оновлювати та повторно перевіряти.

Якщо ж для окремих S_iспостерігається суттєва різниця між алгоритмами, можливим є використання гібридної структури:

$$\hat{S} = \left(f_1^{\text{¿}}, (X), f_2^{\text{¿}}, (X) \ldots f_n^{\text{¿}}(X) \right), \qquad (4.22)$$

де $f_i^{\text{¿}}$– найкраща модель для прогнозування придатності і-го інвестиційного інструменту.

Такий підхід потенційно дозволяє досягти вищої загальної точності, але ускладнює систему. Тому його доцільність повинна оцінюватися через фактичний приріст якості. Якщо виграш у RMSE або MAE є мінімальним, використання єдиної сурогатна-моделі може бути більш раціональним.

Після вибору фінальної сурогатна-моделі необхідно провести додатковий аналіз характеру її прогнозів. Передусім порівнюються фактичні виходи FIS S_iта прогнозовані значення $\hat{S}_i$. Для якісної моделі точки на діаграмі

«FIS – ML» повинні концентруватися поблизу лінії $\hat{S}_i = S_i$.Відхилення від цієї лінії дозволяє візуально визначити області, в яких прогнозна похибка зростає.

Доцільно також аналізувати розподіл залишків. Якщо вони концентруються навколо нуля без вираженої залежності від рівня S_i, це свідчить про відсутність помітного систематичного зміщення. Натомість регулярне завищення або заниження прогнозів у певному діапазоні може вказувати на локальну проблему апроксимації.

Особливу увагу слід приділити ситуаціям, коли $S_i \approx 0$або $S_i \approx 1$.Для формування інвестиційних рішень такі області є важливими, оскільки вони відповідають чітко вираженій низькій або високій придатності певного інструменту. Тому навіть за високої загальної точності моделі необхідно переконатися, що вона не систематично «стискає» крайові прогнози до середньої частини шкали.

Ще один аспект вибору пов’язаний із швидкістю прогнозування. Різниця між алгоритмами може бути майже непомітною при обробці одного сценарію, але накопичуватися при багаторазовому використанні моделі в оптимізаційному циклі.

Фінальний вибір ML-сурогатна не означає відмову від первинної нечіткої моделі. Mamdani FIS залишається референтним елементом системи, а ML використовується для швидкого відтворення її виходів. Для кінцевих Парето-ефективних рішень у подальшій оптимізації доцільно повторно обчислювати S_iчерез FIS і контролювати різницю $\varepsilon_i = | S_i - \hat{S}_i |$.Це формує додатковий контур перевірки та дозволяє уникнути ситуації, коли фінальне інвестиційне рішення ґрунтується виключно на наближеному прогнозі сурогатна-моделі.

Побудова точної сурогатна-моделі вирішує задачу швидкого прогнозування значень придатності інвестиційних інструментів, однак сама по собі не пояснює, за рахунок яких факторів формується конкретний прогноз. Для дисертаційного дослідження така інтерпретація є принципово важливою, оскільки кінцевою метою є не лише отримання числових оцінок S_i, а й

встановлення економічної логіки зміни придатності інвестиційних інструментів за різних характеристик будівельного підприємства, проєкту та зовнішнього середовища.

Тому після вибору фінальної ML-сурогатна доцільно застосувати методи Explainable Artificial Intelligence. У запропонованій моделі основним інструментом інтерпретації визначено SHAP – підхід, який дозволяє кількісно оцінити внесок кожної вхідної ознаки у формування конкретного прогнозу моделі.

На відміну від звичайних показників важливості ознак, SHAP дає змогу аналізувати не лише відносну важливість факторів, а й напрям та величину їх впливу для конкретного сценарію. Це особливо важливо для досліджуваної системи, оскільки одна і та сама характеристика може мати різний ефект залежно від значень інших параметрів.

Для окремого прогнозу сурогатна-моделі справедливе представлення:

$$\hat{S}_i = \phi_0 + \sum_{j=1}^{m} \phi_j, \qquad (4.23)$$

де ϕ_0– базове значення прогнозу; ϕ_j– SHAP-внесок j-го фактора; m– кількість вхідних показників.

Базове значення ϕ_0відображає середній рівень прогнозу моделі, а сума внесків окремих ознак показує, яким чином конкретний набір характеристик підприємства, проєкту та середовища зміщує прогноз від цього базового рівня.

Для j-го фактора значення SHAP ґрунтується на принципі Shapley value:

$$\phi_j = \sum_{A \subseteq F \setminus \{j\}} \frac{|A|!(m-|A|-1)!}{m!} \left[f(A \cup \{j\}) - f(A) \right], \qquad (4.24)$$

де F– повна множина ознак; A– підмножина ознак без j-го фактора; $f(A)$– прогноз моделі для відповідного набору характеристик.

У практичному застосуванні повний перебір усіх можливих комбінацій ознак для великого набору факторів є обчислювально складним, тому використовуються спеціалізовані SHAP-алгоритми. Для моделей на основі дерев рішень – Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost або CatBoost –

доцільно використовувати TreeSHAP. Якщо фінальною сурогатна-моделлю буде MLP, застосовується відповідний SHAP explainer, придатний для нейронних мереж. Таким чином, конкретна реалізація інтерпретації залежатиме від результатів порівняльного експерименту 5.2.

У межах дослідження SHAP-аналіз доцільно проводити на двох рівнях: глобальному та локальному.

Глобальний рівень показує, які фактори в середньому найбільше впливають на прогнозовану придатність певного інвестиційного інструменту. Для цього може використовуватися середнє абсолютне SHAP-значення:

$$I_j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} | \phi_j^{(k)} | , \qquad (4.25)$$

де I_j – глобальна важливість j-го фактора.

Чим більшим є I_j, тим сильніше відповідний показник у середньому впливає на прогнозоване значення S_i.

Для кожного інвестиційного інструменту формується окремий набір таких значень. Це принципово важливо, оскільки структура визначальних факторів для різних інструментів може суттєво відрізнятися. Наприклад, придатність одного джерела фінансування може бути найбільш чутливою до фінансового стану підприємства, тоді як іншого – до масштабу проєкту, рівня ризику або характеристик інституційного середовища.

Результатом глобального SHAP-аналізу є не один універсальний рейтинг факторів, а матриця:

$$I = [I_{ji}], \qquad (4.26)$$

де I_{ji} характеризує важливість j-го фактора для придатності і-го інвестиційного інструменту.

Це дозволяє перейти від загального твердження про «важливі фактори» до більш конкретної інтерпретації: які саме параметри є визначальними для використання конкретного інвестиційного інструменту.

Другий аспект глобального аналізу полягає у визначенні напряму впливу. Високе абсолютне SHAP-значення показує силу впливу, але не свідчить про те,

чи підвищує фактор придатність інструменту, чи знижує її. Для цього аналізується знак ϕ_j>0означає, що фактор за конкретного сценарію підвищує прогнозовану придатність інструменту, тоді як ϕ_j<0означає її зниження.

Однак для досліджуваної системи ще більш важливим є аналіз нелінійності впливу. Оскільки первинна Fuzzy Logic використовує функції належності та систему правил, залежність між окремим фактором і S_iне обов'язково є монотонною. Певний показник може позитивно впливати на придатність інструменту до певного рівня, після чого його ефект стабілізується або навіть змінює напрям.

Окремий напрям становить аналіз взаємодії факторів. Первинна Mamdani FIS формує результати через комбінації умов у правилах, тому вплив одного показника може залежати від значення іншого. Аналіз взаємодії SHAP дозволяє встановити такі ефекти і визначити пари факторів, спільна дія яких суттєво змінює придатність інвестиційного інструменту.

Для j-го та l-го факторів умовно можна записати:

$$\phi_{jl}^{\int \iota,\iota} \qquad (4.27)$$

де $\phi_{jl}^{\int \iota\iota}$характеризує частину прогнозу, яка пов'язана саме з їх спільною дією, а не з незалежним внеском кожної ознаки.

Для даного дослідження особливий інтерес можуть становити взаємодії між показниками, які належать до різних контурів. Саме такі міжконтурні взаємодії можуть показати, чому один і той самий інвестиційний інструмент є придатним для певного будівельного підприємства та непридатним для іншого навіть за зовні подібних умов фінансування.

Поряд із глобальною інтерпретацією доцільно використовувати локальний SHAP-аналіз. Він дозволяє пояснити окремий прогноз $X^{(k)} \to \hat{S}_i^{(k)}$. Для конкретного підприємства та проєкту можна визначити, які фактори підвищили, а які знизили придатність певного інвестиційного інструменту порівняно із середнім рівнем (рис. 4.3).

Такий підхід має практичне значення для майбутнього застосування моделі як системи підтримки рішень. Користувач отримує не лише результат, наприклад:

$\hat{S}_i = 0.78$, а й пояснення, за рахунок яких характеристик цей рівень був сформований.

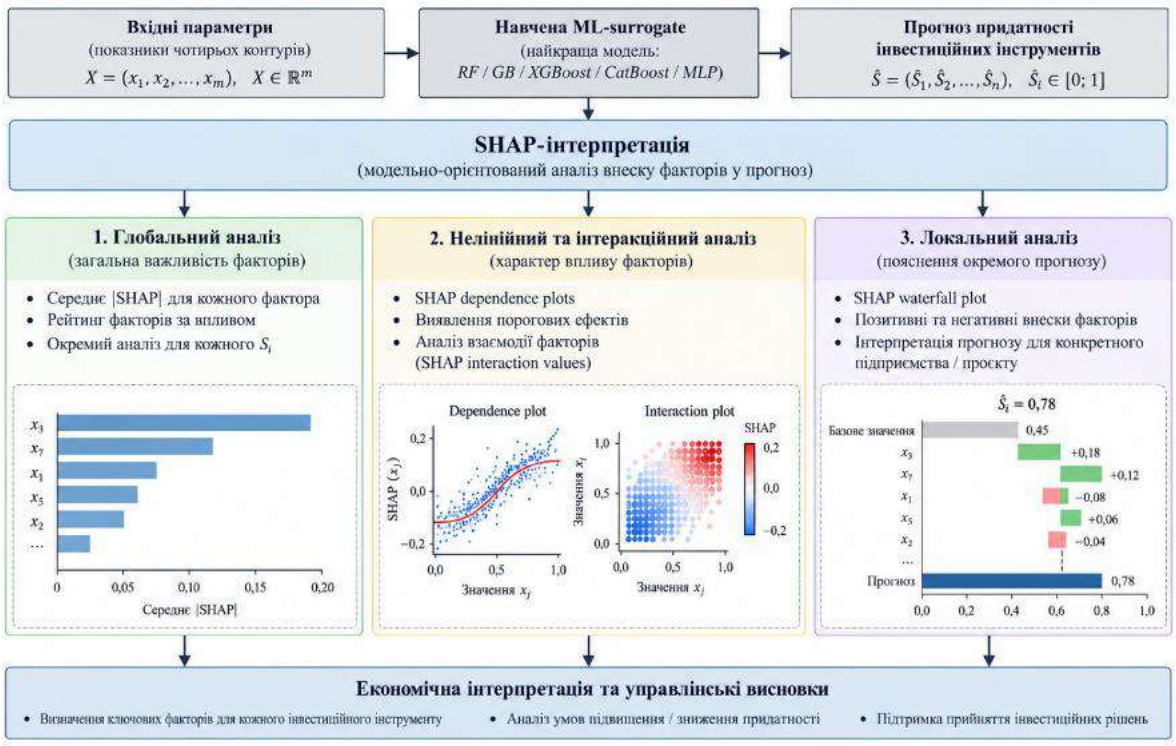

Рис. 4.3. Рівні SHAP-інтерпретації сурогатна-моделі. *Джерело: розроблено автором.*

Важливо підкреслити, що SHAP не встановлює причинно-наслідковий зв’язок у строгому економетричному розумінні. Він пояснює поведінку конкретної ML-моделі та показує, які ознаки використовуються нею для формування прогнозу. Тому результати SHAP необхідно трактувати як модельні залежності, а не як доказ причинного впливу факторів. Це обмеження є особливо важливим, оскільки сурогатна-модель навчається на синтетичному датасеті, сформованому через Fuzzy Logic. Відповідно, SHAP фактично розкриває структуру залежностей, закладених у нечіткій моделі та проявлених через масовий імітаційний експеримент. Він не створює нового незалежного

емпіричного знання, а забезпечує кількісну інтерпретацію поведінки всієї системи Монте Карло → Fuzzy Logic → ML.

Водночас саме ця властивість SHAP є корисною для перевірки логічної узгодженості моделі. Якщо фактори, які відповідно до структури FIS повинні суттєво впливати на певний інвестиційний інструмент, практично не проявляються у SHAP-аналізі, це може бути сигналом для додаткової перевірки правил, функцій належності або розподілу сценаріїв у синтетичному датасеті.

Використання SHAP дозволяє перейти від суто прогнозної функції ML до пояснюваної моделі, у якій можна визначити не лише очікуваний рівень придатності інвестиційного інструменту, а й структуру факторів, що формують цей результат, що створює змістовий зв'язок між математичною апроксимацією та економічною інтерпретацією інвестиційного рішення будівельного підприємства. Після завершення SHAP-аналізу залишається визначити обмеження сформованої імітаційно-предиктивної системи та її місце у наступному етапі – багатокритеріальній оптимізації архітектури інвестиційного забезпечення.

Сформована імітаційно-предиктивна модель поєднує нечітке оцінювання, сценарне моделювання, машинне навчання та Explainable AI в єдину послідовність. Водночас її результати мають інтерпретуватися з урахуванням походження навчальних даних, структури первинної Fuzzy Logic та меж сценарного простору, що принципово важливо, оскільки висока точність сурогатна-моделі не усуває обмежень, закладених на попередніх етапах моделювання.

Основне методологічне обмеження пов'язане із синтетичним характером навчальної вибірки. Значення цільових показників S_iне спостерігаються безпосередньо в діяльності будівельних підприємств, а формуються Mamdani FIS для сценаріїв, згенерованих методом Монте Карло. Отже, сурогатна-модель навчається відтворювати не безпосередньо реальний інвестиційний

процес, а реакцію побудованої нечіткої системи на множину допустимих сценаріїв.

Звідси випливає важливе обмеження інтерпретації результатів. Високі значення R^2, низькі RMSE і MAE свідчать про те, що ML-модель точно апроксимує виходи Fuzzy Logic. Вони не можуть розглядатися як самостійне емпіричне підтвердження правильності правил FIS або адекватності всієї системи реальним умовам післявоєнного відновлення.

Внутрішня перевірка охоплює тестовий набір, крос-валідацію, аналіз залишків, стрес тест та повторне порівняння прогнозованих значень $\hat{S}_i$з виходами Mamdani FIS. Вона показує, наскільки надійно ML відтворює первинну модель. Зовнішня валідація повинна бути спрямована вже на перевірку відповідності результатів фактичним або експертно оціненим інвестиційним ситуаціям. За наявності відповідної інформації доцільно сформувати невелику незалежну вибірку реальних кейсів будівельних підприємств або залучити експертів для оцінювання придатності окремих інвестиційних інструментів.

Для такого набору можна порівняти S_i^{model} та $S_i^{external}$.За відсутності достатньої кількості реальних кейсів така процедура не повинна штучно замінюватися синтетичними даними. У цьому випадку обмеження необхідно прямо зазначити, а зовнішню перевірку розглядати як напрям подальшого розвитку моделі.

Друге обмеження стосується простору сценаріїв. Сурогатна-модель може вважатися надійною лише в межах області, для якої сформовано достатнє навчальне покриття. Навіть складний ML-алгоритм не гарантує коректної поведінки при екстраполяції за межі набору умов, представлених у синтетичному датасеті. Тому повинно виконуватися $\Omega_{use} \subseteq \Omega_{ML} \subseteq \Omega_{MC}$.У подальшій оптимізації це означає, що алгоритм не повинен формувати рішення за межами діапазонів, використаних під час сценарного моделювання. Особливо небезпечними є ситуації, коли оптимізатор знаходить формально

дуже привабливу конфігурацію саме в області, де сурогатна-модель уже фактично екстраполює.

Третє обмеження пов’язане з вибором імовірнісних розподілів Монте Карло. Якщо для частини показників застосовується рівномірний розподіл через відсутність надійної емпіричної інформації, синтетичний датасет відображає рівномірне дослідження допустимого простору, але не фактичну частоту виникнення різних станів у реальній діяльності будівельних підприємств. Це означає, що результати імітації характеризують переважно можливі, а не обов’язково найбільш імовірні конфігурації. Такий підхід виправданий для навчання сурогатна-моделі та дослідження простору рішень, але його необхідно враховувати при економічній інтерпретації отриманих розподілів S_i.

Четверте обмеження стосується залежностей між вхідними параметрами. Якщо частина факторів у Монте Карло генерується незалежно, тоді як у реальності між ними існує структурна залежність, можуть виникати сценарії, які формально відповідають встановленим межам, але мають низьку економічну правдоподібність. У міру накопичення емпіричних даних сценарний генератор може уточнюватися шляхом заміни рівномірних розподілів на емпіричні або параметричні, а також через введення більш реалістичної залежності між показниками.

П’яте обмеження пов’язане з самою нечіткою моделлю. ML-сурогатна здатна дуже точно відтворити FIS, але вона автоматично успадковує її структурні властивості та потенційні недоліки. Якщо певний фактор недостатньо представлений у системі правил або функції належності задані невдало, ML не виправить таку проблему, а лише точно її апроксимує. Це можна представити як:
структурна похибка FIS → успадкована структурна похибка ML.

Окремим аспектом є часова нестабільність середовища післявоєнного відновлення. Умови фінансування, державні програми, кредитні ставки, механізми гарантування, доступність міжнародних ресурсів, інституційні

обмеження та ризики можуть змінюватися. Через це модель, побудована для одного набору умов, не повинна розглядатися як незмінна на тривалому горизонті. Тому архітектура повинна передбачати можливість оновлення: нові умови → оновлення меж і правил → повторна генерація сценаріїв → перенавчання ML. Це дозволяє розглядати запропоновану систему не як одноразову статичну модель, а як методичний каркас, який може адаптуватися до зміни інвестиційного середовища.

Незважаючи на наведені обмеження, використання сурогатна-моделі має важливе функціональне значення для наступної частини дослідження. Після навчання складна залежність між параметрами чотирьох контурів та значеннями S_iможе бути відтворена без багаторазового проходження через усю систему фазифікації, нечіткого виведення та дефазифікації.

Для нового сценарію $X^{\prime} \to \hat{S}^{\prime} = \hat{F}(X^{\prime})$.Це створює можливість швидко оцінювати значну кількість альтернативних інвестиційних конфігурацій.

На цьому етапі змінюється роль моделі. Спочатку визначається придатність окремих інвестиційних інструментів, а в подальшому будується механізм швидкого прогнозування цих оцінок. Наступний етап має перейти від оцінювання окремих інструментів до формування їх комбінації в межах архітектури інвестиційного забезпечення конкретного будівельного підприємства і конкретного проєкту.

На етапі оптимізації змінними вже можуть бути частки окремих інвестиційних джерел та інструментів:

$$w = (w_1, w_2, \ldots, w_n), \qquad (4.28)$$

де w_i– частка і-го інструменту в загальній архітектурі інвестиційного забезпечення.

Для базового випадку $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1, w_i \geq 0$. Проте сама висока придатність інструменту ще не означає, що він повинен отримати максимальну частку у фінансовій структурі. Подальша оптимізація повинна одночасно враховувати вартість залучення ресурсів, ризик, доступність, обмеження за частками,

параметри проєкту, фінансові можливості підприємства та інші критерії. Таким чином, S_iвиконує функцію оцінки відповідності інструменту конкретним умовам, але не замінює багатокритеріального вибору його частки.

Для забезпечення надійності фінальних результатів доцільно використовувати двоступеневу схему. На першому рівні ML-сурогатна виконує масове оцінювання альтернатив у межах оптимізаційної процедури. На другому рівні обмежена множина фінальних кандидатів повторно перевіряється через первинну Mamdani FIS. Такий механізм дозволяє не протиставляти Fuzzy Logic та Machine Learning, а використовувати їх відповідно до функціональних переваг кожного підходу: FIS – для формування змістовної логіки оцінювання, ML – для швидкої апроксимації, а повторний FIS-контроль – для перевірки найбільш важливих фінальних рішень.

4.3. Багатокритеріальна оптимізаційна модель формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства.

Після формування допустимої множини архітектур та системи цільових функцій необхідно визначити метод розв’язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі. Вибір методу має враховувати не лише кількість критеріїв, а й математичну структуру сформованої моделі, тип змінних рішення, характер обмежень та необхідність отримання не одного рішення, а множини Парето-ефективних конфігурацій.

Запропонована модель містить два типи змінних. Частки інвестиційних інструментів x_i є неперервними, тоді як змінні y_i, що визначають факт включення інструменту до архітектури, є бінарними. Більшість сформованих у попередніх підрозділах обмежень мають лінійний характер. До них належать умова повного покриття інвестиційної потреби, мінімальна власна участь, максимальна частка боргового фінансування, обмеження доступності, мінімальні та максимальні частки інструментів, умови співфінансування, взаємної сумісності та максимальної кількості джерел.

За використання базових форм цільових функцій лінійними залишаються також критерії вартості, ризику та організаційно-транзакційної складності:

$$F_1(A)=\sum_{i=1}^{n} c_i x_i+\sum_{i=1}^{n} f_i y_i,$$

$$F_2(A)=\sum_{i=1}^{n} r_i x_i,$$

$$F_5(A)=\sum_{i=1}^{n} k_i y_i. \qquad (4.29)$$

Цільові функції часу мобілізації та максимальної концентрації, які містять операцію визначення максимального значення, також можуть бути лінеаризовані за допомогою допоміжних змінних. Для часу мобілізації вводиться змінна T $T \geq t_i y_i, i=1,\ldots,n$,після чого $F_3(A)=T \to min$.Аналогічно для концентрації вводиться змінна H $H \geq x_i, i=1,\ldots,n$,і $F_4(A)=H \to min$.Таким чином, у базовій постановці задача може бути представлена як багатокритеріальна задача змішаного цілочислового лінійного програмування, що суттєво впливає на вибір алгоритму.

Більш відповідним до сформованої математичної постановки є метод ε-обмежень. Його принцип полягає в тому, що одна з цільових функцій оптимізується безпосередньо, тоді як інші переводяться в систему параметричних обмежень. Змінюючи граничні значення цих обмежень, можна отримувати різні Парето-ефективні рішення. Такий підхід широко застосовується в багатокритеріальному математичному програмуванні та особливо зручний у задачах із дискретними змінними.

Для п’яти сформованих критеріїв базову постановку можна подати як:

$$min\, F_1(A)$$

за умов:

$$F_2(A) \leq \varepsilon_2,$$

$$F_3(A) \leq \varepsilon_3,$$

$$F_4(A) \leq \varepsilon_4,$$

$$F_5(A) \leq \varepsilon_5,$$

$$A \in \Omega, \qquad (4.30)$$

де $\varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_5$ – допустимі граничні значення відповідних критеріїв.

Вартість F_1 у цьому записі використано як основну цільову функцію лише для формалізації алгоритму. Це не означає, що вона вважається важливішою за інші критерії. При послідовній зміні значень ε_2–ε_5 розв'язується серія задач, у результаті чого формується множина рішень із різними співвідношеннями між усіма п'ятьма характеристиками.

Перед проведенням основних розрахунків для кожної цільової функції окремо визначається її найкраще досяжне значення в межах допустимої множини $F_m^{best} = \min\limits_{A \in \Omega} F_m(A), m = 1, \ldots, 5.$ Послідовне оптимізування кожного критерію формує таблицю граничних результатів, на основі якої встановлюються діапазони зміни цільових функцій. У межах цих діапазонів задається сітка значень ε. Зміна відповідних рівнів дозволяє систематично досліджувати різні частини Парето-фронту, а не генерувати альтернативи випадковим способом.

Разом із тим класичний метод ε-обмежень має певний недолік: за окремих комбінацій граничних значень він може формувати слабко Парето-ефективні рішення та виконувати надлишкові ітерації. Для усунення цієї проблеми запропоновано розширений метод AUGMECON – augmented ε-constraint method. Він модифікує звичайний метод ε-обмежень за рахунок введення додаткових змінних та малого коригувального компонента у цільову функцію, що дозволяє відсікати слабко ефективні рішення.

У загальному вигляді для задачі мінімізації його можна представити як:

$$min\left[F_1(A) - \rho \sum_{m=2}^{5} \frac{s_m}{R_m}\right], \qquad (4.31)$$

за умов $F_m(A) + s_m = \varepsilon_m, m = 2, \ldots, 5, s_m \geq 0, A \in \Omega,$ де s_m – резерв між фактичним значенням цільової функції та встановленою межею ε_m; R_m – діапазон зміни відповідного критерію; ρ – достатньо малий додатний коефіцієнт, який не

змінює пріоритет основної цільової функції, але сприяє виключенню слабко Парето-ефективних рішень (рис. 4.2).

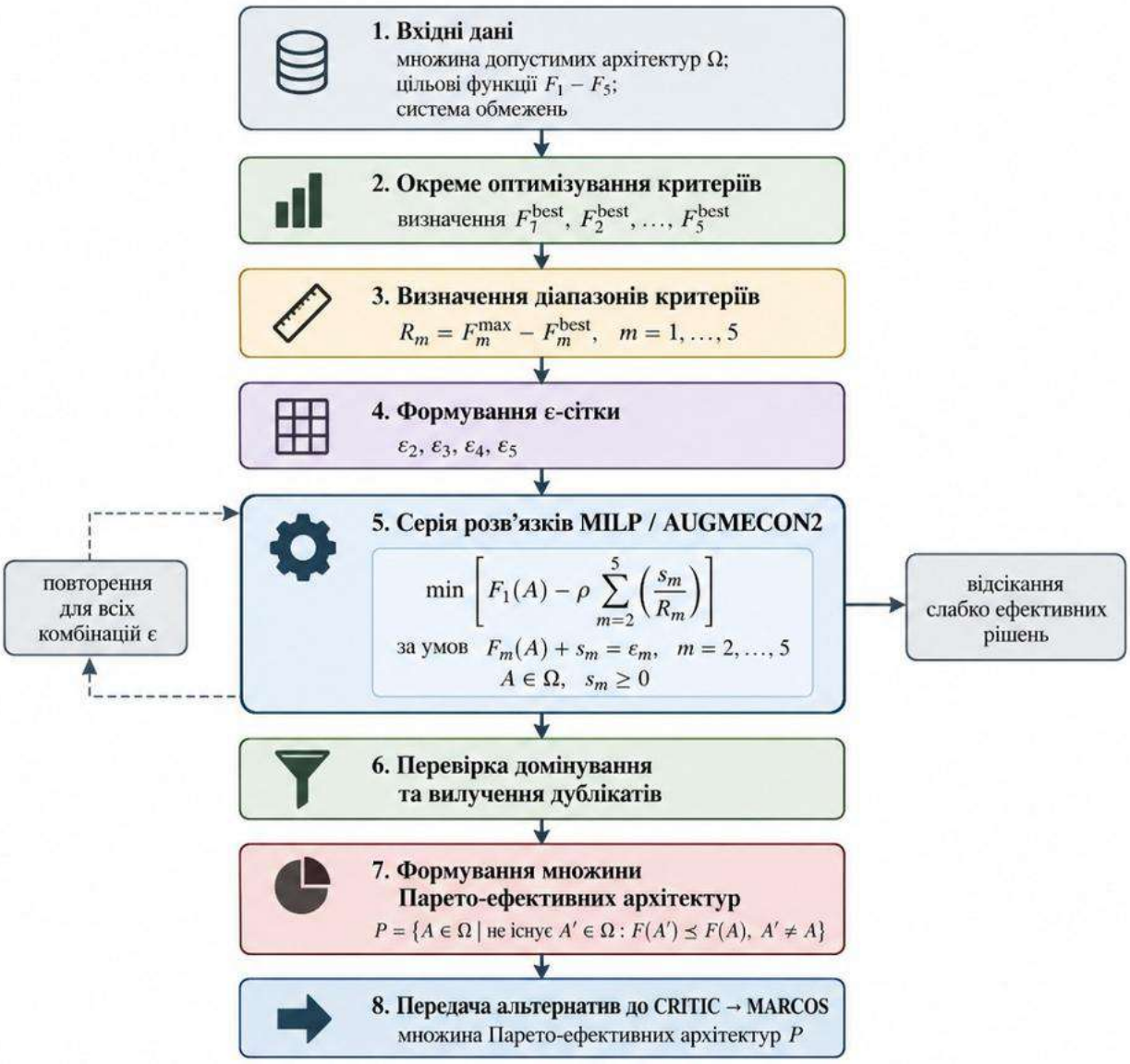

Рис. 4.4. Алгоритм формування Парето-множини методом AUGMECON2. *Джерело: розроблено автором.*

Подальшим розвитком цього підходу є AUGMECON2. Метод спеціально вдосконалено для багатокритеріальних задач із цілочисловими змінними та побудови точнішого представлення Парето-множини. Автори методу показують його придатність для задач багатокритеріального цілочислового програмування та можливість, за відповідного налаштування, отримувати точну Парето-множину.

Ця особливість є суттєвою для запропонованої моделі, оскільки наявність бінарних змінних y_i фактично формує дискретний рівень вибору складу архітектури. Зміна хоча б одного y_i означає перехід до іншої комбінації інвестиційних інструментів, тоді як неперервні x_i визначають уже внутрішню структуру цієї комбінації. Для базової версії запропонованої моделі доцільно використати змішане цілочислове лінійне програмування в поєднанні з AUGMECON2. Така постановка максимально відповідає сформованій структурі змінних і обмежень та дозволяє отримати не випадкову вибірку ефективних конфігурацій, а систематично сформовану множину Парето-ефективних архітектур.

При цьому вибір AUGMECON2 не виключає використання інших алгоритмів. Якщо під час практичної реалізації буде встановлено, що нелінійні ефекти суттєво впливають на результат і їх лінеаризація призводить до неприйнятної втрати інформації, модель може бути переведена до класу MINLP. У такому випадку NSGA-II може використовуватися як альтернативний спосіб формування апроксимації Парето-фронту. Крім того, NSGA-II доцільно використати як контрольний метод для частини практичних розрахунків. Порівняння структури Парето-множин, отриманих AUGMECON2 та NSGA-II, дозволить додатково оцінити стійкість результатів до вибору оптимізаційного алгоритму, що не є обов’язковим елементом базової моделі, але може посилити її методичну перевірку.

На цьому етапі модель ще не визначає єдину «найкращу» архітектуру. AUGMECON2 формує множину допустимих недомінованих рішень, кожне з яких представляє окремий компроміс між вартістю, ризиком, часом мобілізації, концентрацією та складністю. Остаточне порівняння цих рішень здійснюється вже на наступному етапі за допомогою CRITIC та MARCOS. Таким чином зберігається принципове розмежування між оптимізацією, яка формує Парето-множину, та багатокритеріальним прийняттям рішення, яке дозволяє вибрати компромісну конфігурацію.

Результатом застосування AUGMECON2 є не одна конфігурація інвестиційного забезпечення, а сукупність допустимих архітектур, кожна з яких характеризується власним співвідношенням між вартістю залучення ресурсів, ризиком, часом мобілізації, концентрацією фінансування та організаційно-транзакційною складністю. Наступним етапом є виділення з цієї сукупності Парето-ефективних рішень.

Необхідність такого підходу випливає із самої багатокритеріальної постановки задачі. За наявності декількох суперечливих критеріїв, як правило, не існує архітектури, яка одночасно має мінімальну вартість, мінімальний ризик, найкоротший строк мобілізації, найнижчу концентрацію та найменшу складність управління. Поліпшення однієї характеристики часто потребує погіршення іншої. Тому метою оптимізаційного етапу є не пошук умовно «ідеального» рішення, а встановлення множини конфігурацій, для яких неможливо поліпшити один критерій без погіршення принаймні одного іншого.

Для кожної допустимої архітектури $A_j=(x_{1j},x_{2j},\ldots,x_{nj})$ формується вектор значень цільових функцій $F(A_j)=(F_1,(A_j),F_2,(A_j),F_3(A_j)F_4(A_j)F_5(A_j))$. Усі п'ять критеріїв у базовій постановці мінімізуються. Тому архітектура A_p домінує архітектуру A_q, якщо вона не є гіршою за неї за жодним критерієм і має хоча б одну строго кращу характеристику. Формально $F_m(A_p)\le F_m(A_q),\forall m=1,\ldots,5$,і водночас існує хоча б один критерій k, для якого $F_k(A_p)<F_k(A_q)$.

У такому випадку архітектура A_q виключається з подальшого аналізу, оскільки існує інша конфігурація, що забезпечує не гірший результат за всіма критеріями та кращий щонайменше за одним із них.

Архітектура вважається Парето-ефективною, якщо в допустимій множині Ω не існує іншої архітектури, яка її домінує. Відповідно, множина Парето-ефективних рішень може бути визначена як $P=\{A,\in\Omega:\nexists A'\in\Omega\ F(A')\le F(A)\}$.

У цьому дослідженні елементи множини P є різними варіантами архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. Кожен такий варіант містить конкретний набір інструментів та відповідні частки x_i. Парето-множина має безпосередню управлінську інтерпретацію: вона показує не абстрактні оптимальні точки, а альтернативні структури фінансування конкретного проєкту. Наприклад, одна Парето-ефективна архітектура може мати нижчу загальну вартість фінансування, але передбачати значну концентрацію ресурсів у кредитному інструменті. Інша може бути дорожчою, проте краще диверсифікованою. Третя може забезпечувати швидшу мобілізацію коштів, але вимагати більшої власної участі або застосування складніших механізмів фінансування. Усі такі конфігурації можуть залишатися недомінованими, оскільки жодна з них не є кращою за інші одночасно за всіма критеріями.

На цьому етапі важливо не змішувати Парето-ефективність із поняттям остаточної доцільності. Належність архітектури до множини P означає лише те, що вона є ефективною відносно інших допустимих рішень у межах заданої системи критеріїв. Вона ще не визначається як пріоритетна для підприємства. Остаточний компромісний вибір здійснюється на наступному етапі за допомогою CRITIC та MARCOS.

Практичне формування Парето-множини після серії розрахунків AUGMECON2 доцільно проводити в декілька послідовних кроків. Спочатку накопичуються всі допустимі рішення, отримані для різних комбінацій ε_2–ε_5. Для кожного рішення зберігається не лише значення п'яти цільових функцій, а й повний вектор часток інвестиційних інструментів $A_j=(x_{1j},x_{2j},\ldots,x_{nj})$. Після цього проводиться видалення повторюваних результатів. Одна й та сама архітектура може бути отримана для декількох близьких комбінацій ε-обмежень. Збереження таких дублікатів не додає інформації та може викривляти подальший аналіз.

Для практичного виявлення дубльованих рішень необхідно враховувати числову похибку оптимізаційного алгоритму. Дві архітектури можуть мати

частки, які відрізняються лише на дуже малу величину. Тому критерій збігу доцільно задавати з допустимою точністю δ $|x_{ij}-x_{ik}|\le\delta,\forall i$. Якщо ця умова виконується, рішення можуть розглядатися як еквівалентні. Значення δ доцільно встановлювати відповідно до точності практичного представлення структури фінансування. Наприклад, якщо частки в кінцевій рекомендації визначаються з точністю до 0,1 або 1 відсоткового пункту, немає потреби розглядати незначні відмінності на рівні числової похибки як окремі архітектури.

Після видалення дублікатів здійснюється перевірка домінування. Для кожної пари рішень порівнюються значення всіх п'яти цільових функцій. Доміновані конфігурації вилучаються, а недоміновані утворюють кінцеву Парето-множину:

$$P=\left\{A_1^P,A_2^P,\ldots,A_M^P\right\}, \qquad (4.31)$$

де M – кількість Парето-ефективних архітектур.

Значення M наперед не встановлюється. Воно залежить від кількості доступних інвестиційних інструментів, жорсткості обмежень, кількості рівнів ε та ступеня конфліктності критеріїв. За вузького простору допустимих рішень Парето-множина може містити відносно невелику кількість конфігурацій. Якщо ж підприємство має доступ до багатьох джерел фінансування та система обмежень є менш жорсткою, кількість недомінованих архітектур може суттєво зростати.

Це має значення для практичної реалізації AUGMECON2. Надмірно груба ε-сітка може не виявити частину Парето-ефективних рішень, тоді як надто щільна сітка різко збільшує кількість оптимізаційних розрахунків. Тому на практичному етапі необхідно перевірити стабільність отриманої множини за різної кількості рівнів ε. Якщо збільшення щільності сітки перестає суттєво змінювати структуру Парето-фронту, подальше збільшення кількості розрахунків є недоцільним.

Для аналізу отриманих результатів доцільно сформувати матрицю Парето-ефективних альтернатив:

$$Z=\begin{bmatrix} F_1\left(A_1^P\right) & F_2\left(A_1^P\right) & \cdots & F_5\left(A_1^P\right) \\ F_1\left(A_2^P\right) & F_2\left(A_2^P\right) & \cdots & F_5\left(A_2^P\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_1\left(A_M^P\right) & F_2\left(A_M^P\right) & \cdots & F_5\left(A_M^P\right) \end{bmatrix}.$$

Матриця Z містить оцінки всіх Парето-ефективних архітектур за п'ятьма критеріями. Вона є основним вихідним масивом оптимізаційного етапу і водночас входом для подальшого застосування методів CRITIC та MARCOS.

Поряд із матрицею критеріїв необхідно зберігати окрему матрицю структури архітектур:

$$X^P=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1M} & x_{2M} & \cdots & x_{nM} \end{bmatrix}.$$

Вона дозволяє після ранжування альтернатив повернутися від інтегральної оцінки конкретної архітектури до її економічного змісту: визначити, які інструменти входять до її складу та яку частку має кожен із них.

Для аналізу компромісів між критеріями Парето-множина може бути представлена графічно. Оскільки одночасно візуалізувати п'ять вимірів складно, доцільно використовувати двовимірні проєкції Парето-фронту.

Разом із двовимірними проєкціями доцільно використовувати паралельні координати або нормовану теплову карту критеріїв. Вони дозволяють одночасно порівняти всі п'ять показників для більшої кількості Парето-ефективних архітектур. Особливо корисним це буде у практичному розділі 5.3, де необхідно показати не лише математичний результат, а й реальні відмінності між альтернативними структурами фінансування.

Необхідно також розрізняти Парето-фронт у просторі критеріїв та Парето-множину в просторі змінних рішення. Парето-множина $P \subseteq \Omega$ містить самі структури фінансування A. Водночас Парето-фронт $PF=\{F(A): A \in P\}$ відображає відповідні їм значення цільових функцій. Таке розмежування є

важливим для інтерпретації результатів. Дві архітектури можуть мати близькі значення критеріїв, але суттєво відрізнятися складом інвестиційних інструментів. Тому аналіз лише Парето-фронту без аналізу векторів x_i був би недостатнім для поставленої в дисертації практичної задачі.

З економічної точки зору особливий інтерес становить оцінювання того, як змінюється склад архітектури вздовж Парето-фронту. Наприклад, при переході від дешевших до менш ризикових конфігурацій може поступово зменшуватися частка кредитного фінансування та збільшуватися частка власних, гарантійних або грантових ресурсів. В іншому випадку зниження часу мобілізації може супроводжуватися відмовою від окремих донорських програм на користь швидше доступних, але дорожчих джерел. Такі структурні зміни є важливими для економічної інтерпретації моделі.

Одержана Парето-множина не повинна бути надмірно скорочена на цьому етапі. Навіть якщо вона містить десятки альтернатив, передчасне виключення частини недомінованих рішень може призвести до втрати важливої інформації про компроміси між критеріями. Скорочення та ранжування доцільно виконувати лише на наступному етапі після визначення інформаційної значущості критеріїв методом CRITIC.

У результаті підрозділу формується двокомпонентний результат оптимізації. Перший компонент – це множина структур $P=\left\{A_1^P, A_2^P, \ldots, A_M^P\right\}$, які містять конкретні частки інвестиційних інструментів. Другий компонент – матриця Z, що характеризує кожну з цих архітектур за п'ятьма цільовими функціями (рис. 4.5).

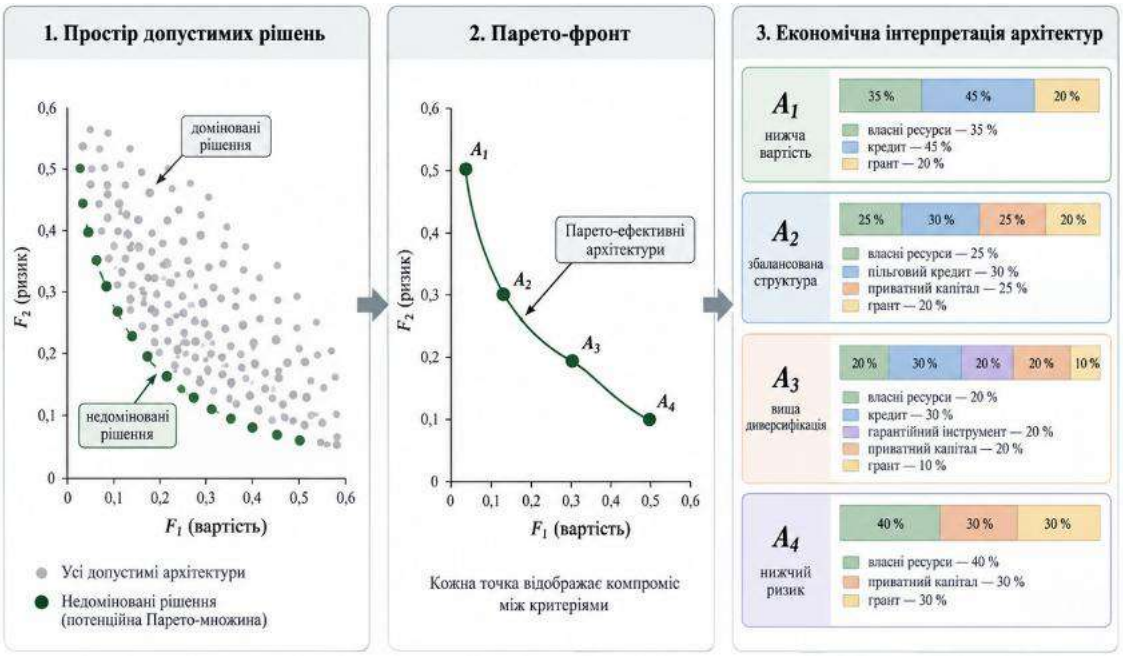

Рис. 4.5. Формування та інтерпретація Парето-множини архітектур інвестиційного забезпечення. *Джерело: розроблено автором.*

Парето-оптимізація виконує функцію проміжного відбору між генерацією допустимих конфігурацій і остаточним вибором архітектури. Вона вилучає рішення, які є однозначно гіршими за інші, але зберігає альтернативи з різними економічними компромісами. Це дозволяє перейти до наступного етапу без попереднього суб'єктивного встановлення ваг критеріїв і передати до CRITIC–MARCOS лише ті конфігурації, які мають обґрунтований статус недомінованих.

Після формування множини Парето-ефективних архітектур виникає задача вибору рішення, яке забезпечує найбільш прийнятний компроміс між усіма критеріями. На попередньому етапі оптимізація навмисно не зводила вартість, ризик, час мобілізації, концентрацію та складність до одного інтегрального показника. Це дозволило зберегти реальні компроміси між критеріями та сформувати множину недомінованих рішень.

Проте Парето-множина може містити десятки архітектур, кожна з яких є ефективною у власній частині простору критеріїв. Для практичного використання підприємству необхідно перейти від множини допустимих

компромісів до однієї або декількох пріоритетних конфігурацій. Для цього в запропонованій моделі використовується послідовність CRITIC → MARCOS.

Принципове значення має те, що багатокритеріальне ранжування застосовується після оптимізації, а не замість неї. До CRITIC–MARCOS передається лише множина Парето-ефективних архітектур $P=\left\{A_1^P, A_2^P, \ldots, A_M^P\right\}$. Таким чином, методи багатокритеріального прийняття рішень не працюють із довільними або домінованими конфігураціями. Кожна альтернатива, що потрапляє до процедури ранжування, уже має статус ефективної відносно заданої системи цільових функцій.

Вхідною інформацією є матриця критеріїв:

$$Z=\left[z_{jm}\right], j=1,\ldots,M, m=1,\ldots,5, \quad (4.32)$$

де z_{jm} – значення m-го критерію для j-ї Парето-ефективної архітектури.

На першому етапі застосовується метод CRITIC, який використовується для об'єктивного визначення ваг критеріїв. Його застосування дозволяє уникнути прямого експертного встановлення ваг ще до аналізу Парето-множини. Логіка CRITIC полягає в тому, що інформаційна значущість критерію визначається двома характеристиками: варіативністю його значень між альтернативами та ступенем його взаємозв'язку з іншими критеріями. Критерій отримує більшу вагу, якщо він сильніше розрізняє альтернативи та одночасно містить інформацію, яка меншою мірою дублюється іншими показниками.

Спочатку значення критеріїв нормалізуються. Для критеріїв мінімізації може бути використано:

$$r_{jm}=\frac{z_m^{max}-z_{jm}}{z_m^{max}-z_m^{min}}, \quad (4.33)$$

де rjm – нормалізоване значення m-го критерію для j-ї архітектури; zmmax і zmmin – відповідно максимальне та мінімальне значення критерію в Парето-множині.

Після нормалізації для кожного критерію визначається стандартне відхилення:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}(r_{jm} - \bar{r}_m)^2}. \qquad (4.34)$$

Чим більшим є σm, тим сильніше відповідний критерій диференціює Парето-ефективні архітектури.

Наступним кроком формується кореляційна матриця критеріїв:

$$\rho_{mk} = corr\left(R_m, R_k\right), \qquad (4.35)$$

де ρmk – коефіцієнт кореляції між критеріями m і k.

Інформаційний вміст критерію визначається як:

$$C_m = \sigma_m \sum_{k=1}^{5}\left(1 - \rho_{mk}\right). \qquad (4.36)$$

Отже, критерій має високе значення Cm, якщо він характеризується значною варіативністю та водночас слабше корелює з іншими показниками.

Після цього визначаються об'єктивні ваги:

$$w_m = \frac{C_m}{\sum_{k=1}^{5} C_k}, \sum_{m=1}^{5} w_m = 1. \qquad (4.37)$$

У результаті отримується вектор $W = \left(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\right)$,який відображає інформаційну значущість п'яти критеріїв у конкретній Парето-множині.

Важливо, що отримані ваги не є універсальними для всіх підприємств або проєктів. Вони залежать від фактичної структури альтернатив. Якщо, наприклад, усі Парето-ефективні архітектури мають близьку вартість, але суттєво відрізняються за ризиком, інформаційна значущість критерію ризику може виявитися вищою. Для іншого підприємства або іншого сценарію структура ваг може змінитися, що відповідає загальній логіці моделі, у якій вибір структури фінансування повинен залежати від конкретної конфігурації «підприємство – проєкт – зовнішнє середовище», а не ґрунтуватися на раз і назавжди встановлених вагових коефіцієнтах.

Після визначення ваг методом CRITIC здійснюється ранжування Парето-ефективних архітектур методом MARCOS. Основною ідеєю MARCOS є порівняння кожної альтернативи одночасно з двома орієнтирами: ідеальною та

антиідеальною альтернативами. Ідеальна альтернатива містить найкращі значення всіх критеріїв, тоді як антиідеальна – найгірші.

Для критеріїв мінімізації відповідні значення визначаються як:

$$z_m^{AI} = \min_j z_{jm},$$

$$z_m^{AAI} = \max_j z_{jm}, \qquad (4.38)$$

де AI – ідеальна альтернатива, AAI – антиідеальна.

До початкової матриці додаються два додаткові рядки:

$$Z^{¿} = \begin{bmatrix} AAI \\ A_1^P \\ A_2^P \\ \vdots \\ A_M^P \\ AI \end{bmatrix}. \qquad (4.39)$$

Оскільки всі критерії в моделі мають напрям мінімізації, нормалізація MARCOS може бути виконана за співвідношенням:

$$n_{jm} = \frac{z_m^{AI}}{z_{jm}}. \qquad (4.40)$$

Після цього нормалізовані значення множаться на ваги CRITIC:

$$v_{jm} = n_{jm} w_m. \qquad (4.41)$$

Для кожної архітектури визначається сумарна оцінка:

$$S_j = \sum_{m=1}^{5} v_{jm}. \qquad (4.42)$$

Аналогічно розраховуються значення для ідеальної та антиідеальної альтернатив:

$$S_{AI} = \sum_{m=1}^{5} v_{AI,m},$$

$$S_{AAI} = \sum_{m=1}^{5} v_{AAI,m}. \qquad (4.43)$$

Далі визначаються ступені корисності альтернатив відносно обох орієнтирів:

$$K_j^{+¿} = \frac{S_j}{S_{AI}}, ¿$$

$$K_j^{-¿} = \frac{S_j}{S_{AAI}}. ¿ \qquad (4.44)$$

Кожна Парето-ефективна архітектура оцінюється не ізольовано, а відносно одночасно найкращого та найгіршого можливого профілю критеріїв.

