

ІНСТРУМЕНТАРІЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РІШЕНЬ У МУЛЬТИПРОЄКТНОМУ УПРАВЛІННІ

У сучасних умовах високої динаміки бізнес-середовища та зростаючої складності управлінських процесів будівельні та інжинірингові компанії стикаються з необхідністю ухвалювати рішення, що враховують значну кількість взаємопов'язаних критеріїв. Традиційні підходи, орієнтовані лише на один показник – наприклад, мінімізацію витрат чи скорочення термінів, – втрачають ефективність у складних мультипроектних системах, де кожна управлінська дія має багатовимірний вплив на загальну результативність.

Багатокритеріальна оптимізація забезпечує науково обґрунтований інструментарій для узгодження суперечливих цілей, поєднуючи гнучкість аналітичних методів із точністю математичного моделювання. Поєднання принципів Парето-оптимальності, компромісного програмування, аналітичної ієрархії (АНР) та еволюційних алгоритмів, таких як NSGA-II, дозволяє формувати множини альтернативних варіантів рішень, що враховують як короткострокові, так і стратегічні пріоритети компанії.

Практичне застосування багатокритеріальних моделей у мультипроектному управлінні сприяє автоматизації процесів узгодження між проектами, раціональному розподілу ресурсів і зниженню рівня конфліктів у межах корпоративних екосистем ERP і PPM. Такі системи створюють основу для гнучкого управління портфелем проєктів, де кожен елемент інтегровано у спільний інформаційно-аналітичний простір.

Інтеграція елементів когнітивного аналізу, машинного навчання та нечіткої логіки підвищує адаптивність і здатність систем реагувати на невизначеність середовища. Багатокритеріальна оптимізація постає як інструмент побудови аналітичної моделі нового покоління, що забезпечує не лише підвищення точності та стійкості управлінських рішень, а й формує передумови для переходу до прогнозно-аналітичного управління в сучасних мультипроектних структурах.

Ключові слова: *багатокритеріальна оптимізація, мультипроектне управління, Парето-оптимальність, еволюційні алгоритми, компромісне програмування, нечітка логіка, адаптивна стратегія, підтримка прийняття рішень.*

Вступ. Мультипроектне управління охоплює комплекс процесів, пов'язаних із одночасною реалізацією кількох проєктів у межах спільного стратегічного простору. Це вимагає балансування ресурсів, строків, фінансів і управлінських пріоритетів. У таких умовах прийняття рішень стає надзвичайно складним, оскільки зміна параметрів одного проєкту безпосередньо впливає на ефективність інших. Саме тому використання багатокритеріальної оптимізації набуває вирішального значення.

Традиційні підходи до планування, що орієнтуються лише на мінімізацію витрат або строків, не відображають багатовимірної структури сучасних проєктних систем. У сучасних умовах кожен проєкт розглядається не ізольовано, а як частина цілісного портфеля, де оптимальність визначається компромісом між численними, часто конфліктними критеріями.

Розвиток математичного апарату багатокритеріальної оптимізації дозволив створити моделі, здатні враховувати одночасно економічні, часові, ризикові, кадрові та стратегічні аспекти діяльності. Ці моделі базуються на принципах Парето-оптимальності, аналізі ієрархій, методах компромісного програмування та еволюційних алгоритмах. Їх інтеграція у цифрові системи управління дозволяє реалізувати динамічне, прогнозно-аналітичне управління проєктними портфелями.

Актуальність. Сучасна будівельна та інженерна галузь характеризується високим рівнем конкуренції, динамічністю ринку й обмеженістю ресурсів. Для компаній, що одночасно реалізують кілька проєктів, постає проблема пошуку оптимального балансу між ефективністю, якістю, ризиками та вартістю. Класичні методи управління не враховують множинних