У методі MARCOS на основі цих величин формується узагальнена функція корисності $U_j = f$ ¿за значенням якої виконується остаточне ранжування альтернатив. Архітектура з найвищим значенням функції корисності посідає першу позицію. Наступні конфігурації розташовуються у порядку зменшення Uj. На практичному етапі доцільно зберігати не лише підсумковий рейтинг, а й проміжні результати CRITIC–MARCOS, що дозволить простежити, за рахунок яких критеріїв конкретна архітектура отримала високу або низьку позицію (табл. 4.7).

Таблиця 4.7. Послідовність застосування CRITIC–MARCOS

Етап	Метод	Розрахункова операція	Результат
1	–	Формування матриці Z для Парето-архітектур	Матриця альтернатив і критеріїв
2	CRITIC	Нормалізація критеріїв	Матриця R
3	CRITIC	Розрахунок стандартних відхилень	$\sigma_1 \ldots \sigma_5$
4	CRITIC	Формування кореляційної матриці	ρmk
5	CRITIC	Визначення інформаційного вмісту	$C_1 \ldots C_5$
6	CRITIC	Визначення ваг	$w_1 \ldots w_5$
7	MARCOS	Формування ідеальної та антиідеальної альтернатив	AI, AAI
8	MARCOS	Нормалізація та зважування	vjm
9	MARCOS	Розрахунок ступенів корисності	Kj+, Kj−
10	MARCOS	Розрахунок узагальненої корисності	Uj
11	MARCOS	Ранжування	Порядок Парето-архітектур

Джерело: розроблено автором

Перевагою такої послідовності є чітке розділення двох різних задач. CRITIC відповідає за визначення інформаційної вагомості критеріїв, тоді як MARCOS виконує порівняння та ранжування альтернатив. Ваги не задаються дослідником довільно, а формуються на основі структури фактичних даних. Разом із тим об'єктивність ваг CRITIC не означає їх абсолютної економічної нейтральності. Метод оцінює інформаційну структуру матриці критеріїв, а не стратегічні переваги конкретного підприємства. Тому в практичній частині доцільно окремо перевірити стійкість результатів до зміни ваг.

Якщо невеликі зміни ваг не призводять до суттєвої перестановки перших позицій MARCOS, результат можна вважати більш стійким. Якщо ж навіть незначна зміна wm змінює пріоритетну архітектуру, це свідчить про близькість альтернатив і необхідність обережнішої інтерпретації результату.

Особливе значення має зв'язок між рейтингом MARCOS і фактичною структурою фінансування. Після визначення архітектури з найвищою корисністю необхідно повернутися до відповідного вектора $A_j^P = (x_{1j}, x_{2j}, \ldots, x_{nj})$і представити результат уже у формі конкретних часток інвестиційних інструментів.

При цьому архітектуру, що посіла перше місце, недоцільно одразу трактувати як остаточне рішення. На цьому етапі вона є компромісною архітектурою за базових значень параметрів моделі. Її здатність зберігати прийнятні характеристики за зміни зовнішніх умов ще повинна бути перевірена сценарним та робастним аналізом.

Крім першої позиції MARCOS, у практичній частині доцільно зберігати також декілька найближчих альтернатив. Наприклад, якщо значення корисності перших трьох архітектур є дуже близькими, жорстке трактування лише першої конфігурації може бути недостатньо обґрунтованим. У такому випадку всі три рішення доцільно передати на наступний етап сценарної перевірки.

Тому за результатами CRITIC–MARCOS можуть формуватися дві групи результатів: основна компромісна архітектура A*; група найближчих конкурентних архітектур, результати яких статистично або економічно близькі до A*. Це особливо важливо в умовах післявоєнного відновлення, де параметри фінансового середовища можуть швидко змінюватися. Архітектура, яка посідає перше місце за базового сценарію, може поступитися іншій конфігурації після зміни процентної ставки, грантової доступності або гарантійного покриття.

Ланцюг CRITIC–MARCOS завершує етап вибору компромісного рішення серед Парето-ефективних архітектур. CRITIC забезпечує об'єктивне визначення ваг критеріїв на основі їх варіативності та взаємної кореляції, тоді як MARCOS ранжує недоміновані альтернативи відносно ідеальної та антиідеальної конфігурацій.



Рис. 4.6. Механізм вибору компромісної архітектури за схемою Парето → CRITIC → MARCOS. *Джерело: розроблено автором.*

Результатом цього етапу є впорядкована множина:

$$A^P_{(1)}, A^P_{(2)}, \ldots, A^P_{(M)}, \qquad (4.44)$$

де $A^P_{(1)}$ має найбільше значення функції корисності MARCOS.

Вибір компромісної архітектури за результатами CRITIC–MARCOS не завершує процедуру формування інвестиційного забезпечення. Отримане рішення визначається для конкретного набору параметрів підприємства, проєкту та зовнішнього середовища. В умовах післявоєнного відновлення

значна частина цих параметрів може змінюватися, тому архітектура, яка є найкращою за базового сценарію, не обов'язково зберігатиме свої переваги за інших умов.

Після визначення компромісної конфігурації необхідно провести її сценарну перевірку та оцінити робастність. Метою цього етапу є встановлення того, наскільки стійкою залишається структура інвестиційного забезпечення при зміні ключових зовнішніх і внутрішніх параметрів.

У межах моделі вводиться множина сценаріїв:

$$S=\{s_1, s_2, \ldots, s_q\}, \qquad (4.45)$$

де q – кількість сценаріїв, що аналізуються.

Для кожного сценарію формується власний набір параметрів:

$$\Theta^{(s)}=\left(c_i^{(s)}, r_i^{(s)}, t_i^{(s)}, a_i^{(s)}, u_i^{(s)}, D_{max}^{(s)}, K^{(s)}, \ldots\right), \qquad (4.46)$$

де Θ(s) – вектор параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища для сценарію s.

До таких параметрів можуть належати процентні ставки, валютний курс, вартість будівельних робіт, доступність грантових ресурсів, максимальні кредитні ліміти, рівень гарантійного покриття, строки мобілізації коштів, допустиме боргове навантаження, а також інші характеристики, які можуть суттєво змінювати структуру фінансування.

Для практичного застосування доцільно використовувати декілька змістовно відмінних сценаріїв. Для кожного сценарію повторно визначаються значення цільових функцій $F_m^{(s)}(A), m=1,\ldots,5$.Це дозволяє оцінити, як змінюються вартість, ризик, час мобілізації, концентрація та організаційно-транзакційна складність для тієї самої архітектури за різних умов.

У найпростішому варіанті сценарного аналізу фіксується структура компромісної архітектури $A^{\ast}=(x_1^{\ast}, x_2^{\ast}, \ldots, x_n^{\ast})$,після чого перевіряється її поведінка в кожному сценарії $A^{\ast} \to F^{(s)}(A^{\ast}), s=1,\ldots,q$.Такий підхід дозволяє відповісти на питання: наскільки добре базова архітектура працює після зміни умов середовища?

Однак для повнішого аналізу доцільно паралельно розв'язати оптимізаційну задачу окремо для кожного сценарію та отримати сценарно-оптимальні архітектури $A^{*(s)} = arg \min_{A \in \Omega^{(s)}} F^{(s)}(A)$. У цьому випадку можна порівняти базову архітектуру A* із тією конфігурацією, яка була б сформована за повного врахування умов конкретного сценарію, що дає змогу оцінити не лише зміну характеристик архітектури, а й ступінь її структурної стабільності.

Для цього може бути використаний показник відхилення структури $D_A^{(s)} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} | x_i^{*} - x_i^{*(s)} |$. Значення $D_A^{(s)}$ лежить у межах від 0 до 1. Якщо воно наближається до нуля, базова та сценарно-оптимальна архітектури мають близьку структуру. Чим більше значення, тим суттєвіше змінюється розподіл часток між інструментами. Для оцінювання робастності недостатньо аналізувати лише структуру. Необхідно враховувати також стабільність економічних характеристик та виконання обмежень. У межах дослідження доцільно використовувати декілька груп показників робастності (табл. 4.8)

Таблиця 4.8. Показники оцінювання робастності архітектури

Показник	Позначення	Економічний зміст
Частота збереження допустимості	R_1	У яких сценаріях архітектура не порушує систему обмежень
Середнє погіршення критеріїв	R_2	Наскільки змінюються характеристики відносно базового стану
Максимальне погіршення	R_3	Найгірший результат серед усіх сценаріїв
Структурне відхилення	R_4	Наскільки сильно змінюються оптимальні частки інструментів
Стабільність позиції MARCOS	R_5	Наскільки змінюється місце архітектури в рейтингу
Regret	R_6	Втрата від використання базової архітектури замість сценарно-

		оптимальної

Джерело: розроблено автором

Одним із базових показників є частота збереження допустимості:

$$R_1(A)=\frac{1}{q}\sum_{s=1}^{q} I\left(A \in \Omega^{(s)}\right), \qquad (4.47)$$

де I(·) – індикаторна функція, що дорівнює 1, якщо архітектура залишається допустимою у сценарії s, та 0 – якщо порушує хоча б одне критичне обмеження.

Якщо $R_1 = 1$, архітектура зберігає допустимість у всіх сценаріях. Якщо значення нижче, це означає, що за певних умов її реалізація стає неможливою.

Другим важливим показником є середнє відносне погіршення цільових характеристик:

$$R_2(A)=\frac{1}{q}\sum_{s=1}^{q}\frac{1}{5}\sum_{m=1}^{5}\Delta F_m^{(s)}(A), \qquad (4.48)$$

де ΔF_m(s) – нормоване відхилення m-го критерію від базового значення.

Окремо доцільно визначати максимальне погіршення:

$$R_3(A)=\max_s\left[\frac{1}{5}\sum_{m=1}^{5}\Delta F_m^{(s)}(A)\right]. \qquad (4.49)$$

Цей показник відображає поведінку архітектури в найгіршому з розглянутих сценаріїв. Ще одним корисним показником є regret – втрата від використання фіксованої архітектури замість найкращої для конкретного сценарію. Для узагальненого показника якості Q regret можна визначити як:

$$Regret^{(s)}(A)=Q^{*(s)}-Q^{(s)}(A), \qquad (4.50)$$

де Q*(s) – результат сценарно-оптимальної архітектури, а Q(s)(A) – результат фіксованої архітектури в тому самому сценарії.

Для критеріїв мінімізації запис може бути відповідно інвертований, щоб більше значення завжди означало більшу втрату.

Максимальний regret $R_6(A)=\max_s Regret^{(s)}(A)$ дозволяє визначити, наскільки невигідним може бути використання базової конфігурації в найбільш

несприятливому випадку. Особливий інтерес має також стабільність рейтингу MARCOS. Якщо архітектура, що посідає перше місце в базовому сценарії, у більшості інших сценаріїв залишається серед перших альтернатив, це свідчить про її відносну стабільність.

Можна визначити середню позицію $\overline{R}ANK(A)=\frac{1}{q}\sum_{s=1}^{q} RANK^{(s)}(A)$.Або частоту потрапляння до певної групи найкращих рішень ¿$P_k(A)=\frac{1}{q}\sum_{s=1}^{q} I\left(RANK^{(s)}(A)\le k\right)$.Наприклад, показник TOP_3 = 0,8 означає, що архітектура входить до трьох найкращих альтернатив у 80 % сценаріїв.

Це більш інформативно, ніж оцінювати лише перше місце, оскільки близькі за значенням MARCOS альтернативи можуть переставлятися місцями навіть при незначних змінах параметрів.

Для узагальнення результатів сценарного аналізу може бути сформований інтегральний показник робастності:

$$R(A)=\sum_{h=1}^{H}\omega_h R_h(A), \qquad (4.51)$$

де Rh – нормовані показники робастності, а ω_h – їх ваги.

Проте в базовій моделі доцільно уникати надмірного агрегування. Інтегральний індекс може бути корисним як додатковий орієнтир, але основні компоненти робастності варто аналізувати окремо. Архітектура може, наприклад, мати високу структурну стабільність, але водночас демонструвати значне погіршення вартості. Об’єднання цих двох аспектів в один показник може приховати важливу інформацію. Тому в практичному аналізі доцільно розглядати робастність як багатовимірну характеристику.

Важливо також розрізняти стійкість структури та стійкість результату. Стійкість структури означає, що частки інструментів x_i змінюються незначно між сценаріями. Стійкість результату означає, що навіть при зміні параметрів значення ключових критеріїв залишаються в прийнятних межах. Архітектура може бути структурно нестабільною, але економічно стійкою, якщо невеликі зміни часток дозволяють зберігати близькі значення вартості та ризику. І

навпаки, структура може залишатися незмінною, але її економічні характеристики суттєво погіршуватися через зовнішні фактори.

Для зручності аналізу результати доцільно представляти у вигляді сценарної матриці. Така таблиця дозволяє безпосередньо порівнювати не лише базову компромісну архітектуру, а й найближчі альтернативи. За результатами сценарної перевірки можливі три типові ситуації. Перша – базова архітектура зберігає високу позицію за всіх або більшості сценаріїв. У цьому випадку її можна розглядати як робастну. Друга – базова архітектура суттєво погіршує характеристики лише в одному специфічному сценарії. Тоді доцільно визначити умову, за якої підприємство має перейти до альтернативної конфігурації. Третя – рейтинг і структура архітектур суттєво змінюються між сценаріями. У такому випадку недоцільно формувати одну універсальну рекомендацію. Натомість доцільніше сформувати набір сценарно залежних архітектур (рис. 4.7).

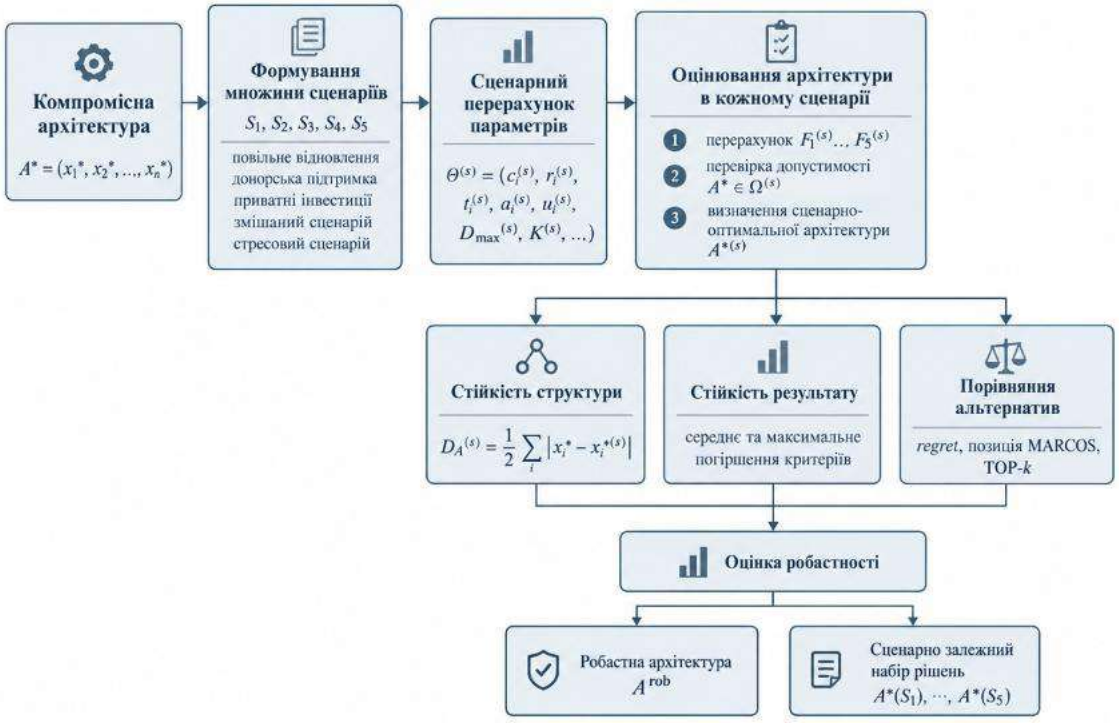

Рис. 4.7. Логіка сценарної перевірки та оцінювання робастності архітектури. *Джерело: розроблено автором.*

Результатом цього етапу може бути не лише одна структура A*, а система рішень виду:

$$A^{rob}, A^{¿(s_1)}, A^{¿(s_2)}, \ldots, A^{¿(s_q)}, \qquad (4.52)$$

де A^{rob} – архітектура з найбільш стійкими характеристиками, $A^{¿(s)}$ – сценарно-оптимальні конфігурації, що дозволяє перетворити оптимізаційну модель із статичного інструменту вибору структури фінансування на адаптивний механізм підтримки управлінських рішень. Підприємство отримує не лише базову рекомендацію, а й розуміння того, за яких змін зовнішніх умов структура фінансування повинна бути переглянута.

Сценарний аналіз та оцінювання робастності завершують перевірку того, наскільки отримане рішення залежить від конкретної початкової конфігурації параметрів. Разом із тим вони ще не відповідають на питання, які саме параметри найбільше впливають на зміну архітектури та її економічних характеристик. Для цього на наступному етапі доцільно застосувати глобальний аналіз чутливості.

Сценарний аналіз дозволяє оцінити поведінку сформованої архітектури за декількох наперед визначених комбінацій зовнішніх умов. Проте він не дає змоги однозначно встановити, які саме параметри найбільше впливають на зміну результату. Якщо в одному сценарії одночасно змінюються процентні ставки, доступність грантових ресурсів, валютний курс і гарантійне покриття, встановити внесок кожного окремого фактора лише за результатами сценарного порівняння складно.

На відміну від локального аналізу, за якого параметр змінюється поблизу одного базового значення, глобальний підхід охоплює весь заданий діапазон його можливих змін. Для досліджуваної задачі це має принципове значення, оскільки вплив окремих факторів може бути нелінійним, а результат – залежати від їх одночасної дії.

Для цього етапу пропонується використати метод Sobol, який дозволяє оцінити як самостійний вплив кожного параметра, так і його сукупний вплив разом із взаємодіями з іншими факторами.

Основними показниками є:

- S_1 – індекс першого порядку, який характеризує прямий вплив фактора на результат;
- ST – індекс повного порядку, який враховує як прямий ефект, так і взаємодію цього фактора з іншими параметрами.

Якщо значення S_1 і ST є близькими, вплив відповідного параметра переважно має самостійний характер. Значна різниця між ними свідчить про те, що результат формується не лише прямою дією параметра, а й його взаємодією з іншими факторами. Для глобального аналізу доцільно відбирати не всі параметри моделі, а лише ті, щодо яких існує реальна невизначеність і які потенційно можуть змінювати сформовану архітектуру.

Для кожного фактора встановлюється допустимий діапазон зміни. У практичній частині ці межі повинні визначатися на основі фактичних умов фінансування, параметрів відповідних програм, статистичних даних або обґрунтованих сценарних припущень. Довільне задавання надто широких або надто вузьких діапазонів може суттєво спотворити результати аналізу.

У межах запропонованої моделі доцільно виділити два рівні глобального аналізу чутливості. Перший рівень стосується чутливості результатів уже сформованої архітектури. Структура фінансування залишається незмінною, а варіюються параметри зовнішнього середовища. Аналізується, як при цьому змінюються вартість, ризик, час мобілізації, концентрація та складність. Такий підхід дозволяє встановити, наприклад, які фактори найбільше впливають на вартість уже обраної структури або за яких параметрів різко погіршується її ризиковий профіль.

Другий рівень стосується чутливості самого управлінського рішення. Для кожної нової комбінації параметрів оптимізаційна процедура виконується повторно, після чого порівнюються отримані частки інвестиційних інструментів. У цьому випадку досліджується вже не тільки зміна характеристик архітектури, а й те, які фактори змушують модель перебудовувати саму структуру фінансування. Наприклад, зміна процентної ставки може мати незначний вплив до певного рівня, але після його

перевищення кредитний інструмент перестає входити до раціональної конфігурації або його частка суттєво скорочується. Аналогічно припинення грантової програми може спричинити перерозподіл відповідної частки між власними, кредитними та приватними ресурсами. Такі переходи мають особливу управлінську цінність, оскільки дозволяють визначати не лише вплив факторів, а й критичні умови перегляду архітектури. Доцільно аналізувати кілька типів вихідних показників, наведених у табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Вихідні показники глобального аналізу чутливості

Об’єкт аналізу	Показники	Що характеризують
Економічний результат	F_1–F_5	Чутливість вартості, ризику, часу, концентрації та складності
Структура архітектури	частки x_i	Чутливість використання окремих інструментів
Структура архітектури	загальне структурне відхилення	Масштаб перебудови всієї конфігурації
Робастність	показники сценарної стійкості	Чутливість надійності сформованого рішення
MARCOS	безперервна оцінка корисності	Зміна компромісної привабливості альтернатив

Джерело: розроблено автором

Використовувати безпосередньо номер позиції архітектури в рейтингу MARCOS як основний вихід Sobol-аналізу недоцільно. Ранг має дискретний характер і може змінюватися навіть тоді, коли відмінність між двома альтернативами є дуже малою. Тому пріоритет варто надавати безперервним показникам – значенням критеріїв, часткам інструментів, структурному відхиленню або функції корисності MARCOS.

Особливої уваги потребують випадки, коли параметр впливає на доступність самого інвестиційного інструменту. Тут залежність може мати

пороговий характер. До певного значення параметра структура залишається незмінною, а після перетину критичного рівня один інструмент виключається та його частка перерозподіляється між іншими джерелами. Подібна стрибкоподібна реакція не є недоліком моделі, а відображає реальний характер багатьох фінансових рішень.

Практичний аналіз доцільно проводити послідовно. Спочатку визначаються індекси S_1 і ST для всіх відібраних факторів. Потім параметри ранжуються за силою сукупного впливу. Поглиблений аналіз взаємодій між окремими факторами проводиться лише для тих параметрів, які мають високі значення ST або значну різницю між ST і S_1. Такий підхід дозволяє зменшити обчислювальне навантаження. Це важливо, оскільки на другому рівні глобального аналізу кожна нова комбінація параметрів потребує повторного розв’язання оптимізаційної задачі та формування нової архітектури.

Графічно результати можуть бути представлені стовпчиковими діаграмами S_1 та ST. Для найбільш важливих факторів доцільно додатково показати залежність часток основних інвестиційних інструментів від зміни відповідного параметра, що дозволить безпосередньо пов’язати результати аналізу чутливості зі структурою інвестиційного забезпечення.

Сценарний та глобальний аналізи (рис. 4.8) при цьому виконують різні функції. Сценарний аналіз відповідає на питання, як поводиться архітектура за конкретної комбінації умов. Sobol-аналіз показує, які саме фактори найбільше формують цю зміну в усьому заданому просторі параметрів.

У результаті формується перелік критичних параметрів, моніторинг яких є найбільш важливим для підприємства. Якщо найбільший вплив на структуру має процентна ставка, її зміна стає одним із ключових сигналів для повторного запуску оптимізаційної моделі. Якщо домінуючим фактором є доступність грантового фінансування або гарантійне покриття, саме зміни цих умов повинні розглядатися як підстава для перегляду структури фінансування.

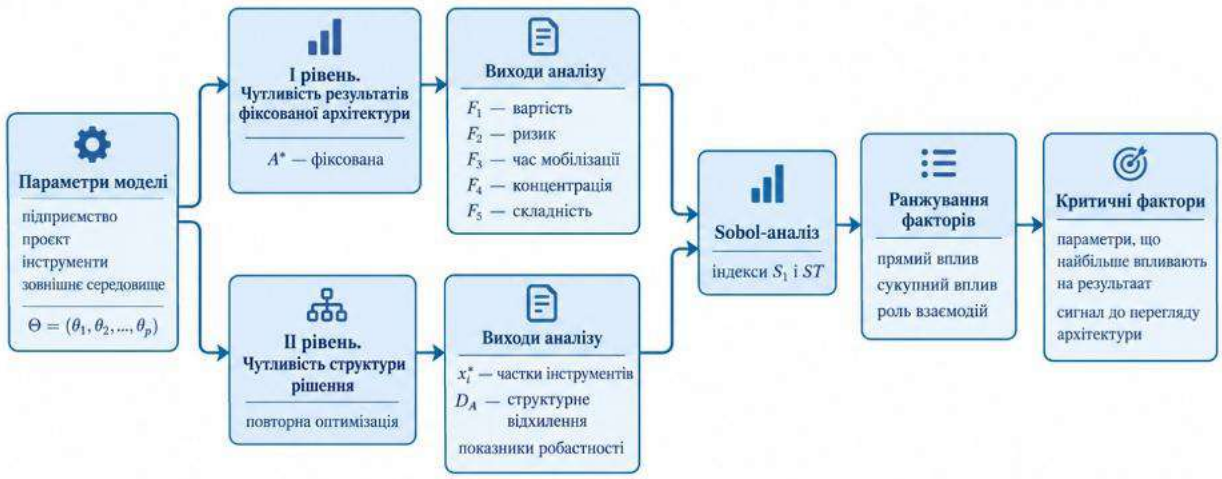

Рис. 4.8. Дворівнева схема глобального аналізу чутливості оптимізаційної моделі. *Джерело: розроблено автором.*

Глобальний аналіз чутливості завершує перевірку впливу невизначеності на сформовану архітектуру. Його результатом є не лише ранжування факторів за силою впливу, а й визначення параметрів, зміна яких може потребувати перебудови структури інвестиційного забезпечення. У поєднанні зі сценарним та робастним аналізом це забезпечує перехід від статичної оптимальної конфігурації до адаптивного механізму формування інвестиційного забезпечення будівельного підприємства.

Кінцевим результатом є багатокритеріальна модель формування та вибору раціональної архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. Вона поєднує попередній відбір інструментів, математичну оптимізацію їх часток, формування Парето-множини, об’єктивне визначення ваг критеріїв, ранжування альтернатив, сценарну перевірку, оцінювання робастності та глобальний аналіз чутливості (рис. 4.9).

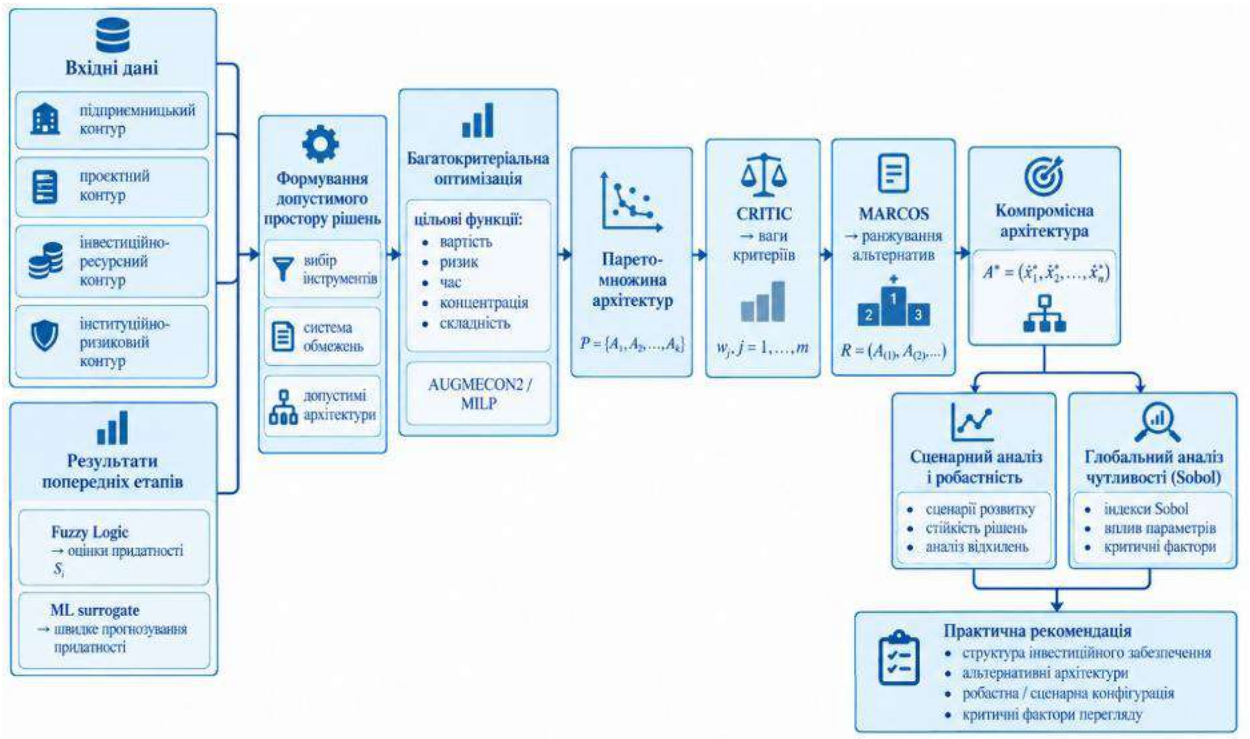

Рис. 4.9. Інтегрована модель формування архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства. *Джерело: розроблено автором.*

Ця модель може бути реалізована на конкретних вихідних даних з отриманням фактичної структури інвестиційного забезпечення, Парето-множини альтернатив, рейтингу CRITIC–MARCOS та оцінки робастності рекомендованої конфігурації.

Висновки до розділу 4.

1. Побудовано обчислювальну структуру ієрархічної нечіткої моделі, у якій нормовані кількісні та формалізовані якісні характеристики послідовно перетворюються на проміжні оцінки відповідності, а відтак — на оцінки придатності інвестиційних інструментів. Диференціація деталізації між рівнями моделі — обмежена кількість лінгвістичних станів для первинних входів і докладніша шкала для кінцевої оцінки — дає змогу зберегти розрізнювальну здатність виходу, не спричиняючи непропорційного ускладнення баз правил. Функції належності задають початкову геометрію нечіткого простору, а не універсальні економічні пороги; тому їхні параметри підлягають перевірці й коригуванню відповідно до змісту показників та результатів модельних випробувань.

2. Формалізовано інструментально специфічний механізм нечіткого виведення, який поєднує локальні оцінки характеристик підприємства, проєкту, ресурсних умов і зовнішнього середовища в кінцеву оцінку для кожного інструмента. Різні бази правил дають змогу відобразити неоднакову економічну логіку власного фінансування, кредиту, гранту, приватного капіталу й партнерського фінансування, зберігаючи водночас порівнюваність отриманих результатів. У правилах розмежовано сприятливі, обмежувальні, критичні, частково компенсаційні та інструментально специфічні залежності. Проміжні оцінки зберігають діагностичну цінність: вони показують, чи пов’язана низька підсумкова придатність із характеристиками підприємства або проєкту, умовами ресурсу чи зовнішніми обмеженнями.

3. Визначено обчислювальний інтерфейс між нечіткою моделлю та наступними блоками дослідження. Кінцеві оцінки придатності формуються як нормовані безперервні величини, придатні для порівняння інструментів і передавання до прогнозної та оптимізаційної моделей; при цьому вони не замінюють перевірки формальних умов доступу й не задають обсягу фінансування. Коректність функціонування моделі має перевірятися за повнотою активованих правил, узгодженістю крайових реакцій, монотонністю там, де цього вимагає економічна логіка, та чутливістю оцінок до змін параметрів функцій належності, що дає змогу виявляти суперечності не лише у фінальній оцінці, а й у правилах, що її формують.

4. Сформовано архітектуру навчання прогнозних моделей на даних, що поєднують сценарні входи з відповідними виходами нечіткої системи. Для коректного зіставлення алгоритмів передбачено спільний поділ даних на навчальну, валідаційну й тестову частини, налаштування гіперпараметрів без використання тестової вибірки та крос-валідацію на навчальних даних. Порівнювати запропоновано як типи алгоритмів, так і архітектури прогнозування — спільну багатовихідну модель і окремі моделі для різних інструментів, що дає змогу встановлювати, чи відрізняються закономірності формування оцінок придатності настільки, щоб виправдовувати спеціалізацію моделей за інструментами.

5. Обґрунтовано багатокомпонентну оцінку якості прогнозної апроксимації, за якої рішення про вибір моделі спирається на сукупність характеристик, а не на одну узагальнену метрику. Поряд із поясненою часткою варіації та середнім відхиленням передбачено враховувати великі локальні похибки, розрив між навчальними й тестовими результатами, стабільність прогнозу та швидкість опрацювання пакетів сценаріїв. Окремого аналізу потребують залишки для кожного інструмента й області сценарного простору, зокрема для крайових або несприятливих комбінацій, де помилки апроксимації можуть впливати на подальший пошук фінансових альтернатив. Завдяки цьому оцінюється придатність прогнозної моделі саме до багаторазового використання в оптимізаційному циклі.

6. Розроблено засади факторної інтерпретації прогнозних оцінок за допомогою SHAP, яка доповнює числову оцінку придатності поясненням її формування. Глобальний аналіз визначає характеристики, що в середньому найбільше впливають на оцінку конкретного інструмента, а локальний — показує, які фактори підвищили або знизили її в окремій сценарній конфігурації; аналіз знака та взаємодій дає змогу виявляти нелінійність і спільний вплив характеристик. Така інтерпретація допомагає перевіряти узгодженість прогнозної апроксимації з логікою нечіткої моделі, але не є доказом причинного впливу чи зовнішньої емпіричної валідності. Межі застосування прогнозу визначаються простором сценаріїв, представленим у навчальних даних, а перевірка на фактичних ситуаціях підприємств потребує окремої емпіричної бази.

7. Формалізовано задачу визначення архітектури інвестиційного забезпечення як змішану цілочислову оптимізаційну постановку, що одночасно встановлює факт включення інструментів до фінансової конфігурації та частки їхньої участі. Перехід від часток до абсолютних сум пов’язує модельне рішення з масштабом потреби конкретного проєкту й дає змогу оцінювати не лише пропорції, а й необхідні обсяги ресурсів. Система обмежень відсіює конфігурації, які не забезпечують покриття потреби або порушують задані межі доступності, власної участі, боргового навантаження, строків залучення та інших умов

фінансування. Її модульна побудова дає змогу змінювати параметри підприємства, проєкту й фінансових програм без перегляду загальної структури оптимізаційної задачі.

8. Операціоналізовано багатокритеріальне оцінювання архітектури через цільові функції та подальше опрацювання сформованої множини альтернатив. Повну економічну вартість ресурсів запропоновано визначати з урахуванням не лише процентних платежів, а й комісій, витрат на організацію фінансування, залучення гарантій, транзакційних процедур і альтернативної вартості власного капіталу. Окреме моделювання ризику, часу мобілізації, концентрації та складності управління дає змогу не приховувати компроміси шляхом передчасного зведення критеріїв до одного показника. На цій основі формується множина Парето-ефективних структур, ваги критеріїв визначаються з урахуванням варіативності й взаємної пов’язаності даних, а ранжування альтернатив здійснюється щодо ідеального та антиідеального профілів. Обране рішення, таким чином, є компромісним у межах конкретної множини допустимих альтернатив і прийнятих критеріїв.

9. Сформовано кількісну процедуру оцінювання стійкості та чутливості сформованої архітектури, яка відокремлює зміну її економічних результатів від перебудови складу й часток джерел. Сценарна перевірка передбачає повторне визначення допустимої множини й переоцінювання альтернатив за змінених умов, тоді як глобальний аналіз чутливості дає змогу оцінити самостійний вплив параметрів і їхні взаємодії в заданому діапазоні. Для фіксованої структури аналізується зміна її критеріальних характеристик; для управлінського рішення — зміна часток і структурне відхилення після повторного розрахунку. Розмежування критеріальної втрати переваги та втрати допустимості має практичне значення: у першому випадку може бути достатньо зберегти структуру або скоригувати її параметри, у другому необхідно формувати нову конфігурацію. Включення кількох близьких за оцінками альтернатив до подальшої перевірки створює основу для вибору резервних варіантів і визначення умов переходу між ними.

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПРОЦЕСІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

5.1. Практичне оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення

Практичну перевірку нечіткої моделі проведено на дев’яти контрольних сценаріях. Перевірено реакцію оцінок придатності на зміну профілю підприємства та проєкту, характер поверхонь відгуку, граничні комбінації локальних контурів і чутливість ранжування до збурення кінцевих оцінок.

Для початкового експерименту сформовано три синтетичні профілі будівельних підприємств і три профілі проєктів післявоєнного відновлення. Вони не відтворюють конкретні реальні компанії або об’єкти. Їх завдання – створити різні за економічним змістом комбінації вхідних параметрів, достатні для перевірки поведінки моделі.

Для підприємств сформовано три рівні операційної, фінансової та управлінської спроможності. Профіль A характеризує порівняно невелике підприємство з обмеженою фінансовою автономією, нестабільнішим операційним грошовим потоком і невисоким рівнем формалізації управління. Профіль B відповідає підприємству середнього масштабу зі збалансованими фінансовими показниками та розвиненішою цифрово-аналітичною підтримкою. Профіль C характеризує велике підприємство з вищою фінансовою автономією, стабільним операційним грошовим потоком і високим рівнем управлінської та цифрової зрілості (табл 5.1).

Таблиця 5.1. Вихідні профілі будівельних підприємств

Показник	Профіль A	Профіль B	Профіль C
E1 – чистий дохід за 12 місяців, млн грн	180	520	1 250
Активи, млн грн	160	430	980

Власний капітал, млн грн	56	215	637
E2 – фінансова автономія	0,35	0,50	0,65
E3 – стабільність операційного грошового потоку	0,50	0,79	0,91
E4 – управлінська зрілість, балів	2	3	5
E5 – цифрово-аналітична зрілість, балів	2	4	5

Джерело: розроблено автором

Показник E2 визначено як відношення власного капіталу до активів. Для E3 використано 12 квартальних спостережень операційного грошового потоку за три роки для кожного синтетичного профілю. Показники E4 та E5 задано за п’ятибальною шкалою. Профілі відрізняються одночасно масштабом, фінансовою автономією, стабільністю грошового потоку та управлінською спроможністю (табл. 5.2). Для перевірки проєктного контуру сформовано три проєкти, які відрізняються капіталомісткістю, економічною результативністю, тривалістю, суспільною значущістю та терміновістю.

Таблиця 5.2. Вихідні профілі проєктів післявоєнного відновлення

Тип проєкту	Проєкт 1	Проєкт 2	Проєкт 3
	локальне відновлення житлового об’єкта	соціально значуще відновлення житлового фонду	великий змішаний проєкт житлового відновлення
P1 – інвестиційна потреба, млн грн	85	280	650
P2 – індекс дохідності	1,18	0,93	1,28
P3 – тривалість	16	28	48

реалізації, міс.			
P4 – суспільна значущість, балів	3	5	4
P5 – терміновість реалізації, балів	4	5	3

Джерело: розроблено автором

Проєкт 1 є компактним і відносно коротким, тому використовується для перевірки власного фінансування та класичних кредитних інструментів. Проєкт 2 поєднує індекс дохідності нижче одиниці з максимальною суспільною значущістю й терміновістю; він дозволяє зіставити комерційні та підтримувані механізми фінансування. Проєкт 3 має найбільші масштаб і тривалість та найвищий індекс дохідності, що створює передумови для залучення приватного капіталу й ППП.

Поєднання профілів A, B, C з проєктами 1, 2, 3 утворює сценарії A1–A3, B1–B3 та C1–C3. Літера позначає підприємство, цифра – проєкт. Порівняння за незмінного проєкту показує вплив підприємства, а за незмінного підприємства – вплив проєкту та пов’язаних ресурсних і інституційних умов.

Для кожного інструменту розраховано локальні виходи підприємницької, проєктної, інвестиційно-ресурсної та інституційно-ризикової підсистем. Їхні значення формують входи верхнього рівня моделі. Значення, які характеризують умови конкретних інвестиційних інструментів, є сценарними параметрами контрольного експерименту, а не середніми ринковими ставками чи умовами конкретних чинних програм. Такий підхід потрібний на першому етапі перевірки моделі: спочатку необхідно встановити, чи правильно вона реагує на економічно різні ситуації. Надалі ці параметри можуть бути замінені фактичними умовами банків, грантових програм, гарантійних механізмів або приватних інвесторів.

Для грошових та часових показників зафіксовано робочі межі нормування (табл. 5.3). Вони залишалися незмінними в усіх дев’яти сценаріях.

Таблиця 5.3. Робочі межі нормування кількісних показників

Показник	Нижня межа	Верхня межа
E1 – чистий дохід підприємства, млн грн/рік	100	1 500
P1 – інвестиційна потреба проєкту, млн грн	50	700
P2 – індекс дохідності	0,70	1,50
P3 – тривалість реалізації, міс.	12	60

Джерело: розроблено автором

Для розрахунку інвестиційно-ресурсного контуру додатково задано сценарні параметри шести інструментів (табл. 5.4).

Таблиця 5.4. Параметри інвестиційних інструментів у контрольному експерименті

Інструмент	Потенційно доступний обсяг	Вартість ресурсу, %	Строк	Власна участь	Гнучкість R5
Власні ресурси	A – 25; B – 90; C – 250 млн грн	12*	без строкового обмеження	–	1,00
Комерційний кредит	70 / 220 / 500 млн грн для A / B / C	18	36 міс.	20 %	0,70
Пільговий кредит	100 / 300 / 600 млн грн	7	60 міс.	15 %	0,60
Грант	40 / 150 / 200 млн грн для проєктів 1 / 2 / 3	2**	36 міс.	20 %	0,35

Приватний інвестор	120 / 400 / 900 млн грн	22	72 міс.	10 %	0,80
ППП	проєкт 1 – недоступне; проєкти 2–3 – до 80 % потреби	10	120 міс.	10 %	0,55

* Для власних ресурсів 12 % інтерпретується як сценарна альтернативна вартість капіталу, а не як фактична процентна ставка.
** Для гранту 2 % відображає умовні адміністративні та супровідні витрати.
Джерело: розроблено автором

Таке задання параметрів дозволяє уникнути нереалістичного припущення, що власні кошти або грантові ресурси є безкоштовними. Воно також дає можливість врахувати місткість інструменту. Наприклад, грант може мати низьку вартість, але покривати лише частину загальної потреби проєкту.

Для інституційно-ризикового контуру були задані різні умови для трьох проєктів. Нормована територіальна безпечність становила 0,75 для Проєкту 1, 0,45 для Проєкту 2 та 0,60 для Проєкту 3. Регуляторно-інституційну стабільність у базовому експерименті зафіксовано на рівні 0,65, що дозволяє не змішувати на першому етапі вплив проєктних відмінностей зі зміною загального регуляторного середовища.

Валютна стійкість I3 була найбільшою для власних ресурсів – 1,00. Для комерційного кредиту вона становила 0,85, пільгового – 0,75, гранту – 0,65, приватного капіталу – 0,60, ППП – 0,70. Вищі значення означають меншу валютну експозицію після перетворення вихідного дестимулятора.

Доступність програм підтримки I4 та гарантійне покриття I5 диференційовано залежно від проєкту й інструменту (табл. 5.5).

Таблиця 5.5. Сценарні значення I4 та I5 для інвестиційних інструментів

Проєкт	Власні	Комерційний	Пільговий	Грант	Приватний	ППП

	ресурси	кредит	кредит		інвестор	
1	0,50 / 0,00	0,45 / 0,35	0,55 / 0,60	0,35 / 0,00	0,50 / 0,15	недоступне
2	0,50 / 0,00	0,55 / 0,45	0,90 / 0,75	0,95 / 0,00	0,45 / 0,20	0,80 / 0,70
3	0,50 / 0,00	0,55 / 0,40	0,75 / 0,70	0,70 / 0,00	0,55 / 0,20	0,85 / 0,75

*У кожній комірці перше значення відповідає I4, друге – I5.
Джерело: розроблено автором

Для Проєкту 2 навмисно задано високі значення доступності пільгових і грантових програм – 0,90 та 0,95 відповідно, що відповідає описаному вище профілю соціально значущого та термінового проєкту. Для Проєкту 3 найбільше значення I4 серед спеціалізованих інструментів має ППП – 0,85, що дозволяє перевірити реакцію моделі на великий і довгостроковий проєкт.

Підприємницька відповідність для профілю A становить 0,194–0,214 через поєднання малого масштабу, невисокої фінансової автономії та управлінської зрілості. Для B пільговий кредит і грант отримують 0,806, інші інструменти – 0,568; для C оцінки становлять 0,786–0,806. Зростання спроможності підприємства підвищує відповідність, але не перетворює її автоматично на одиницю.

Проєктний контур змінює співвідношення між інструментами. Для Проєкту 1 власні ресурси та обидва кредити мають $P_i = 0,786$. Для Проєкту 2 найвищу оцінку отримує грант (0,799), тоді як комерційний кредит має 0,443. Для Проєкту 3 приватний інвестор і ППП отримують 0,801 та 0,806, а власні ресурси й комерційний кредит – по 0,199, що відображає вплив поєднання масштабу, дохідності, тривалості та суспільної значущості.

Ресурсна відповідність залежить від обох профілів. У A2 та A3 вимоги щодо співфінансування й обсягу ресурсу утримують значну частину оцінок біля 0,50. У C2 вони становлять 0,786–0,806. Перехід до потреби 650 млн грн у

С3 знижує R_i власних коштів до 0,667, гранту – до 0,585; приватний інвестор і ППП зберігають понад 0,78 завдяки більшій місткості та довшому горизонту.

Для Проєкту 2 найвищу інституційно-ризикову відповідність має пільговий кредит – 0,796. Висока доступність програм підтримки й гарантійне покриття частково компенсують нижчу територіальну безпечність проєкту. Комерційний кредит у тих самих умовах отримує 0,664, а приватний інвестор – 0,611. Для Проєкту 3 високе значення I_i для ППП – 0,786 – формується через поєднання I4 = 0,85 та I5 = 0,75. Для гранту оцінка становить 0,722, а для комерційного кредиту – 0,684.

Результати чотирьох локальних підсистем особливо добре видно на прикладі сценарію В2 – підприємство середнього профілю та соціально пріоритетний проєкт (рис. 5.1).

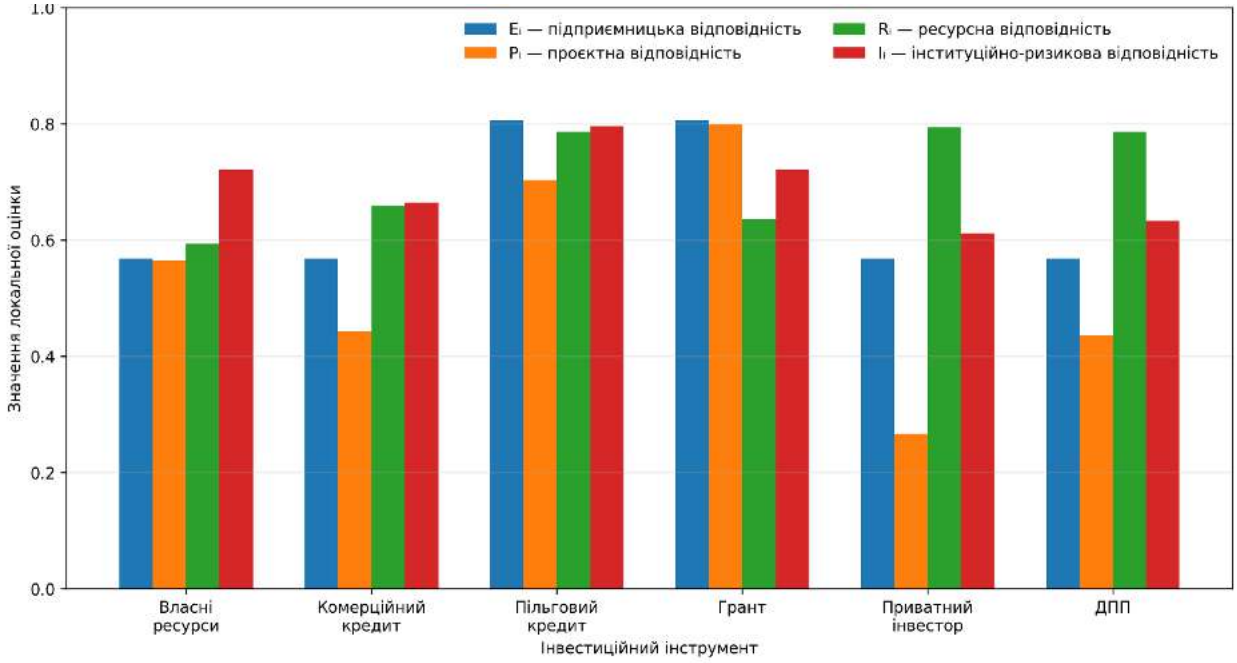

Рис. 5.1. Локальні контурні оцінки інвестиційних інструментів для сценарію В2. *Джерело: розроблено автором.*

Для пільгового кредиту в цьому сценарії отримано E_i = 0,806, P_i = 0,703, R_i = 0,786 та I_i = 0,796. Жоден із чотирьох контурів не формує вираженого обмеження. У гранту підприємницька та проєктна відповідність ще вищі – 0,806 і 0,799, але ресурсний контур знижується до 0,635 через обмежений

максимальний обсяг, вимогу співфінансування та нижчу гнучкість використання коштів.

Для приватного інвестора спостерігається інша структура: R_i = 0,794 є високим, однак P_i становить лише 0,266. Отже, слабким місцем виступає не доступність приватного ресурсу, а невідповідність самого соціально орієнтованого проєкту логіці приватного інвестування. Локальні оцінки передано до верхнього рівня ієрархічної моделі з базами правил і логікою обмеженої компенсації. Для кожного інструменту отримано дефазифіковане значення S_i у діапазоні [0; 1].

У B2 найвищі кінцеві оцінки мають пільговий кредит (0,902) та грант (0,844). Нижча ресурсна відповідність гранту пояснює його відставання, а слабка проєктна відповідність приватного інвестування обмежує кінцеве значення рівнем 0,318. Повний вектор цього сценарію наведено разом з іншими результатами в табл. 5.6. Аналогічний розрахунок виконано для всіх дев’яти базових сценарії .

Таблиця 5.6. Матриця придатності інвестиційних інструментів для базових сценаріїв

Сценарій	Власні ресурси	Комерційний кредит	Пільговий кредит	Грант	Приватний інвестор	ППП
A1	0,500	0,250	0,750	0,545	0,250	0,000
A2	0,461	0,241	0,693	0,713	0,277	0,381
A3	0,250	0,241	0,750	0,508	0,674	0,500
B1	0,900	0,900	0,907	0,804	0,250	0,000
B2	0,718	0,586	0,902	0,844	0,318	0,579
B3	0,577	0,496	0,907	0,752	0,759	0,759
C1	0,907	0,907	0,907	0,804	0,250	0,000
C2	0,858	0,807	0,902	0,904	0,318	0,602
C3	0,750	0,739	0,907	0,764	0,900	0,907

Джерело: розроблено автором

Нульове значення ППП у сценаріях A1, B1 і C1 має окреме трактування. Воно не є результатом низької нечіткої оцінки (рис. 5.2). Для Проєкту 1 ППП було визначено як формально недоступний інструмент, тобто $A_i = 0$. Тому система не виконувала для нього повне нечітке оцінювання, а кінцевий результат був встановлений на рівні 0.

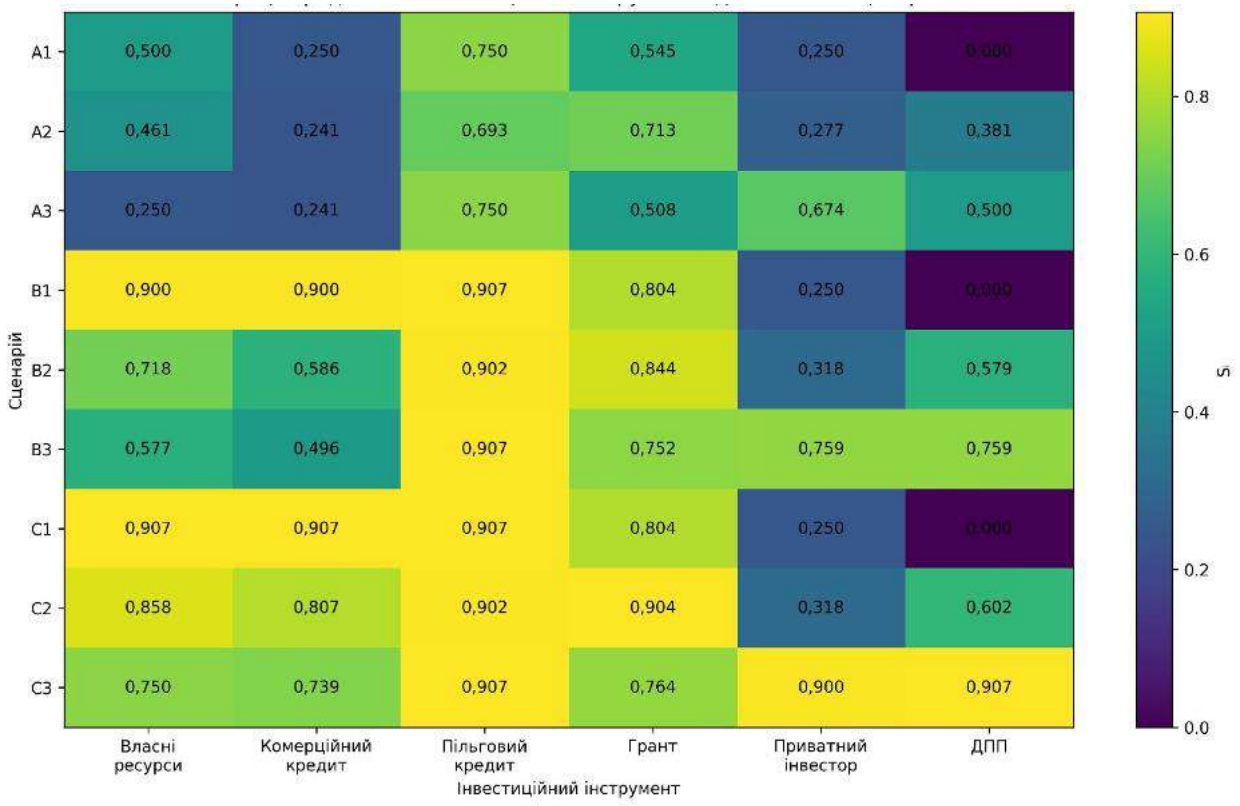

Рис. 5.2. Матриця придатності інвестиційних інструментів для базових сценаріїв. *Джерело: розроблено автором.*

Теплова карта дозволяє побачити не тільки зміну рівня S_i, а й перебудову всього вектора при переході між сценаріями. Для підприємства профілю A висока придатність концентрується переважно навколо пільгового кредитування та, залежно від проєкту, гранту або приватного інвестора. У профілях B і C кількість інструментів із високою придатністю зростає. Це означає, що розвиток внутрішньої спроможності підприємства не обов'язково приводить до одного «найкращого» джерела, а розширює множину

реалістичних альтернатив. Для порівняння впливу підприємства використано сценарії A2, B2 та C2, а для аналізу проєктних відмінностей – C1, C2 та C3.

Найбільша зміна зафіксована для комерційного кредиту. При переході від профілю A до профілю C значення S_i зростає з 0,241 до 0,807, тобто на 0,566. Причина полягає в тому, що цей інструмент найбільше залежить від характеристик самого підприємства: фінансової автономії, стабільності операційного грошового потоку, масштабу діяльності та здатності виконувати вимоги щодо власної участі.

Для власних ресурсів приріст також значний – 0,397. У профілі A можливості самофінансування обмежені, тоді як для профілю C більший обсяг внутрішніх ресурсів і вища стабільність грошових потоків дозволяють сформувати Sown = 0,858 навіть для проєкту з потребою 280 млн грн.

Інша поведінка спостерігається для пільгового кредиту. Його придатність уже для A2 становить 0,693, збільшується до 0,902 у B2 і практично не змінюється при переході до C2. Отже, після досягнення достатнього рівня внутрішньої спроможності підприємства подальше її зростання майже не впливає на результат. Обмежувальними стають уже не характеристики підприємства, а умови самого інструменту та проєкту.

Подібна, хоча менш виражена, закономірність характерна для гранту. Значення Sgrant зростає з 0,713 для A2 до 0,844 для B2 і 0,904 для C2. Таким чином, навіть підприємство з відносно слабким профілем може мати достатньо високу придатність грантового фінансування, якщо сам проєкт відповідає логіці такого інструменту. Вища управлінська та цифрово-аналітична зрілість профілів B і C додатково підвищує результат.

Приватний інвестор майже не реагує на посилення підприємства у Проєкті 2: приріст A2 → C2 становить лише 0,041. Основним обмеженням залишається проєктна відповідність P_i = 0,266, тому зміна підприємницьких характеристик не усуває невідповідності проєкту прийнятій логіці приватного інвестування (рис. 5.3).

Для ППП перехід від A2 до C2 підвищує придатність з 0,381 до 0,602. Значення збільшується на 0,221, однак залишається нижчим за пільговий кредит і грант. Для Проєкту 2 ППП формально доступне, але сам масштаб проєкту ще не створює настільки вираженої проєктної відповідності, як для Проєкту 3.

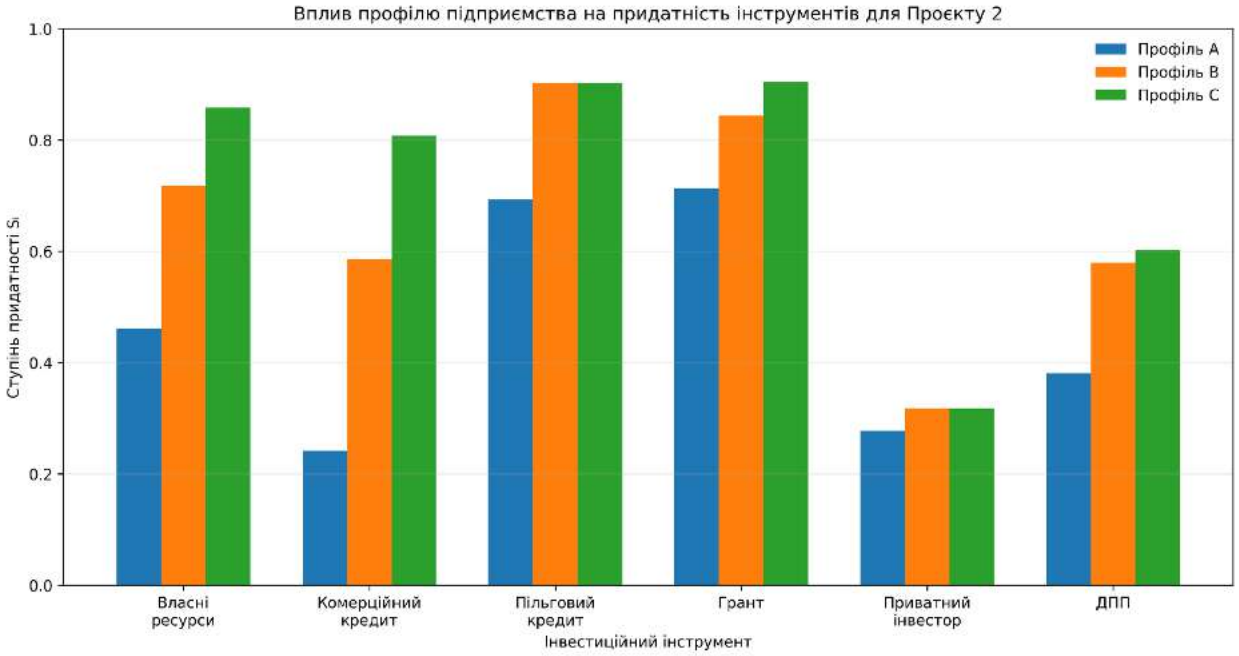

Рис. 5.3. Вплив профілю підприємства на придатність інвестиційних інструментів для Проєкту 2. *Джерело: розроблено автором.*

Другий напрям порівняння полягає у фіксації підприємства та зміні типу проєкту. Для цього доцільно використати профіль C, оскільки його підприємницький контур не створює суттєвого загального обмеження. Тому відмінності між C1, C2 та C3 значною мірою відображають саме зміну параметрів проєкту та пов'язаних із ним ресурсних і інституційних умов.

Найбільш стабільним інструментом для профілю C виявився пільговий кредит. У трьох проєктах його придатність становить 0,907; 0,902 та 0,907. Незважаючи на суттєві відмінності у капіталомісткості, тривалості та економічній результативності, прийняті умови пільгового фінансування залишаються узгодженими з усіма трьома типами проєктів. Цей результат не означає універсальної переваги пільгового кредитування. Він отриманий саме за сценарних параметрів, прийнятих у контрольному експерименті: вартості 7

%, строку 60 місяців, відносно великого доступного обсягу і сприятливих значень інституційної підтримки. Якщо ці параметри зміняться, результат також може змінитися.

Для підприємства С зі збільшенням масштабу й тривалості проєкту оцінка власних ресурсів зменшується з 0,907 до 0,750, комерційного кредиту – з 0,907 до 0,739. Внутрішня спроможність підприємства залишається високою, але ресурсні та проєктні умови стають менш сприятливими для цих інструментів. Грантове фінансування має іншу траєкторію. Для С1 Sgrant = 0,804, для С2 – 0,904, а для С3 – 0,764. Максимальне значення формується саме для Проєкту 2. Це відповідає його конфігурації: суспільна значущість і терміновість мають максимальні оцінки, а інституційні параметри передбачають високу доступність програм підтримки. Для Проєкту 3 грант залишається придатним, але його обмежений потенційний обсяг слабше відповідає потребі 650 млн грн.

Найсильнішу проєктну залежність серед доступних інструментів демонструє приватний інвестор. Його S_i збільшується з 0,250 для С1 до 0,318 для С2 і 0,900 для С3. Різниця між Проєктами 1 та 3 становить 0,650. Причина такого переходу полягає в поєднанні трьох характеристик Проєкту 3: інвестиційної потреби 650 млн грн, тривалості 48 місяців та індексу дохідності 1,28. Для малого Проєкту 1 масштаб недостатній для сформованої сценарної логіки приватного інвестування, тоді як великий і економічно результативний Проєкт 3 відповідає їй значно краще.

Ще сильніше змінюється ППП, однак тут необхідно враховувати формальний фільтр доступності. Для Проєкту 1 інструмент був виключений до запуску нечіткої системи. Для Проєкту 2 він стає доступним і отримує SPPP = 0,602, а для Проєкту 3 значення зростає до 0,907, що відповідає закладеній логіці: збільшення масштабу, тривалості та суспільної значущості створює кращі передумови для партнерської моделі (рис. 5.3).

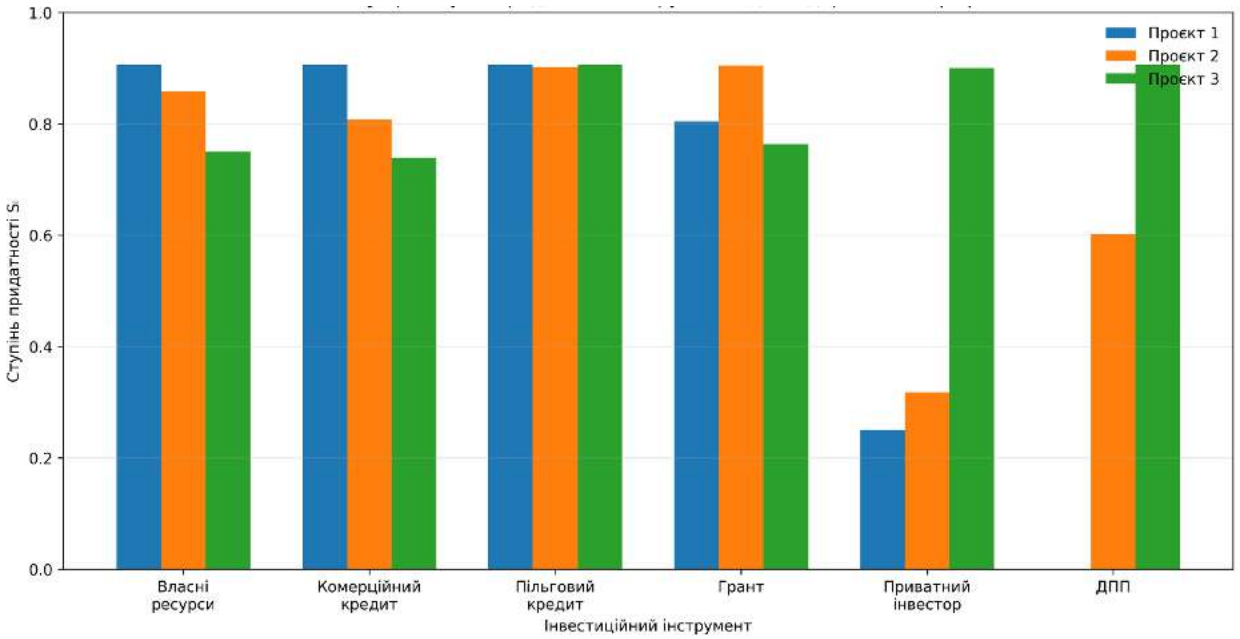

Рис. 5.4. Вплив типу проєкту на придатність інвестиційних інструментів для підприємства профілю С. *Джерело: розроблено автором.*

Порівняння С1–С3 показує, що навіть сильний профіль підприємства не формує постійного набору пріоритетних інструментів. Для невеликого Проєкту 1 найвищі значення мають власні ресурси та кредитні механізми. Для соціально пріоритетного Проєкту 2 до найвищої групи переходить грант. Для великого Проєкту 3 високими стають приватний інвестор і ППП. Для перевірки поведінки моделі між дискретними сценаріями побудовано чотири двовимірні поверхні відгуку.

Для побудови кожної поверхні дві вибрані нормовані змінні послідовно змінювалися в діапазоні від 0 до 1. Інші параметри відповідного інструменту фіксувалися на базовому робочому рівні. Такий підхід дозволяє відокремити взаємодію двох параметрів і встановити, чи формує модель очікувану нелінійну реакцію. Поверхні відгуку у цьому підрозділі не є аналізом глобальної чутливості. Їх призначення полягає у перевірці логіки функцій належності та бази нечітких правил. Глобальне оцінювання впливу параметрів на результати моделі виконується на наступних етапах дослідження із використанням імітаційних сценаріїв.

Досліджено взаємодію фінансової автономії та стабільності грошового потоку для кредиту, суспільної значущості й терміновості для гранту, дохідності й тривалості для приватного інвестора, капіталомісткості й суспільної значущості для ППП (рис. 5.5).

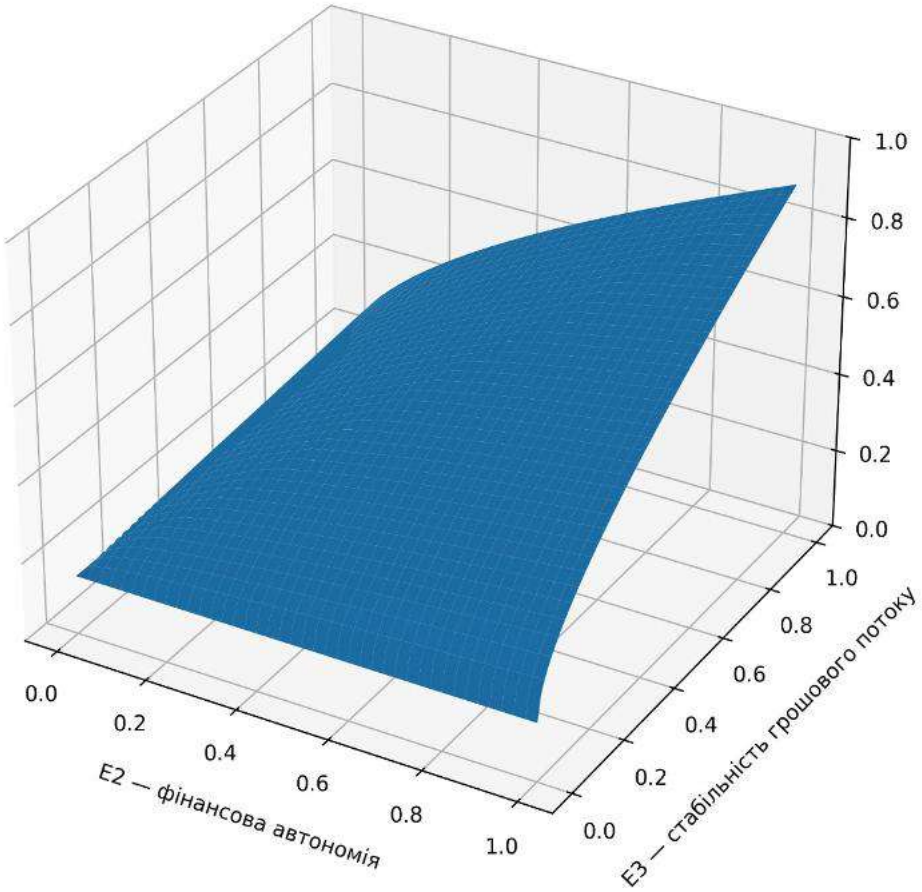

Рис. 5.5. Поверхня відгуку придатності комерційного кредиту залежно від E2 та E3. *Джерело: розроблено автором.*

Поверхня має виражений висхідний характер. За одночасно низьких значень E2 та E3 кінцева придатність кредитного інструменту залишається у низькій зоні. При E2 = E3 = 0,25 розрахункове значення становить приблизно 0,337. Перехід обох параметрів до середнього рівня збільшує S_i до 0,525, а при E2 = E3 = 0,75 – до 0,713. За високої фінансової автономії та стабільного грошового потоку значення наближається до верхньої зони – близько 0,900.

Для кредитного інструменту особливо важливо, що високий рівень одного показника не повністю компенсує низьке значення другого. Наприклад, висока фінансова автономія за нестабільного операційного грошового потоку

не переводить кредит у найвищу зону придатності. Аналогічно стабільний грошовий потік не усуває обмеження, пов’язаного з недостатньою часткою власного капіталу. Для гранту найбільш показовою є взаємодія P4 – суспільної значущості та P5 – терміновості реалізації проєкту (табл. 5.6).

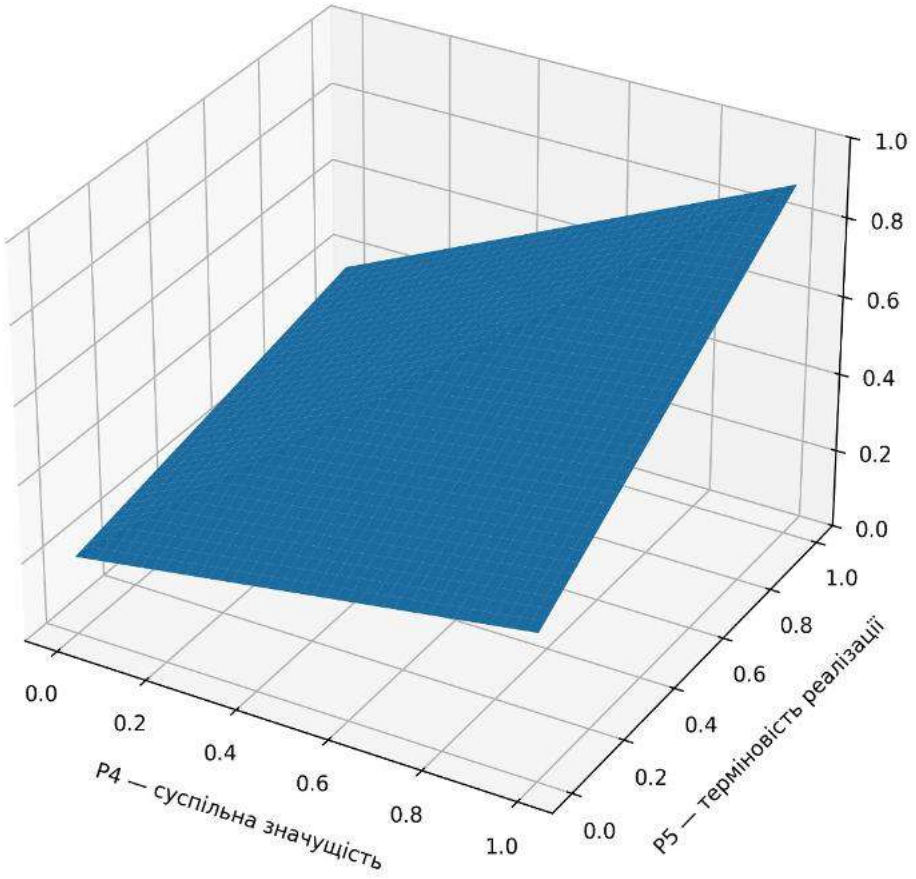

Рис. 5.6. Поверхня відгуку придатності грантового фінансування залежно від P4 та P5. *Джерело: розроблено автором.*

При P4 = P5 = 0,25 значення S_i становить близько 0,375. За середнього рівня обох характеристик воно підвищується до 0,550. При P4 = P5 = 0,75 результат досягає 0,725, а при одночасному наближенні обох показників до одиниці – приблизно 0,900. При цьому поверхня демонструє ефект взаємного підсилення. Проєкт із високою суспільною значущістю, але низькою терміновістю, отримує нижчу оцінку, ніж проєкт, який одночасно має високу суспільну значущість і потребує швидкої реалізації. Саме ця властивість пояснює високий результат гранту для Проєкту 2. Його P4 і P5 мають

максимальні значення, тому навіть відносно низький індекс дохідності не стає критичним обмеженням для цього інструменту.

Для приватного інвестування проаналізовано взаємодію P2 – економічної результативності та P3 – тривалості проєкту (рис. 5.7).

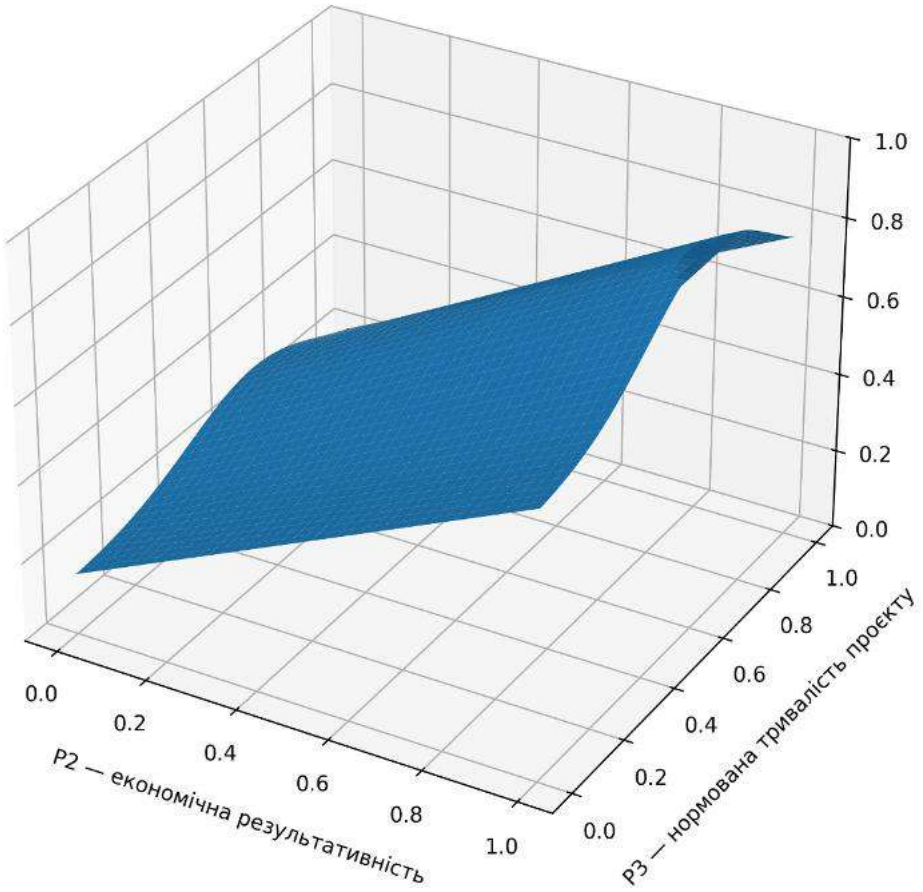

Рис. 5.7. Поверхня відгуку придатності приватного інвестування залежно від P2 та P3. *Джерело: розроблено автором.*

Економічна результативність P2 має однозначно позитивний вплив. Зі збільшенням P2 придатність приватного інвестування підвищується практично в усьому досліджуваному діапазоні. Для тривалості P3 залежність інша. Найбільш сприятливою є не максимальна, а проміжна зона. За достатньо високого P2 = 0,75 значення S_i зростає приблизно з 0,548 при P3 = 0 до 0,742 при P3 = 0,50 і досягає близько 0,783 у зоні P3 ≈ 0,65. Після цього подальше збільшення тривалості поступово знижує результат: при P3 = 1 значення становить близько 0,629. Отже, для приватного інвестора дуже короткий

проєкт може бути недостатньо масштабним або не створювати необхідного інвестиційного горизонту, а надмірно довгий – збільшувати строк повернення вкладеного капіталу та невизначеність. Саме тут перевага нечіткої моделі над простим лінійним індексом проявляється найбільш виразно. P3 не можна однозначно класифікувати як стимулятор або дестимулятор. Його економічний ефект залежить від зони значень і взаємодії з іншими характеристиками проєкту. Для ППП використано поєднання P1 – нормованої капіталомісткості та P4 – суспільної значущості проєкту (рис. 5.8).

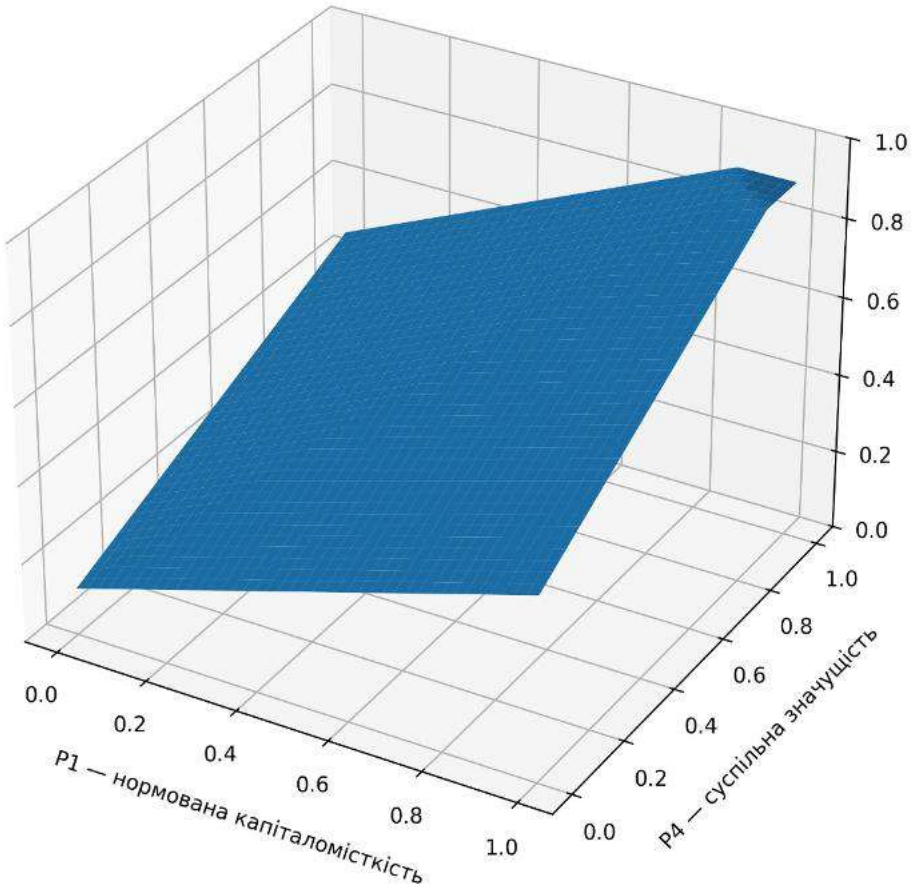

Рис. 5.8. Поверхня відгуку придатності ППП залежно від P1 та P4.

Джерело: розроблено автором.

Поверхня ППП демонструє сильну взаємодію двох параметрів. Низька капіталомісткість за високої суспільної значущості або, навпаки, великий масштаб за слабкого суспільного ефекту не формують максимальної придатності.

При P1 = P4 = 0,25 S_i становить близько 0,332. За переходу обох параметрів до 0,50 воно підвищується до 0,545, а при P1 = P4 = 0,75 – до 0,757.

Максимальна зона формується при одночасно високій капіталомісткості та суспільній значущості. За P1 = P4 = 1 результат досягає приблизно 0,907.

Така форма поверхні відповідає економічній природі ППП. Складний партнерський механізм має обмежену доцільність для невеликих проєктів, оскільки витрати на підготовку, розподіл ризиків, контрактування та довгострокове адміністрування можуть бути непропорційними масштабу інвестицій. Водночас сам по собі великий обсяг проєкту не є достатнім. Потрібна також виражена суспільна складова, яка обґрунтовує участь публічного партнера.

Для визначення множини перспективних інструментів оцінки зіставлено з інтерпретаційною шкалою. Для інтерпретації результатів використано шкалу, визначену в методичній частині: значення до 0,20 відповідають дуже низькій придатності; понад 0,20 до 0,40 – низькій; понад 0,40 до 0,60 – середній; понад 0,60 до 0,80 – високій; понад 0,80 – дуже високій.

Практичний інтерес становлять насамперед інструменти, які потрапили до високої або дуже високої зони. Саме вони можуть розглядатися як основний набір кандидатів для наступного етапу формування структури інвестиційного забезпечення (рис. 5.8.1).

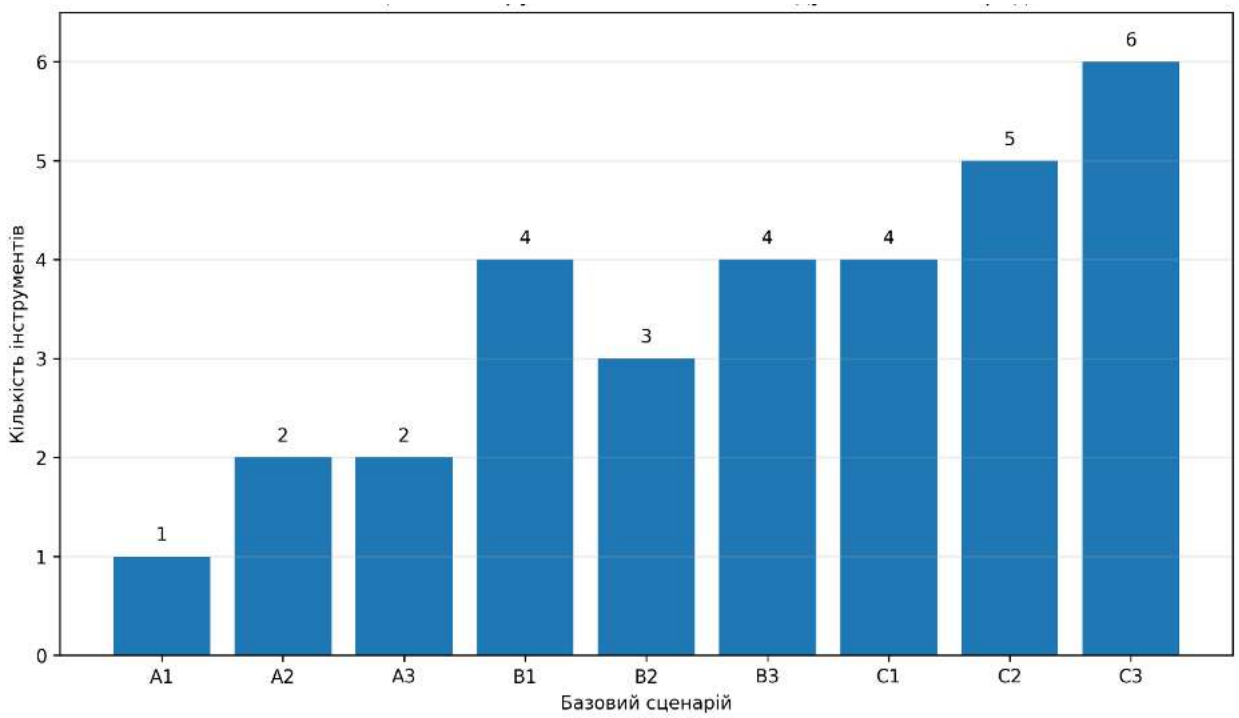

Рис. 5.8.1 Кількість інвестиційних інструментів із високою або дуже високою придатністю у базових сценаріях. *Джерело: розроблено автором.*

Кількість інструментів із високою або дуже високою придатністю становить 1–2 для сценаріїв підприємства A, 3–4 для B та 4–6 для C (рис. 5.8.1). Підвищення внутрішньої спроможності розширює множину альтернатив, а проєктні умови визначають її склад. У C2 п’ять інструментів належать до високої або дуже високої зони, з них чотири – до дуже високої.

Оцінки S_i характеризують придатність, а не частки фінансування; їх сума не повинна дорівнювати одиниці. Відібрані альтернативи передаються до наступної оптимізаційної задачі, де частки визначаються з урахуванням доступних обсягів, вартості, строків, ризиків, співфінансування та взаємодії джерел. Завершальна перевірка охоплює граничні комбінації локальних оцінок, близькість найвищих результатів і чутливість рангових позицій до малих збурень кінцевих S_i.

Перша перевірка виконувалася для верхнього рівня нечіткої системи. На його входи подавалися контрольні комбінації локальних оцінок E_i, P_i, R_i та I_i, що відповідали низькому, середньому та високому станам (табл. 5.7). Для

тестування використовувалися репрезентативні числові значення 0,10; 0,50 та 0,90.

Таблиця 5.7. Результати перевірки граничних комбінацій локальних контурів.

Комбінація	Характеристика стану	S_i	Інтерпретація
LLLL	усі чотири контури низькі	0,093	дуже низька придатність
MMMM	усі контури середні	0,500	середня придатність
HHHH	усі контури високі	0,907	дуже висока придатність
LHHH	один слабкий, три високі	0,500	середня придатність
LLHH	два слабкі, два високі	0,093	дуже низька придатність
MHHH	один середній, три високі	0,750	висока придатність
LMHH	один низький, один середній, два високі	0,500	середня придатність

Джерело: розроблено автором

Позначення L, M і H відповідають низькому, середньому та високому станам локальних контурів. Крайні сценарії LLLL та HHHH дали результати 0,093 і 0,907 відповідно. Таким чином, модель використовує практично весь робочий діапазон вихідної змінної, але через застосування дефазифікації за методом центру ваги не формує строго 0 або 1. Це узгоджується з параметрами крайніх функцій належності «дуже низька» та «дуже висока».

Комбінація MMMM формує $S_i = 0,500$, що відповідає центру середньої зони. Отже, при відсутності виражених переваг або критичних обмежень модель не зміщує результат штучно в позитивний або негативний бік.

Особливо важливим є сценарій LHHH. Незважаючи на три високі контурні оцінки, один низький контур обмежує кінцеве значення рівнем 0,500. Це підтверджує реалізацію принципу обмеженої компенсації. Критична

слабкість одного напряму не може повністю компенсуватися сприятливим станом усіх інших.

Ще сильніше цей ефект проявляється для LLHH. Два низькі контури переводять S_i до 0,093, незважаючи на високі значення двох інших. Таким чином, верхній рівень нечіткої системи не працює як звичайне арифметичне середнє. За лінійного усереднення комбінація 0,10; 0,10; 0,90; 0,90 дала б результат 0,50, тоді як нечітка система класифікує її як суттєво несприятливу.

Для дев'яти базових сценаріїв визначено розрив між двома найвищими оцінками та частку повторень, у яких зберігається номінальний лідер після збурення кінцевих S_i (табл. 5.8). Додатково виконано діагностичну перевірку стійкості формального лідера. До кожної кінцевої оцінки S_i випадково додавалося невелике збурення в інтервалі ±0,03. Для кожного сценарію було проведено 100 000 повторень. Формально недоступні інструменти залишалися недоступними. Цей діагностичний тест оцінює чутливість ранжування до зміни готових S_i. Він не є імовірнісним прогнозом і не перевіряє стійкість нечіткого виведення до збурень вхідних параметрів, функцій належності чи бази правил. Для цього потрібний окремий аналіз чутливості.

Таблиця 5.8. Розрив між найвищими оцінками та стійкість номінального лідера.

Сценарій	Найвище S_i	Друге значення	Різниця	Частка збереження номінального лідера
A1	0,750	0,545	0,205	1,000
A2	0,713	0,693	0,020	0,779
A3	0,750	0,674	0,076	1,000
B1	0,907	0,900	0,007	0,451
B2	0,902	0,844	0,058	0,999

B3	0,907	0,759	0,148	1,000
C1	0,907	0,907	0,000	0,333
C2	0,904	0,902	0,002	0,529
C3	0,907	0,907	0,000	0,387

Джерело: розроблено автором

У A2 грант має $S_i = 0,713$, а пільговий кредит – 0,693. Різниця лише 0,020, тому обидва інструменти доцільно розглядати як практично близькі за рівнем придатності. Ще показовішим є C2: грант має 0,904, пільговий кредит – 0,902. Різниця становить лише 0,002. Інтерпретувати грант як економічно кращий варіант на підставі такої різниці методично неправильно.

У C1 декілька інструментів фактично мають однаковий максимальний результат, а у C3 однакове $S_i = 0,907$ отримали пільговий кредит і ППП, тоді як приватний інвестор має 0,900. Відмінність між трьома альтернативами настільки мала, що нечіткий етап повинен трактувати їх як групу високопридатних інструментів.

Сценарії A1, A3, B2 та B3 демонструють високу стійкість положення формального лідера. Для A1, A3 та B3 він зберігався фактично в усіх тестових реалізаціях. Для B2 частка становила 0,999. Інша ситуація спостерігається у B1, C1, C2 та C3. Для B1 частка збереження конкретного номінального лідера становить лише 0,451. Це не свідчить про нестійкість самої моделі. Причина полягає в тому, що декілька інструментів мають практично однакові оцінки 0,900–0,907.

Низька стійкість рангового місця у цих сценаріях не означає низької стійкості економічного висновку. Економічний висновок залишається стабільним: модель виділяє декілька приблизно рівнозначних високопридатних інструментів. Окремо перевірено близькість отриманих значень до меж інтерпретаційних зон 0,20; 0,40; 0,60 та 0,80. Особливого контролю потребують значення, розташовані ближче ніж на 0,03 до однієї з меж. Такі значення не слід інтерпретувати категорично. Наприклад, ППП у C2

має $S_i = 0{,}602$ і формально належить до високої зони. Однак від межі 0,60 його відділяє лише 0,002. Тому економічно коректніше говорити про перехід між середньою та високою придатністю, а не про однозначно високий результат. Аналогічно грант у B1 та C1 має $S_i = 0{,}804$. Формально це вже дуже висока придатність, але різниця від межі 0,80 становить лише 0,004. Змістовно таке значення практично не відрізняється від 0,796 або 0,799.

Результат підтверджує, що інтервали придатності необхідні насамперед для зручності представлення результатів. Вони не повинні перетворювати безперервну нечітку оцінку на жорстку класифікацію. Проведені перевірки показали економічно інтерпретовану реакцію моделі на контрольних профілях. Граничні комбінації відтворюють обмежену компенсацію між контурами, а поверхні відгуку – різний характер впливу параметрів залежно від інструменту.

Зміна першої позиції при збуренні кінцевих оцінок переважно спостерігається за початкової близькості альтернатив. Тому результат доцільно передавати до оптимізаційного етапу як вектор придатності та множину перспективних інструментів, уникаючи категоричного вибору за незначною різницею S_i.

5.2. Імітаційно-предиктивне оцінювання придатності інвестиційних інструментів будівельного підприємства.

Практична реалізація імітаційно-предиктивної моделі розпочинається з формування синтетичного набору даних на основі Mamdani FIS. На попередньому етапі було встановлено, що нечітка модель дозволяє диференціювати придатність шести інвестиційних інструментів залежно від поєднання характеристик будівельного підприємства, параметрів проєкту, умов залучення фінансових ресурсів та інституційно-ризикового середовища. Для контрольної перевірки моделі використовувалися дев’ять сценаріїв A1–C3, сформованих як поєднання трьох типів підприємств і трьох типів проєктів.

Вхідний простір синтетичного датасету включає 20 первинних показників, об’єднаних у чотири контури.

Усі первинні показники використовуються у нормованій шкалі від 0 до 1, що відповідає області визначення вхідних змінних нечіткої моделі. Це дозволяє без додаткового перетворення передавати кожну згенеровану конфігурацію безпосередньо до FIS.

П’ять показників підприємницького контуру формують локальну оцінку E, п’ять проєктних показників – P, п’ять інвестиційно-ресурсних – R, а п’ять інституційно-ризикових – I. На верхньому рівні чотири локальні оцінки використовуються для визначення придатності кожного інвестиційного інструменту окремо. Таким чином, для однієї конфігурації з 20 вхідних параметрів формується шість вихідних значень придатності.

Цільові змінні синтетичного датасету відповідають шести інвестиційним інструментам:

- S1 – власні ресурси;
- S2 – комерційний кредит;
- S3 – пільговий кредит;
- S4 – грантове фінансування;
- S5 – приватний інвестор;
- S6 – публічно-приватне партнерство.

Один рядок майбутнього набору даних містить 20 факторних характеристик та 6 цільових змінних. Додатково доцільно зберігати технічний ідентифікатор сценарію, який не використовується під час навчання ML, але дозволяє відтворити будь-яке конкретне спостереження та повторно перевірити його через вихідну FIS (табл. 5.11). Генерація сценаріїв має здійснюватися в межах тих самих шкал, які застосовувалися в Fuzzy Logic. На першому етапі кожний із 20 показників отримує значення в допустимому діапазоні [0;1]. Після цього сформована конфігурація проходить через чотири локальні FIS, а їх результати – через верхній рівень нечіткого оцінювання для

кожного з шести інвестиційних інструментів, що повторюється для всієї множини Монте Карло-сценаріїв.

Таблиця 5.11. Структура одного спостереження синтетичного датасету

Блок	Змінні	Кількість полів
Ідентифікатор	Scenario_ID	1
Підприємницький контур	E1–E5	5
Проєктний контур	P1–P5	5
Інвестиційно-ресурсний контур	R1–R5	5
Інституційно-ризиковий контур	I1–I5	5
Придатність інвестиційних інструментів	S1–S6	6
Разом		27

Джерело: розроблено автором

На цьому етапі важливо не змішувати сценарії, сформовані для ML, з дев’ятьма контрольними сценаріями A1–C3. Останні вже мають конкретну економічну інтерпретацію та відомі виходи FIS, тому їх доцільно зберегти поза основною навчальною вибіркою. Після побудови сурогатні-моделі вони можуть бути повторно подані на її вхід і використані для прямого порівняння прогнозів ML з результатами Fuzzy Logic. Такий підхід створює додатковий, змістовно зрозумілий контроль поряд зі стандартним тестовий набір.

При формуванні масиву Монте Карло необхідно також контролювати розподіл значень 20 вхідних змінних. Якщо використовувати повністю незалежне випадкове генерування, теоретично можуть виникати комбінації, які формально потрапляють у діапазон [0;1], але є малоймовірними або економічно суперечливими. Тому після генерації має виконуватися перевірка допустимості сценаріїв відповідно до логічних обмежень, закладених у модель.

Після генерації кожної партії даних необхідно провести технічний контроль. Перевіряються:

- відсутність пропущених або невизначених значень;
- перебування всіх E1–I5 у допустимому діапазоні;
- перебування S1–S6 у межах [0;1];
- відсутність технічних дублікатів;
- представленість низьких, середніх і високих значень кожного S_i;
- наявність достатньої кількості крайових сценаріїв.

Особливо важливим є останній пункт. Для звичайної прогнозної моделі основна увага часто приділяється найбільш типовій області спостережень. У цьому дослідженні ML-сурогати надалі використовуватиметься в оптимізації, тому модель повинна достатньо добре знати також області, близькі до меж допустимого простору. Саме там можуть формуватися частина майбутніх Парето-ефективних рішень. Після завершення генерації кінцевий набір даних доцільно зберігати у двох формах. Перший масив містить повний датасет з Scenario_ID, 20 вхідними змінними та шістьма результатами FIS. Другий використовується безпосередньо для ML і містить лише факторну матрицю E1–I5 та цільову матрицю S1–S6. Таке розділення спрощує подальше навчання і одночасно забезпечує можливість повернутися до будь-якого конкретного сценарію.

З методологічного погляду сформована вибірка є імітаційною, а не емпіричною. Тому статистичні характеристики S1–S6, які будуть отримані на наступному етапі, описуватимуть поведінку Mamdani FIS у заданому сценарному просторі. Вони не повинні інтерпретуватися як фактичний розподіл використання певних джерел фінансування серед будівельних підприємств.

Для формування інформаційної бази машинного навчання було згенеровано 30 000 сценаріїв методом Latin Hypercube Sampling у межах імітаційного експерименту Монте Карло. Кожний сценарій містив 20 нормованих вхідних показників підприємницького, проєктного, інвестиційно-

ресурсного та інституційно-ризикового контурів. Використання LHS забезпечило практично рівномірне покриття кожної з 20 координат сценарного простору. Середні значення всіх вхідних показників становили практично 0,5000, а стандартні відхилення – 0,28868, що відповідає характеристикам рівномірного розподілу на інтервалі [0;1]. Мінімальні та максимальні значення кожної змінної розташовувалися безпосередньо поблизу меж 0 та 1. Пропущених значень і дублікатів сценаріїв у сформованому масиві не виявлено. Після проходження 30 000 сценаріїв через FIS отримано 180 000 кінцевих оцінок придатності. Основні статистичні характеристики наведено в табл. 5.12.

Таблиця 5.12. Описові статистики оцінок придатності інвестиційних інструментів.

Показник	Min	Q1	Медіана	Середнє	Q3	Max	SD
S1	0,0926	0,3352	0,4691	0,4680	0,5993	0,9074	0,1781
S2	0,0926	0,2500	0,3941	0,4230	0,5465	0,9074	0,1814
S3	0,0926	0,4140	0,5385	0,5348	0,6776	0,9074	0,1787
S4	0,0926	0,2700	0,4347	0,4441	0,5994	0,9074	0,2029
S5	0,0926	0,2500	0,3442	0,4081	0,5391	0,9074	0,1913
S6	0,0926	0,2500	0,3645	0,3856	0,5000	0,9074	0,1725

Джерело: розроблено автором

Отримані результати показують достатню варіативність усіх шести цільових змінних. Найбільше середнє значення у сформованому сценарному просторі отримано для S_3– 0,5348, найменше – для S_6, 0,3856. Для S_1, S_2, S_4та S_5середні значення становили відповідно 0,4680; 0,4230; 0,4441 та 0,4081. Водночас ці показники не характеризують фактичну поширеність або загальну перевагу певного інвестиційного інструменту. Вони відображають реакцію FIS на рівномірно досліджений простір допустимих параметрів.

Однакові крайні значення 0,0926 та 0,9074 для всіх шести виходів мають структурне походження. Вони визначаються формою кінцевих функцій належності та дефазифікацією. Тому відсутність значень, близьких безпосередньо до 0 та 1, не свідчить про недостатнє покриття сценарного простору. Значення $S_i=0$виникає окремо лише у випадку формальної недоступності інструменту $A_i=0$, а в поточному синтетичному датасеті цей логічний фільтр навмисно не застосовувався.

Розподіли виходів суттєво відрізняються між інструментами. Найбільше стандартне відхилення встановлено для S_4– 0,2029, що свідчить про більш виражену реакцію придатності цього інструменту на зміну параметрів сценарію. Для S_6стандартне відхилення було найменшим – 0,1725. Проте в усіх випадках варіативність є достатньою для постановки регресійної задачі машинного навчання.

Графічне порівняння розподілів наведено на рис. 5.9.

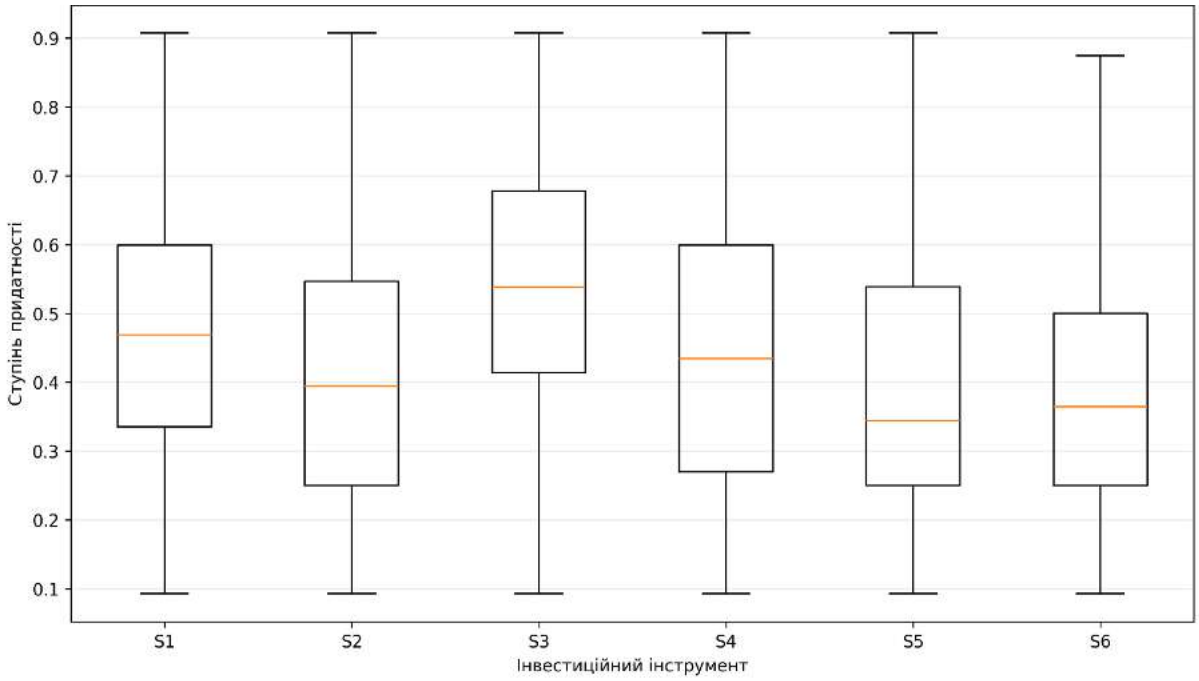

Рис. 5.9. Розподіл оцінок придатності інвестиційних інструментів.
Джерело: розроблено автором.

Якщо віднести кожне отримане значення до того лінгвістичного терма кінцевої FIS, для якого функція належності є максимальною, також не спостерігається концентрації всіх результатів лише в одній області. Наприклад,

для $S_3$45,72 % результатів належать переважно до Medium, 33,45 % – до High, 16,67 % – до Low. Для S_5, навпаки, домінує Low – 51,82 %, тоді як Medium становить 29,34 %. Це додатково підтверджує, що різні виходи FIS мають неоднакову структуру і створюють змістовну задачу для сурогатне-моделювання.

Наступним етапом було оцінено взаємозв'язки між шістьма вихідними показниками (табл. 5.13). Найбільш виражений зв'язок встановлено між S_1та S_2, для яких коефіцієнт кореляції становить 0,754. Досить сильний зв'язок також спостерігається між S_3та S_4– 0,714. Кореляції S_4-S_6та S_3-S_6становлять відповідно 0,551 та 0,540. Найменше лінійне узгодження виявлено для пари S_4-S_5– 0,207.

Таблиця 5.13. Кореляції між вихідними оцінками FIS

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	1,000	0,754	0,458	0,382	0,317	0,272
S2	0,754	1,000	0,462	0,379	0,359	0,338
S3	0,458	0,462	1,000	0,714	0,396	0,540
S4	0,382	0,379	0,714	1,000	0,207	0,551
S5	0,317	0,359	0,396	0,207	1,000	0,497
S6	0,272	0,338	0,540	0,551	0,497	1,000

Джерело: розроблено автором

Виявлені взаємозв'язки створюють підстави для експериментальної перевірки регресія з кількома виходами, оскільки окремі виходи мають спільну структуру варіації (рис. 5.9.1). Водночас кореляції не є настільки високими, щоб наперед відмовлятися від окремих моделей для кожного S_i. Остаточний вибір між двома архітектурами повинен визначатися за результатами ML-експерименту.

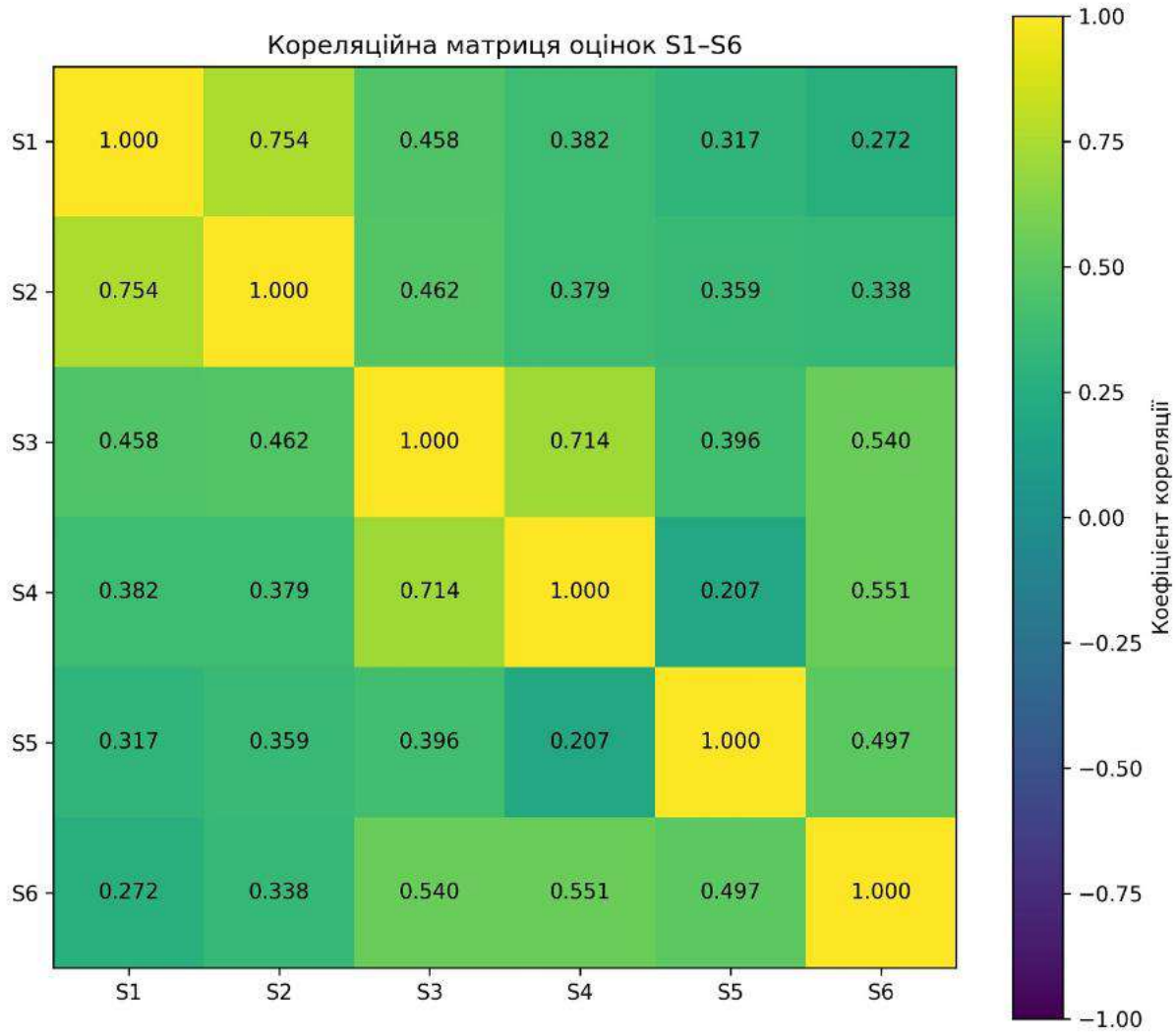

Рис. 5.9.1. Кореляційна матриця оцінок S1-S6. *Джерело: розроблено автором.*

Попередній аналіз зв'язків між 20 вхідними показниками та виходами також показав різну структуру формування окремих S_i. Для S_1найбільша лінійна кореляція спостерігалася з R_1– 0,414; для S_2– з E_3, 0,315; для S_3– з P_5, 0,428; для S_4– з I_4, 0,530; для S_5– з P_1і P_2, відповідно 0,447 та 0,444; для S_6– з P_1, 0,404. Ці результати мають попередній характер, оскільки кореляція відображає лише переважно лінійну складову залежності (рис. 5.10).

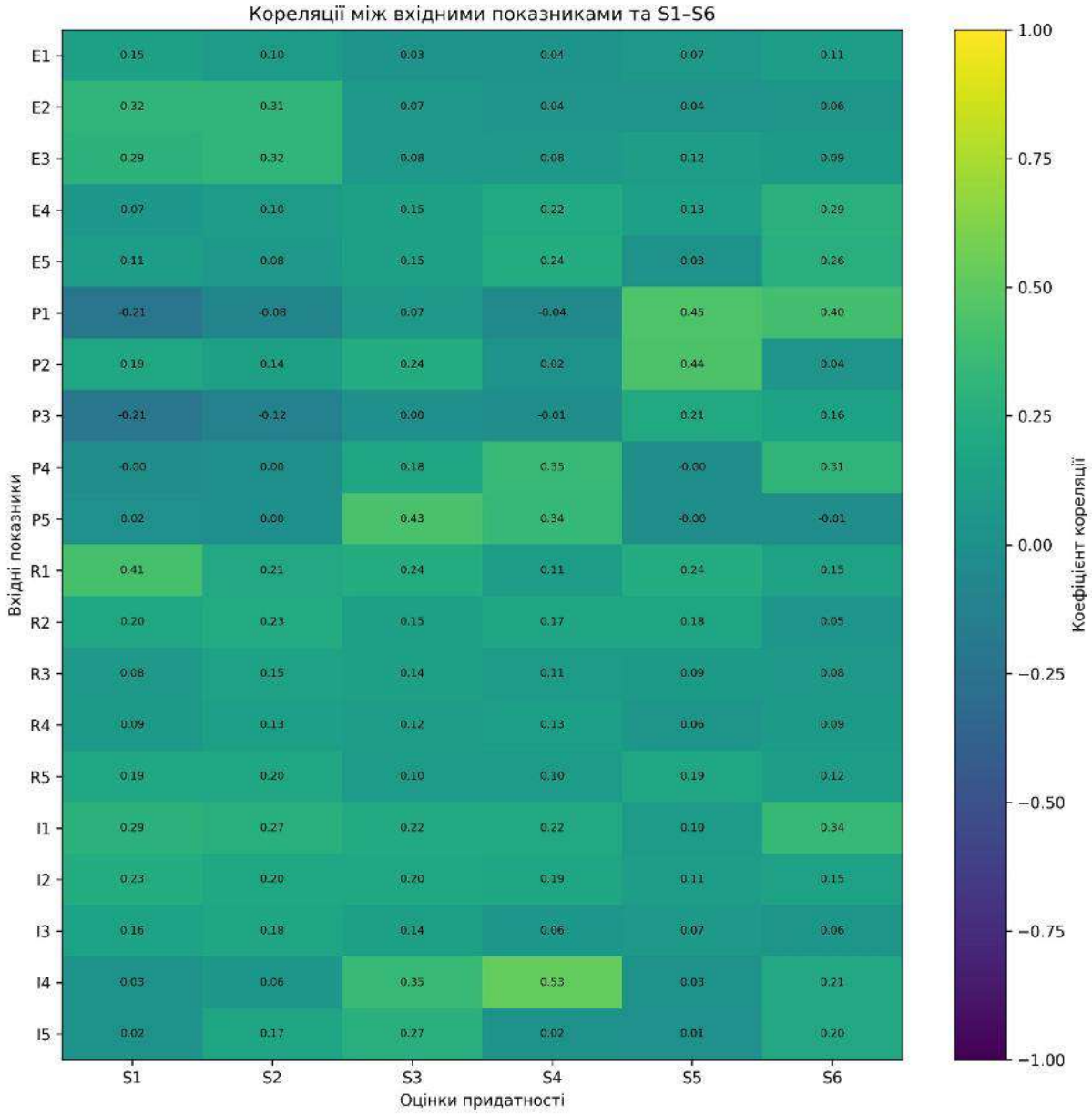

Рис. 5.10. Кореляції між вхідними показниками та S1-S6.

Джерело: розроблено автором.

Для додаткової перевірки достатності обсягу даних було проаналізовано стабільність середніх значень виходів на послідовних підвибірках. Уже для 5 000 сценаріїв максимальна абсолютна різниця середнього значення серед шести виходів порівняно з повною вибіркою 30 000 становила лише 0,00163. Для 10 000 сценаріїв вона не перевищувала 0,00162, а для 25 000 – 0,00042. Отже, статистична структура виходів стабілізується значно раніше досягнення

повного обсягу вибірки, а використання 30 000 сценаріїв забезпечує достатній запас для подальшого машинного навчання (рис. 5.11).

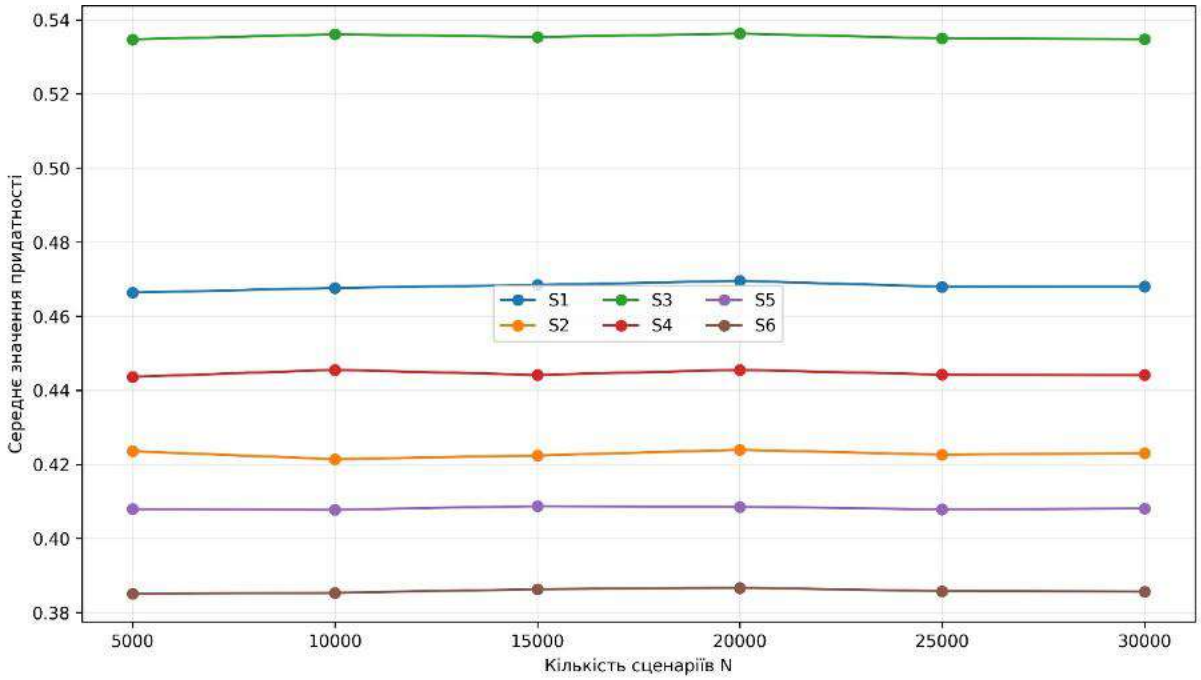

Рисунок 5.11. Стабілізація середніх значень S1-S6 зі збільшенням вибірки. *Джерело: розроблено автором.*

Сформований синтетичний датасет відповідає основним вимогам для переходу до ML: він не містить технічних пропусків або дублікатів, рівномірно охоплює 20-вимірний вхідний простір, забезпечує достатню варіативність усіх шести цільових показників і демонструє стабільні статистичні характеристики при збільшенні кількості сценаріїв. Отримані результати дозволяють перейти до формування навчальної, валідаційної та тестової вибірок і порівняльного навчання альтернативних сурогатні-моделей.

Після перевірки структури та статистичних властивостей синтетичний датасет було виконано його поділ на навчальну, валідаційну та тестову частини. Для всіх алгоритмів використовувався один і той самий набір сценаріїв, що забезпечує коректність подальшого порівняння моделей.

Із загальних 30 000 спостережень 21 000 сценаріїв, або 70 %, було віднесено до навчальної вибірки. Валідаційна та тестова вибірки містили по 4 500 сценаріїв, тобто по 15 %. Поділ здійснювався з фіксованим початковим станом генератора випадкових чисел, що забезпечує повну відтворюваність експерименту (табл. 5.14).

Таблиця 5.14. Структура поділу синтетичного датасету

Вибірка	Кількість сценаріїв	Частка, %	Функція
Навчальна	21 000	70	навчання параметрів моделей
Валідаційна	4 500	15	контроль налаштування та вибір конфігурації
Тестова	4 500	15	незалежна внутрішня оцінка
Разом	30 000	100	–

На першому етапі порівняння було використано архітектуру окремих регресорів для кожного з шести виходів S1–S6. Така постановка забезпечує однакові умови для всіх п’яти алгоритмів і дозволяє не змішувати вплив типу ML-алгоритму. Для кожного алгоритму фактично навчалося шість моделей однакового типу, кожна з яких прогнозувала придатність одного інвестиційного інструменту.

До порівняння включено Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, CatBoost та багатошаровий перцептрон MLP. На цьому етапі використовувалися базові робочі конфігурації моделей. Тому отримані результати слід трактувати як первинне порівняння класів алгоритмів, а не як остаточний результат після повного налаштування гіперпараметрів.

Для Random Forest було використано 40 дерев з максимальною глибиною 14. XGBoost навчався на 180 boosting-ітераціях із часом навчання 0,06 та максимальною глибиною дерева 5. CatBoost використовував 220 ітерацій, час

навчання 0,06 та глибину 6. Для MLP застосовано два приховані шари на 64 і 32 нейрони з попередньою стандартизацією вхідних параметрів та механізмом ранньої зупинки. Gradient Boosting на первинному етапі використовував компактнішу конфігурацію з 50 деревами, що дозволило оцінити його базову здатність відтворювати структуру FIS.

Результати первинного тестування наведено в табл. 5.15.

Таблиця 5.15. Порівняння альтернативних ML-моделей на тестовій вибірці

Модель	Середнє R^2	Мінімальне R^2	Середній RMSE	Максимальний RMSE	Середній MAE
XGBoost	0,8648	0,8198	0,0680	0,0777	0,0530
CatBoost	0,8630	0,8020	0,0684	0,0814	0,0534
MLP	0,8276	0,7790	0,0768	0,0860	0,0593
Random Forest	0,7937	0,7569	0,0838	0,0889	0,0643
Gradient Boosting	0,5182	0,4286	0,1287	0,1383	0,1049

Уже на первинному етапі спостерігається чітка диференціація алгоритмів. Найкращі середні результати отримано для XGBoost та CatBoost. Їх середні значення R^2 практично однакові – 0,8648 та 0,8630 відповідно. Середній RMSE також відрізняється незначно: 0,0680 для XGBoost та 0,0684 для CatBoost.

Така близькість результатів означає, що на цьому етапі немає підстав остаточно визначати одну з двох моделей як фінальну. Необхідне подальше налаштування гіперпараметрів та перевірка стабільності, оскільки невелика перевага однієї конфігурації може бути пов’язана з конкретним набором параметрів, а не принциповою перевагою алгоритму.

MLP продемонстрував дещо нижчу, але також достатньо високу точність. Середнє значення R^2 становило 0,8276, RMSE – 0,0768. Отже, нейромережева модель також здатна апроксимувати нелінійну структуру FIS, проте за базової конфігурації поступається двом boosting-алгоритмам.

Для Random Forest середнє R^2 становило 0,7937. Водночас аналіз навчальних і тестових метрик показав більш виражений розрив між навчальною та тестовою похибкою. Середній RMSE на навчальний набір становив 0,0355, тоді як на тестовий набір зростав до 0,0838. Різниця 0,0483 є значно більшою, ніж для інших моделей, і вказує на схильність цієї конфігурації Random Forest до перенавчання.

Для порівняння, відповідний розрив для XGBoost становив 0,0109, для CatBoost – лише 0,0037, а для MLP – 0,0130. CatBoost таким чином продемонстрував не лише високу тестову точність, але й найбільш близькі результати між навчальною та тестовою вибірками серед трьох моделей-лідерів.

Gradient Boosting у використаній первинній конфігурації показав суттєво нижчу точність: середнє R^2 становило 0,5182. При цьому розрив між навчальною і тестової похибками був малим, що свідчить не про перенавчання, а радше про недостатню складність базової конфігурації. Тому виключати цей алгоритм лише за результатами первинного запуску недоцільно. На наступному етапі для нього необхідно перевірити більшу кількість дерев, інші значення часу навчання та глибини базових моделей.

Більш детальний аналіз за окремими інвестиційними інструментами підтверджує загальну перевагу boosting-моделей. Найскладнішим для прогнозування виявився вихід S2. Для XGBoost його R^2 становив 0,8198, для CatBoost – 0,8020, для MLP – 0,7790. Така повторюваність для різних алгоритмів свідчить, що причина, ймовірно, полягає не лише у конкретному ML-методі, а й у більш складній структурі залежності S2 від параметрів чотирьох контурів.

Натомість для S4–S6 boosting-моделі забезпечили більш високу точність. Максимальне тестове значення R^2 серед первинних моделей отримано CatBoost для S4 – 0,8938, тоді як XGBoost для цього виходу забезпечив 0,8899.

Графічне порівняння точності за всіма шістьма виходами наведено на рис. 5.11.1.

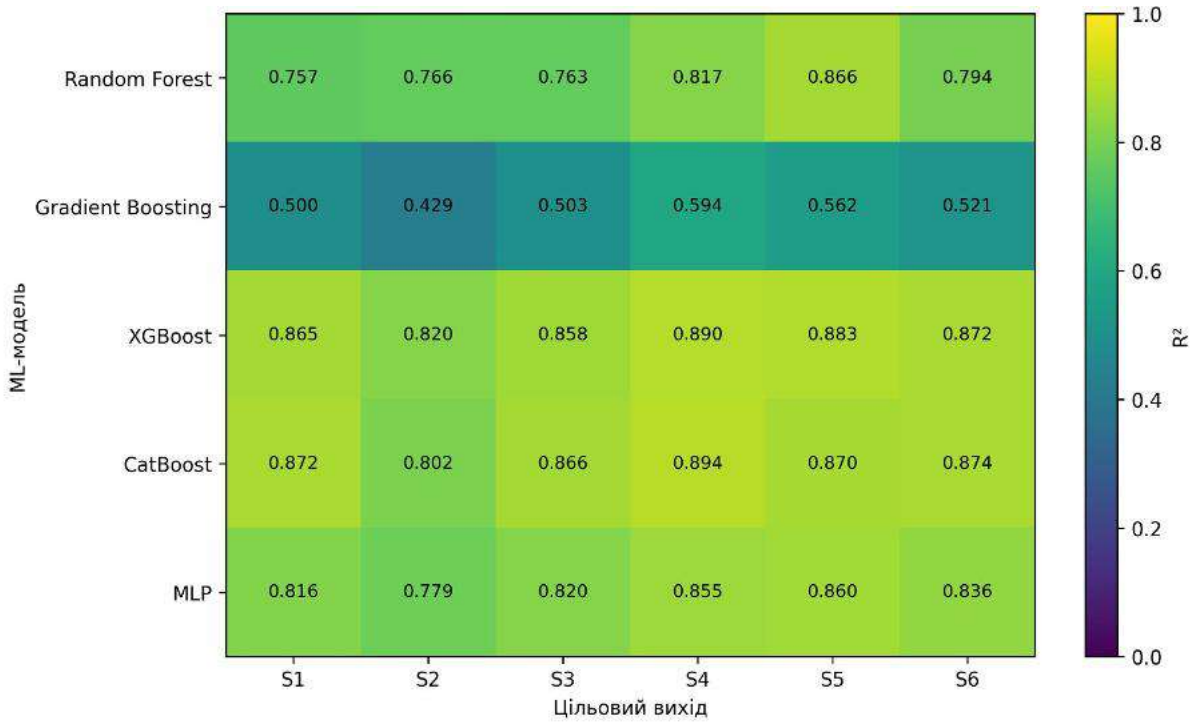

Рис. 5.11.1. Тестові значення R^2 для моделей та S1–S6.

Джерело: розроблено автором.

Середню тестову похибку моделей доцільно додатково представити окремо (рис. 5.12).

Окремо було перевірено дотримання теоретичного діапазону вихідних значень. Random Forest, Gradient Boosting та MLP у тестовій вибірці не сформували прогнозів за межами [0;1]. Для XGBoost виявлено 14 таких випадків серед 27 000 прогнозованих значень, для CatBoost – 8 випадків. Їх частка є дуже малою – приблизно 0,05 % та 0,03 % відповідно, проте цей результат необхідно врахувати під час остаточного налаштування моделей. Для фінальної сурогатної-моделі доцільно або усунути такі випадки через параметризацію, або застосувати контроль вихідного діапазону.

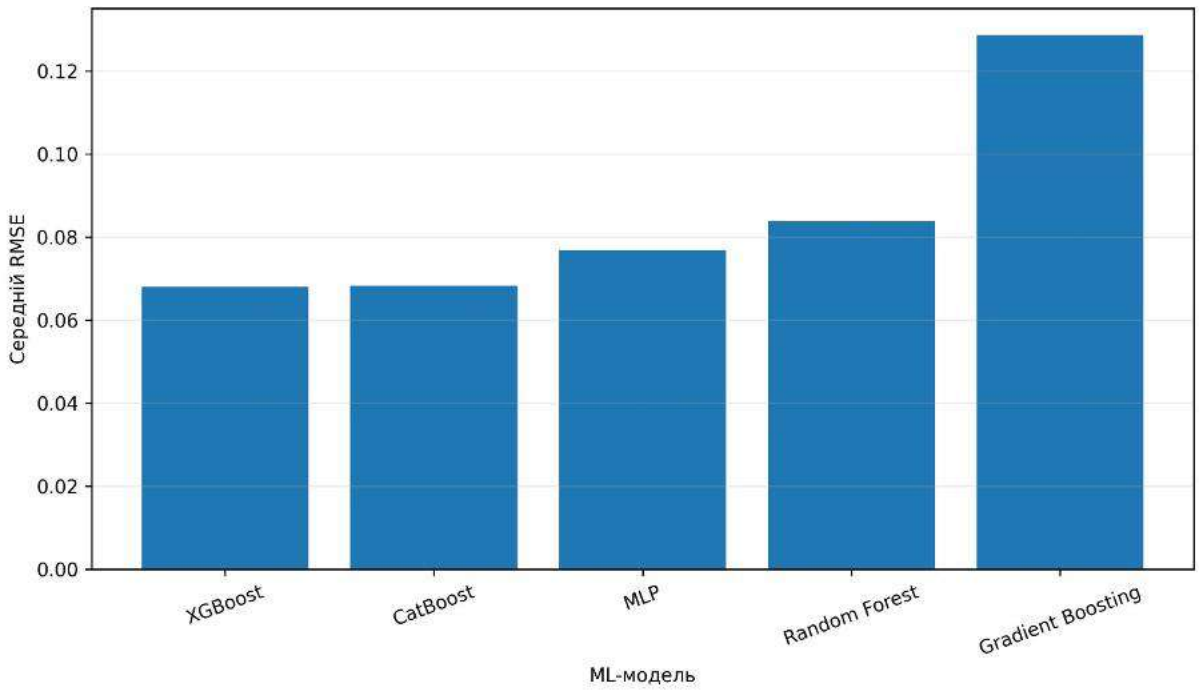

Рис. 5.12. Середній RMSE альтернативних ML-моделей.
Джерело: розроблено автором.

Важливим результатом первинного експерименту є те, що жодна з моделей-лідерів не демонструє майже ідеального відтворення FIS. Це означає, що задача апроксимації не є тривіальною навіть для синтетичний датасет. Значення R^2 близько 0,86 показують високу, але не повну відповідність. Отже, подальше налаштування моделей, аналіз помилок і перевірка крайових сценаріїв є методологічно необхідними, а не формальною процедурою.

На цьому етапі найбільш перспективними моделями є XGBoost та CatBoost, тоді як MLP доцільно залишити як сильну альтернативу з принципово іншою архітектурою. Random Forest потребує більш жорсткого контролю складності через ознаки перенавчання, а Gradient Boosting – навпаки, складнішої конфігурації для зменшення недонавчання.

Водночас робити остаточний вибір сурогатної-моделі на основі цих результатів передчасно. Наступний етап має включати цільове налаштування гіперпараметрів моделей, повторну оцінку на незмінній тестовій-вибірці та порівняння окремих регресорів із архітектура з багатьма виходами. Лише після цього доцільно визначати фінальне прогнозне ядро моделі.

Результати первинного порівняння показали, що найвищу точність відтворення виходів FIS забезпечили XGBoost та CatBoost. Тому подальший аналіз було зосереджено саме на цих алгоритмах. Для кожного з них виконано налаштування гіперпараметрів та перевірено дві архітектури прогнозування: окремі регресійні моделі для кожного виходу $S_1 - S_6$і єдина багатовихідна модель.

Налаштування здійснювалося без використання тестової вибірки. Параметри моделей добиралися на навчальній та валідаційній частинах даних, після чого вибрана конфігурація повторно навчалася на об'єднаній вибірці, яка охоплювала 85 % усіх сценаріїв. Незмінні 4 500 спостережень тестової вибірки використовувалися лише для остаточної перевірки.

Для XGBoost найкращі результати отримано за 300 ітерацій підсилення, швидкості навчання 0,04 та максимальної глибини дерева 6. Для CatBoost оптимальною серед перевірених конфігурацій виявилася модель з 450 ітераціями, швидкістю навчання 0,04 та глибиною дерева 8. Для обох алгоритмів додатково використовувалися параметри регуляризації, що обмежували надмірне пристосування до навчальної вибірки.

Налаштування дало помітний приріст точності порівняно з базовими конфігураціями (табл. 5.16). Для XGBoost середній RMSE на тестовій вибірці зменшився з 0,0680 до 0,0634, тобто приблизно на 6,8 %, а середній R^2зріс з 0,8648 до 0,8825. Для CatBoost покращення було більш вираженим: RMSE зменшився з 0,0684 до 0,0601, або приблизно на 12,1 %, тоді як середній R^2зріс з 0,8630 до 0,8940.

Таблиця 5.16. Порівняння налаштованих моделей та архітектур прогнозування

Модель	Архітектура	Середнє R^2	Середній RMSE	Середній MAE
CatBoost	окремі моделі S1–S6	0,8940	0,0601	0,0467

XGBoost	окремі моделі S1–S6	0,8825	0,0634	0,0493
CatBoost	багатовихідна модель	0,8718	0,0663	0,0519
XGBoost	багатовихідна модель	0,8513	0,0714	0,0561

Для обох алгоритмів кращі результати отримано при використанні окремих регресійних моделей (рис. 5.13). У випадку CatBoost перехід до багатовихідної архітектури збільшив середній RMSE з 0,0601 до 0,0663, а для XGBoost – з 0,0634 до 0,0714.

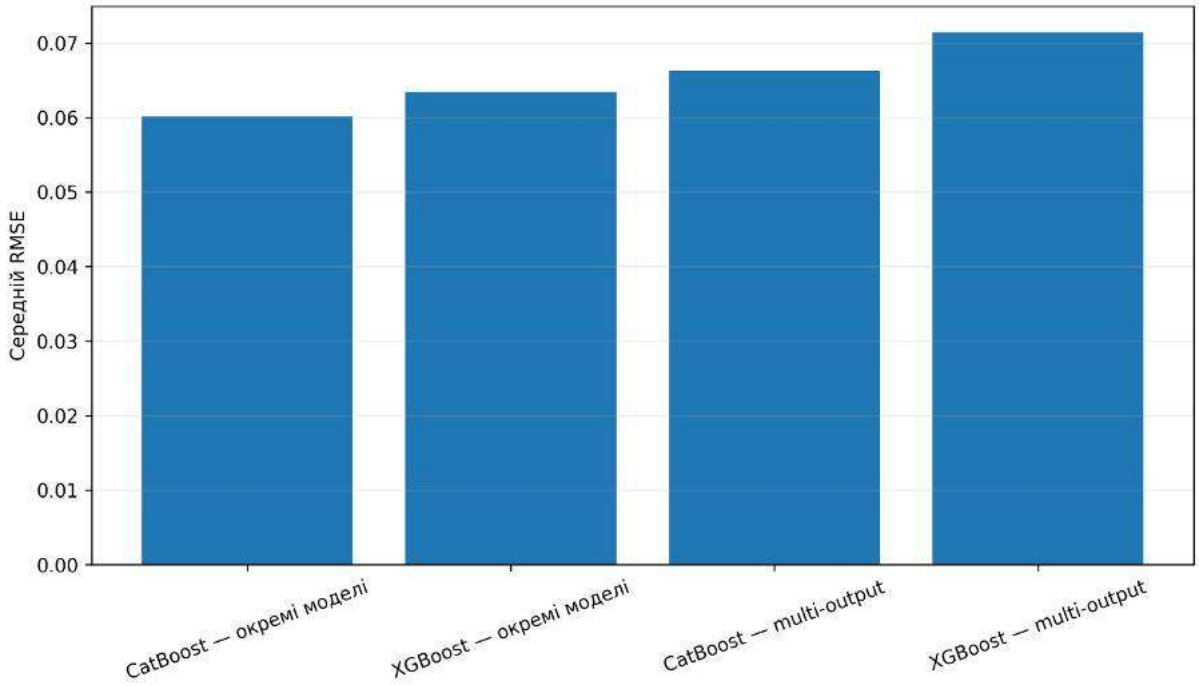

Рис. 5.13. Порівняння архітектур прогнозування після налаштування.

Джерело: розроблено автором.

Такий результат узгоджується зі структурою первинної FIS. Хоча між окремими S_i існують помірні та сильні кореляційні зв’язки, для кожного

інвестиційного інструменту використовується власна база нечітких правил верхнього рівня. Отже, залежності мають спільні риси, але не є тотожними. Окрема модель для кожного виходу краще пристосовується до специфіки відповідної функціональної залежності. Детальні результати для двох найкращих конфігурацій наведено в табл. 5.17.

Таблиця 5.17. Точність налаштованих XGBoost і CatBoost для S1–S6

Вихід	XGBoost R^2	XGBoost RMSE	CatBoost R^2	CatBoost RMSE
S1	0,8785	0,0623	0,8988	0,0569
S2	0,8493	0,0710	0,8487	0,0712
S3	0,8713	0,0655	0,8918	0,0601
S4	0,9041	0,0629	0,9190	0,0578
S5	0,9020	0,0605	0,9027	0,0603
S6	0,8898	0,0581	0,9033	0,0545

CatBoost забезпечив меншу похибку для п’яти із шести виходів. Винятком є S_2, однак різниця між моделями тут практично відсутня: $R^2 = 0{,}8493$ для XGBoost і 0,8487 для CatBoost. Значення RMSE відрізняються лише на 0,0002.

Вихід S_2 виявився найскладнішим для прогнозування і на попередньому етапі, що повторюється для різних алгоритмів, тому зниження точності, ймовірно, пов’язане зі складнішою структурою самої залежності, сформованої нечіткою моделлю (рис. 5.14). Найвищу точність CatBoost отримано для S_4: $R^2 = 0{,}9190$. Для S_5 та S_6 значення R^2 також перевищили 0,90.

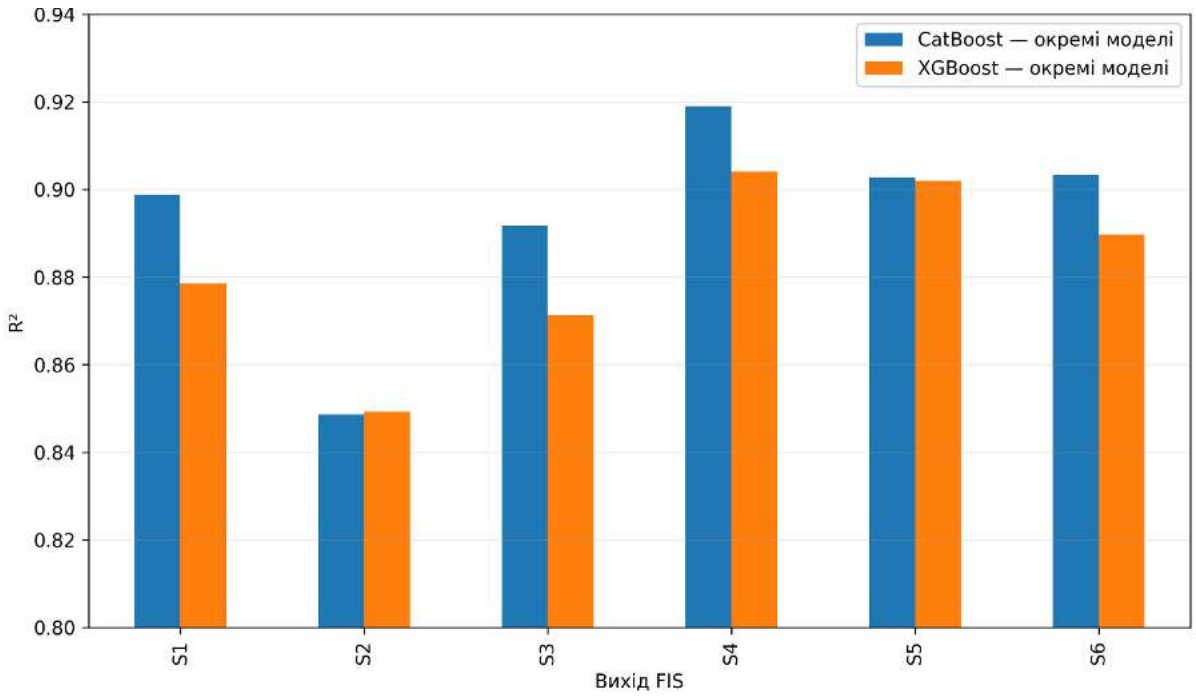

Рис. 5.14. Точність XGBoost і CatBoost для S1–S6.

Джерело: розроблено автором.

Отримані результати показали також, що наявність кореляції між виходами сама по собі не є достатньою підставою для використання багатовихідної моделі. Незважаючи на коефіцієнт кореляції 0,754 між S_1та S_2і 0,714 між S_3та S_4, спільне прогнозування не забезпечило приросту точності.

Тому для подальших етапів доцільно використовувати набір із шести окремих моделей:

$\hat{S}(X)=(f_1,(X),f_2,(X)...f_6(X))$,де $f_i(X)$– модель CatBoost для прогнозування придатності і-го інвестиційного інструменту.

За сукупністю отриманих результатів CatBoost з окремими регресійними моделями для S1–S6 визначено основним кандидатом на роль апроксимаційного ядра. Середній R^2для цієї конфігурації становить 0,8940, RMSE – 0,0601, MAE – 0,0467.

Остаточний вибір потребує ще одного етапу перевірки. Середні показники точності не показують, чи виникають локальні області зі значно більшою похибкою. Особливого значення це набуває для крайових сценаріїв,

оскільки саме вони можуть впливати на формування ефективних рішень під час подальшої оптимізації.

5.3. Формування та сценарне обґрунтування раціональної архітектури інвестиційного забезпечення будівельного підприємства.

Для формування архітектури інвестиційного забезпечення використано профілі підприємств A–C, проєкти 1–3 та матрицю придатності шести інструментів. Їх поєднання утворює дев'ять конфігурацій A1–C3. На цьому етапі визначаються частки джерел, абсолютні обсяги фінансування та стійкість обраної структури за зміни умов. Значення придатності не визначають частку інструменту безпосередньо. Вони використовуються як попередній фільтр, який відокремлює інструменти, придатні для подальшої оптимізації, від тих, використання яких за конкретної конфігурації підприємства і проєкту є недостатньо обґрунтованим.

Для детального розрахунку обрано B2: підприємство середнього профілю та проєкт з інвестиційною потребою 280 млн грн. Усі шість інструментів проходять поріг придатності S_min = 0,25. Тому модель може зіставити власні ресурси, комерційний і пільговий кредити, грант, приватний капітал та публічно-приватне партнерство без попереднього виключення будь-якого з них.

Для переходу від оцінювання придатності до формування конкретної структури фінансування кожен інструмент додатково характеризується вартістю ресурсу, ризиком, часом мобілізації, мінімальною та максимальною часткою і складністю використання (табл. 5.18).

Таблиця 5.18. Базові параметри інвестиційних інструментів для оптимізаційного розрахунку

Інструмент	Вартість, %/рік	Ризик [0;1]	Час мобілізації, міс.	Мінімальна частка	Максимальна частка	Складність [0;1]
Власні ресурси	12	0,15	0,5	0,10	0,50	0,10
Комерційний кредит	18	0,60	1,5	0,10	0,40	0,35
Пільговий кредит	8	0,30	3,0	0,10	0,50	0,50
Грантове фінансування	2	0,25	5,0	0,05	0,30	0,70
Приватний капітал	22	0,50	3,0	0,10	0,40	0,55
Публічно-приватне партнерство	14	0,45	9,0	0,20	0,60	0,90

Джерело: розроблено автором

Наведені в таблиці значення використовуються як базова калібровка розрахункового експерименту. Вони не трактуються як універсальні ринкові нормативи. Їх призначення полягає у формуванні початкової конфігурації моделі, після чого вплив зміни параметрів перевіряється в сценарному аналізі та аналізі чутливості. Таке представлення дозволяє відобразити відмінності між інструментами не лише за ціною. Наприклад, грантове фінансування характеризується низькою прямою вартістю, але потребує більшого часу та складніших процедур. Комерційний кредит мобілізується швидше, однак має вищу вартість і ризик. Пільговий кредит займає проміжне положення, поєднуючи відносно низьку вартість із помірним часом мобілізації. Публічно-приватне партнерство потенційно дозволяє залучати значний ресурс, проте

характеризується найдовшим строком підготовки та найвищою організаційною складністю. Окремо задаються загальні обмеження, які формують межі допустимого простору рішень (табл. 5.19).

Таблиця 5.19. Базові обмеження оптимізаційної моделі

Параметр	Значення	Економічний зміст
Мінімальний рівень придатності S_min	0,25	відсікання малопридатних інструментів
Мінімальна власна участь	15 %	забезпечення участі підприємства
Максимальна власна участь	50 %	обмеження надмірного використання власної ліквідності
Максимальна частка боргового фінансування	60 %	обмеження кредитного навантаження
Мінімальна кількість інструментів	2	недопущення моноджерельної структури
Максимальна кількість інструментів	4	обмеження організаційної складності
Максимальна частка одного інструменту	60 %	контроль концентрації фінансування

Джерело: розроблено автором

Допустимі структури повинні забезпечувати повне покриття інвестиційної потреби та одночасно задовольняти обмеження табл. 5.18–5.19 Проходження порогу придатності дозволяє розглядати інструмент, але не визначає його кінцеву частку.

Наступним кроком є формування можливих комбінацій складу архітектури. За шести доступних інструментів і встановленої умови використання від двох до чотирьох інструментів теоретично можна сформувати 50 різних комбінацій складу. Проте мінімальна власна участь у

розмірі 15 % означає, що власні ресурси повинні бути присутні в кожній допустимій структурі. Після застосування цієї умови кількість потенційних комбінацій скорочується з 50 до 25. Подальша перевірка стосується здатності кожної комбінації забезпечити 100 % інвестиційної потреби з урахуванням установлених максимальних часток. Три двокомпонентні конфігурації виявляються недостатніми:

- власні ресурси + комерційний кредит можуть забезпечити максимум 90 % потреби;
- власні ресурси + грант – максимум 80 %;
- власні ресурси + приватний капітал – максимум 90 %.

Такі конфігурації не можуть повністю профінансувати проєкт і тому виключаються.

Після перевірки обмежень залишаються 22 допустимі склади: два двокомпонентні, десять трикомпонентних і десять чотирикомпонентних (табл. 5.20). Усередині кожного складу частки можуть змінюватися, тому ці 22 варіанти не є 22 окремими точками простору рішень.

Таблиця 5.20. Результати послідовного звуження простору інвестиційних рішень

Етап відбору	Кількість варіантів	Причина зміни
Теоретичні комбінації з 2–4 інструментів	50	усі поєднання шести доступних інструментів
Після обов’язкової власної участі	25	власні ресурси мають входити до кожної архітектури
Після перевірки мінімальних і максимальних часток	22	виключено структури, що не забезпечують 100 % потреби

Етап відбору	Кількість варіантів	Причина зміни
Двокомпонентні структури	2	власні ресурси + пільговий кредит; власні ресурси + ППП
Трикомпонентні структури	10	допустимі поєднання з трьох інструментів
Чотирикомпонентні структури	10	допустимі поєднання з чотирьох інструментів

Джерело: розроблено автором

Двокомпонентна структура «власні ресурси + пільговий кредит» є допустимою, оскільки сукупна максимальна частка цих джерел становить 100 %. Комбінація «власні ресурси + ППП» також може забезпечити повну потребу, оскільки сумарна потенційна частка двох інструментів перевищує 100 %. У цьому випадку конкретні значення обмежуються умовою повного покриття фінансування.

Окремо контролюється загальна частка боргового фінансування. Сума комерційного та пільгового кредитів не може перевищувати 60 %. Це обмеження не виключає додаткових комбінацій на рівні самого набору інструментів, однак суттєво звужує можливий діапазон часток усередині окремих архітектур. Наприклад, одночасна присутність обох кредитних інструментів не означає можливості використовувати їх на встановлених максимальних рівнях 40 і 50 %, оскільки їх сукупна частка все одно обмежується 60 %.

Схема показує перехід від шести доступних інструментів і 50 теоретичних комбінацій до 22 допустимих складів архітектури, для яких надалі визначаються конкретні частки фінансування.

Отримана допустима множина є вихідним простором для багатокритеріальної оптимізації. На наступному етапі для кожної допустимої

структури будуть оцінюватися вартість, ризик, час мобілізації ресурсів, концентрація та організаційно-транзакційна складність, після чого за допомогою AUGMECON2 буде сформовано множину недомінованих архітектур.

Після формування допустимого простору рішень для конфігурації B2 виконано багатокритеріальну оптимізацію структури інвестиційного забезпечення. Розрахунки проведено в середовищі Python із використанням змішаної цілочислової моделі та розширеної ε-constraint схеми, прийнятої в дослідженні для реалізації логіки AUGMECON2.

Оптимізація проводилася одночасно за п’ятьма критеріями: вартістю ресурсів, ризиком, часом мобілізації, концентрацією фінансування та організаційно-транзакційною складністю. Вартість використано як основну цільову функцію, а для інших критеріїв послідовно змінювалися допустимі ε-рівні. Малий додатковий компонент у цільовій функції використовувався для усунення слабко ефективних рішень.

Для ризику та концентрації застосовано по 31 рівню дискретизації (табл. 5.21). Час мобілізації для сформованих складів архітектур набував трьох фактично досяжних рівнів – 3, 5 і 9 місяців. Для складності використано 15 рівнів, що відповідають можливим комбінаціям інвестиційних інструментів.

Таблиця 5.21. Параметри та результати розрахунку AUGMECON2 для конфігурації B2

Показник	Значення
Рівні обмеження за ризиком	31
Діапазон ризику	0,2100–0,4775
Рівні часу мобілізації	3
Значення часу, міс.	3; 5; 9
Рівні концентрації	31
Діапазон концентрації	0,25–0,60

Показник	Значення
Досяжні рівні складності	15
Загальна кількість ε-комбінацій	43 245
Комбінації, для яких отримано допустимий MILP-розв’язок	31 085
Частка допустимих розрахунків	71,9 %
Унікальні Парето-ефективні архітектури	126

Джерело: розроблено автором

Майже 28 % комбінацій ε-обмежень не мали допустимого рішення. Це є закономірним наслідком одночасного застосування обмежень щодо часток інструментів, власної участі, боргового навантаження, кількості джерел та повного покриття інвестиційної потреби.

Після видалення числових дублікатів та повторної перевірки домінування отримано 126 унікальних недомінованих архітектур. На відміну від 22 допустимих складів, визначених вище, ці 126 рішень уже містять конкретні значення часток окремих джерел. Тобто один і той самий склад інструментів може бути представлений декількома Парето-ефективними структурами з різними пропорціями фінансування.

Серед 126 недомінованих архітектур одна містить два інструменти (0,8 %), 65 – три (51,6 %), 60 – чотири (47,6 %). Розширення складу дозволяє зменшувати концентрацію та формувати різні компроміси, але підвищує організаційну складність.

Діапазони критеріїв у сформованій Парето-множині наведено в табл. 5.22

Таблиця 5.22. Характеристики Парето-множини для конфігурації B2

Критерій	Мінімум	Максимум	Середнє значення
Вартість ресурсів F_1, %/рік	7,000	17,233	10,976

Критерій	Мінімум	Максимум	Середнє значення
Ризик F_2	0,210	0,414	0,300
Час мобілізації F_3, міс.	3,0	9,0	4,49
Концентрація F_4	0,250	0,500	0,366
Складність F_5	0,600	2,200	1,420

Джерело: розроблено автором

Вартість у цьому розрахунку є середньозваженою модельною оцінкою вартості залучених ресурсів, а не фактичним показником повної вартості конкретної угоди (табл. 5.23). Її діапазон від 7,0 до 17,23 % свідчить про значний простір компромісу між дешевими інструментами та іншими характеристиками архітектури. Характер цього компромісу добре простежується на крайніх рішеннях.

Таблиця 5.23. Архітектури, що забезпечують крайні значення окремих критеріїв

Оптимізований критерій	Власні ресурси	Комерц. кредит	Пільговий кредит	Грант	Приватний капітал	ППП	Значення критерію
Мінімальна вартість	20 %	0	50 %	30 %	0	0	7,0 %
Мінімальний ризик	50 %	0	20 %	30 %	0	0	0,210
Мінімальний час	50 %	0	50 %	0	0	0	3 міс.
Мінімальна концентрація	25 %	25 %	25 %	25 %	0	0	0,25
Мінімальна складність	50 %	0	50 %	0	0	0	0,60

Джерело: розроблено автором

Отримані крайні структури наочно демонструють відсутність єдиного рішення, яке одночасно мінімізує всі критерії. Найдешевша архітектура передбачає 20 % власних ресурсів, 50 % пільгового кредитування та максимально допустимі 30 % грантового фінансування. Для проєкту вартістю 280 млн грн це відповідає 56, 140 і 84 млн грн відповідно. Мінімальний ризик досягається за іншого співвідношення: 50 % власних ресурсів, 20 % пільгового кредиту та 30 % гранту. Частка власних ресурсів при цьому зростає з 56 до 140 млн грн, що знижує ризиковість структури, але підвищує її вартість порівняно з мінімальною за F_1 конфігурацією.

Найшвидша та одночасно найпростіша структура складається лише з власних ресурсів і пільгового кредиту у співвідношенні 50 : 50. Вона забезпечує мобілізацію фінансування за 3 місяці та мінімальне значення показника складності, однак не є найдешевшою. Найбільш диверсифіковане за критерієм концентрації рішення передбачає рівні частки по 25 % власних ресурсів, комерційного кредиту, пільгового кредиту та гранту. У грошовому вираженні це по 70 млн грн на кожний інструмент. Зниження концентрації до 0,25 досягається ціною вищого ризику та більшої організаційної складності.

Оптимізаційний розрахунок підтвердив основну передумову багатокритеріальної постановки: жодна з крайніх конфігурацій не може бути визначена як універсально краща. Кожна з них посилює окрему характеристику за рахунок погіршення інших.

Характер розподілу недомінованих рішень представлено на рис. 5.15 На рисунку кожна точка відповідає окремій архітектурі з конкретним розподілом часток між інвестиційними інструментами. Оскільки Парето-ефективність визначається одночасно за п’ятьма критеріями, окремі рішення на двовимірній проєкції можуть виглядати близькими або навіть гіршими за іншими точками, але залишатися недомінованими завдяки перевагам за часом, концентрацією або складністю.

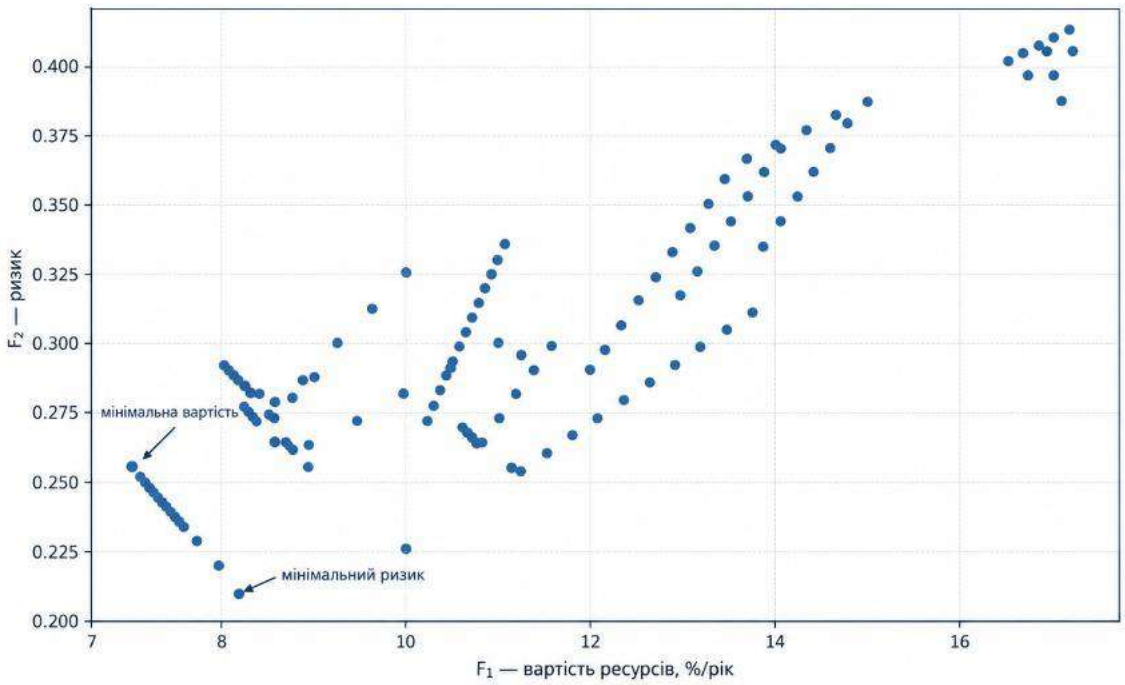

Рис. 5.15. Проєкція Парето-множини для конфігурації B2 за критеріями вартості та ризику. *Джерело: розроблено автором.*

Компроміси між критеріями досліджено за двовимірними проєкціями, кореляційною матрицею та паралельними координатами. Окремі проєкції пояснюють взаємодію двох критеріїв, тоді як недомінованість визначається за всіма п’ятьма показниками.

Перший виражений компроміс спостерігається між вартістю ресурсів та часом їх мобілізації. Коефіцієнт кореляції між F_1 і F_3 становить −0,641. Це означає, що архітектури з нижчою середньозваженою вартістю, як правило, потребують більшого часу для формування. Причиною є вища частка пільгового, грантового та інших інструментів, які дешевші за комерційне фінансування, але потребують складнішої процедури залучення. Цей результат представлено на рис. 5.16.

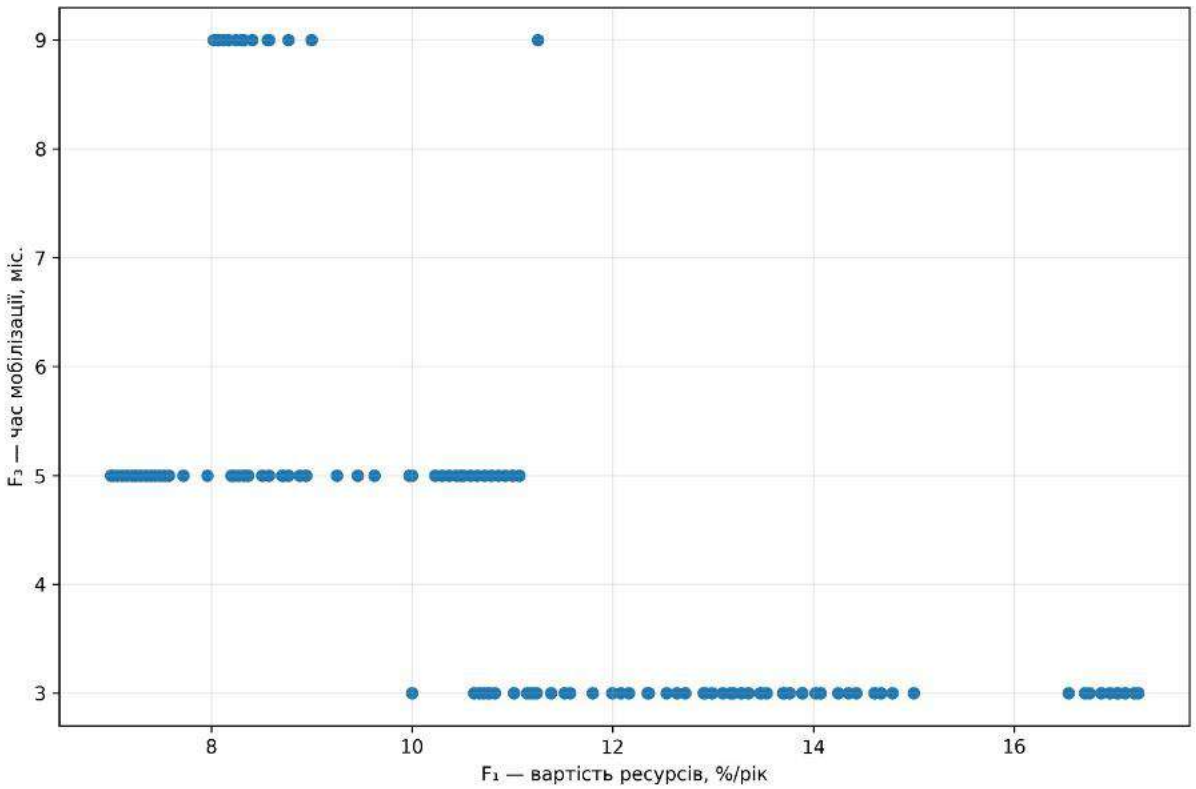

Рис. 5.16. Проєкція Парето-множини B2 за критеріями вартості та часу мобілізації. *Джерело: розроблено автором.*

З графіка видно, що скорочення часу до мінімальних 3 місяців обмежує доступний набір інструментів і зміщує структуру в бік швидше доступних ресурсів. Натомість використання грантових або партнерських механізмів дозволяє зменшити вартість, але частина таких архітектур переходить до групи з часом мобілізації 5 або 9 місяців.

Другий компроміс стосується вартості та концентрації фінансування. Кореляція між F_1 і F_4 є слабшою і становить −0,200, однак напрям залежності також є економічно важливим. Зменшення концентрації часто потребує включення додаткових джерел, у тому числі дорожчих.

Цю залежність показано на рис. 5.17.

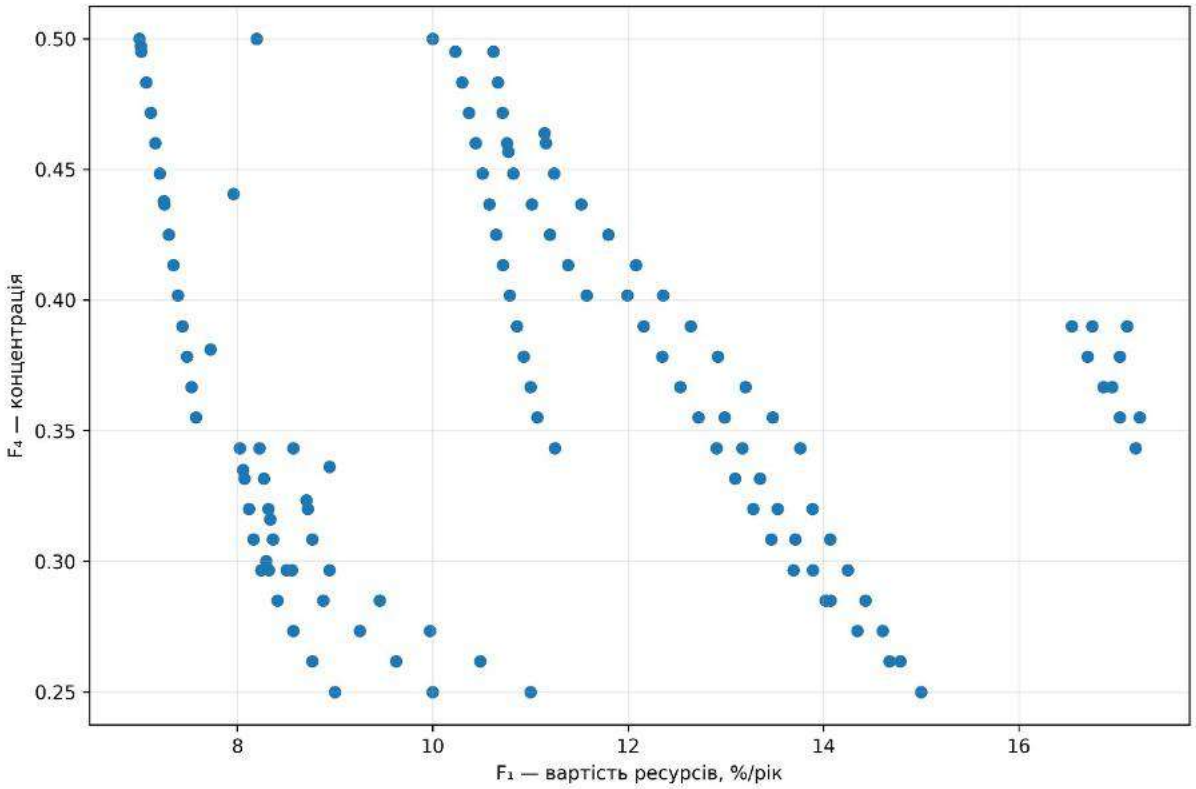

Рис. 5.17. Проєкція Парето-множини B2 за критеріями вартості та концентрації фінансування. *Джерело: розроблено автором.*

Мінімальне значення концентрації $F_4 = 0{,}25$ досягається за рівномірного розподілу фінансування між чотирма джерелами. Така структура є найбільш диверсифікованою, але її вартість вища за мінімально можливу. Навпаки, найдешевша конфігурація концентрує 50 % фінансування в пільговому кредиті та ще 30 % – у грантовому ресурсі.

Особливо показовим є взаємозв'язок концентрації та організаційно-транзакційної складності. Кореляція між F_4 і F_5 становить −0,686. Отже, зниження залежності від одного джерела досягається переважно через включення більшої кількості інструментів, що закономірно ускладнює управління фінансуванням. Одночасно виявлено сильний позитивний зв'язок між часом мобілізації та складністю – 0,728. Архітектури, що включають складніші механізми, як правило, потребують більше часу для підготовки, погодження та фактичного отримання ресурсу. Повну структуру взаємозв'язків наведено в табл. 5.24.

Таблиця 5.24. Кореляції між критеріями Парето-ефективних архітектур B2

Критерій	Вартість	Ризик	Час	Концентрація	Складність
Вартість	1,000	0,884	−0,641	−0,200	−0,390
Ризик	0,884	1,000	−0,370	−0,433	−0,117
Час	−0,641	−0,370	1,000	−0,235	0,728
Концентрація	−0,200	−0,433	−0,235	1,000	−0,686
Складність	−0,390	−0,117	0,728	−0,686	1,000

Джерело: розроблено автором

Висока позитивна кореляція між вартістю та ризиком – 0,884 – на перший погляд не відповідає класичному припущенню про зв’язок «нижча вартість – вищий ризик». У сформованій моделі це пояснюється характеристиками конкретних інструментів. Комерційний кредит і приватний капітал одночасно мають відносно високу вартість і вищі ризикові оцінки, тоді як пільговий кредит і грантове фінансування мають нижчі значення за обома показниками. Тому основний компроміс дешевших архітектур виникає не стільки за критерієм ризику, скільки за часом мобілізації, концентрацією та складністю.

Для одночасного аналізу всіх п’яти критеріїв сформовано графік паралельних координат. Кожна лінія відповідає одній із 126 Парето-ефективних архітектур, а значення критеріїв попередньо приведено до діапазону [0;1]. Результат наведено на рис. 5.18.

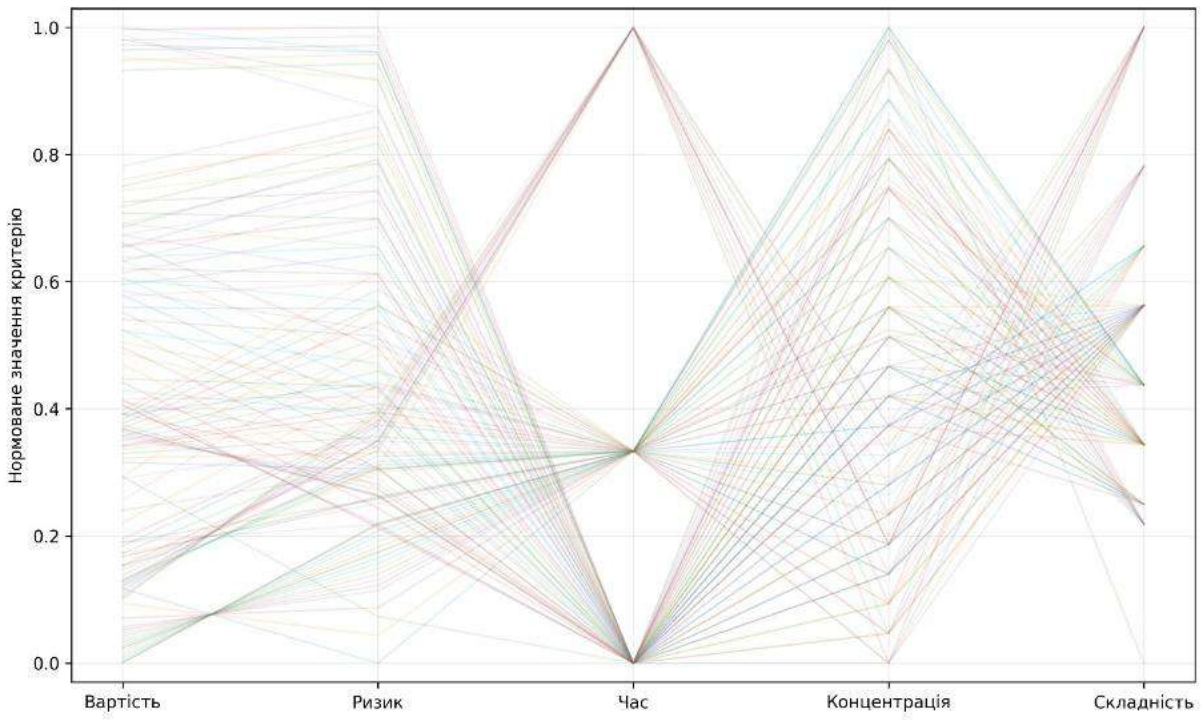

Рис. 5.18. Паралельні координати критеріїв Парето-ефективних архітектур B2.
Джерело: розроблено автором.

Графік підтверджує, що архітектури, близькі до мінімуму за одним критерієм, переважно не займають аналогічного положення за іншими. Особливо чітко виділяється група рішень з низькою вартістю, але більш тривалим часом мобілізації, а також група диверсифікованих структур із нижчою концентрацією, проте вищою складністю. Окремий результат стосується фактичної ролі шести інвестиційних інструментів у Парето-множині (табл. 5.25). Частота їх включення суттєво відрізняється.

Таблиця 5.25. Використання інвестиційних інструментів у 126 Парето-ефективних архітектурах

Інструмент	Частота включення, %	Середня частка в усіх рішеннях, %	Середня частка за умови використання, %
Власні ресурси	100,00	33,11	33,11

Інструмент	Частота включення, %	Середня частка в усіх рішеннях, %	Середня частка за умови використання, %
Комерційний кредит	56,35	12,05	21,38
Пільговий кредит	81,75	28,65	35,05
Грантове фінансування	51,59	15,15	29,37
Приватний капітал	46,03	8,67	18,84
ППП	11,11	2,36	21,27

Джерело: розроблено автором

Найбільш стабільним елементом усіх архітектур є власні ресурси, що пов’язано як із прийнятим обмеженням мінімальної власної участі, так і з їх низьким ризиком і складністю. Водночас середня частка власного фінансування становить 33,11 %, тобто модель не тяжіє до максимального використання внутрішніх ресурсів.

Другим за частотою є пільговий кредит – він присутній у 81,75 % Парето-рішень і має найбільшу середню частку серед зовнішніх інструментів – 28,65 %. За умови включення до архітектури його середня частка зростає до 35,05 %. Це узгоджується з високою придатністю інструменту для B2 (S = 0,902) та його відносно низькою вартістю.

Грантове фінансування використовується у 51,59 % рішень. Його частка за умови включення становить у середньому 29,37 %, тобто наближається до встановленої верхньої межі 30 %. Це свідчить про те, що за наявності грантового ресурсу модель прагне використовувати його досить інтенсивно через низьку вартість.

Комерційний кредит присутній у 56,35 % архітектур, але середня частка становить лише 12,05 %. Його роль переважно пов’язана з необхідністю скорочення часу мобілізації або підвищення диверсифікації, оскільки за вартістю та ризиком він поступається пільговому кредитуванню.

Приватний капітал входить до 46,03 % Парето-рішень, однак його середня частка є відносно невеликою – 8,67 %. Це пояснюється найвищою серед розглянутих інструментів вартістю ресурсу.

ППП використовується лише в 11,11 % Парето-ефективних архітектур. Його обмежене застосування пов’язане насамперед із тривалим часом мобілізації – 9 місяців – та найвищою організаційною складністю. Водночас, коли ППП все ж входить до структури, його середня частка становить 21,27 %, тобто інструмент не використовується лише символічно.

Для вибору серед 126 Парето-ефективних альтернатив застосовано послідовність CRITIC → MARCOS. Спочатку визначено інформаційні ваги критеріїв, після чого сформовано рейтинг архітектур. На першому етапі методом CRITIC визначено інформаційну вагомість кожного з п’яти критеріїв. Ваги розраховувалися без попереднього експертного задавання. Враховувалися варіативність значень критерію всередині Парето-множини та ступінь його інформаційного конфлікту з іншими показниками. Результати наведено в табл. 5.26.

Таблиця 5.26. Результати визначення ваг критеріїв методом CRITIC для конфігурації B2

Критерій	Стандартне відхилення	Показник конфліктності	Інформаційний вміст C	Вага CRITIC
Вартість ресурсів F_1	0,278	4,347	1,206	0,196
Ризик F_2	0,240	4,036	0,967	0,157

Критерій	Стандартне відхилення	Показник конфліктності	Інформаційний вміст C	Вага CRITIC
Час мобілізації F_3	0,308	4,518	1,393	0,226
Концентрація F_4	0,281	5,553	1,562	0,254
Організаційна складність F_5	0,230	4,465	1,027	0,167
Разом	–	–	–	1,000

Джерело: розроблено автором

Найбільшу вагу отримав критерій концентрації фінансування – 0,254, або 25,4 % загальної інформаційної вагомості. Це пов'язано не лише з варіацією значень F_4, а передусім із його відносно високою конфліктністю щодо інших критеріїв. В аналізі компромісів було встановлено, що концентрація має досить сильний обернений зв'язок зі складністю ($r = -0,686$) та помітний обернений зв'язок із ризиком ($r = -0,433$). Отже, цей критерій містить інформацію, яка не дублюється іншими характеристиками архітектури.

Другим за значущістю став час мобілізації ресурсів із вагою 0,226. Його висока вагомість пояснюється найбільшим серед критеріїв стандартним відхиленням – 0,308 – та значними відмінностями між архітектурами з часом формування ресурсів 3, 5 і 9 місяців. У практичному сенсі це означає, що швидкість залучення фінансування істотно диференціює недоміновані рішення.

Вартість ресурсів отримала третю вагу – 0,196. Вона залишається важливим критерієм, проте її інформаційний внесок є нижчим, ніж у концентрації та часу. Це важливий результат: модель не зводить вибір архітектури до пошуку мінімально можливої вартості фінансування.

Організаційно-транзакційна складність отримала вагу 0,167, а ризик – 0,157. Найменша вага ризику не означає його економічної неважливості. Вона свідчить про те, що в межах саме сформованої Парето-множини частина інформації, яку несе критерій ризику, вже відображається іншими показниками. Зокрема, кореляція між ризиком і вартістю становила 0,884.

На другому етапі 126 Парето-ефективних рішень ранжовано методом MARCOS. Оскільки всі п’ять критеріїв мають напрям мінімізації, для кожного з них ідеальним вважалося найменше значення, а антиідеальним – найбільше. Після нормалізації та зважування архітектури оцінювалися відносно обох граничних орієнтирів, а кінцевий рейтинг формувався за спаданням функції корисності MARCOS, що відповідає стандартній процедурі методу. Перші десять позицій наведено в табл. 5.27.

Таблиця 5.27. Десять найкращих Парето-ефективних архітектур B2 за результатами MARCOS

Місце	Власні ресурси, %	Комерційний кредит, %	Пільговий кредит, %	Грант, %	Приватний капітал, %	ППП, %	MARCOS
1	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,7192
2	44,8	10,3	44,8	0,0	0,0	0,0	0,6486
3	25,0	25,0	25,0	0,0	25,0	0,0	0,6472
4	44,3	10,0	45,7	0,0	0,0	0,0	0,6470
5	43,7	12,7	43,7	0,0	0,0	0,0	0,6465
6	44,0	10,0	46,0	0,0	0,0	0,0	0,6460
7	42,5	15,0	42,5	0,0	0,0	0,0	0,6448
8	41,3	17,3	41,3	0,0	0,0	0,0	0,6436
9	40,2	19,7	40,2	0,0	0,0	0,0	0,6429
10	42,8	10,0	47,2	0,0	0,0	0,0	0,6427

Джерело: розроблено автором

Перша позиція має функцію корисності 0,7192, тоді як друга – 0,6486. Абсолютний розрив становить 0,0706, або приблизно 9,8 % від значення першої архітектури. Це досить помітна різниця порівняно з наступними позиціями, між якими функція корисності змінюється лише на тисячні частки.

Перше місце посіла структура 50 % власних ресурсів і 50 % пільгового кредиту. Для B2 це по 140 млн грн із кожного джерела. Її вартість становить 10,0 %, ризик – 0,225, час мобілізації – 3 місяці, концентрація – 0,50, складність – 0,60.

Ця конфігурація не є найкращою за всіма критеріями. Її концентрація, навпаки, є досить високою. Однак вона одночасно забезпечує мінімальний час мобілізації та абсолютний мінімум організаційно-транзакційної складності, а також має відносно низькі вартість і ризик.

Нормований профіль обраної структури відносно ідеальних значень становить 0,700 за вартістю, 0,933 за ризиком, 1,000 за часом, 0,500 за концентрацією та 1,000 за складністю.

Слабшу позицію за концентрацією компенсують дуже високі результати за чотирма іншими критеріями. Особливо важливими є максимальні значення за часом та складністю, оскільки сумарна вага цих двох критеріїв становить 39,3 %.

Друга архітектура відрізняється включенням 10,3 % комерційного кредиту та зменшенням часток власних ресурсів і пільгового кредиту до 44,8 %. Це покращує концентрацію з 0,500 до 0,448, але одночасно збільшує вартість із 10,0 до 10,83 %, ризик – з 0,225 до 0,264, а складність – з 0,60 до 0,95. Сукупність погіршень пояснює значний розрив між першою та другою позиціями.

Третя архітектура має принципово іншу структуру: по 25 % власних ресурсів, комерційного кредиту, пільгового кредиту та приватного капіталу. Її головною перевагою є мінімальна концентрація – 0,25. Проте за це доводиться платити значно вищою вартістю – 15,0 %, ризиком 0,388 та складністю 1,50.

Попри це рішення посідає третє місце, оскільки концентрація має найбільшу вагу CRITIC.

Вісім із десяти найкращих архітектур поєднують власні ресурси, комерційний та пільговий кредити. Грант і ППП у першій десятці відсутні, а приватний капітал входить до третьої архітектури.

Грант входить до 51,59 % Парето-архітектур, але його час мобілізації 5 місяців і складність 0,70 погіршують позицію після комплексного ранжування. Для ППП ці обмеження ще сильніші: 9 місяців і 0,90 відповідно. Висока придатність інструменту тому не гарантує його включення до обраної структури. У верхній частині рейтингу MARCOS явно переважають рішення з часом мобілізації 3 місяці. Серед перших двадцяти архітектур таких рішень 18, а лише дві мають час 5 місяців. Це добре узгоджується з вагою $F_3 = 0{,}226$. Порівняння середніх характеристик Top-10 із усією Парето-множиною також показує напрям відбору.

Таблиця 5.28. Порівняння характеристик Top-10 MARCOS із загальною Парето-множиною

Показник	Top-10	Усі 126 архітектур	Відмінність
Середня вартість, %	11,325	10,976	+0,349
Середній ризик	0,281	0,300	−0,019
Середній час, міс.	3,00	4,49	−1,49
Середня концентрація	0,426	0,366	+0,060
Середня складність	0,970	1,420	−0,450

Найкращі за MARCOS архітектури в середньому навіть дещо дорожчі за Парето-множину в цілому – 11,33 проти 10,98 %. Водночас вони мають нижчий ризик, значно менший час мобілізації та істотно нижчу організаційну складність.

Натомість концентрація в Top-10 є вищою – 0,426 проти 0,366. Це показує, що результат MARCOS не є механічним наслідком найбільшої ваги F_4. Вибір формується балансом усіх критеріїв, а сильні переваги за часом та складністю можуть компенсувати гіршу диверсифікацію (табл. 5.29).

Показовим є також положення архітектур, які були оптимальними лише за одним критерієм.

Таблиця 5.29. Позиції екстремальних Парето-рішень у рейтингу MARCOS

Архітектура з мінімумом за критерієм	Мінімальне значення	Найкраща позиція MARCOS
Мінімальна вартість	7,000 %	90
Мінімальний ризик	0,210	91
Мінімальний час	3 міс.	1
Мінімальна концентрація	0,250	3
Мінімальна складність	0,600	1

Джерело: розроблено автором

Цей результат є одним із найбільш показових у всьому оптимізаційному розрахунку. Архітектура з абсолютною мінімальною вартістю посідає лише 90-те місце, а рішення з мінімальним ризиком – 91-ше. Причиною є те, що обидві конфігурації досягають крайніх значень окремого критерію ціною погіршення інших характеристик. Порівняння з крайніми рішеннями показує ціну компромісу. Структура 50/50 дорожча за мінімально вартісну на 3 процентні пункти, а її ризик перевищує мінімум лише на 0,015. Виграш полягає в мінімальних часі та складності. Слабкою стороною залишається концентрація: половина потреби припадає на кожне з двох джерел.

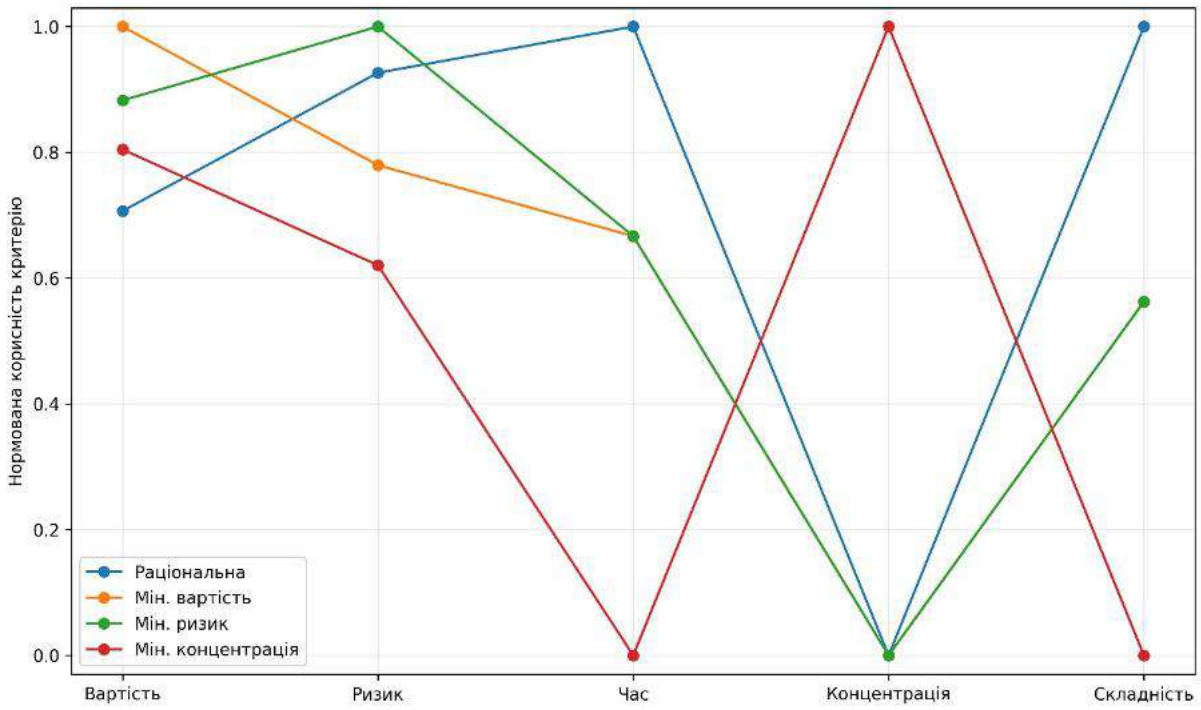

Рис. 5.19. Нормовані профілі критеріїв раціональної та крайніх архітектур B2.
Джерело: розроблено автором.

Раціональна архітектура має максимальну нормовану корисність за часом та складністю і високе значення за ризиком. Її слабше місце – концентрація. Натомість архітектура з мінімальною вартістю має сильний профіль за ціною та ризиком, але поступається за часом і складністю. Найбільш диверсифіковане рішення має максимальну оцінку за концентрацією, але значно гірше виглядає за вартістю та ризиком.

Для перевірки обраної структури за зміни зовнішніх умов виконано п’ять сценарних розрахунків. Аналіз охоплює як зміну критеріїв, так і можливе коригування часток інструментів.

Сценарний експеримент не є прогнозом фактичних майбутніх ставок або доступності фінансових ресурсів. Зміни параметрів використовуються як модельні збурення, необхідні для перевірки стійкості отриманої архітектури (табл. 5.30). Для кожного сценарію заново формувалися допустимі структури,

виконувалась оптимізація AUGMECON2, виділялася Парето-множина, перераховувалися ваги CRITIC та рейтинг MARCOS.

Таблиця 5.30. Параметри сценарного експерименту для конфігурації B2

Сценарій	Вартість кредитів	Ризик	Час мобілізації	Макс. частка гранту	Макс. частка приватного капіталу	Макс. частка ППП	Граничний борг
S1 Повільне відновлення	+20 %	+20 %	+20 %	15 %	28 %	48 %	50 %
S2 Донорська підтримка	−15 %	−10 %	−15 %	45 %	40 %	66 %	60 %
S3 Активізація приватного капіталу	без змін	−5 %	−10 %	21 %	60 %	75 %	65 %
S4 Змішаний, базовий	без змін	без змін	без змін	30 %	40 %	60 %	60 %
S5 Стресовий	+35 %	+40 %	+40 %	9 %	24 %	42 %	45 %

Джерело: розроблено автором

Зміна параметрів помітно вплинула вже на розмір допустимого простору рішень. У базовому сценарії залишалося 22 допустимі склади інструментів. У сприятливішому для приватного фінансування сценарії S3 їх кількість зросла до 23, тоді як у сценарії повільного відновлення зменшилася до 20, а в стресовому сценарії – до 17. Отже, погіршення зовнішнього середовища впливає не лише на значення критеріїв, але й безпосередньо скорочує множину структур, які підприємство взагалі може сформувати. Результати повторної оптимізації наведено в табл. 5.31.

У чотирьох із п’яти заданих сценаріїв перше місце зберігає структура 50/50. Частка 80 % характеризує лише цю сукупність модельних сценаріїв і не є ймовірністю збереження рішення в реальному середовищі.

Таблиця 5.31. Раціональні архітектури B2 за результатами сценарної оптимізації

Сценарій	Власні ресурси, %	Комерц. кредит, %	Пільговий кредит, %	Грант, %	Приватний капітал, %	ППП, %	Кількість Парето-рішень
S1 Повільне відновлення	50	0	50	0	0	0	170
S2 Донорська підтримка	50	0	50	0	0	0	125
S3 Активізація приватного капіталу	50	0	50	0	0	0	84
S4 Змішаний, базовий	50	0	50	0	0	0	126
S5 Стресовий	45	0	45	0	10	0	116

Джерело: розроблено автором

Повільне відновлення. У сценарії S1 вартість кредитних ресурсів збільшується на 20 %, ризикові оцінки – на 20 %, а строки мобілізації – також на 20 %. Одночасно скорочуються граничні можливості використання гранту, приватного капіталу та ППП. Змінюється не структура, а її характеристики. Середньозважена вартість збільшується з 10,0 до 10,8 %, ризик – з 0,225 до 0,270, а час мобілізації – з 3,0 до 3,6 місяця. Отже, погіршення зовнішнього середовища повністю переноситься на критерії результату, але ще не досягає рівня, за якого необхідно перебудовувати саму архітектуру. Особливо показовим є те, що кількість допустимих складів скорочується з 22 до 20, а кількість допустимих ε-комбінацій – з 31 085 до 23 783. Простір вибору стає відчутно вужчим, однак базова структура все одно залишається першою.

Сценарій активної донорської підтримки. S2 є найбільш сприятливим за параметрами кредитування: вартість кредитних ресурсів зменшується на 15 %, ризик – на 10 %, а час мобілізації – на 15 %. Максимальна частка гранту збільшується з 30 до 45 %. Можна було очікувати, що різке збільшення

доступності грантового ресурсу змінить кінцеву структуру. Проте цього не відбувається. Перше місце знову займає співвідношення 50/50 між власними ресурсами та пільговим кредитом. Водночас його параметри суттєво покращуються. Вартість знижується до 9,4 %, ризик – до 0,2025, а час мобілізації – до 2,55 місяця. Саме цей результат показує різницю між високою доступністю інструменту та його обов'язковим включенням до раціональної структури. Збільшення максимальної частки гранту до 45 % суттєво розширює можливості формування дешевих альтернатив, і грантові структури активно з'являються у Парето-множині. Проте їх більший час мобілізації та організаційна складність не дозволяють їм випередити двокомпонентну структуру 50/50 за комплексною оцінкою.

Сценарій активізації приватного капіталу. У S3 максимальна частка приватного капіталу збільшується з 40 до 60 %, а ППП – до 75 %. Одночасно допустиме боргове навантаження зростає до 65 %. Це розширює структурний простір до 23 допустимих комбінацій, тобто найбільшого значення серед п'яти сценаріїв. Саме тут з'являються додаткові можливості фінансування, які були недоступні в базовій конфігурації. Проте і в цих умовах модель не включає приватний капітал до першої архітектури. Зберігається структура 50 % власних ресурсів + 50 % пільгового кредиту. При цьому ризик зменшується до 0,2138, а час мобілізації – до 2,7 місяця. Вартість залишається на рівні 10,0 %, оскільки сценарій не передбачає зниження вартості кредитних ресурсів. Цей результат показує, що проста поява додаткової доступності приватного капіталу ще недостатня для його включення. У моделі він має високу вартість – 22 %, тому його переваги проявляються переважно через зниження концентрації або заміщення недоступних джерел. Базовий сценарій S4 відтворює основний розрахунок і використовується як точка порівняння для інших умов.

Стресовий сценарій. Найбільш суттєві зміни відбуваються в S5. Тут вартість кредитних ресурсів збільшується на 35 %, ризик – на 40 %, час мобілізації – на 40 %. Одночасно максимальна частка гранту скорочується до 9 %, приватного капіталу – до 24 %, ППП – до 42 %, а допустима частка боргу

зменшується з 60 до 45 %. Саме обмеження боргового навантаження стає критичним. Базова архітектура передбачає 50 % пільгового кредиту, тоді як у S5 дозволено не більше 45 % сукупного боргу. Отже, структура 50/50 стає не просто менш бажаною – вона математично недопустима. У S5 обрано структуру 45 % власних ресурсів, 45 % пільгового кредиту та 10 % приватного капіталу. Для проєкту 280 млн грн це відповідно 126, 126 та 28 млн грн. Порівняння базової та стресової структури наведено на рис. 5.20.

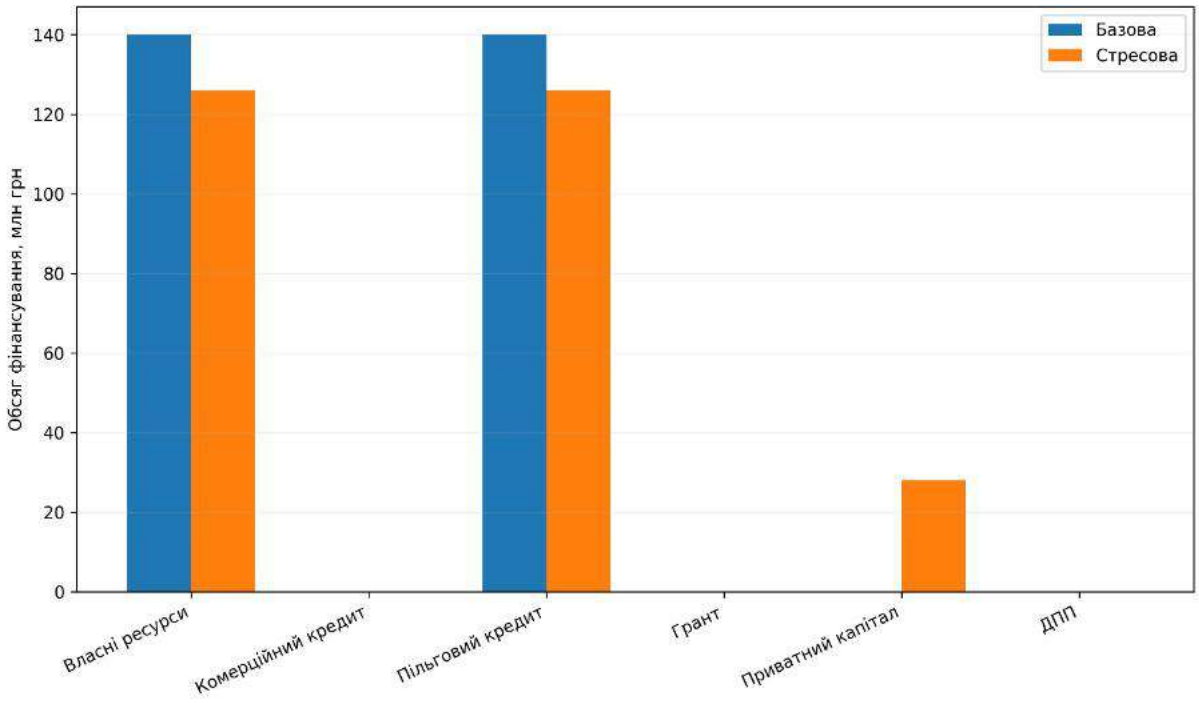

Рис. 5.20. Порівняння базової та стресової архітектури B2 в абсолютних обсягах. *Джерело: розроблено автором.*

Перебудова є порівняно локальною. Частки двох основних джерел зменшуються лише на 5 процентних пунктів кожна, а вивільнені 10 % заміщуються приватним капіталом. Таким чином, фактично перерозподіляється 28 млн грн, або 10 % загальної інвестиційної потреби.

При цьому критерії погіршуються значно сильніше, ніж сама структура.

Таблиця 5.32. Порівняння критеріїв раціональної архітектури за сценаріями

Сценарій	Вартість, %	Ризик	Час, міс.	Концентрація	Складність
S1 Повільне відновлення	10,80	0,2700	3,60	0,50	0,60
S2 Донорська підтримка	9,40	0,2025	2,55	0,50	0,60
S3 Приватна активізація	10,00	0,2138	2,70	0,50	0,60
S4 Базовий	10,00	0,2250	3,00	0,50	0,60
S5 Стресовий	12,46	0,3535	4,20	0,45	1,15

Джерело: розроблено автором

Відносно базового сценарію у S5 вартість збільшується на 24,6 %, ризик – приблизно на 57,1 %, час мобілізації – на 40,0 %, а організаційна складність – майже на 91,7 %.

Водночас концентрація знижується з 0,50 до 0,45. Формально це є покращенням на 10 %, оскільки фінансування стає більш диверсифікованим. Однак така диверсифікація тут не є добровільним результатом пошуку більш збалансованої структури. Вона виникає через неможливість зберегти 50 % пільгового кредиту за жорсткішого боргового обмеження. Відносні зміни всіх критеріїв наведено на рис. 5.21.

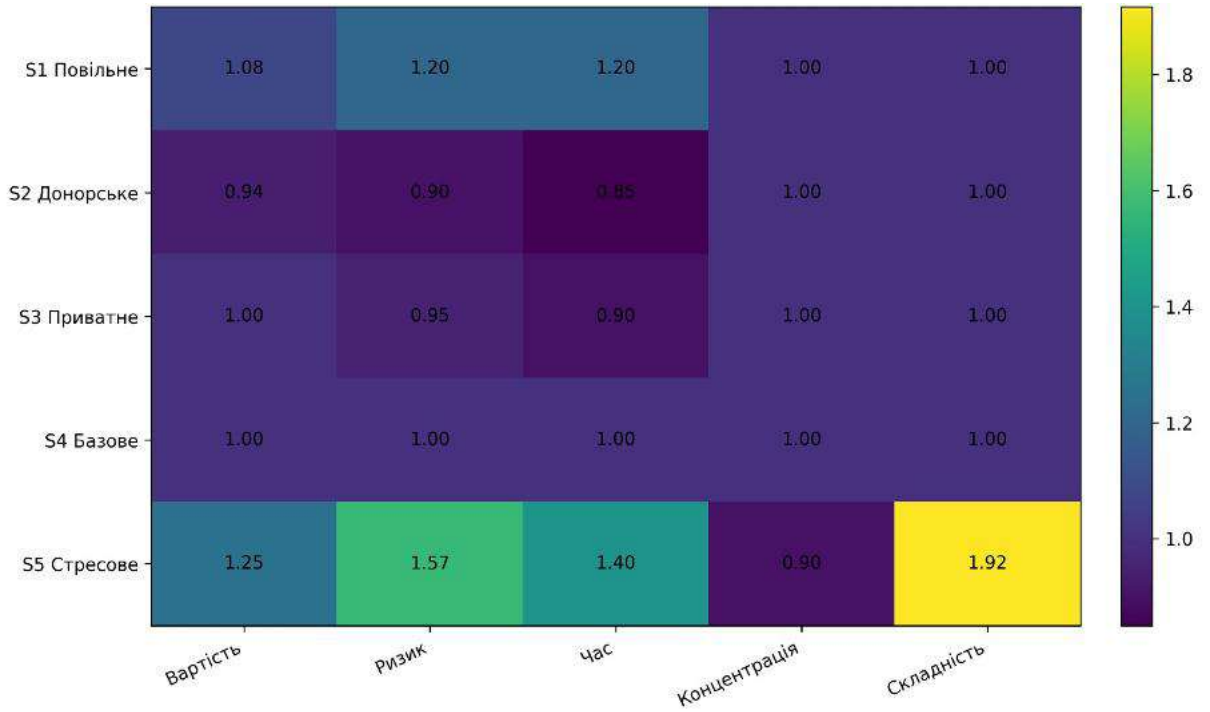

Рис. 5.21. Відносна зміна критеріїв раціональної архітектури B2 за сценаріями.
Джерело: розроблено автором.

Окремого пояснення потребує включення приватного капіталу, а не гранту до стресової структури. На перший погляд грантовий ресурс має значно нижчу вартість. Проте у стресовому сценарії його максимальна доступність скорочується до 9 %, а час мобілізації після збільшення на 40 % становить 7 місяців. Для приватного капіталу відповідний час становить 4,2 місяця, а показник складності нижчий – 0,55 проти 0,70 для гранту. За стресових умов саме час і складність набувають особливо великої інформаційної ваги, що видно з повторного розрахунку CRITIC (табл. 5.33).

Таблиця 5.33. Зміна ваг CRITIC за сценаріями

Сценарій	Вартість	Ризик	Час	Концентрація	Складність
S1	0,196	0,161	0,271	0,195	0,178
S2	0,202	0,182	0,200	0,271	0,146
S3	0,166	0,145	0,262	0,267	0,160
S4	0,196	0,157	0,226	0,254	0,167
S5	0,177	0,128	0,281	0,182	0,234

Джерело: розроблено автором

У стресовому сценарії вага часу зростає до 0,281, а складності – до 0,234. Разом ці два критерії формують понад 51 % загальної інформаційної ваги. Тому швидший і організаційно простіший приватний ресурс у конкретній комбінації може випереджати дешевший грант.

Важливо, що значення функції MARCOS між різними сценаріями безпосередньо порівнювати недоцільно. У кожному сценарії змінюється склад Парето-множини, її мінімальні та максимальні значення, а також ваги CRITIC. Тому MARCOS використовується для внутрішнього ранжування альтернатив у межах конкретного сценарію, а не як абсолютний показник погіршення умов між сценаріями.

У досліджених сценаріях помірні зміни вартості, ризику й часу змінюють критерії без перебудови часток. Посилення боргового обмеження до 45 % виключає базову структуру з допустимої множини. Тому моніторинг має охоплювати не лише ставки, а й кредитні ліміти, доступність програм, власну участь і строки мобілізації.

Після сценарної перевірки виконано глобальний аналіз чутливості, метою якого було встановити, які параметри найбільше впливають не лише на окремі критерії, а й на саму структуру рекомендованої архітектури. На відміну від сценарного аналізу, де одночасно задавалися п’ять конкретних комбінацій умов, метод Sobol дозволяє змінювати параметри незалежно в межах установлених діапазонів і оцінювати як прямий вплив кожного фактора, так і його взаємодію з іншими.

Для розрахунку використано вісім факторів невизначеності. Їх межі сформовано на основі діапазонів, використаних у сценарному експерименті, а для порогу придатності – на основі раніше прийнятого інтервалу перевірки S_min.

Таблиця 5.34. Параметри глобального аналізу чутливості для конфігурації B2

Фактор	Мінімум	Максимум	Базове значення / інтерпретація
Множник вартості кредитних ресурсів	0,85	1,35	зміна вартості комерційного та пільгового кредиту
Множник ризику	0,90	1,40	загальна зміна ризикових оцінок
Множник часу мобілізації	0,85	1,40	зміна строків залучення ресурсів
Максимальна частка гранту	0,09	0,45	9–45 %
Максимальна частка приватного капіталу	0,24	0,60	24–60 %
Максимальна частка ППП	0,42	0,75	42–75 %
Гранична частка боргу	0,45	0,65	45–65 %
Поріг придатності S_min	0,20	0,40	зміна жорсткості попереднього відбору

Джерело: розроблено автором

Для базового розміру вибірки N = 4096 та восьми факторів виконано 40 960 модельних оцінювань. Використано Sobol-послідовність зі схемою Saltelli/Jansen. Основними показниками аналізу були індекс першого порядку S_1, який характеризує самостійний внесок параметра, та повний індекс ST, що додатково враховує всі його взаємодії з іншими факторами.

Аналіз проведено на двох рівнях. На першому оцінювалася чутливість показників уже визначеної архітектури 50 % власних ресурсів + 50 %

пільгового кредиту. На другому рівні для кожної комбінації параметрів повторно перевірялась допустимість альтернатив і виконувалося CRITIC–MARCOS ранжування серед 126 Парето-ефективних архітектур, сформованих у базовому розрахунку.

Останнє уточнення є методично важливим: 40 960 розрахунків Sobol не передбачали повного повторного запуску AUGMECON2 із нуля. Аналізувався саме етап стійкості кінцевого вибору всередині сформованого Парето-простору, що дозволяє відокремити чутливість структури рішення від повторного формування всієї множини оптимальних альтернатив.

Для базової структури 50/50 інтерпретація першого рівня є досить однозначною. Її вартість безпосередньо реагує на зміну вартості кредитних ресурсів, ризик – на ризиковий множник, а час мобілізації – на відповідний часовий множник. При незмінній структурі ці три фактори фактично визначають відповідні критерії повністю. Значно цікавішим є питання допустимості самої архітектури. Базова структура містить 50 % пільгового кредиту. Тому вона залишається допустимою лише за умови, що гранична частка боргу становить не менше 50 %. У прийнятому для Sobol діапазоні 45–65 % це означає, що частина простору параметрів автоматично робить структуру 50/50 недопустимою.

Для кількісного оцінювання зміни складу використано структурне відхилення від базової архітектури (табл. 5.35). Нульове значення означає повне збереження структури 50/50, а збільшення показника відображає перерозподіл часток між джерелами фінансування.

Таблиця 5.35. Індекси Sobol для структурного відхилення раціональної архітектури B2

Фактор	S_1	ST	Інтерпретація
Множник вартості кредиту	≈0,000	0,002	практично не змінює структуру

Фактор	S_1	ST	Інтерпретація
Множник ризику	≈0,000	≈0,000	впливає на критерій, але не на склад
Множник часу	≈0,000	≈0,000	впливає на критерій, але не на склад
Максимальна частка гранту	≈0,000	0,021	слабкий вплив
Максимальна частка приватного капіталу	≈0,000	0,008	слабкий прямий вплив
Максимальна частка ППП	≈0,000	≈0,000	практично відсутній
Гранична частка боргу	0,710	0,928	домінуючий фактор
Поріг придатності S_min	0,067	0,296	переважно через взаємодії

Джерело: розроблено автором

Незначні від'ємні оцінки S_1, отримані для кількох слабких факторів, є числовою похибкою оцінювача і в економічній інтерпретації приймаються як нульові. Для структурного відхилення індекс першого порядку боргового ліміту становить 0,710, а повний індекс – 0,928. У заданому просторі параметрів цей фактор має найбільший вплив на перебудову часток, включно з його взаємодіями з іншими факторами.

Другим за значенням параметром є поріг придатності. Його прямий ефект невеликий – S_1 = 0,067, проте повний індекс збільшується до 0,296. Велика різниця між S_1 і ST свідчить, що цей параметр проявляється переважно у взаємодії з іншими обмеженнями.

Для базової архітектури зміна S_min у межах 0,20–0,40 не впливає на доступність власних ресурсів і пільгового кредиту, оскільки їх оцінки придатності для B2 становлять відповідно 0,718 та 0,902. Однак після посилення боргового обмеження модель змушена шукати заміну частини пільгового кредиту. Саме тоді стає важливим, які додаткові інструменти проходять фільтр придатності.

Особливо це стосується приватного капіталу з оцінкою 0,318. За S_min > 0,318 він більше не може використовуватися як резервне джерело. Тому поріг придатності має відносно невеликий прямий ефект, але істотний повний ефект.

Повні індекси Sobol для часток шести інструментів наведено на рис. 5.22.

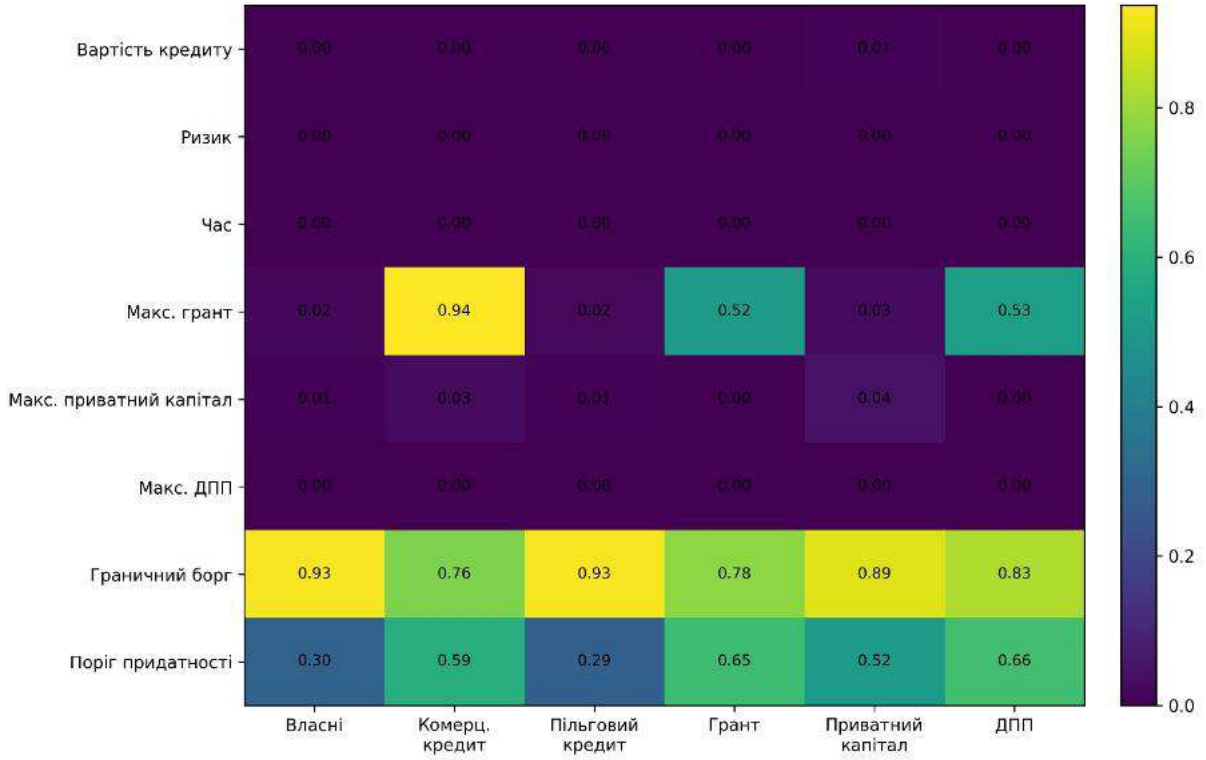

Рис. 5.22. Матриця повних індексів Sobol для структури раціональної архітектури B2. *Джерело: розроблено автором.*

Для частки власних ресурсів повні індекси боргового ліміту та порогу придатності становлять 0,927 і 0,299; для пільгового кредиту – 0,929 і 0,292. Ці результати підтверджують провідну роль боргового обмеження у зміні двох основних часток. Ще цікавіша ситуація спостерігається для приватного капіталу. Його повний індекс за борговим обмеженням становить 0,892, а за порогом придатності – 0,515. Це означає, що приватний капітал у моделі виконує переважно роль резервного інструменту заміщення. Його частка зростає не тому, що він стає дешевшим або менш ризиковим, а тоді, коли борговий ресурс обмежується і сам приватний капітал залишається

допустимим за S_min. Аналогічна, хоча слабша, логіка проявляється для гранту та ППП. Цей результат дозволяє розділити інструменти на два типи. Власні ресурси та пільговий кредит формують стійке ядро архітектури, тоді як приватний капітал, грант і ППП виконують переважно функцію адаптаційного резерву. Чутливість критеріїв має іншу структуру. Тут поряд із фінансовими обмеженнями знову стають важливими власні параметри критеріїв. Основні результати узагальнено в табл. 5.3.19.

Таблиця 5.36. Домінуючі повні індекси Sobol для критеріїв раціональної архітектури B2

Результативний критерій	Найбільш впливовий параметр	ST	Другий за впливом	ST
Вартість F_1	гранична частка боргу	0,502	поріг придатності	0,479
	множник вартості кредиту	0,359	макс. частка гранту	0,365
Ризик F_2	множник ризику	0,709	гранична частка боргу	0,273
Час F_3	гранична частка боргу	0,750	поріг придатності	0,600
Концентрація F_4	гранична частка боргу	0,929	поріг придатності	0,292
Складність F_5	гранична частка боргу	0,985	поріг придатності	0,065

Джерело: розроблено автором

Сума повних індексів може перевищувати одиницю, оскільки ST включає спільні ефекти та взаємодії факторів. Саме тому ці значення не слід трактувати як прості відсоткові частки. Матрицю повних індексів показано на рис. 5.23.

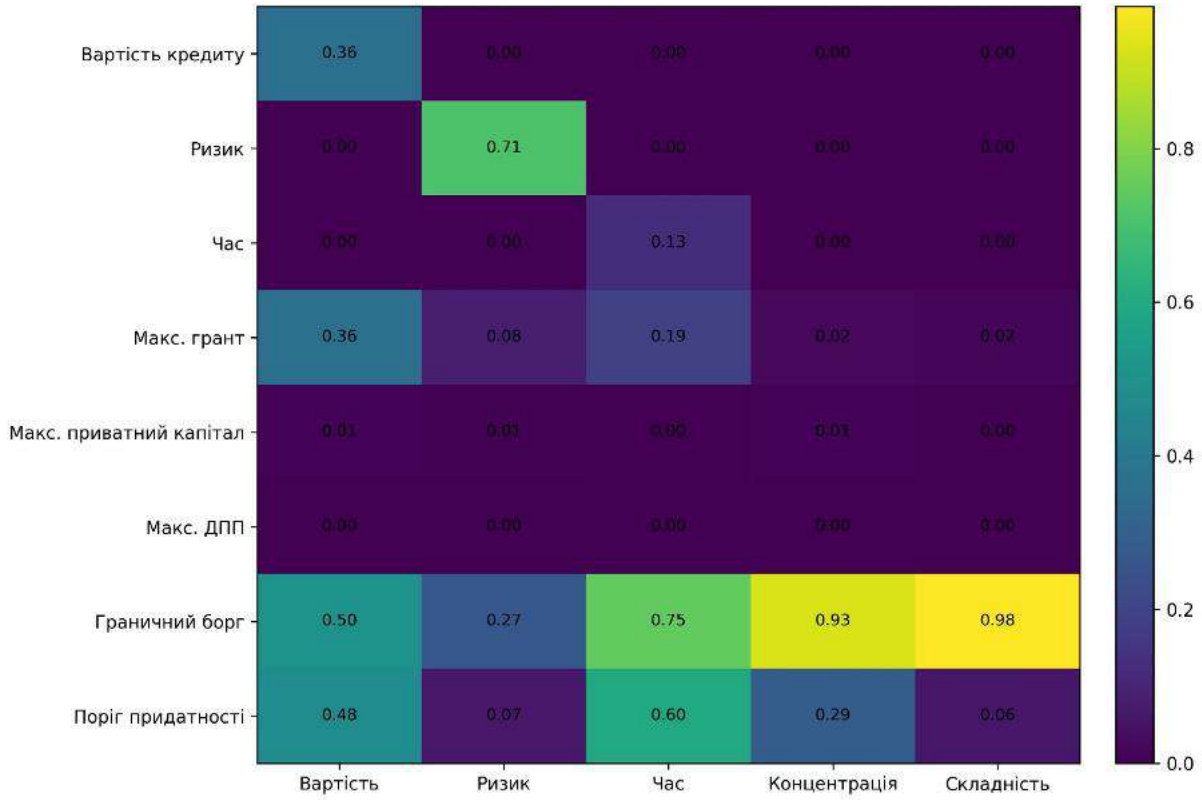

Рис. 5.23. Матриця повних індексів Sobol для результативних критеріїв B2. *Джерело: розроблено автором.*

Для ризику ситуація найбільш передбачувана. Множник ризикових характеристик має ST = 0,709, тобто саме зміна ризикового середовища залишається основним джерелом варіативності F_2. Боргове обмеження посідає друге місце з ST = 0,273, оскільки може змінити сам склад фінансування.

Для вартості картина складніша. Прямий ефект зміни вартості кредитів є значним, але не домінуючим у повній моделі. Його ST становить 0,359, тоді як боргового обмеження – 0,502, а порогу придатності – 0,479.

Це означає, що кінцева вартість фінансування формується двома механізмами. Перший – безпосередня зміна ціни кредитного ресурсу. Другий – структурна перебудова архітектури, коли підприємство змушене заміщувати один вид фінансування іншим.

Для часу мобілізації особливо важливим є той факт, що власний часовий множник має повний ефект лише близько 0,127, тоді як боргове обмеження – 0,750, а S_min – 0,600. Причина полягає в дискретному характері показника

часу: якщо перебудова структури приводить до включення гранту або ППП, максимальний час одразу переходить на інший рівень.

Набагато сильніше на час може вплинути зміна складу інструментів, ніж пропорційне подовження процедур для незмінної структури.

Подібний результат отримано для організаційної складності. ST = 0,985 для граничної частки боргу означає, що складність зростає переважно внаслідок необхідності включення третього або четвертого джерела, а не через зміну характеристик уже використаних інструментів.

Додатково проаналізовано, як часто початкова структура 50/50 зберігалася при глобальному варіюванні факторів (табл. 5.37). Для 8192 комбінацій параметрів із матриць A та B початкова структура збереглася у 75,0 % випадків.

Цей результат має просте економічне пояснення. При рівномірному варіюванні боргового ліміту в діапазоні 45–65 % у 75 % випадків він становить щонайменше 50 %. Саме за цієї умови базова структура продовжує бути допустимою. У решті приблизно 25 % випадків модель змушена перебудовувати структуру.

Таблиця 5.37. Частота включення інструментів до раціональної архітектури за глобального варіювання параметрів

Інструмент	Частота включення, %	Середня частка, %
Власні ресурси	100,00	47,56
Комерційний кредит	0,92	0,15
Пільговий кредит	100,00	47,60
Грантове фінансування	5,19	1,54
Приватний капітал	14,76	1,57
ППП	5,05	1,58

Джерело: розроблено автором

Найважливішим результатом тут є те, що власні ресурси та пільговий кредит присутні у 100 % відібраних архітектур. Тобто навіть коли базове співвідношення 50/50 порушується, саме ці два джерела залишаються ядром структури. Їх середні частки в глобальній вибірці становлять відповідно 47,56 і 47,60 %. Разом це 95,16 % середнього обсягу фінансування. Найчастіше як третє джерело виникає приватний капітал – у 14,76 % випадків. Це узгоджується зі сценарним аналізом, де саме він з'явився у стресовій архітектурі після обмеження допустимого боргу. Грант використовується у 5,19 % випадків, ППП – у 5,05 %, а комерційний кредит – лише у 0,92 %. Отже, саме комерційний кредит виявився найменш затребуваним резервним джерелом у верхній частині багатокритеріального рейтингу.

Аналіз чутливості в межах базової множини альтернатив показує: борговий ліміт визначає можливість збереження структури 50/50, а поріг придатності – доступність резервних джерел після її порушення. Цей висновок стосується прийнятих діапазонів параметрів і не замінює повторної оптимізації за межами початкової Парето-множини. Після детального аналізу базової конфігурації B2 виконано порівняльну перевірку для всіх дев’яти поєднань профілів підприємства та проєкту: A1–A3, B1–B3 і C1–C3. Метою цього етапу було встановити, наскільки кінцева структура інвестиційного забезпечення залежить від масштабу та характеристик підприємства, типу проєкту і сформованої на попередніх етапах придатності окремих інвестиційних інструментів.

Для коректного міжконфігураційного порівняння використано єдину систему ваг критеріїв CRITIC, визначену для базової конфігурації B2: вартість – 0,196; ризик – 0,157; час мобілізації – 0,226; концентрація – 0,254; складність – 0,167. Такий підхід дозволяє порівнювати архітектури за однаковою шкалою та не змішувати вплив зміни самої структури фінансування зі зміною ваг критеріїв.

Додатково виконано контрольне сканування допустимого простору часток із кроком 1 процентний пункт. Воно не замінює основний розрахунок

AUGMECON2, а використовується як перевірка стійкості кінцевого рішення. Залежно від набору доступних інструментів було перевірено від 80,6 до 188,7 тис. допустимих варіантів розподілу ресурсів.

Відмінності між конфігураціями на етапі доступності інструментів:

За S_min = 0,25 кількість доступних інструментів у конфігураціях A1–C3 становить п’ять або шість. ППП недоступне для A1, B1 і C1, комерційний кредит не проходить поріг для A2 та A3. У B2, B3, C2 і C3 доступні всі шість інструментів. За базових параметрів у всіх дев’яти конфігураціях перше місце отримала однакова структура: 50 % власних ресурсів і 50 % пільгового кредиту. Ця однорідність потребує пояснення через специфікацію моделі.

На етапах Fuzzy Logic та ML оцінка S_i використовується для визначення доступності інструменту. Після проходження порогу S_min значення 0,50, 0,75 або 0,90 не входить безпосередньо до цільових функцій оптимізації. Подальший вибір здійснюється вже за вартістю, ризиком, часом, концентрацією та складністю.

Ця пара проходить поріг у всіх конфігураціях і може покрити повну потребу за прийнятих максимальних часток. Вона забезпечує час 3 місяці, складність 0,60, ризик 0,225 та вартість 10,0 %. Додаткова доступність інших інструментів розширює множину альтернатив, але за цієї калібровки не змінює її першу позицію.

Наприклад, у C3 приватний капітал має дуже високу оцінку S = 0,900, а ППП – S = 0,907. Проте обидва інструменти залишаються за межами раціональної структури через їхні вищі вартість, час або складність порівняно з комбінацією власних ресурсів і пільгового кредитування.

Аналогічно у C2 грантове фінансування має навіть вищу придатність, ніж пільговий кредит: 0,904 проти 0,902. Проте грант не входить до кінцевого рішення, оскільки його перевага за вартістю не компенсує довший час мобілізації та більшу організаційну складність.

Однакові частки не означають однакових фінансових рішень в абсолютному вираженні. Інвестиційна потреба трьох типів проєктів становить відповідно 85, 280 і 650 млн грн.

Таблиця 5.38. Абсолютні обсяги фінансування за типами проєктів для профілів A–C

Тип проєкту	Потреба, млн грн	Власні ресурси, млн грн	Пільговий кредит, млн грн
1	85	42,5	42,5
2	280	140,0	140,0
3	650	325,0	325,0

Джерело: розроблено автором

Абсолютні відмінності є значними. Для проєктів типу 1 підприємству необхідно мобілізувати по 42,5 млн грн з кожного джерела. Для типу 2 ця величина збільшується до 140 млн грн, а для найбільших проєктів типу 3 – до 325 млн грн. Отже, перехід від проєкту 1 до проєкту 3 збільшує потрібний обсяг кожного з двох основних джерел у 7,65 раза, хоча відносна структура не змінюється.

Модель у базовому режимі демонструє масштабну інваріантність часток, але не абсолютних обсягів. Частки визначаються економічними властивостями інструментів і системою обмежень, тоді як грошовий обсяг автоматично масштабується відповідно до інвестиційної потреби.

Попри однакову кінцеву структуру, конфігурації суттєво відрізняються за тим, наскільки надійно обидва її основні інструменти проходять поріг придатності. Для цього визначено запас придатності ядра як відстань від слабшого з двох ключових інструментів до S_min = 0,25.

Таблиця 5.39. Стійкість ядра «власні ресурси + пільговий кредит» за конфігураціями A1–C3

Конфігурація	S власних ресурсів	S пільгового кредиту	Мінімальне S ядра	Запас над порогом
A1	0,500	0,750	0,500	0,250
A2	0,461	0,693	0,461	0,211
A3	0,250	0,750	0,250	0,000
B1	0,900	0,907	0,900	0,650
B2	0,718	0,902	0,718	0,468
B3	0,577	0,907	0,577	0,327
C1	0,907	0,907	0,907	0,657
C2	0,858	0,902	0,858	0,608
C3	0,750	0,907	0,750	0,500

Джерело: розроблено автором

Результат наведено на рис. 5.24.

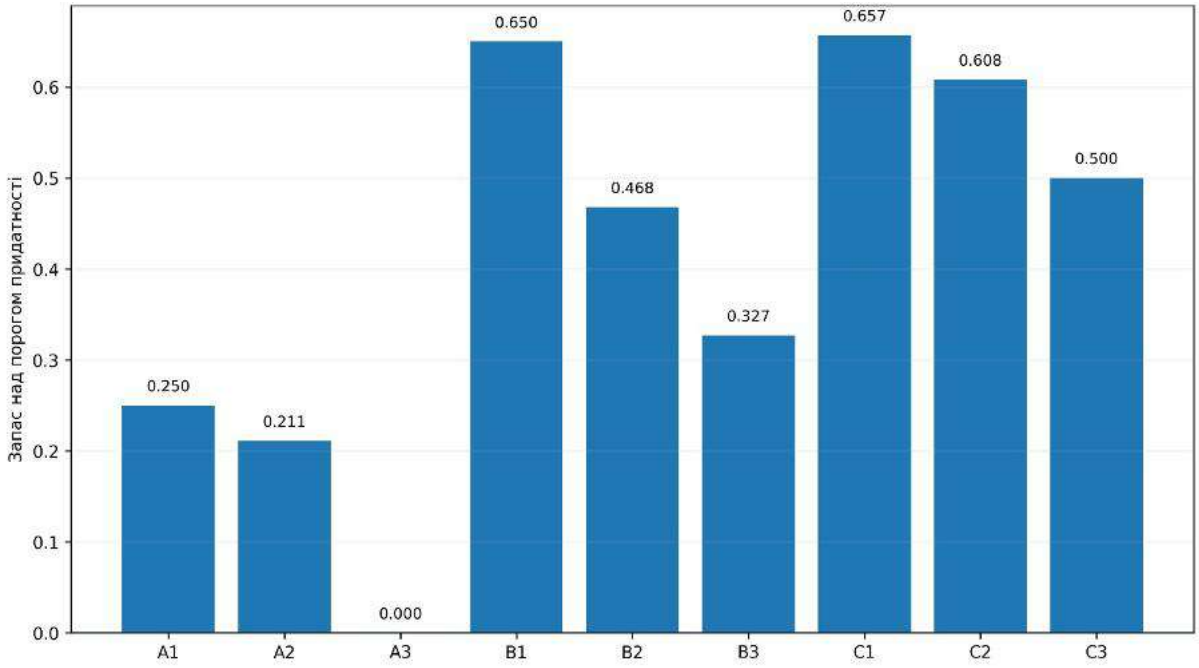

Рис. 5.24. Запас стійкості базового ядра архітектури A1–C3 відносно S_min = 0,25. *Джерело: розроблено автором.*

Між конфігураціями виникають значно суттєвіші відмінності. Найстійкішою є C1. Обидва основні інструменти мають оцінку 0,907, а запас слабшого елемента над порогом становить 0,657. Близькі результати отримано для B1 та C2 – відповідно 0,650 і 0,608.

Для B2 запас становить 0,468, для C3 – 0,500. Отже, базова структура також достатньо впевнено проходить початковий відбір. Інша ситуація спостерігається для підприємства A. У A1 запас становить 0,250, у A2 – 0,211, а в A3 фактично дорівнює нулю. A3 є особливим випадком. Придатність власних ресурсів становить рівно 0,250, тобто вони проходять фільтр лише тому, що умова сформульована як $S_i \geq S_{min}$. Навіть незначне підвищення порогу понад 0,25 виключило б власне фінансування з доступного набору.

При цьому модель одночасно вимагає мінімум 15 % власної участі. A3 є граничною конфігурацією: у базових умовах вона допустима, але має найменший запас структурної стійкості. Цей результат має практичне значення. Однакове фінальне співвідношення 50/50 не означає однакову надійність його реалізації. Для C1 або C2 ядро структури має великий запас придатності, тоді як для A3 воно перебуває безпосередньо на межі допустимості.

За результатами розрахунку для B2 сформовано 126 Парето-ефективних архітектур і визначено компромісну структуру 50/50 між власними ресурсами та пільговим кредитом. За потреби 280 млн грн це по 140 млн грн із кожного джерела. Рішення поєднує мінімальні час і складність із низьким ризиком, але поступається частині альтернатив за вартістю та концентрацією.

У чотирьох із п’яти сценаріїв структура залишилася незмінною. За боргового ліміту 45 % вона змінилася на 45/45/10 із включенням приватного капіталу. Sobol-аналіз підтвердив провідну роль боргового обмеження: ST = 0,928 для структурного відхилення. Поріг придатності має ST = 0,296 і впливає насамперед на вибір резервних джерел.

Однакові частки для A1–C3 є результатом спільної калібровки та використання придатності як порогового фільтра. Практичні відмінності виявляються в потрібних обсягах ресурсу та запасі над порогом: для A3 він дорівнює нулю, для C1 – 0,657. Такий запас характеризує проходження фільтра, але сам по собі не доводить можливості мобілізувати потрібні суми.

Практичне застосування моделі потребує перевірки фактичних ресурсних лімітів підприємства й умов залучення кожного інструменту. Вектор часток має оцінюватися разом з абсолютними обсягами, строками та результатами сценарної перевірки.

Висновки до розділу 5.

1. Результати оцінювання дев’яти модельних конфігурацій засвідчили, що фінансова спроможність будівельного підприємства визначає широту вибору інвестиційних інструментів, але не формує їх придатність автоматично. Для підприємств із нижчою ресурсною та управлінською спроможністю коло інструментів із прийнятними оцінками звужувалося, тоді як посилення підприємницького профілю розширювало його. Водночас реакція окремих інструментів була неоднаковою: придатність пільгового кредиту могла залишатися високою за різних профілів, тоді як оцінки комерційного кредиту й власних ресурсів виразніше залежали від фінансової автономії та стійкості грошових потоків. Для управлінського вибору важливо оцінювати не загальну фінансову силу підприємства, а відповідність конкретного ресурсу його фінансовому стану та умовам проєкту.
2. Виявлено, що характеристики проєкту істотно змінюють профіль придатності інструментів навіть за незмінного підприємницького профілю. Для соціально значущого та термінового проєкту посилювалися позиції грантового фінансування, тоді як для масштабного проєкту з вищою економічною віддачею та тривалішим горизонтом реалізації зростала придатність приватного капіталу й партнерського фінансування, що свідчить, що ресурсний вибір має спиратися на узгодження економічних і суспільних

характеристик проєкту з функціональним призначенням інструмента. Структура, прийнятна для одного типу проєкту, не може без додаткового оцінювання переноситися на інший.

3. Практична перевірка моделі показала, що придатність інструментів змінюється нелінійно та залежить від поєднання характеристик підприємства, проєкту й середовища. Сприятливе значення одного параметра не завжди компенсує критичне обмеження в іншій групі умов; зокрема, висока ресурсна доступність не гарантує відповідності інструмента параметрам проєкту. Встановлено також, що близькі оцінки придатності доцільно трактувати як множину перспективних альтернатив, а не як безумовну перевагу інструмента з незначно вищим балом. Формально недоступний інструмент, своєю чергою, слід відрізняти від інструмента з низькою оцінкою придатності: перший не проходить до подальшого вибору, тоді як другий може бути доступним, але економічно невідповідним конкретній ситуації.

4. Сформований імітаційний масив забезпечив систематичне дослідження різних поєднань умов, за яких змінюється придатність інвестиційних інструментів. Перевірка повноти сценарної бази засвідчила охоплення заданого діапазону вхідних параметрів, відсутність пропущених значень і дублікатів, а також стабілізацію основних характеристик оцінок зі збільшенням обсягу вибірки. Водночас середні значення придатності в цьому масиві описують реакцію нечіткої системи на простір згенерованих сценаріїв і не є оцінкою фактичної поширеності чи ринкової переваги відповідних джерел фінансування. Інформаційна база придатна для порівняння модельних ситуацій, але її результати не слід ототожнювати з емпіричними характеристиками будівельного сектору.

5. Порівняння прогнозних конфігурацій засвідчило перевагу окремих моделей CatBoost для кожного інструмента над спільним багатовихідним прогнозуванням. Після налаштування така архітектура забезпечила найкраще сукупне відтворення оцінок нечіткої системи; перевага спостерігалася для більшості окремих виходів, хоча для комерційного кредиту точність була

нижчою, ніж для інших інструментів, що вказує на відмінність функціональних залежностей, що формують придатність різних ресурсів: навіть наявність кореляції між оцінками інструментів не означає, що їх доцільно прогнозувати за єдиною моделлю. Для оперативного сценарного аналізу обґрунтованим є застосування окремих прогнозних моделей із контролем точності за кожним інструментом.

6. Перевірка прогнозних результатів засвідчила необхідність оцінювати сурогатну модель не лише за середньою тестовою похибкою, а й за тим, наскільки вона відтворює поведінку вихідної нечіткої системи в контрольних, крайових і локально складних сценаріях. Поєднання аналізу похибок, поверхонь відгуку та SHAP-інтерпретації дає змогу встановлювати, які характеристики змінюють оцінку придатності та чи зберігається напрям такого впливу за різних конфігурацій підприємства й проєкту. Це посилює пояснюваність прогнозів під час попереднього порівняння фінансових альтернатив. Однак перевірка підтверджує точність апроксимації нечітких оцінок на синтетичних даних і сама по собі не засвідчує точності прогнозування фактичної поведінки підприємств.

7. Для базової конфігурації B2 комплексне зіставлення Парето-ефективних альтернатив визначило раціональною структуру з рівними частками власних ресурсів і пільгового кредиту. Її перевага полягала не в мінімізації окремого критерію, а в збалансованому поєднанні вартості, ризику, строку мобілізації, концентрації та складності управління. Зокрема, архітектура з мінімальною вартістю не посіла провідної позиції в комплексному рейтингу, оскільки її перевага за ціною супроводжувалася менш сприятливим співвідношенням інших характеристик. Економічний зміст раціонального вибору полягає у визначенні прийнятного компромісу між фінансовою економністю та організаційною здійсненністю проєкту.

8. Сценарне переоцінювання продемонструвало, що стійкість структури має два різні прояви: збереження її складу й часток та збереження прийнятних економічних характеристик. У більшості заданих сценаріїв базова

конфігурація зберегла провідну позицію, хоча зміна вартості ресурсів, ризику й строків мобілізації погіршувала її результати. За жорсткішого боргового обмеження базове співвідношення втрачало допустимість, а частина пільгового кредиту заміщувалася приватним капіталом. Така адаптація показує, що потреба переглянути інвестиційне рішення виникає не лише тоді, коли погіршуються критерії фінансування, а й тоді, коли змінені обмеження унеможливлюють реалізацію початкової структури.

9. Аналіз чутливості визначив граничну частку боргового фінансування головним чинником перебудови структури в межах заданого сценарного простору; поріг придатності впливав передусім на те, чи залишаються резервні інструменти доступними після зміни базової конфігурації. У досліджених варіантах власні ресурси та пільговий кредит формували основне ядро фінансування, тоді як приватний капітал, гранти й партнерське фінансування могли виконувати функцію заміщення або доповнення за зміни обмежень. Водночас однакові частки не означали однакового рівня надійності: запас проходження фільтра придатності та абсолютний обсяг необхідних ресурсів різнилися між конфігураціями.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації розроблено теоретико-методологічні та прикладні засади формування структури інвестиційного забезпечення будівельних підприємств у процесі післявоєнного відновлення. Запропонований інструментарій поєднує оцінювання придатності інструментів, визначення їхніх часток та перевірку стійкості отриманого рішення.

1. Інвестиційне забезпечення підприємства обґрунтовано як самостійний об’єкт економічного управління, що не зводиться до наявності ресурсів або пошуку джерел їх залучення. Зіставлення ресурсного, процесного, системного, управлінського й адаптивного підходів дало змогу визначити його як керований процес формування, залучення, поєднання та використання ресурсів для досягнення інвестиційних цілей з урахуванням характеристик підприємства, проєкту й зовнішнього середовища. У такому трактуванні інвестиційне забезпечення є послідовністю взаємопов’язаних управлінських рішень — від установлення потреби та оцінювання альтернатив до формування конфігурації фінансування, її реалізації й коригування. Його результативність визначається не максимальним обсягом залучених коштів, а здатністю забезпечити ресурсну достатність проєкту на прийнятних для підприємства умовах.

2. Базовою одиницею аналізу інвестиційного забезпечення будівельного підприємства визначено пару «підприємство — конкретний проєкт». Підприємство характеризується власною ресурсною спроможністю, ліквідністю, можливостями співфінансування й доступом до зовнішніх інструментів; проєкт — обсягом, строками та часовим розподілом інвестиційної потреби, очікуваними надходженнями й ризиками. Для будівництва таке розмежування має принципове економічне значення: висока капіталомісткість, тривалий виробничий цикл, нерівномірність витрат, контрактні умови та територіальна прив’язаність робіт зумовлюють зміну потреби в ресурсах на різних етапах проєкту. Тому загальна фінансова спроможність підприємства сама по собі не засвідчує можливості

профінансувати конкретний об’єкт; рішення має враховувати як загальну суму ресурсів, так і строки їх фактичної мобілізації.

3. Систематизовано економічні рівні та функції елементів інвестиційного забезпечення. Розмежовано ресурс як економічну основу інвестування, джерело як походження ресурсу, інструмент як спосіб його залучення або використання та модель як спосіб організації взаємодії кількох джерел і інструментів. За домінуючою логікою формування ресурсної бази охарактеризовано автономну, боргову, пайову, партнерську, проєктну та змішану моделі, які в практиці можуть комбінуватися. Виявлено також неоднакове функціональне призначення ресурсів: власні кошти забезпечують автономність, боргові розширюють масштаб інвестування, приватний капітал залучає зовнішню участь без фіксованого боргового платежу, а партнерські й проєктні моделі поєднують ресурси, компетенції та розподіл ризиків. Державна та міжнародна підтримка може безпосередньо надавати ресурси, змінювати умови їх залучення або підвищувати готовність проєкту до фінансування.

4. Обґрунтовано перехід від поняття структури до ширшого поняття архітектури інвестиційного забезпечення та визначено логіку управлінського вибору. Структура характеризує склад інструментів і частки їх участі у фінансуванні; архітектура додатково охоплює функції та взаємозв’язки інструментів, умови їх доступності й сумісності, обмеження, ризики та можливість заміщення за зміни обставин. Відповідно, управлінське рішення не завершується оцінюванням окремого джерела: необхідно послідовно встановити його доступність, оцінити придатність для підприємства й проєкту, визначити допустимий склад фінансування та обґрунтувати частки інструментів. Такий вибір має багатокритеріальний характер, оскільки вартість, ризик, строк мобілізації, концентрація джерел і складність управління можуть вступати у взаємний компроміс, що обґрунтовує потребу формувати не універсальну структуру фінансування, а прийнятне для

конкретної інвестиційної ситуації рішення з можливістю його перегляду за зміни умов.

5. Розроблено концепцію опису інвестиційної ситуації будівельного підприємства, яка операціоналізує чинники, визначені в першому розділі, через систему чотирьох взаємопов'язаних контурів: підприємницького, проєктного, інвестиційно-ресурсного та інституційно-ризикового. Їх представлено двадцятьма первинними характеристиками — по п'ять у кожному контурі. Така побудова дає змогу одночасно враховувати фінансові й організаційні можливості підприємства, потреби та параметри проєкту, умови залучення ресурсів і зовнішні обмеження. Важливо, що систему характеристик орієнтовано не на формування універсального рейтингу підприємств, а на оцінювання конкретної комбінації «підприємство — проєкт — умови фінансування».

6. Обґрунтовано методологічну доцільність ієрархічного нечіткого оцінювання придатності інвестиційних інструментів за умов неоднорідності даних, неповноти інформації та відсутності однозначних меж між сприятливими й несприятливими станами. На першому рівні кількісні й формалізовані якісні характеристики узагальнюються в межах відповідних контурів, на другому — визначається придатність конкретного інструмента для заданої інвестиційної ситуації. Така оцінка відображає ступінь відповідності інструмента умовам підприємства та проєкту; вона не є ані ймовірністю отримання коштів, ані рекомендованою часткою фінансування. Цим методологічно розмежовано оцінювання інструмента та подальше формування структури інвестиційного забезпечення.

7. Сформовано концептуальну основу імітаційно-прогнозного дослідження придатності інвестиційних інструментів. Нечітку модель визначено як змістовне джерело оцінок, а імітаційне моделювання — як засіб побудови множини сценарних комбінацій характеристик підприємства, проєкту й середовища. Пари «умови сценарію — оцінки придатності» утворюють синтетичну інформаційну базу для побудови машинної моделі, яка

апроксимує результати нечіткого оцінювання та прискорює їх повторне отримання під час багатоваріантних розрахунків. При цьому машинне навчання трактується як обчислювальне наближення нечіткої моделі, а не як самостійне підтвердження фактичної доступності фінансування чи відповідності оцінок реальним результатам підприємств.

8. Обґрунтовано концептуальну логіку формування архітектури інвестиційного забезпечення як послідовності відбору та комбінування інструментів. На початковому етапі встановлюється, які інструменти можуть бути розглянуті за конкретних умов; далі визначаються допустимі конфігурації, що забезпечують повне покриття потреби проєкту й відповідають обмеженням щодо власної участі, боргового навантаження, доступних обсягів, строків і вимог співфінансування. Серед допустимих конфігурацій оцінюються компроміси між вартістю ресурсів, ризиком, часом мобілізації фінансування, концентрацією джерел і складністю управління. Оскільки поліпшення одного параметра може погіршити інший, концепція передбачає формування множини Парето-ефективних альтернатив і подальший вибір компромісного рішення, а не пошук структури, оптимальної лише за одним критерієм.

9. Обґрунтовано методологічний вибір методів відповідно до природи невизначеності інвестиційного рішення. Для задачі формування інвестиційного забезпечення розмежовано випадкову мінливість параметрів, неповноту інформації, нечіткість якісних оцінок і взаємозалежність чинників. Відповідно, нечітке моделювання призначено для формалізації поступових переходів між економічними станами та експертних суджень; імітаційне — для дослідження множини можливих комбінацій умов; машинне навчання — для прискореного відтворення результатів оцінювання під час багаторазових розрахунків; багатокритеріальні методи — для порівняння допустимих конфігурацій фінансування. Таке розмежування запобігає методологічному ототожненню прогнозу придатності інструмента, оцінки його доступності й вибору його частки у фінансуванні.

10. Методологічно обґрунтовано формування сценарної інформаційної бази та її використання для прогнозної апроксимації оцінок придатності. Сценарій розглядається як узгоджена комбінація параметрів підприємства, проєкту, умов залучення ресурсів і зовнішнього середовища, а не як механічне варіювання окремих показників. Поєднання імітаційного генерування умов із нечітким оцінюванням формує навчальні дані для машинної моделі, яка відтворює саме результати нечіткої системи. Обґрунтовано, що вибір апроксимаційної моделі має враховувати не лише середню точність, а й локальні похибки, поведінку на граничних сценаріях, стабільність і швидкість розрахунків. Така постановка визначає межі інтерпретації прогнозу: він прискорює сценарне порівняння інструментів, але сам собою не підтверджує фактичну доступність фінансування.

11. Розроблено методологічну послідовність багатокритеріального формування та вибору фінансової конфігурації. Спочатку відсіюються інструменти й комбінації, що не відповідають умовам допустимості; далі визначаються недоміновані альтернативи без попереднього зведення критеріїв до одного інтегрального показника; після цього критерії зважуються, а альтернативи ранжуються для вибору компромісного рішення. У дисертації цю послідовність формалізовано через поєднання змішаної цілочислової оптимізації та AUGMECON2 для побудови Парето-множини, CRITIC — для визначення інформаційної вагомості критеріїв, MARCOS — для ранжування альтернатив. Економічний зміст такого підходу полягає в тому, що обов’язкові вимоги до фінансування не компенсуються високими результатами за іншими критеріями, а переваги за вартістю, ризиком, строками мобілізації, концентрацією та складністю оцінюються лише серед реалізованих варіантів.

12. Обґрунтовано методичний підхід до перевірки стійкості рішення та встановлення чинників його зміни. Сценарний аналіз дає змогу оцінити поведінку сформованої архітектури за конкретних комплексних змін середовища, тоді як глобальний аналіз чутливості визначає вплив окремих параметрів у всьому заданому просторі їх варіювання. Розмежовано

чутливість економічного результату за незмінної структури та чутливість самого рішення, тобто зміну складу й часток джерел. Зіставлення індексів першого порядку й повних індексів Sobol дає змогу виявити не лише прямий вплив чинника, а й його взаємодію з іншими обмеженнями. У такий спосіб перевірка стійкості переходить від констатації зміни показників до визначення параметрів, які здатні зберегти допустимість рішення, погіршити його економічні характеристики або зумовити перебудову фінансування.

13. Параметризовано ієрархічну нечітку модель оцінювання придатності інвестиційних інструментів. Для первинних характеристик визначено лінгвістичні стани та функції належності, а для контурних і підсумкових оцінок — послідовність їх агрегування за правилами Мамдані. Базу правил структуровано за економічним призначенням: сприятливі правила відображають умови, що підвищують відповідність інструмента; обмежувальні й критичні — фіксують чинники, які знижують її або унеможливлюють використання; компенсаційні та інструмент-специфічні — враховують взаємодію характеристик і відмінності способів фінансування. Ієрархічна побудова дає змогу не лише отримати підсумкову оцінку, а й локалізувати її джерело — стан підприємства, особливості проєкту, параметри ресурсу чи зовнішні умови. Це надає оцінюванню діагностичного значення для управлінського вибору.

14. Сформовано модельний контур оперативного відтворення нечітких оцінок та їх внутрішньої інтерпретації. Для апроксимації залежності між параметрами інвестиційної ситуації та оцінками придатності передбачено порівняння ансамблевих деревних алгоритмів і нейромережевого підходу, а також окремих і багатовихідних моделей. Вибір моделі обґрунтовується сукупністю характеристик: точністю на навчальній, валідаційній і тестовій вибірках, поведінкою на граничних сценаріях, стійкістю та швидкістю прогнозування. Для інтерпретації передбачено глобальний і локальний аналіз SHAP, який показує внесок характеристик у прогноз конкретного інструмента. Водночас результати такого аналізу трактуються як пояснення логіки

машинної апроксимації нечіткої системи, а не як встановлення причинного впливу факторів чи підтвердження відповідності моделі фактичній поведінці підприємств.

15. Економічно конкретизовано склад критеріїв і параметрів оптимізаційної моделі формування архітектури. Вартість фінансування розглядається не лише як номінальна ставка: для боргу враховуються витрати на його обслуговування, для приватного капіталу — винагорода інвестора, для власних коштів — альтернативна вартість їх використання; за потреби враховуються також фіксовані організаційні, юридичні й транзакційні витрати залучення інструмента, що дає змогу зіставляти джерела за повним економічним навантаженням. У моделі окремо враховано взаємозв'язок диверсифікації та керованості: зменшення концентрації фінансування може знизити залежність від одного джерела, але водночас збільшити витрати координації, контролю й звітності. Економічна доцільність конфігурації оцінюється з урахуванням не лише ціни ресурсів, а й витрат управління їх поєднанням.

16. Обґрунтовано порядок інтерпретації рейтингу альтернатив з урахуванням властивостей вибірки та близькості результатів. Ваги CRITIC відображають варіативність критеріїв і ступінь дублювання інформації у сформованій множині альтернатив, тому їх не слід ототожнювати з незмінними стратегічними пріоритетами підприємства. Відповідно, рейтинг MARCOS характеризує компромісність рішення щодо конкретного набору допустимих конфігурацій і заданих умов, а не його універсальну перевагу. Якщо оцінки кількох альтернатив близькі, до подальшого сценарного аналізу доцільно передавати не лише варіант із найвищим рейтингом, а й найближчі конкурентні конфігурації, що зменшує ризик надмірної залежності управлінської рекомендації від невеликих змін вихідних даних або складу альтернатив.

17. Практична апробація засвідчила залежність придатності інвестиційних інструментів від поєднання характеристик підприємства та конкретного

проєкту. Грантове фінансування виявилося більш відповідним для соціально пріоритетних об’єктів, приватний капітал — для масштабних проєктів із вищою економічною результативністю, партнерське фінансування — для великих інфраструктурних проєктів. Результати оцінювання підтвердили недоцільність універсального ранжування інструментів поза контекстом проєкту. Водночас апробація ґрунтувалася на синтетичних профілях і свідчить про поведінку моделей за заданих умов, а не про фактичні характеристики конкретних підприємств.

18. Перевірка прогнозних моделей підтвердила доцільність окремого відтворення оцінок придатності для різних інструментів. Найкращі результати забезпечила конфігурація з окремими моделями CatBoost, яка відтворювала нечіткі оцінки з прийнятною точністю на синтетичній тестовій вибірці. Аналіз контрольних і граничних сценаріїв, локальних похибок та SHAP-внесків дав змогу оцінювати не лише точність прогнозу, а й умови, за яких він формується. Така перевірка підвищує обґрунтованість попереднього порівняння фінансових альтернатив, однак сама по собі не підтверджує відповідності оцінок реальним процесам залучення коштів.

19. Розрахунки для базової конфігурації підприємства й проєкту визначили компромісну структуру фінансування на основі поєднання власних ресурсів і пільгового кредиту. Її перевага полягала в узгодженні строків мобілізації, ризику та складності управління, хоча за вартістю вона поступалася окремим альтернативам. Це підтвердило, що структура з найнижчою вартістю або найменшим ризиком не обов’язково є найкращою за сукупністю економічних і управлінських характеристик. Так само висока оцінка придатності окремого джерела не гарантує його включення до рекомендованої структури, якщо його використання погіршує інші параметри фінансування.

20. Сценарна перевірка виявила як відносну стійкість базової структури, так і умови її перебудови. За посилення боргових обмежень модель передбачала залучення приватного капіталу для заміщення частини позикового ресурсу. Аналіз чутливості підтвердив провідну роль боргових обмежень у зміні

структури та показав, що пороги придатності впливають на доступність резервних джерел у взаємодії з іншими умовами. Водночас однакові частки фінансування можуть мати різний запас проходження порога придатності, а незмінність структури не означає незмінності її економічних характеристик. Виявлені закономірності стосуються досліджених сценаріїв і потребують перевірки за фактичними ресурсними лімітами та умовами фінансування конкретного підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Серватинська І. М. Нормативне визначення гарантійної будівництва та економічне значення. VII Міжнародна науково-практична інтернет конференція «Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку» від 15 квітня 2026 року. 2026. С. 326—328.

2. Серватинська І. М. Особливості диференціації доходів домогосподарств в Україні. 2021.

3. Серватинська І. М. Оптимізація депозитного портфеля банку. 2021.

4. Бочко О., Донець Д., Кузяк В. Побудова базової платформи інвестиційного забезпечення підприємства в умовах пандемії. *Економіка та суспільство*. 2021. № 30.

5. Серватинська І. М. Недоліки діючого бюджетного механізму. 2021.

6. Серватинська І. М. Бюджетний механізм: виклики сьогодення. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка» : науковий журнал. Острог : Вид-во НаУОА, червень*. 2021. № 21 (49). С. 94—99.

7. Гречко А. В., Джумакєєва Д. Д. Інвестиційне забезпечення інноваційного розвитку підприємств в україні в воєнний та поствоєнний період. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2022. № 22.

8. Романова Л., Грігєрман Є. Інвестиційне забезпечення діяльності підприємств будівельної галузі україни в період війни. *Розвиток міста*. 2025. № 3 (07). С. 85—93.

9. Караван Н. А., Голишева Ю. Порівняльний аналіз підходів до визначення сутності інвестиційного потенціалу підприємства. *Scientific Bulletin of PUET: Economic Sciences*. 2025. № 1(115).

10. Ємельянов О., Цейтлін І., Зіланов Ю. Чинники формування та показники оцінювання інвестиційного потенціалу підприємств. *Adaptive Management Theory and Practice Economics*. 2024. Вип. 19, № 38.

11. Серватинська І. М. Економічний аналіз основних показників проекту державного бюджету України на 2021 р. 2020.
12. Серватинська І. М. Державні облігації як альтернатива банківському депозиту. *Вісник Одеського національного університету. – Економіка»*. 2020. Вип. 25, № 2 (81). С. 146—150.
13. Серватинська І. М. Витрати і заощадження домогосподарств як чинник економічного зростання. *Збірник наукових праць «Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики». – Том 2.* -. 2019. Вип. 2, № 29. С. 454—461.
14. Myers S. C., Majluf N. S. Corporate financing and investment decisions when firms have information that investors do not have. *Journal of Financial Economics*. 1984. Вип. 13, № 2. С. 187—221.
15. Rauh J. D. Investment and Financing Constraints: Evidence from the Funding of Corporate Pension Plans. *The Journal of Finance*. 2006. Вип. 61, № 1. С. 33—71.
16. Hirth S., Viswanatha M. Financing constraints, cash-flow risk, and corporate investment. *Journal of Corporate Finance*. 2011. Вип. 17, № 5. С. 1496—1509.
17. Cowling M., Wilson N., Liu W., Yang H. How Do Businesses Finance New Investment? *The Manchester School*. 2026. Вип. 94, № 3. С. 278—295.
18. Sengul M., Costa A. A., Gimeno J. The Allocation of Capital within Firms. *Academy of Management Annals*. 2019. Вип. 13, № 1. С. 43—83.
19. Корсун І. М., Костогриз В. Г. Європейський досвід застосування фінансових інструментів щодо заощаджень домогосподарств. *«Перспективи розвитку національної економіки України: теоретичні та практичні аспекти»: колективна монографія // Кол. авторів. Полтава: ПП «Астрая»,*. 2023. С. 105—112.
20. Галько Л. Інвестиційна діяльність підприємства: стратегія і тактика управління. *Економіка та суспільство*. 2021. № 31.
21. Крижанівська М., Степанова А. Концептуальні засади управління інвестиційною діяльністю підприємства. *Економіка та суспільство*. 2022. № 37.

22. Рудь О. О. Інвестиційна політика як інструмент реалізації інвестиційної діяльності підприємства. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2024. № 14. С. 90—95.
23. Poliakov M. Determination of Modern Trends in the Investment Activity of Enterprises. *Economic Herald of the Donbas*. 2024. № 3 (77). С. 60—65.
24. Воськало Н., Ковальчик Т. Роль обліково-аналітичного забезпечення у формуванні інвестиційної політики підприємства. *Економіка та суспільство*. 2024. № 61.
25. Busenbark J. R., Wiseman R. M., Arrfelt M., Woo H.-S. A Review of the Internal Capital Allocation Literature: Piecing Together the Capital Allocation Puzzle. *Journal of Management*. 2017. Вип. 43, № 8. С. 2430—2455.
26. Hoang D., Gatzer S., Ruckes M. The Economics of Capital Allocation in Firms: Evidence from Internal Capital Markets. *Management Science*. 2025. Вип. 71, № 8. С. 6392—6425.
27. Graham J. R., Harvey C. R. The theory and practice of corporate finance: evidence from the field. *Journal of Financial Economics*. 2001. Вип. 60, № 2—3. С. 187—243.
28. Andor G., Mohanty S. K., Toth T. Capital budgeting practices: A survey of Central and Eastern European firms. *Emerging Markets Review*. 2015. Вип. 23. С. 148—172.
29. Wnuk-Pel T. The Practice and Factors Determining the Selection of Capital Budgeting Methods – Evidence from the Field. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. Вип. 156. С. 612—616.
30. Kremer R. Corporate capital allocation: a behavioral perspective and guidance for future research. *Journal of Strategy and Management*. 2023. Вип. 16, № 3. С. 429—445.
31. Гаман Г. В., Корсун І. М. Інтелектуальна міграція як загроза економічної безпеки держави. *Modern aspects of science* 40-th volume of the international collective monograph Czech Republic,. 2024.

32. Xie F. Managerial flexibility, uncertainty, and corporate investment: The real options effect. *International Review of Economics & Finance*. 2009. Вип. 18, № 4. С. 643—655.
33. Bulan L. T. Real options, irreversible investment and firm uncertainty: New evidence from U.S. firms. *Review of Financial Economics*. 2005. Вип. 14, № 3—4. С. 255—279.
34. Mombello B., Olsina F., Pringles R. Investments under strategic competition and uncertainty: A literature review on real option games. *Computers & Operations Research*. 2026. Вип. 186. С. 107328.
35. Bilicka K. Are financing constraints binding for investment? Evidence from a natural experiment. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2020. Вип. 177. С. 618—640.
36. Khataybeh M. A. Do financing constraints hinder corporate fixed investment? Evidence from the Amman stock exchange. *Cogent Business & Management*. 2021. Вип. 8, № 1. С. 1910161.
37. Korsun I., Slynko M. Investment potential of Ukraine: current state and prospects. *Modern aspects of science.*| 37- th volume of the international collective monograph, | Czech Republic,. 2023.
38. Harbar Zh., Maiborodiuk K. Investment support of innovative development of agricultural in ukraine. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2021. № 12. С. 18.
39. Frank M. Z., Goyal V. K. Capital Structure Decisions: Which Factors Are Reliably Important? *Financial Management*. 2009. Вип. 38, № 1. С. 1—37.
40. Morellec E., Valta P., Zhdanov A. Financing Investment: The Choice Between Bonds and Bank Loans. *Management Science*. 2015. Вип. 61, № 11. С. 2580—2602.
41. Naeem K., Li M. C. Corporate investment efficiency: The role of financial development in firms with financing constraints and agency issues in OECD non-financial firms. *International Review of Financial Analysis*. 2019. Вип. 62. С. 53—68.

42. Kim T., Lee B. B., Paik D. G. The relationship between financial constraints and investment efficiency. *Journal of Corporate Accounting & Finance*. 2025. Вип. 36, № 1. С. 61—80.

43. Luo H. (Robin), Islam A. R. M., Wang R. Financing Constraints and Investment Efficiency in Canadian Real Estate and Construction Firms: A Stochastic Frontier Analysis. *Sage Open*. 2021. Вип. 11, № 3. С. 21582440211031502.

44. Gamba A., Triantis A. The Value of Financial Flexibility. *The Journal of Finance*. 2008. Вип. 63, № 5. С. 2263—2296.

45. Sun R., Zhang B. Can fintech make corporate investments more efficient? A study on financing constraints and agency conflicts. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2023. Вип. 36, № 3. С. 2185795.

46. П’ятночка Б. Теоретичні аспекти дослідження інвестиційної привабливості будівельних підприємств. *Економіка та суспільство*. 2024.

47. Shash A. A., Qarra A. A. Cash Flow Management of Construction Projects in Saudi Arabia. *Project Management Journal*. 2018. Вип. 49, № 5. С. 48—63.

48. Holtström J., Kenlind S. S., Nord T. Project-based business models in the construction industry – key success factors for sustainable timber extension projects. *Construction Management and Economics*. 2024. Вип. 42, № 7. С. 656—669.

49. Lu Q., Won J., Cheng J. C. P. A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2016. Вип. 34, № 1. С. 3—21.

50. Michałowski M. Wpływ strategii zarządzania kapitałem obrotowym na rentowność i ryzyko firmy: na przykładzie publicznych spółek sektora budownictwa w Polsce. *Ekonomia Międzynarodowa*. 2025. № 47. С. 23—43.

51. Yang H., Yang Z. The Construction of an Economic Performance Evaluation Model for Construction Project Management and Empirical Verification from Multiple Perspectives. *Buildings*. 2025. Вип. 15, № 5. С. 665.

52. Maksiuta A. Investment Support for the Innovative Transformation of Construction Industry Enterprises. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. Вип. 2, № 54. С. 276—288.

53. Серватинська І. М. Облігації внутрішніх державних позик України: суть і перспективи. 2019.
54. Navon R. Cash flow forecasting and updating for building projects. *Project Management Journal*. 1996. Вип. 27. С. 14—23.
55. Maravas A., Pantouvakis J.-P. Project cash flow analysis in the presence of uncertainty in activity duration and cost. *International Journal of Project Management*. 2012. Вип. 30, № 3. С. 374—384.
56. Soliman E., Alrasheed K. Difference in S-curve for different types of construction projects. *Journal of Engineering Research*. 2022. Вип. 10, № 1. С. 17—28.
57. Al Alawi M. Delay in payment effects on productivity of small and medium construction companies in Oman: exploration and ranking. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2021. Вип. 22, № 7. С. 1347—1359.
58. Xie H., Zheng J., Zhang Y., Li H. Effects of Payment Delays at Two Links in Payment Chains on the Progress of Construction Projects: System Dynamic Modeling and Simulation. *Sustainability*. 2019. Вип. 11, № 15. С. 4115.
59. Лич В. М., Корсун І. М. Альтернативні джерела сукупних ресурсів домогосподарств: регіональний аспект. *Журнал «Економічний форум», Луцький національний технічний університет Том 13,*. 2023. Вип. 13, № 4. С. 155—167.
60. Костогриз В. Г., Жежерун Ю. В., Корсун І. М. Банківський сектор України у просторі впливу VUCA–середовища на фінансову стабільність. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Економічна»*. 2022. № 103.
61. Корсун І. М., Костогриз В. Г., Сологуб М. П. Ефективні ділові комунікації і PR в підприємницькій діяльності. *Електронний журнал «Ефективна економіка»*. –. 2022. № 1.
62. Корсун І. М., Зінченко М. М., Мостовенко О. О. Функціонування будівельної галузі в умовах війни. *Економічний науково-практичний журнал "Сталий розвиток економіки"*. 2024. № 1 (48).

63. Damage U. R., Assessment N. February 2022–December 2023. *Washington, DC: World Bank Group*. 2024. С. 36—37.

64. Гбур З. Основні аспекти відновлення інвестиційної активності в будівельній сфері в умовах воєнного стану. *Public Management and Policy*. 2025. № 5(9).

65. Tsimoshynska O., Ivanova T. Innovation and investment activities of construction enterprises: advantages and disadvantages of development in Ukraine under war conditions. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. Вип. 2, № 53. С. 84—98.

66. Корсун І. М., Зінченко М. М., Мостовенко О. О. Оцінка ризиків комерційних банків як суб'єктів первинного фінансового моніторингу. *Електронний журнал «Економіка та суспільство»*. 2024. № 69.

67. Корсун І. М., Зінченко М. М., Махно С. В., Мироненко Д. Ю. Парадигма фінансування видатків державного бюджету України в умовах воєнної та післявоєнної соціально орієнтованої ринкової економіки. *Журнал «Академічний огляд»*. 2023. № 2 (59).

68. OECD Infrastructure Policy Review of Ukraine. OECD Publishing, 2026. ISBN 978-92-64-55170-1.

69. Корсун І. М. Сучасні напрями фінансової науки. 2025.

70. Корсун І. М. Огляд основних кількісних показників діяльності девелоперів будівництва в Україні. 2025.

71. Ukraine Investment Framework - Enlargement and Eastern Neighbourhood. 2026.

72. Корсун І. М. Фінансово-економічна діяльність суб'єктів підприємницької діяльності в будівництві. 2024.

73. Корсун І. М. Законодавче регулювання фінансового аудиту місцевих бюджетів. 2024.

74. Call for Expressions of Interest from EU/EEA and Ukrainian businesses to invest in Ukraine - Enlargement and Eastern Neighbourhood. .

75. Корсун І. М. Генезис та періодизація розвитку фондів соціального страхування. *Науковий журнал «Науковий погляд: економіка та управління»*. 2024. № 1 (85). С. 50—57.
76. Корсун І. М. Фінансові інструменти збереження заощаджень громадян в умовах соціально- економічної, політичної криз. 2023.
77. EU announces new €2.3 billion agreements package at the Ukraine Recovery Conference 2025 - Enlargement and Eastern Neighbourhood. .
78. OECD Exploring financing mechanisms for Ukraine’s infrastructure reconstruction. 2026.
79. Приймак І., Тимків Н. Страхування інвестицій від воєнних ризиків: сутність, необхідність та перспективи розвитку в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024. № 59.
80. Корсун І. М. Облікова ставка: монетарний інструмент грошово-кредитної політики держави 2021 - 2023 рр. 2023.
81. Корсун І. М. Динаміка депозитного і кредитного портфеля домогосподарств України. 2023.
82. URGF Ukraine war risk insurance. .
83. Решітко Н. Інвестиційні інструменти та державна підтримка розвитку будівельних підприємств. *Економіка та суспільство*. 2025. № 79.
84. Корсун І. М. Аудит в державному секторі: зарубіжний досвід. 2023.
85. Корсун І. М. Стратегічні та тактичні напрями розвитку валютних операцій в Україні. 2022.
86. Корсун І. М. Основні показники діяльності комерційних банків на валютному ринку. 2022.
87. Pinchuk O. H. The public-private partnership as a model of financing and implementation of construction projects: essence, advantages and disadvantages. *Uzhhorod National University Herald. Series: Law*. 2025. Вип. 2, № 90. С. 311—317.
88. EU4Business Guarantee Facility II. .

89. IFC Announces New Initiatives to Accelerate Ukraine’s Reconstruction at Ukraine Recovery Conference. .
90. Масленніков Є., Рябов С., Кіртока Р. Інвестиційно-інноваційна діяльність підприємств в умовах воєнного стану: економіко-правові механізми забезпечення стійкості та де-рискінгу. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 6 (57). С. 89—97.
91. Mobilising investment into infrastructure: Infrastructure Policy Review of Ukraine. 2026.
92. Drebot O. I., Vysochanska M., Bilotil V., Yaremko O. Restoration of Ukraine’s housing stock through the lens of green construction: challenges, prospects, and the role of stakeholders. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. 2026. Вип. 24, № 3. С. 83—101.
93. Nowinska A., Roslyng Olesen T. Inter-state war dynamics and investment: Insights from the Russia- Ukraine war. *Journal of Business Research*. 2025. Вип. 186. С. 114911.
94. Bai S., Bukhanenko I. Project risk management in construction. *Scientia fructuosa*. 2025. Вип. 164, № 6. С. 83—95.
95. Kucherenko O., Fedorov V., Krupnyk D. Economic and methodological foundations for diagnosing investment and financial risks in construction development under wartime and post-war transformations. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. Вип. 2, № 54. С. 299—307.
96. Li X., Li H., Qiu F. The Impact of Financing Constraints on the Efficiency of Investment and Construction: Evidence from Municipal Infrastructure in China. *Sage Open*. 2024. Вип. 14, № 2. С. 21582440241243206.
97. Рябенко В. В., Томецький В. М. Особливості інвестиційної діяльності в умовах воєнного стану: аналіз змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі підприємства. *Київський економічний науковий журнал*. 2025. № 11. С. 242—249.
98. Boichyk V. Analysis of the development of the construction industry in Ukraine during the war. *Economics and region*. 2026. Вип. 1, № 100. С. 8—14.

99. Alsharef A., Ovid A., Jamil Uddin S., Albert A. Biggest challenges facing the construction industry. 2024.

100. Kitsoft Кабінет Міністрів України - Затверджено зміни до правил визначення вартості будівництва, – Мінрозвитку. .

101. Куліков О. Інтегральне оцінювання інвестиційного клімату будівельного комплексу україни в умовах повоєнного відновлення. *Сталий розвиток економіки*. 2026. № 2 (59). С. 1134—1142.

102. Ракицька С., Степанковська В. Система антикризового управління будівельними підприємствами в умовах воєнного стану. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 3 (54). С. 108—114.

103. EBRD 2025 finance for Ukraine rises to a record €2.9 billion. .

104. Гаман Г. В., Серватинська І. М. Фінансові втрати економіки України від релокації підприємств під час війни. *Журнал «Трансформаційна економіка». Вип*. 2025. № 4 (13). С. 32—39.

105. Velychko A. Construction Financing in Ukraine: Analysis of the Current State, Trends, and Directions for Enhancing Investment Resource Mobilization. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2023. Вип. 3, № 52. С. 144—157.

106. Корсун І. М. Інноваційні інструменти маркетингово-логістичних процесів: бізнес- планування. 2021.

107. Зінченко М. М., Мостовенко О. О., Корсун І. М. Цифрові гроші: переваги та ризики для економіки. *Науковий збірник «Просторовий розвиток» Київського національного університету будівництва і архітектури*. 2024. № 9. С. 327—336.

108. Karabanyk S., Mykytiuk Y. The role of self-financing in introducing innovative development in construction organizations. *Herald of Ternopil National Economic University*. 2018. № 1(87). С. 98—105.

109. Żak K. The diagnosis of internal financing and bank financing of physical investments in the corporate sector: a comparative analysis Poland and Hungary. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Finanse Rynki Finansowe Ubezpieczenia*. 2017. Вип. 89. С. 267—278.

110. Honková I. Use of external sources of financing in the construction industry. 2016.

111. Mądra-Sawicka M., Kalisiak A. Microeconomic determinants of the capital structure – evidence based on construction companies listed on warsaw stock exchange – empirical evi-dence based on panel data. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Finanse Rynki Finansowe Ubezpieczenia*. 2017. Вип. 89. С. 89—101.

112. Choi J.-K., Yoo S.-K., Kim J.-H., Kim J.-J. Capital Structure Determinants among Construction Companies in South Korea: A Quantile Regression Approach. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2014. Вип. 13, № 1. С. 93—100.

113. Setiawan C., Yumeng Q. The Determinants of Capital Structure on China-Listed Construction Companies. *JAAF (Journal of Applied Accounting and Finance)*. 2021. Вип. 5, № 1. С. 1.

114. Івахненко І. Перспективи використання сучасних механізмів фінансування будівництва. *Економіка та суспільство*. 2021. № 25.

115. Гаман Г. В., Корсун І. М. Особливості ведення та оподаткування бізнесу ФОПів. *Збірник «Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин» Київського національного університету будівництва і архітектури*. 2024. Вип. 54, № 1. С. 234—245.

116. Шпакова Г. В., Лич В. М., Серватинська І. М. Фінансові інструменти та моделі інвестування у будівництві в умовах війни. *Ефективна економіка. Дніпровський державний аграрно-економічний університет*. 2026. № 5.

117. Gemson J., Rajan A. T. Private Equity Financing in Infrastructure and Real Estate: Impact, Strategies, and Value Addition. Singapore:Springer Nature Singapore, 2023. ISBN 978-981-16-1633-4.

118. Чернявська Ю. Б., Гаман Г. В., Серватинська І. М. Система оподаткування ФОП і ТОВ в Україні: порівняльний аналіз та критерії вибору. *Збірник наукових праць «Формування ринкових відносин в Україні». Вип*. 2025. № 12 (295).

119. Серватинська І. М., Мостовенко О. О., Гоменюк О. В. Аудит використання бюджетних коштів у бюджетних установах як інструмент фінансового контролю. *Актуальні питання економічних наук*. 2026. № 20.
120. Carlo A., Eichholtz P., Kok N., Wijnands R. Pension fund investments in infrastructure. *Journal of Asset Management*. 2023. Вип. 24, № 5. С. 329—345.
121. Lu Q., Wilson C. Infrastructure financing in Africa. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. 2024. Вип. 91. С. 101954.
122. Серватинська І. М., Лич В. М. Фінансовий механізм будівельного девелопменту в умовах багатофакторного середовища. *Науково-виробничий журнал «Бізнес-навігатор». Випуск 2 (85)*. 2026. № 2 (85).
123. Avellán L., Galindo A. J., Lotti G., Rodríguez J. P. Bridging the gap: Mobilization of multilateral Development Banks in Infrastructure. *World Development*. 2024. Вип. 176. С. 106498.
124. MIGA’s Ukraine Response | World Bank Group Guarantees | MIGA. .
125. DFC, MIGA Sign Agreement to Advance Political Risk Insurance in Ukraine | DFC. 2026.
126. EIB Group steps up support for Ukraine with over €470 million for housing, connectivity and private sector growth. .
127. Kitsoft Кабінет Міністрів України - Гранти на відновлення: Юлія Свириденко анонсувала нову грантову програму для постраждалих підприємств. .
128. Regulation (EU) 2024/792 of the European Parliament and of the Council of 29 February 2024 establishing the Ukraine Facility. — [Чинний від 2026-02-27].
129. Full Report: OECD DAC Blended Finance Guidance 2025. 2025.
130. Flammer C., Giroux T., Heal G. M. Blended finance. *Journal of Financial Economics*. 2026. Вип. 183. С. 104321.
131. Blended Finance in Infrastructure. .
132. The role of guarantees in blended finance. 2021.
133. Donor Financing Mechanisms for Supporting Ukraine. .

134. Chen C., Gardes-Landolfini C., Mitra A., Reinders H. J. Private Finance and Climate Investment Needs: An Analytical Framework. *IMF Working Papers*. 2026. Вип. 2026, № 175. С. 1.
135. Hasebe A. Blended finance and climate outcomes: An empirical study of emerging economies. *Journal of Climate Finance*. 2026. Вип. 16. С. 100091.
136. Kalina I., Velychko A. Financial instruments of investment in construction in the context of strategic development of development companies. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2024. Вип. 2, № 53. С. 161—173.
137. Maksiuta A. Use of modern financial instruments to attract investments into the construction industry. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2025. Вип. 1, № 56. С. 365—373.
138. Thein E. E., Niigata A., Inaba K. Concentrated bank market and SMEs' collateral issues: a study of the firms of developing Asian countries. *Journal of Economic Structures*. 2024. Вип. 13, № 1. С. 18.
139. Yan H., Ling Y. The impact of maturity mismatch between investment and financing on corporate financial risk: evidence from China. *Applied Economics*. 2025. Вип. 57, № 60. С. 11173—11186.
140. Kurniawati D. D., Ratnawati T., Pristiana U. The Effect of Liquidity, Activitiy and Capital Structure on Profitability, Financial Distress and Firm Value in Building Construction and Property and Real Estate Companies Listed on The Indonesia Stock Exchange. *International Journal of Economics (IJEC)*. 2024. Вип. 3, № 2. С. 735—751.
141. Brandão I. F., Crisóstomo V. L. Shareholding Control, Corporate Governance, and Equity Financing in Brazil. *BAR - Brazilian Administration Review*. 2025. Вип. 22, № 3. С. e240015.
142. Rasheed N., Shahzad W., Rotimi J. Factor analysis of risk allocation criteria (RAC) in public-private partnership (PPP) projects: A case of New Zealand. *Construction Economics and Building*. 2024. Вип. 24, № 4/5.
143. Musarat M. A., Maqsoom A., Naeem M. H., Ullah F., Salman A., Alaloul W. S., Zahoor H. Evaluating the correlation between project selection criteria and

organizational performance within the construction industry. *Ain Shams Engineering Journal*. 2024. Вип. 15, № 7. С. 102794.

144. Nithya N. S., Thota S., Rathour L., Shanmugasundaram P. A new multi-criteria decision making method for the selection of construction contractors using interval valued fuzzy set. *BMC Research Notes*. 2024. Вип. 17, № 1. С. 113.

145. Ding Q., Huang S., Fu G., Wang B. Investment analysis of the private firm under different financial arrangements in infrastructure projects. *PLOS ONE*. 2024. Вип. 19, № 2. С. e0287418.

146. Guo J., Kato H. Role of Government Equity Investment in Capital Structure of Project Finance: Global Evidence from PPP Projects in Developing Countries. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2024. Вип. 150, № 3. С. 04024003.

147. Stachoń T., Szóstak M., Konior J. Updating Financial Contingency in Execution of Typologically Diverse Construction Projects. *Applied Sciences*. 2025. Вип. 15, № 8. С. 4445.

148. Chortareas G., Noikokyris E. Investment, firm-specific uncertainty, and financial flexibility. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2021. Вип. 192. С. 25—35.

149. Meng Z. Infrastructure Project Finance and Investment Management: Bankability, Risk Allocation, and Capital Recycling. *Journal of Economic Surveys*. 2026. С. joes.70150.

150. Brzozowska K. Approach to Blended Financing in Polish Regional Policy According to EU Rules. *European research studies journal*. 2024. Вип. XXVII, № Issue 3. С. 1264—1276.

151. Goguen J. A. L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Information and control, vol. 8 (1965), pp. 338–353. - L. A. Zadeh. Similarity relations and fuzzy orderings. Information sciences, vol. 3 (1971), pp. 177–200. *The Journal of Symbolic Logic*. 1973. Вип. 38, № 4. С. 656—657.

152. Zadeh L. A. Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*. 2008. Вип. 178, № 13. С. 2751—2779.

153. Baykasoglu A., Dereli T., Das S. Project Team Selection Using Fuzzy Optimization Approach. *Cybernetics and Systems*. 2007. Вип. 38, № 2. С. 155—185.

154. Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B. Controlling Partnering Relations In Construction Operations Using Fuzzy Reasoning. *Archives of Civil Engineering*. 2015. Вип. 61, № 3. С. 89—104.

155. Gajzler M., Zima K. Evaluation of Planned Construction Projects Using Fuzzy Logic. *International Journal of Civil Engineering*. 2017. Вип. 15, № 4. С. 641—652.

156. Rahim A. A., Musa S. N., Ramesh S., Lim M. K. Development of a fuzzy-TOPSIS multi-criteria decision-making model for material selection with the integration of safety, health and environment risk assessment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 2021. С. 1464420721994269.

157. Mamdani E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*. 1974. Вип. 121, № 12. С. 1585—1588.

158. Shwetank, Suhas, Chaudhary J. K. A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Computer Science*. 2020. Вип. 171. С. 1194—1203.

159. Pandey R., Pattanaik L. A fuzzy QFD approach to implement reverse engineering in prosthetic socket development. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. 2014. Вип. 17, № 1. С. 1—14.

160. Jha M. K., Shekhar A., Jenifer M. A. Assessing groundwater quality for drinking water supply using hybrid fuzzy-GIS-based water quality index. *Water Research*. 2020. Вип. 179. С. 115867.

161. Ellina G., Papaschinopoulos G., Papadopoulos B. K. Research of fuzzy implications via fuzzy linear regression in a eutrophic waterbody. Thessaloniki, Greece:2018.

162. Gharibi H., Sowlat M. H., Mahvi A. H., Mahmoudzadeh H., Arabalibeik H., Keshavarz M., Karimzadeh N., Hassani G. Development of a dairy cattle drinking water quality index (DCWQI) based on fuzzy inference systems. *Ecological Indicators*. 2012. Вип. 20. С. 228—237.

163. Raman B. V., Bouwmeester R., Mohan S. Fuzzy Logic Water Quality Index and Importance of Water Quality Parameters. *Air, Soil and Water Research*. 2009. Вип. 2. С. ASWR.S2156.

164. Esmeralda V.-V. M., Juan C.-H. J., Pastor S.-F. L., Luis V.-B. J., Antonio T.-B. J. Weighted fuzzy inference system for water quality management of Chirostoma estor estor culture. *Aquaculture Reports*. 2020. Вип. 18.

165. Бушуєв К. М., Петренко В. О., Савчук Л. М., Фонарьова Т. А. Використання нейро-нечітких технологій в оцінці ризиків інвестиційних проектів в умовах невизначеності. 2022.

166. Аль-Абабнех Х. А. Місце нечіткої логіки в маркетингових процесах. *ББК 65.011 я43 П 27*. 2016. С. 99.

167. Castillo O., Melin P., Kacprzyk J., Pedrycz W. Type-2 fuzzy logic: theory and applications. IEEE, 2007. ISBN 0-7695-3032-X.

168. Bukowski L., Werbińska-Wojciechowska S. Using fuzzy logic to support maintenance decisions according to Resilience-Based Maintenance concept. *Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability*. 2021. Вип. 23, № 2. С. 294—307.

169. Зарубєєва Н. Оцінка антикризового потенціалу коксохімічного підприємства на основі аналізу його стану з використанням нечіткої логіки. *Економічний аналіз*. 2010. № 5. С. 95—99.

170. Фадєєва І. Аналіз сучасної методології моделювання і регламентації бізнес-процесів на базі методів нечіткої логіки. *Регіональна економіка*. 2009. № 2. С. 214—222.

171. Kartavykh S., Komandyrov O., Kulikov P., Ploskyi V., Poltorachenko N., Terenchuk S. Adaptation of fuzzy inference system to solve assessment problems of

technical condition of construction objects. *Technology audit and production reserves*. 2020. Вип. 3. С. 52—55.

172. Keller J. M. Fundamentals of computational intelligence: neural networks, fuzzy systems, and evolutionary computation. Hoboken, New Jersey:IEEE Press/Wiley, 2016. 364 с. ISBN 978-1-119-21434-2.

173. Кравець П., Киркало Р. Системи прийняття рішень з нечіткою логікою. 2009.

174. Волков В., Макоєд Н. Нечітка логіка та проблеми керування. 2018.

175. Кондратенко Ю., Кондратенко Г., Сіденко Є. Нечіткі множини та нечітка логіка. 2019.

176. Волков В., Макоєд Н. Нечітка логіка та керування складними системами. 2015.

177. Ліскін В., Завгородній В. Нейронні мережі та нечітка логіка. *Інформаційні технології та цифрова економіка: матеріали V.* 2024. С. 106.

178. Lizunov P., Biloshchytskyi A., Kuchansky A., Andrashko Y., Biloshchytska S. Improvement of the method for scientific publications clustering based on n-gram analysis and fuzzy method for selecting research partners. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Вип. 4, № 4 (100). С. 6—14.

179. Pavlov A., Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. Hybrid fuzzy-probabilistic approach to supply chain resilience assessment. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2018. Вип. 65, № 2. С. 303—315.

180. Leshchuk H. V. Симуляційний аналіз Монте-Карло в системі оцінювання ризиків інвестиційних проектів. *Український журнал прикладної економіки*. 2017. Вип. 2, № 1. С. 57—67.

181. Клочко Н., Слабінога М., Тутка О. Застосування методу Монте-Карло для оцінки похибки доплерівських вимірювачів швидкості та кута зносу. *Методи та прилади контролю якості*. 2016. № 1 (36). С. 81—85.

182. Kennedy D. M., McComb S. A., Vozdolska R. R. An investigation of project complexity’s influence on team communication using Monte Carlo simulation.

Journal of Engineering and Technology Management. 2011. Вип. 28, № 3. С. 109—127.

183. Бойко Т., Батуринська І. Визначення техногенного ризику на основі методу Монте-Карло. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. Вип. 2, № 11 (62). С. 4—7.

184. Цимбалюк О. Кількісна оцінка ризиків промислового підприємства з використанням методу Монте-Карло. *Вісник Криворізького національного університету*. 2012. № 31. С. 354—358.

185. Ількович В., Гальченко В., Макодим В. Оцінка складових систематичної похибки при розрахунках критичних систем методом Монте-Карло. .

186. Antanasijević D., Pocajt V., Perić-Grujić A., Ristić M. Modelling of dissolved oxygen in the Danube River using artificial neural networks and Monte Carlo Simulation uncertainty analysis. *Journal of Hydrology*. 2014. Вип. 519. С. 1895—1907.

187. Staino A., Abou-Eid R., Dersin P. A Monte-Carlo approach for prognostics of clogging process in HVAC filters using a hybrid strategy a real case study in railway systems. Seattle, WA:IEEE, 2018. ISBN 978-1-5386-1165-4.

188. Renna P. A decision investment model to design manufacturing systems based on a genetic algorithm and Monte-Carlo simulation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2017. Вип. 30, № 6. С. 590—605.

189. Boyle P. P. Options: A monte carlo approach. *Journal of financial economics*. 1977. Вип. 4, № 3. С. 323—338.

190. Doucet A., Godsill S. J., Andrieu C. On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering. *Statistics and Computing*. 2000. Вип. 10. С. 197—208.

191. Robert C. P., Casella G. Monte Carlo Statistical Methods. 2004.

192. Soboĺ I. M. Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2001. Вип. 55. С. 271—280.

193. Kennedy A. D. Hybrid Monte Carlo. 1988.

194. Glasserman P. Monte Carlo Methods in Financial Engineering. 2003.
195. Neal R. M. Handbook of Markov Chain Monte Carlo. 2011.
196. Evensen G. Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. *Journal of Geophysical Research*. 1994. Вип. 99. С. 10143—10162.
197. Niederreiter H. Random number generation and Quasi-Monte Carlo methods. 1992.
198. Honcharenko I., Servatynska I. Financial unity of the world as an organic part of globalization. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2018. Вип. 4, № 2. С. 53—57.
199. Berezina O., Honcharenko I., Servatynska I., Berezhna L., Kravchenko O. Analyzing basic components and contemporary features of deposit insurance: evidence from Ukraine. *Business management theories and practices in a dynamic competitive environment. EuroMed Academy of Business Conference Book of Proceedings*. 2019. С. 110—124.
200. Berezina O., Honcharenko I., Berezhna L., Servatinska I., Petkova L., Dudchenko N. Analysis of the money supply in Ukraine and methods of its optimization. *EuroMed Journal of Business Global Business Theories and Practices OR. Business Theories and Practices around the World – EuroMed Press*. 2020. С. 123—137.
201. Korsun I., Ulinici A., Bublyk L., Humeniuk A., Andrieieva V. The impact of artificial intelligence on the transformation of the global financial market models. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2026. Вип. 104, № 2. С. 311—325.
202. Hastings W. K. Monte Carlo Sampling Methods Using Markov Chains and Their Applications. *Biometrika*. 1970. Вип. 57. С. 97—109.
203. Arellano M. A., Bond S. R. Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. *The Review of Economic Studies*. 1991. Вип. 58. С. 277—297.

204. Alnaimat M. A., Korsun I. Artificial Intelligence in Accounting: Revolutionizing Financial Management in the Digital Landscape. *Theoretical and Practical Research in Economic Fields, [S.l.],*. 2025. Вип. 16, № 1 (33). С. 130—141.

205. Соломніков І. В. Інвестиційне забезпечення техніко-технологічного оновлення підприємств залізничного транспорту. 2017.

206. Obolentseva L. Інвестиційне забезпечення управління конкурентоспроможністю промислових комплексів регіонів. 2018.

207. Sytnyk L. Інвестиційне забезпечення процесів технічного оновлення виробництва: зарубіжний досвід та Україна. *Економіка і організація управління*. 2019.

208. Миклуш Т. С. Фінансово-інвестиційне забезпечення природоохоронної діяльності як необхідна передумова комплексного природокористування. 2017.

209. Карпук А., Несторяк Ю. Ю., Олексієвець О. М. Інвестиційне забезпечення відтворення лісового біорізноманіття в контексті диверсифікації діяльності лісогосподарських підприємств. 2019.

210. Голян В., Гюлтекін О. Фінансово-інвестиційне забезпечення розбудови інфраструктури рекреаційного лісокористування в умовах поглиблення інституціональних трансформацій у лісовому секторі: еколого-економічні аспекти. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2022.

211. Голян В., Мединська Н., Лучечко Ю. М., Заставний Ю. Б. Фінансово-інвестиційне забезпечення сфери поводження з відходами: напрями формування інституціонального середовища. *Investytsiyi praktyka ta dosvid*. 2022.

212. Гурочкіна В. Інвестиційне забезпечення розвитку промислових підприємств в економіці емерджентного типу. *Підприємництво та інновації*. 2020.

213. Korobka R. V. Інвестиційне забезпечення видобутку вуглеводневої сировини в глобальному масштабі: еколого-економічні аспекти. *Фінансово-*

економічний потенціал країни і регіонів: механізми функціонування в сучасних умовах. 2023.

214. Korobka R. V. Інвестиційне забезпечення природоохоронної діяльності у добувній промисловості і розробленні кар'єрів. *Перспективи стабільного економічного розвитку та економічної безпеки: світовий досвід та вітчизняні реалії*. 2023.

215. Піріашвілі О. Інвестиційне забезпечення залізничного транспорту украни на сучасному етапі розвитку. *Сучасний стан та пріоритети модернізації фінансово-економічної системи: теорії та пропозиції*. 2023.

216. Недопад Г., Левитський В. В. Фінансово-інвестиційне забезпечення сфери поводження з відходами в контексті реалізації політики ресурсозбереження: регіональні та галузеві особливості. *Перспективи стабільного економічного розвитку та економічної безпеки: світовий досвід та вітчизняні реалії*. 2023.

217. Матрунчик Д. Фінансово-інвестиційне забезпечення інноваційної трансформації економіки регіонів україни в контексті глобальних інформаційно-технологічних трендів. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2023.

218. Скоробогатова Н. Є. Інвестиційне забезпечення інноваційного розвитку підприємств в умовах Індустрії 4.0. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2021.

219. Кліменко О. Інвестиційне забезпечення розвитку відновлюваних джерел енергії на засадах державно-приватного партнерства. *Електронний журнал «Ефективна економіка»*. 2026.

220. Лакас В. Інвестиційне забезпечення сталого розвитку регіону: інституційний та децентралізаційний вимір. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2024.

221. Калініченко Д. Ю., Бардась В. ФІнансово-інвестиційне забезпечення відтворення мінерально-сировинної бази в україні: інституційні розриви та перспективи. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2024.

222. Орел А., Майстат Ю., Якубаш О. Інвестиційне забезпечення та організаційно-економічне управління ресурсами підприємств оборонної промисловості україни в умовах воєнного стану. *Успіхи і досягнення у науці*. 2024.

223. Вахович І., Погуляйко Ю. М., Недопад Г. Фінансово-інвестиційне забезпечення модернізації інфраструктури поводження з відходами: регіональний та муніципальний вимір. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2023.

224. Кичко І., Вдовенко Н. М. Вектори та інструменти державного впливу на інвестиційне забезпечення збереження кадрового потенціалу будівельних підприємств в умовах диджиталізації. *Економіка та суспільство*. 2026.

225. Голян В., Заставний Ю. Б., Недопад Г. В., Korobka R. V. Фінансово-інвестиційне забезпечення сфери поводження з відходами як ключової ланки екологізації національної економіки: регіональні та галузеві особливості. *Журнал «Інвестиції: практика та досвід»*. 2024.

226. Лещук Г., Андрієшин Р. Інвестиційне забезпечення розвитку регіональних логістичних систем. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2025.

227. Черничко Т. В., Лукачина Є. І., Кузяк Д. Б., Морека Ю. М. Інвестиційне забезпечення розвитку територій в умовах децентралізації та інтеграції до європейського простору. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025.

228. Буценко Р. Інвестиційне забезпечення відтворення основного капіталу сфери лісогосподарського виробництва в умовах сучасних викликів: структурно-динамічна характеристика. *Економіка та суспільство*. 2026.

229. Пріхно І. М., Мартінович В. Г., Мартінович П. Г. Правове та фінансово-інвестиційне забезпечення формування інтелектуального капіталу як стратегічного ресурсу інноваційного розвитку бізнесу. *Київський економічний науковий журнал*. 2025.

230. Сас Л. С., Шеленко Д., Balaniuk І., Ємець О., Ah Р. Інвестиційне забезпечення соціально-економічного відновлення та розвитку територіальних громад як складова механізму формування якості трудового життя молоді. *Наукові інновації та передові технології*. 2025.

231. Голян В., Korobka R. V., Бардась В. Інвестиційне забезпечення діяльності сектору державних лісових господарств україни в умовах воєнних, енергетичних та децентралізаційних викликів. *Економіка та суспільство*. 2025.

232. Сичов О., Фесун А. С., Рижакова Г. М., Чуприна Ю. О., Рубцова С., Дубина Н. М. Інвестиційне забезпечення цифрового будівництва в умовах післявоєнної відбудови України. *Financial and credit activity problems of theory and practice*. 2025.

233. Воловщиков В. Ю. Нечітка логіка та нечіткі системи. .

234. Дебела І. Нечітка логіка в задачах прийняття рішень: метод Лотфі Заде. *Редакційна колегія*. 2024. С. 117.

235. Дунська А., Поліщук А. Нечітка логіка в стратегічному управлінні зовнішньоекономічною діяльністю вітчизняних підприємств. *Економічний вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут*. 2014. № 11. С. 563—571.

236. Нємченко Д. Нечітка логіка та нейронні моделі в економічному моделюванні. *Матеріали II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт у 2017/18 н. р./[за ред. проф. ВМ Вовка].–Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018.–168 с.* С. 90.

237. Чіков І. Нечітка логіка у моделюванні економічних системи. .

238. Ашурова О., Шубін І. Нечіткі множини та нечітка логіка як інструмент формалізації вимог. 2020.

239. Літвінова О. Нечітка логіка в моделях розвитку світової економіки і ринку. 2011.

240. Шингалов Д. Використання алгоритмів нечіткої логіки у рекомендаційних системах. *технологічний університет*. С. 252.

241. Граф М. С., Свінцицька О. М., Артамонов Є. Б. Нечітке моделювання для аналізу та прогнозування в складних інформаційних системах. *Технічна інженерія*. 2024. № 1 (93). С. 139—146.

242. Görçün Ö. F., Doğan G. Mobile crane selection in project logistics operations using Best and Worst Method (BWM) and fuzzy Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS). *Automation in Construction*. 2023. Вип. 147. С. 104729.

243. Chen L., Pan W. Review fuzzy multi-criteria decision-making in construction management using a network approach. *Applied Soft Computing*. 2021. Вип. 102. С. 107103.

244. Фадєєва І. Г., Гринюк О. І. Нечітка логіка як інструмент ризик-контролінгу в контексті проактивного управління нафтогазовидобувними підприємствами. *Бизнес Информ*. 2019. № 4 (495). С. 212—220.

245. Момотюк О., Поворозник В. Застосування нечіткої логіки в системах захисту інформації. *III Науково-практична конференція молодих вчених і студентів «інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі»–Тернопіль*. 2020. С. 15.

246. Кочетков О., Гаур Т., Машін В. Система оцінки ризиків інформаційної безпеки підприємства на основі нечіткої логіки. *Наукові праці ОНАЗ ім. ОС Попова*. 2019. № 1. С. 97—104.

247. Маркіна Л., Сацик В., Смолянкін О. Використання нечіткої логіки в системі автоматичного регулювання концентрації замісу при виробництві спирту. *Перспективні технології та прилади*. 2021. № 19. С. 78—84.

248. Liu W., Hu Y., Huang Q. Research on Critical Factors Influencing Organizational Resilience of Major Transportation Infrastructure Projects: A Hybrid Fuzzy DEMATEL-ISM-MICMAC Approach. *Buildings*. 2024. Вип. 14, № 6. С. 1598.

249. Rani P., Chen S.-M., Mishra A. R. Multi-attribute decision-making based on similarity measure between picture fuzzy sets and the MARCOS method. *Inf. Sci.* 2023. Вип. 658. С. 119990.

250. Зінов'єва О. Використання нечіткої логіки в системах прийняття рішень. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* 2025. Вип. 2, № 1 (92). С. 71—75.

251. Вітлінський В., Матвійчук А. Нейро-нечітке моделювання в інтелектуальних системах прийняття рішень. *Моделювання та інформаційні системи в економіці.–К.: КНЕУ*. 2008. С. 20—28.

252. Hajiaghaei-Keshteli M., Cenk Z., Erdebilli B., Özdemir Y. S., Gholian-Jouybari F. Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection in the Food Industry. *Expert Syst. Appl.* 2023. Вип. 224. С. 120036.

253. Фірсов О., Маріщук А. Нечітка система аналізу бізнес правил предметної області під час створення бази даних. 2022.

254. Кравченко М. О. Застосування методів нечіткої логіки для визначення інтегрального показника фінансової стійкості підприємств. 2016.

255. Сікора Я. Модель прийняття управлінських рішень в умовах нечіткості та невизначеності. *Наука і техніка сьогодні*. 2024.

256. Dağıstanlı H. A. An Integrated Fuzzy MCDM and Trend Analysis Approach for Financial Performance Evaluation of Energy Companies in Borsa Istanbul Sustainability Index. *Journal of Soft Computing and Decision Analytics*. 2023.

257. Tiruneh G. G., Fayek A. R., Sumati V. Neuro-fuzzy systems in construction engineering and management research. *Automation in Construction*. 2020. Вип. 119. С. 103348.

258. Iuliis M. D., Kammouh O., Cimellaro G. P. Measuring and improving community resilience: a Fuzzy Logic approach. arXiv, 2022.

259. Yuliatti M. M. E., Hardi Purba H. Construction project risk analysis based on fuzzy analytical hierarchy process (F-AHP): A Literature Review. *Advance Researches in Civil Engineering*. 2021. Вип. 3, № 3. С. 1—20.

260. Govindan K., Khodaverdi R., Jafarian A. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*. 2013. Вип. 47. С. 345—354.

261. Gul M., Ak M. F., Guneri A. F. Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2017. Вип. 23. С. 187—202.

262. Palomares I., Martínez-López L., Herrera F. A Consensus Model to Detect and Manage Noncooperative Behaviors in Large-Scale Group Decision Making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2014. Вип. 22. С. 516—530.

263. Кузьменко О., Віткін Л. DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL BASED ON FUZZY LOGIC FOR RISK ESTIMATION IN THE ACTIVITY OF A TESTING LABORATORY. *«Scientific notes of the University»KROK"*. 2024.

264. Kawamura K., Miyamoto A. Condition state evaluation of existing reinforced concrete bridges using neuro-fuzzy hybrid system. *Computers & Structures*. 2003. Вип. 81, № 18—19. С. 1931—1940.

265. Tarighat A., Miyamoto A. Fuzzy concrete bridge deck condition rating method for practical bridge management system. *Expert Systems with Applications*. 2009. Вип. 36, № 10. С. 12077—12085.

266. Ryzhakova G., Honcharenko T., Predun K., Petrukha N., Malykhina O., Khomenko O. Using of Fuzzy Logic for Risk Assessment of Construction Enterprise Management System. Astana, Kazakhstan:IEEE, 2023. ISBN 979-8-3503-3504-0.

267. Milutinovic J., Markovic D., Stanivukovic B., Švadlenka L., Dobrodolac M. A model for public postal network reorganization based on dea and fuzzy approach. 2020.

268. Marković M., Pavlović N., Ivić M. Fuzzy renewal theory about forecasting mistakes done by a locomotive driver: A serbian railway case study. *Transport*. 2011. Вип. 26, № 4. С. 403—409.

269. Кравченко С., Гришкун Є., Власенко О. Методи класифікації машинного навчання з використанням бібліотеки scikit-learn. *Вчені записки Таврійського національного університету імені ВІ Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020.

270. Чопорова О., Чопоров С., Лісняк А. Використання машинного навчання для прогнозування напружено-деформованого стану круглої пластинки. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2021. Вип. 4, № 2.2. С. 196—205.

271. Danylyuk I. Перспективи застосування методу машинного навчання для моделювання мовної особистості. *Лінгвістичні студії*. 2017. С. 159—164.

272. Lavreniuk M., Novikov A. Огляд методів машинного навчання для класифікації великих обсягів супутникових даних. *System research and information technologies*. 2018. № 1. С. 52—71.

273. Грицюк П., Гаврилюк М. Використання машинного навчання для управління процесами аграрної економіки. 2023.

274. Щепка О. Методи класифікації та кластеризації даних з використанням машинного навчання. 2023.

275. Степанюк Р.Б. Адаптація моделей нечіткого виведення з використанням штучних імунних систем до умов організації будівництва в проєктах післявоєнного відновлення інфраструктури. 2024.

276. Степанюк Р.Б. Модифікація моделей нечіткого виведення з використанням штучних імунних систем для адаптації до умов будівництва в проектах реконструкції інфраструктури після війни. Київ:2024.

277. Овчаренко О. А. Автоматизований моніторинг мостових споруд на основі штучного інтелекту. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2025. № 109. С. 81—81.

278. Березняк М. Автоматизація та штучний інтелект у промисловості 4.0. 2024.

279. ПЛАХОВ В., ДОЦЕНКО Н. Використання штучного інтелекту для прогнозування успішності проєктів розподілених команд. *Інформаційні технології та суспільство*. 2024. № 2 (13). С. 71—77.

280. Лялюк О. Г., Осипенко Р. С. Особливостії імплементації штучного інтелекту в будівництві. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2023. Вип. 35, № 2. С. 172—176.

281. Akilina O., Ivanchenko O. Адміністративний супровід управлінських рішень у сфері збуту в процесі впровадження штучного інтелекту. *Європейський науковий журнал Економічних та Фінансових інновацій*. 2025.

282. Phan V.-T., Tran V.-L., Nguyen V.-Q., Nguyen D.-D. Machine Learning Models for Predicting Shear Strength and Identifying Failure Modes of Rectangular RC Columns. *Buildings*. 2022. Вип. 12, № 10. С. 1493.

283. Taffese W. Z., Sistonen E. Machine learning for durability and service-life assessment of reinforced concrete structures: Recent advances and future directions. *Automation in Construction*. 2017. Вип. 77. С. 1—14.

284. Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*. 2001. Вип. 45, № 1. С. 5—32.

285. Chen H., Li X., Wu Y., Zuo L., Lu M., Zhou Y. Compressive Strength Prediction of High-Strength Concrete Using Long Short-Term Memory and Machine Learning Algorithms. *Buildings*. 2022. Вип. 12, № 3. С. 302.

286. Dzięcioł J., Sas W. Perspective on the Application of Machine Learning Algorithms for Flow Parameter Estimation in Recycled Concrete Aggregate. *Materials*. 2023. Вип. 16, № 4. С. 1500.

287. Krak I., Barmak O., Manziuk E. Using visual analytics to develop human and machine-centric models: A review of approaches and proposed information technology. *Computational Intelligence*. 2022. Вип. 38, № 3. С. 921—946.

288. Michele A., Colin V., Santika D. D. MobileNet Convolutional Neural Networks and Support Vector Machines for Palmprint Recognition. *Procedia Computer Science*. 2019. Вип. 157. С. 110—117.

289. Gomez-Cabrera A., Escamilla-Ambrosio P. J. Review of machine-learning techniques applied to structural health monitoring systems for building and bridge structures. *Applied Sciences*. 2022. Вип. 12, № 21. С. 10754.

290. Fujita Y., Hamamoto Y. A robust automatic crack detection method from noisy concrete surfaces. *Machine Vision and Applications*. 2011. Вип. 22, № 2. С. 245—254.

291. Nguyen T., Nguyen T., Sidorov D. N., Dreglea A. Machine learning algorithms application to road defects classification. *Intelligent Decision Technologies*. 2018. Вип. 12, № 1. С. 59—66.

292. Gunawardana A., Shani G. A survey of accuracy evaluation metrics of recommendation tasks. *Journal of Machine Learning Research*. 2009. Вип. 10, № 12.

293. Legg S., Hutter M. Universal intelligence: A definition of machine intelligence. *Minds and machines*. 2007. Вип. 17. С. 391—444.

294. Cheng J. C., Chen W., Chen K., Wang Q. Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*. 2020. Вип. 112. С. 103087.

295. Zhang X., Wogen B. E., Liu X., Iturburu L., Salmeron M., Dyke S. J., Poston R., Ramirez J. A. Machine-Aided Bridge Deck Crack Condition State Assessment Using Artificial Intelligence. *Sensors*. 2023. Вип. 23, № 9. С. 4192.

296. Xu D., Xu X., Forde M. C., Caballero A. Concrete and steel bridge Structural Health Monitoring—Insight into choices for machine learning applications. *Construction and Building Materials*. 2023. Вип. 402. С. 132596.

297. Farrar C. R., Worden K. Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective. Wiley, 2012. ISBN 978-1-119-99433-6.

298. Ye X.-W., Sun Z., Lu J. Prediction and early warning of wind-induced girder and tower vibration in cable-stayed bridges with machine learning-based approach. *Engineering Structures*. 2023. Вип. 275. С. 115261.

299. Theissler A., Pérez-Velázquez J., Kettelgerdes M., Elger G. Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Вип. 215. С. 107864.

300. Çınar Z. M., Abdussalam Nuhu A., Zeeshan Q., Korhan O., Asmael M., Safaei B. Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0. *Sustainability*. 2020. Вип. 12, № 19. С. 8211.

301. Dalzochio J., Kunst R., Pignaton E., Binotto A., Sanyal S., Favilla J., Barbosa J. Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry

4.0: Current status and challenges. *Computers in Industry*. 2020. Вип. 123. С. 103298.

302. Bouabdallaoui Y., Lafhaj Z., Yim P., Ducoulombier L., Bennadji B. Predictive Maintenance in Building Facilities: A Machine Learning-Based Approach. *Sensors*. 2021. Вип. 21, № 4. С. 1044.

303. Romanssini M., De Aguirre P. C. C., Compassi-Severo L., Girardi A. G. A Review on Vibration Monitoring Techniques for Predictive Maintenance of Rotating Machinery. *Eng*. 2023. Вип. 4, № 3. С. 1797—1817.

304. Snoek J., Larochelle H., Adams R. P. Practical bayesian optimization of machine learning algorithms. *Advances in neural information processing systems*. 2012. Вип. 25.

305. Andaur J. M. R., Ruz G. A., Goycoolea M. Predicting out-of-stock using machine learning: an application in a retail packaged foods manufacturing company. *Electronics*. 2021. Вип. 10, № 22. С. 2787.

306. Iordanis I., Koukouvinos C., Silou I. On the efficacy of conditioned and progressive Latin hypercube sampling in supervised machine learning. *Applied Numerical Mathematics*. 2024.

307. Iordanis I., Koukouvinos C., Silou I. Classification accuracy improvement using conditioned Latin Hypercube Sampling in Supervised Machine Learning. *2022 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. 2022. С. 1—5.

308. Гіріна О., Івченко В. Багатокритеріальна оптимізація структури портфеля реальних інвестицій. *Економіка та суспільство*. 2023.

309. Литвиненко П. О. СИстемний підхід до управління міжнародними бізнес- проектами: адаптивність, невизначеність та багатокритеріальна оптимізація. *Efektyvna ekonomika*. 2026.

310. Zubkov S., Колесник А. Багатокритеріальна оптимізація структури джерел фінансування оборотних активів підприємств торгівлі. 2015.

311. Morozov O. O. Багатокритеріальна оптимізація складних організаційно-технічних систем за умови невизначеності інформації. 2013.

312. Чумак В. М., Манько Є. В., Лисенко С. В. Моделювання та оптимізація комбінованих методів поверхневого зміцнення деталей машин на основі нейронних мереж і генетичних алгоритмів. *Central Ukrainian Scientific Bulletin Technical Sciences*. 2026.

313. Bulgakov M., Lohinov O., Melnyk O. Багатокритеріальна оцінка стратегій модернізації суден для зменшення викидів co_2 на базі методу TOPSIS. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2025.

314. Коваленко О. Багатокритеріальна математична модель оптимізації організаційно-логістичних процесів у цивільному будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2026.

315. Тищенко Д. С. Оптимізація фінансового забезпечення цифрової трансформації підприємств на засадах ЗСП. *Сталий розвиток економіки*. 2024.

316. Зіатдінов Ю. К., Воронін А. М. Багатокритеріальна оцінка проблемних ситуацій. *Problems of Informatization and Management*. 2022.

317. Zubova V. Оптимізація бізнес-процесів підприємства на основі bpmn-моделей. *Економіка та суспільство*. 2026.

318. Македон В. Оптимізація процесів управління продажами на основі клієнтоорієнтованого підходу. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2026.

319. Polyanska A. S., Martynets V. B., Kaban O. V. Оптимізація ланцюга постачання на підприємстві в умовах кризових явищ. *The actual problems of regional economy development*. 2022.

320. Mavrotas G., Florios K. An improved version of the augmented epsilon-constraint method (AUGMECON2) for finding the exact Pareto set in Multi-Objective Integer Programming problems. 2020.

321. Yan X.-Y., Gao C.-W., Song M., Rizwan M. AUGMECON2-based multi-objective optimization of virtual power plant considering economical and security operation of the distribution networks. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2024.

322. Shafiee M., Mehrjerdi Y. Z., Keshavarz M. Integrating lean, resilient, and sustainable practices in supply chain network: mathematical modelling and the AUGMECON2 approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 2021. С. 1—21.

323. Şimşek Ş., Özceylan E., Yalçın N. An Analysis of AUGMECON2 Method on Social Distance-Based Layout Problems. 2021.

324. Yılmaz Ö. F. AUGMECON2 Method for a Bi-objective U-Shaped Assembly Line Balancing Problem. 2020.

325. Fioriti D., Petrelli M., Berizzi A., Poli D. Microgrid Planning by Stochastic Multi-Objective Multi-Year Optimization with Capacity Expansion and Non-Linear Asset Degradation. *Sustainability*. 2026.

326. Arslan E. Y., Kara S. S. Stochastic Multi-Objective Sustainable Supply Chain Network Design with Solar Energy and Water Footprint Integration: A Hybrid NSGA-II Approach. *Sustainability*. 2026.

327. Abdolazimi O., Pasandideh S. H. R., Ma J., Abdollahpour S. S., Rezaei M., Shishebori D. Design and optimisation of green closed-loop supply chain network considering additional selling agents and multilevel customers: a SME case study. *International Journal of Production Research*. 2025. Вип. 63. С. 9974—9999.

328. Rodríguez-Escoto J.-N., Benítez E. O., Nucamendi-Guillén S., Drzymalski J. A multi-objective sustainable closed-loop supply chain network problem with hybrid facilities. *Int. Trans. Oper. Res*. 2024. Вип. 32. С. 3497—3527.

329. Shahabi-Shahmiri R., Tavakkoli-Moghaddam R., Hanzálek Z., Ghasemi M., Mirnezami S. A., Rohaninejad M. Optimizing Perishable and Non-Perishable Product Assignment to packaging lines in a Sustainable Manufacturing System: An AUGMECON2VIKOR Algorithm. *ArXiv*. 2024. Вип. abs/2410.21844.

330. Rabbani M., Mokarrari K. R., Akbarian-Saravi N. A multi-objective location inventory routing problem with pricing decisions in a sustainable waste management system. *Sustainable Cities and Society*. 2021.

331. Vafaeenezhad T., Tavakkoli-Moghaddam R., Cheikhrouhou N. Multi-objective mathematical modeling for sustainable supply chain management in the paper industry. *Comput. Ind. Eng.* 2019. Вип. 135. С. 1092—1102.
332. Petrelli M., Fioriti D., Berizzi A., Bovo C., Poli D. A novel multi-objective method with online Pareto pruning for multi-year optimization of rural microgrids. *Applied Energy*. 2021. Вип. 299. С. 117283.
333. Jabbarzadeh A., Fahimnia B., Rastegar S. Green and Resilient Design of Electricity Supply Chain Networks: A Multiobjective Robust Optimization Approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2019. Вип. 66. С. 52—72.
334. Florios K., Mavrotas G. Generation of the exact Pareto set in Multi-Objective Traveling Salesman and Set Covering Problems. *Appl. Math. Comput.* 2014. Вип. 237. С. 1—19.
335. Saensuk M., Witchakool S., Choompol A. A Hybrid Method Based on CRITIC Method and Machine Learning Models for Effective Fake News Detection in Thai Language. *Journal of Current Science and Technology*. 2024.
336. Krishnan A. R., Kasim M. M., Hamid R., Ghazali M. F. A Modified CRITIC Method to Estimate the Objective Weights of Decision Criteria. *Symmetry*. 2021. Вип. 13. С. 973.
337. Krishnan A. R. Research trends in criteria importance through intercriteria correlation (CRITIC) method: a visual analysis of bibliographic data using the Tableau software. *Information Discovery and Delivery*. 2024.
338. Hansen-Estruch P., Kostrikov I., Janner M., Kuba J. G., Levine S. IDQL: Implicit Q-Learning as an Actor-Critic Method with Diffusion Policies. *ArXiv*. 2023. Вип. abs/2304.10573.
339. Mao L.-X., Lan J., Chen A., Shi H., Liu H.-C. New Approach for Quality Function Deployment Based on Linguistic Distribution Assessments and CRITIC Method. *Mathematics*. 2025.
340. Zhong S.-H., Chen Y., Miao Y.-J. Using improved CRITIC method to evaluate thermal coal suppliers. *Scientific Reports*. 2023. Вип. 13.

341. Zhang Q., Liu C., Guo S., Wang W., Luo H., Jiang Y. Evaluation of the Rock Burst Intensity of a Cloud Model Based on the CRITIC Method and the Order Relation Analysis Method. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2023. Вип. 40. С. 1849—1863.

342. Mishra A. R., Chen S.-M., Rani P. Multicriteria decision making based on novel score function of Fermatean fuzzy numbers, the CRITIC method, and the GLDS method. *Inf. Sci.* 2022. Вип. 623. С. 915—931.

343. Ži\vzović M. R., Miljković B. D., Marinković D. Objective methods for determining criteria weight coefficients: A modification of the CRITIC method. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2020.

344. Zhao M.-Q., Wang X., Yu J., Xue L., Yang S. A Construction Schedule Robustness Measure Based on Improved Prospect Theory and the Copula-CRITIC Method. *Applied Sciences*. 2020.

345. Munoz-Gama J., Martin N., Fernandez-Llatas C., Johnson O. A., Sepúlveda M., Helm E., Galvez-Yanjari V., Rojas E., Martinez-Millana A., Aloini D. Process mining for healthcare: Characteristics and challenges. *Journal of Biomedical Informatics*. 2022. Вип. 127. С. 103994.

346. Stević Ž., Pamučar D., Puška A., Chatterjee P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Вип. 140. С. 106231.

347. Stankovic M. S., Stević Ž., Das D. K., Subotić M., Pamucar D. S. A New Fuzzy MARCOS Method for Road Traffic Risk Analysis. *Mathematics*. 2020.

348. Mishra A. R., Rani P., Pamucar D. S., Saha A. An integrated Pythagorean fuzzy fairly operator-based MARCOS method for solving the sustainable circular supplier selection problem. *Annals of Operations Research*. 2023. Вип. 342. С. 523—564.

349. Akram M., Khan A., Luqman A., Senapati T., Pamucar D. S. An extended MARCOS method for MCGDM under 2-tuple linguistic q-rung picture fuzzy environment. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2023. Вип. 120. С. 105892.

350. Zeng S., Ye A., Su W., Chen M., Llopis-Albert C. Site evaluation of subsea tunnels with sightseeing function based on dynamic complex MARCOS method. *Technological Forecasting and Social Change*. 2024.
351. Dinh V.-T., Tran H.-D., Tran Q.-H., Vu D. B., Vu D., Vu N.-P., Nguyen T.-T. Multi-Objective Optimization of a Two-Stage Helical Gearbox Using MARCOS Method. *Designs*. 2024.
352. Jayakumar V., Kannan J., Kausar N., Deveci M., Wen X. Multicriteria group decision making for prioritizing IoT risk factors with linear diophantine fuzzy sets and MARCOS method. *Granular Computing*. 2024. Вип. 9.
353. Lukić R. Analysis of Occupational Frauds Based on SWARA and MARCOS Method. *Revizor*. 2025.
354. Asker V., Kilinç Z. Financial and Operational Performance Analysis Using LOPCOW Based MARCOS Method: A Case Study of the Asian Airline Market. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 2025.
355. Demir G., Chatterjee P., Kadry S., Abdelhadi A., Pamucar D. S. Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS) Method: A Comprehensive Bibliometric Analysis. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2024.

ДОДАТКИ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

5. **Korsun I.**, Slynko M. Investment potential of Ukraine: current state and prospects. *Moderní aspekty vědy:* XXXVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2023. S. 301-315. *Особистий внесок:* систематизовано чинники формування інвестиційного потенціалу України та підготовлено положення щодо залучення ресурсів для відновлення економічної діяльності.

6. Гаман Г.В., **Корсун І.М.** Інтелектуальна міграція як загроза економічної безпеки держави. *Moderní aspekty vědy:* XL. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. S. 35-52. *Особистий внесок:* опрацьовано вплив інтелектуальної міграції на кадровий потенціал і економічну безпеку та узагальнено напрями збереження людського капіталу.

7. **Корсун І.М.**, Костогриз В.Г. Європейський досвід застосування фінансових інструментів щодо заощаджень домогосподарств. *Перспективи розвитку національної економіки України: теоретичні та практичні аспекти*: колективна монографія / Кол. авторів. Полтава: ПП “Астрая”, 2023. С. 105 - 112. *Особистий внесок:* узагальнено європейський досвід використання фінансових інструментів заощадження та підготовлено положення щодо можливостей його застосування в Україні.

8. **Серватинська І.М.** Фінанси домогосподарств як індикатор соціальної стабільності та сталості розвитку території. *Глобальне партнерство; освіта; технології; інновації:* монографія [за заг. ред. О. Ю. Березіної, Ю. В. Ткаченко]; Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: Видавець «Чабаненко Ю.А.». 2017. С. 373 – 382.

Статті у наукових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science:

28. **Korsun, I**., Ulinici, A., Bublyk, L., Humeniuk, A., & Andrieieva, V. (2026). The impact of artificial intelligence on the transformation of the global financial market models. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 104*(2), 311–325. https://doi.org/10.5281/zenodo.18454530 ***Особистий внесок:*** проаналізовано вплив штучного інтелекту на трансформацію фінансових моделей та узагальнено значення пояснюваності, простежуваності й стійкості цифрових рішень для оцінювання фінансових ризиків і підтримки управлінського вибору.

29. Nesterova, M., Kazak, O., **Servatynska, I.,** Leshchynskyi, V., Fesun, A., & Kyryk, Ya. (2026). Management of financial and economic security of enterprises in the context of digitalization. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice, 3*(68), 398–410. https://doi.org/10.55643/fcaptp.3.68.2026.5173 ***Особистий внесок:*** досліджено взаємозв'язок фінансових, інформаційних та управлінських складових безпеки підприємства; узагальнено значення моніторингу цифрових загроз, управління борговим навантаженням і контролю ризиків для підтримання його фінансової стійкості.

30. Alnaimat, M. A., **Korsun, I.,** Lutsenko, K., Khodorkovskyi, O., & Artemchuk, M. (2025). Artificial intelligence in accounting: Revolutionizing financial management in the digital landscape. *Theoretical and Practical Research in Economic Fields, 16*(1), 130–141. https://doi.org/10.14505/tpref.v16.1(33).11 ***Особистий внесок:*** опрацьовано можливості застосування штучного інтелекту в облікових процесах та узагальнено його вплив на точність оброблення даних і оперативність формування фінансової інформації, необхідної для управління підприємством.

31. **Korsun, I. M.,** Zinchenko, M. M., Makhno, S. V., & Myronenko, D. Y. (2023). The paradigm of the financing of state budget expenditures of Ukraine in the conditions of the war and post-war social-oriented market economy. *Academy*

Review, *2*(59), 103–112. https://doi.org/10.32342/2074-5354-2023-2-59-7 ***Особистий внесок:*** узагальнено підходи до фінансування державних видатків у воєнний і повоєнний періоди та висвітлено взаємозв'язок бюджетних пріоритетів, залучення інвестицій і фінансових передумов проєктів відновлення.

32. **Servatynska, I. M.** (2019). Household expenditures and savings as a factor in economic growth. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice,* *2*(29), 454–461. https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i29.171894 ***Особистий внесок:*** проаналізовано структуру витрат і заощаджень домогосподарств, оцінено їхній зв'язок із динамікою ВВП за допомогою лінійної регресійної моделі та методу найменших квадратів, а також запропоновано механізм трансформації заощаджень у інвестиційні ресурси.

33. Honcharenko I., **Servatynska I.** (2018). Financial unity of the world as an organic part of globalization. *Baltic Journal of Economic Studies,* *4*(2), 53–57. https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-2-53-57 ***Особистий внесок:*** досліджено становлення світової фінансової єдності як складової глобалізації та узагальнено її позитивні й негативні наслідки для світової фінансової архітектури; ці положення розширюють розуміння впливу зовнішнього фінансового середовища на інвестиційні рішення підприємств.

Статті у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

34. Шпакова Г.В., Лич В.М., **Серватинська І.М.** (2026). Фінансові інструменти та моделі інвестування у будівництві в умовах війни. *Ефективна економіка*. № 5. http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.5.71. *Особистий внесок*: систематизовано джерела та інструменти фінансування будівництва, обґрунтовано підходи до їх вибору з урахуванням воєнних ризиків і потреб відновлення.

35. **Серватинська І.М.**, Лич В.М. (2026). Фінансовий механізм будівельного девелопменту в умовах багатофакторного середовища. *Бізнес-навігатор.* Випуск 2 (85), 510-516. https://doi.org/10.32782/business-navigator.85-79. *Особистий внесок:* визначено взаємозв'язок фінансових ресурсів, грошових потоків і ризиків у будівельному девелопменті; підготовлено пропозиції щодо їх узгодженого управління.

36. **Серватинська І.М.**, Мостовенко О.О., Гоменюк О.В. (2026). Аудит використання бюджетних коштів у бюджетних установах як інструмент фінансового контролю. *Актуальні питання економічних наук*, (20) https://doi.org/10.5281/zenodo.18801030. *Особистий внесок:* узагальнено процедури аудиту бюджетних видатків і визначено їхнє значення для контролю та прозорості використання публічних коштів.

37. Гаман, Г., **Серватинська, І.** (2025). Фінансові втрати економіки України від релокації підприємств під час війни. *Трансформаційна економіка*, 4 (13), 32-39. https://doi.org/10.32782/2786-8141/2025-13-5. *Особистий внесок:* опрацьовано фінансові наслідки релокації підприємств і систематизовано чинники втрат та обмеження відновлення їхньої господарської діяльності.

38. Чернявська Ю.Б., Гаман Г.В., **Серватинська І.М.** (2025). Система оподаткування ФОП і ТОВ в Україні: порівняльний аналіз та критерії вибору. *Формування ринкових відносин в Україні*, 12 (295), 5-16. https://doi.org/10.66416/2522-1620.12.2025.5-16. *Особистий внесок:* проведено порівняльний аналіз податкових режимів та узагальнено критерії вибору організаційно-правової форми з огляду на її фінансові наслідки для підприємства.

39. **Корсун І.М.**, Гаман Г.В., Чернявська Ю.Б. (2025). Державно-приватне партнерство в будівництві: інвестиційна парадигма. *Актуальні проблеми економіки, 9 (291),* 57-65. DOI: 0.32752/1993-6788-2025-1-291-57-65. *Особистий внесок:* узагальнено інвестиційні можливості державно-приватного партнерства в будівництві та опрацьовано питання розподілу фінансових зобов'язань і ризиків між партнерами.

40. Гаман Г., **Корсун І.** (2024). Особливості ведення та оподаткування бізнесу ФОП. *Шляхи підвищення ефективності будівництва, 1 (54),* 234–245. https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).234-245. *Особистий внесок:* систематизовано фінансово-облікові й податкові особливості діяльності, що впливають на планування ресурсів і вибір форми ведення підприємницької діяльності.

41. Зінченко М., Мостовенко О., **Корсун І.** (2024). Цифрові гроші: переваги та ризики для економіки. *Просторовий розвиток, (9),* 327–335. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.9.327-335. *Особистий внесок:* узагальнено переваги цифрових грошей і пов'язані з ними фінансові та інформаційні ризики, підготовлено аналітичні висновки щодо їх використання.

42. **Корсун І.М.**, Зінченко М.М., Мостовенко О.О. (2024). Оцінка ризиків комерційних банків як суб'єктів первинного фінансового моніторингу. *Економіка та суспільство.* Вип. 69. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-69-85. *Особистий внесок:* систематизовано критерії та джерела оцінювання ризиків первинного фінансового моніторингу й узагальнено напрями вдосконалення ризик-менеджменту банків.

43. **Корсун І.М.** (2024). Генезис та періодизація розвитку фондів соціального страхування. *Науковий погляд: економіка та управління*, № 1 (85), 50-56. https://doi.org/10.32782/2521-666X/2024-85-8. *Особистий внесок:* розроблено й обґрунтовано періодизацію розвитку фондів соціального страхування в Україні з урахуванням змін їхнього інституційного та фінансового забезпечення.

44. **Корсун, І.,** Зінченко, М., Мостовенко, О. (2024). Функціонування будівельної галузі в умовах війни. *Сталий розвиток економіки*, 1(48), 176-182. https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-24. *Особистий внесок:* опрацьовано вплив воєнних загроз на діяльність будівельних підприємств та узагальнено ресурсні, фінансові й організаційні передумови відновлення галузі.

45. Лич В., **Корсун І.** (2023). Альтернативні джерела сукупних ресурсів домогосподарств: регіональний аспект. *Економічний форум*. Том 13. № 4. 155-

166. https://doi.org/10.62763/cb/4.2023.155. *Особистий внесок:* систематизовано альтернативні джерела ресурсів домогосподарств та опрацьовано регіональні відмінності їхнього фінансового потенціалу.

46. **Корсун І. М**., Костогриз В. Г., Сологуб М. П. (2022). Ефективні ділові комунікації і PR в підприємницькій діяльності. *Ефективна економіка.* № 1. DOI:10.32702/2307-2105-2022.1.89. *Особистий внесок:* узагальнено інструменти ділових комунікацій і PR та підготовлено положення щодо інформаційної взаємодії підприємства із зацікавленими сторонами.

47. Костогриз В.Г., Жежерун Ю.В., **Корсун І.М.** (2022). Банківський сектор України у просторі впливу VUCA–середовища на фінансову стабільність. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Економічна» (103), 41-47. https://doi.org/10.26565/2311-2379-2022-103-05. *Особистий внесок:* опрацьовано вплив чинників невизначеності на фінансову стабільність банків та узагальнено можливості адаптації й цифрової трансформації їхньої діяльності.

48. **Серватинська І. М.** (2021). Бюджетний механізм: виклики сьогодення. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»*. № 21(49). С. 94–99. DOI: 10.25264/2311-5149-2021-21(49)-94-99.

49. **Серватинська І.М.** (2020). Державні облігації як альтернатива банківському депозиту. *Вісник Одеського національного університету.* Том 25. Випуск 2 (81). С. 146-150. DOI: 10.32782/2304-0920/2-81-24.

50. **Серватинська І.М.** (2019). Доходи і витрати домогосподарств: вітчизняні реалії та зарубіжний досвід. *Науковий журнал «Світ фінансів»*, 3(56), 2019, 141-54. https://sf.wunu.edu.ua/index.php/sf/article/view/1089.

Матеріали конференцій, де здійснено апробацію роботи:

45. Berezina O., Honcharenko I., **Servatynska I**., Berezhna L., Kravchenko O. (2019). Analyzing basic components and contemporary features of deposit insurance: Evidence from Ukraine. *Business management theories and practices in*

a dynamic competitive environment: Proceedings of the 12th Annual Conference of the EuroMed Academy of Business (pp. 110–124). EuroMed Press. https://euromed2019.com/wp-content/uploads/2019/10/EuroMed-12-2019.pdf **(SCOPUS).** ***Особистий внесок:*** проведено аналіз системи гарантування вкладів в Україні, її функцій та особливостей; узагальнено роль гарантійних механізмів у захисті фінансових ресурсів і підтриманні довіри до фінансової системи.

46. Серватинська І.М. Нормативне визначення гарантійної будівництва та економічне значення. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали доповідей VII Міжнародної науково-практичної інтернет конференції. (м. Київ, 15 квітня 2026 року) / за заг.ред. П. В. Захарченко. Київ: КНУБА, 2026. С. 326- 328.

47. Корсун І.М. Огляд основних кількісних показників діяльності девелоперів будівництва в Україні. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу*: матеріали доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 4-5 листопада 2025 року) / за заг. ред. В. М. Лича, Л.О. Згалат-Лозинської. Київ: КНУБА, 2025. С. 453-456.

48. Корсун І.М. Сучасні напрями фінансової науки. *Енергоощадні машини і технології»*: матеріали VI Міжнародної науково практичної конференції. (м. Київ, 20-21 травня 2025 р). – К.: КНУБА, 2025. – С. 239-242.

49. Корсун І.М. Законодавче регулювання фінансового аудиту місцевих бюджетів. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 18 квітня 2024 року): тези доповідей / відп. ред. П.В. Захарченко. Київ : 2024. С. 273-276.

50. Корсун І.М. Фінансово-економічна діяльність суб’єктів підприємницької діяльності в будівництві. *Енергоощадні машини і технології*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 22-24 травня 2024 р. – К.: КНУБА, 2024. – С. 154-156.

51. Корсун І.М. Аудит в державному секторі: зарубіжний досвід. *Проблеми генезису економіки інтелектуально-інноваційного капіталу*: матеріали доповідей ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 7-8 листопада 2023 року) у 2-х ч. / за заг. ред. В. М. Лича. Ч. 1. Київ: КНУБА, 2023. С. 81-83.

52. Корсун І.М. Фінансові інструменти збереження заощаджень громадян в умовах соціально- економічної, політичної криз. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 20 квітня 2023 року): тези доповідей / відп. ред. П. В. Захарченко. Київ : 2023. С. 335-336.

53. Корсун І.М. Облікова ставка: монетарний інструмент грошово-кредитної політики держави 2021 - 2023 рр. *Theories of world science and technology implementation: XVIII International Scientific and Practical Conference*, May 08 – 10, Osaka, Japan. P. 51-54.

54. Корсун І.М. Динаміка депозитного і кредитного портфеля домогосподарств України. *Scientists and modern theoretical ideas: XXXV International Scientific and Practical Conference*, September 04-06, 2023, Haifa, Israel. P. 29-32.

55. Корсун І.М. Основні показники діяльності комерційних банків на валютному ринку. *Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку*: матеріали ІІІ Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 27 жовтня 2022 року): тези доповідей / відп. ред. П. В. Захарченко. Київ, 2022. С. 376-380.

56. Корсун І.М. Інноваційні інструменти маркетингово-логістичних процесів: бізнес-планування. *Становлення та розвиток маркетингу в Україні: від теорії до практики*: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції кафедри маркетингу Уманського національного університету садівництва, 25 жовтня 2021р. Умань: УНУС, 2021. С. 261-262.

57. Серватинська І.М. Особливості диференціації доходів домогосподарств в Україні. *Аспекти стабільного розвитку економіки в умовах ринкових*

відносин: матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції. (24 травня 2021 р.) / за ред. О.О. Непочатенко. Умань : Видавець «Сочінський М.М.», 2021. С. 114-115.

58. Серватинська І.М. Недоліки діючого бюджетного механізму. *Економіка, облік, фінанси та маркетинг: аналіз тенденцій та перспектив розвитку*: Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції до 100-річчя Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. м. Черкаси, 27 травня 2021 року. Черкаси: Видавець Чабаненко Ю. А., 2021. С. 257-259.

59. Серватинська І.М. ОВДП – визначальні характеристики. *Розвиток фінансово-кредитних систем: виклики сьогодення:* матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 4-5 червня 2021р. Уманський НУС. Умань. С. 29-30.

60. Серватинська І.М. Економічний аналіз основних показників проекту державного бюджету України на 2021 р. *Розвиток бухгалтерського обліку, оподаткування і контролю в умовах інтеграційних процесів*. Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція 22-23 жовтня 2020 рік – Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2020. С. 67-69.

61. Серватинська І.М. Облігації внутрішніх державних позик України: суть і перспективи. *Актуальні проблеми фінансової системи України*: матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів: Черкаський державний технологічний університет, 21 - 22 листопада 2019 року. Черкаси, 2019. С. 97-101.

ІНСТИТУТ МІСЦЕВОГО РОЗВИТКУ
КОНСУЛЬТАТИВНІ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ЕКСПЕРТНІ ПОСЛУГИ
М. КИЇВ, ВУЛ. ІГОРІВСЬКА 14А, ТЕЛ.: (044) 428-76-10

27.03.2026 № 54

ДОВІДКА
ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Серватинської Інни Миколаївни

на тему: «Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення»

Цією довідкою підтверджується, що результати дисертаційного дослідження Серватинської І. М. впроваджено у практичну діяльність Інституту місцевого розвитку як методичну основу аналітичного опрацювання питань інвестиційного забезпечення будівельних підприємств і проєктів післявоєнного відновлення. Запропоновані розробки використовуються для попереднього зіставлення інвестиційної потреби проєкту з фінансовими можливостями підприємства та підготовки рекомендацій щодо формування структури фінансування.

У роботі Інституту застосовується авторський підхід до інвестиційного забезпечення як керованого поєднання ресурсів та інструментів, їх функцій і часток, умов залучення, обмежень та можливостей заміщення. Розмежування доступності інструмента, його придатності для конкретного підприємства і проєкту та допустимості структури фінансування забезпечує послідовність управлінського вибору — від оцінювання потреб і ресурсної спроможності до зіставлення фінансових альтернатив.

Під час аналітичного оцінювання враховуються характеристики підприємства, параметри проєкту, інвестиційно-ресурсні умови та інституційно-ризикове середовище, що дає змогу зіставляти капіталомісткість і календарний профіль витрат із власними ресурсами підприємства, його

спроможністю залучати й обслуговувати фінансування, умовами програм підтримки, вимогами до власної участі, борговими обмеженнями та ризиками реалізації.

Для попереднього оцінювання фінансових альтернатив використовується розроблена ієрархічна нечітко-логічна модель придатності власних ресурсів, комерційного й пільгового кредитів, грантів, приватного капіталу та партнерського фінансування за участю публічного і приватного партнерів. Модель ураховує специфіку інструментів і дає змогу виявляти критичні обмеження та визначати умови розгляду резервних джерел.

Формування допустимих структур фінансування підтримується багатокритеріальною економіко-математичною моделлю, яка одночасно визначає склад інструментів і частки їх участі за умови покриття потреби проєкту та дотримання ресурсних і боргових обмежень. Альтернативи зіставляються за вартістю ресурсів, ризиком, часом мобілізації фінансування, концентрацією джерел і складністю управління; для вибору компромісного рішення застосовуються формування множини Парето-ефективних варіантів, визначення ваг критеріїв і багатокритеріальне ранжування.

Сценарне оцінювання використовується для визначення наслідків зміни параметрів підприємства й проєкту, умов фінансування та зовнішнього середовища. Воно дає змогу відокремити погіршення економічних характеристик структури від зміни її складу і часток, установити умови збереження базового рішення, його коригування або переходу до резервної конфігурації. Апробацію проведено на модельних конфігураціях; для застосування до конкретних проєктів вихідні параметри уточнюються за фактичними даними та актуальними умовами програм і договорів.

Інститут місцевого розвитку відзначає практичну значущість одержаних результатів для підготовки аналітичних і методичних матеріалів з питань фінансування будівельних проєктів відновлення. Їх використання сприяє виявленню ресурсних розривів, обґрунтуванню складу й часток джерел фінансування та оцінюванню стійкості обраних рішень до зміни умов залучення коштів.

Довідку видано для подання до Київського національного університету будівництва і архітектури з метою підтвердження впровадження результатів дисертаційного дослідження у практичну діяльність Інституту місцевого розвитку.

Виконавчий директор,
доктор екон. наук, доцент 

Руслан ТОРМОСОВ

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ НОВАЦІЇ»

код ЄДРПОУ 30552654 м. Київ, вул. Новокостянтинівська, 4Б, 04080
www.bau.com.ua/f/aci/ тел. +380 44 537 6444

№ 75-н від 12 березня 2026 р.

Проректору з наукової роботи КНУБА
к.т.н., с.н.с. Ковальчуку О. Ю.

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження

ТОВ «Архітектурно-будівельні новації» підтверджує, що результати дисертаційного дослідження **Серватинської Інни Миколаївни** на тему «Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення» впроваджено у практичну діяльність підприємства для обґрунтування фінансування будівельних проєктів.

У діяльності підприємства використовуються методичні положення щодо узгодження інвестиційної потреби проєкту з фінансовими можливостями підприємства з урахуванням капіталомісткості, календарного профілю витрат, власних ресурсів, спроможності залучати й обслуговувати фінансування. Такий підхід дає змогу виявляти ресурсний розрив і визначати вимоги до фінансової конфігурації ще до вибору інструментів.

Для попереднього оцінювання фінансових альтернатив застосовується ієрархічна нечітко-логічна модель придатності власних ресурсів, комерційного й пільгового кредитів, грантів, приватного капіталу та партнерського фінансування. Модель ураховує характеристики підприємства і проєкту, ресурсні умови та інституційно-ризикові обмеження, допомагаючи визначати можливість застосування інструментів і виявляти критичні умови їх залучення.

Формування допустимої структури фінансування підтримується багатокритеріальною економіко-математичною моделлю, що визначає склад і частки інструментів за повного покриття потреби проєкту та дотримання ресурсних і боргових обмежень. Альтернативи зіставляються за вартістю

ресурсів, ризиком, часом мобілізації коштів, концентрацією джерел і складністю управління. Сценарне оцінювання дає змогу визначати умови збереження базового рішення, його коригування або переходу до резервної конфігурації.

Підприємство відзначає практичну цінність розробок для обґрунтування джерел фінансування та їх поєднання у проєктах післявоєнного відновлення.

Директор
ТОВ «Архітектурно-будівельні новації»  С. М. Архіпенко



25.03.2026 № 67

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження

ТОВ БФ «Альфа-Сервіс» підтверджує, що результати дисертаційного дослідження **Серватинської Інни Миколаївни** на тему **«Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення»**, поданого на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)», використано у практичній діяльності підприємства для попереднього обґрунтування фінансування будівельних проєктів.

У практичній діяльності застосовуються методичні положення щодо узгодження інвестиційної потреби проєкту з фінансовою спроможністю підприємства з урахуванням капіталомісткості, календарного профілю витрат, власних ресурсів і можливостей залучення та обслуговування фінансування. Це дає змогу виявити ресурсний розрив і визначити вимоги до фінансової конфігурації до вибору інструментів.

Для попереднього оцінювання фінансових альтернатив використовується ієрархічна нечітко-логічна модель придатності власних ресурсів, комерційного й пільгового кредитів, грантів, приватного капіталу та партнерського фінансування. Модель ураховує характеристики підприємства й проєкту, ресурсні умови та інституційно-ризикові обмеження, даючи змогу виявляти критичні умови залучення кожного інструмента.

Багатокритеріальна економіко-математична модель забезпечує формування допустимого складу та часток інструментів за умови покриття потреби проєкту й дотримання ресурсних і боргових обмежень. Альтернативи зіставляються за вартістю ресурсів, ризиком, часом мобілізації коштів,

концентрацією джерел і складністю управління. Сценарне оцінювання визначає умови збереження базової структури, її коригування або переходу до резервної конфігурації.

ТОВ БФ «Альфа-Сервіс» відзначає практичну цінність одержаних результатів для попереднього оцінювання інвестиційних інструментів, порівняння структур фінансування та підготовки обґрунтованих рекомендацій щодо фінансового забезпечення будівельних проєктів.

Заступник директора
канд. економ. наук



А.М. Кравченко

Громадська організація
«АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ»
ПРЕЗИДІЯ
02000, м. Київ 002, вул. Освіти, 4

№ 12/07.2026/22 від 14.01.2026 р.

Проректору з наукової
роботи КНУБА
к.т.н., с.н.с.
Ковальчуку О. Ю.

ДОВІДКА
про використання результатів дисертаційного дослідження у науково-експертній діяльності

Академія будівництва України підтверджує, що результати дисертаційного дослідження **Серватинської Інни Миколаївни** на тему «Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення» використано у науково-методичній, експертно-аналітичній та консультативній діяльності Академії.

В експертній роботі Академії застосовується авторський підхід до інвестиційного забезпечення як керованого поєднання ресурсів, інструментів, їх функцій і умов залучення. Розмежування доступності та придатності інструмента й допустимості структури фінансування дає змогу оцінювати обґрунтованість рішень для конкретного підприємства і проєкту.

Для попереднього оцінювання використовується ієрархічна нечітко-логічна модель придатності власних ресурсів, комерційного й пільгового кредитів, грантів, приватного капіталу та партнерського фінансування. Вона враховує характеристики підприємства й проєкту, ресурсні умови та інституційно-ризикові обмеження, допомагаючи виявляти критичні умови залучення інструментів.

Формування структури фінансування підтримує багатокритеріальна економіко-математична модель, що визначає склад і частки інструментів за повного покриття потреби проєкту та дотримання ресурсних і боргових обмежень. Сценарне оцінювання зіставляє альтернативи за вартістю, ризиком, часом мобілізації коштів, концентрацією джерел і складністю управління та визначає умови збереження або перегляду фінансової конфігурації. Ці результати використовуються Академією під час підготовки експертних рекомендацій щодо інвестиційного забезпечення проєктів післявоєнного відновлення.

Довідку видано для подання до спеціалізованої вченої ради

Президент Академії будівництва України,
доктор технічних наук, професор _____ Іван НАЗАРЕНКО

ТОВ «Фомальгаут-Полімін»

Київському національному університету
будівництва і архітектури

№ 86 від 22.04.2026 р.

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження

ТОВ «Фомальгаут-Полімін», що здійснює діяльність у сфері виробництва будівельних матеріалів, підтверджує використання окремих результатів дисертаційного дослідження Серватинської Інни Миколаївни на тему «Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення», поданого на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.04 — економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Результати дослідження використано для аналітичного опрацювання фінансових альтернатив інвестиційних ініціатив підприємства, пов’язаних із забезпеченням потреб будівельного ринку та участю в реалізації проєктів відновлення. Практичне застосування охоплює:

– методичний підхід до попереднього узгодження інвестиційної потреби з фінансовою спроможністю підприємства, який передбачає зіставлення потреби в ресурсах із можливостями власної участі, залучення коштів та обслуговування зобов’язань;

– положення щодо розмежування доступності фінансових інструментів, їх придатності для конкретного підприємства і проєкту та допустимості їх поєднання, що використано для попереднього відбору фінансових альтернатив;

– рекомендації щодо порівняння варіантів фінансування за вартістю ресурсів, ризиком, строками мобілізації, концентрацією джерел і складністю управління, які забезпечують обґрунтування економічних компромісів під час підготовки рішення;

– підхід до сценарної перевірки базової та резервних конфігурацій фінансування за зміни боргових обмежень і умов залучення ресурсів, що дає змогу визначати підстави для перегляду складу джерел і часток їх участі.

Практична цінність використаних положень полягає в посиленні обґрунтованості фінансового планування, виявленні ресурсних обмежень до прийняття інвестиційних зобов’язань та підготовці альтернатив на випадок зміни умов фінансування. Запропоновані підходи підтримують узгодження інвестиційних рішень із потребами виробничої діяльності та збереженням фінансової стійкості підприємства.

Директор, к. т. н.  **С. А. Єршов**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Повітрофлотський пр-т., 31, м. Київ-37, 03037, тел.: (044) 241-55-80, факс (044) 248-32-65
E-mail: knuba_admin@ukr.net, web: htpp://www.knuba.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070909

15.05.2026 р. № 11/54-21/3/26

ДОВІДКА
ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Київський національний університет будівництва і архітектури підтверджує, що результати дисертаційного дослідження Серватинської Інни Миколаївни на тему «Організаційно-економічні механізми інвестиційного забезпечення будівельних підприємств в умовах післявоєнного відновлення», поданого на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)», використано в освітньому процесі університету під час підготовки здобувачів вищої освіти.

Науково-методичні положення, інструментарій і прикладні матеріали дослідження застосовано під час викладання навчальних дисциплін «Економіка будівництва», «Економічна діагностика підприємства», «Оптимізаційні методи та моделі». Зокрема, їх використано для опрацювання підходів до оцінювання придатності інвестиційних інструментів, обґрунтування складу та часток джерел фінансування будівельних проєктів і перевірки стійкості фінансових рішень за зміни ресурсних умов та обмежень.

Результати дослідження також використано під час розроблення навчально-методичного забезпечення та виконання науково-дослідних робіт. Їх упровадження сприяє формуванню навичок узгодження інвестиційної потреби проєкту з фінансовою спроможністю підприємства, порівняння альтернатив фінансування та підготовки адаптивних управлінських рішень для проєктів післявоєнного відновлення.

Проректор
з навчально-методичної роботи А.В. Шпаков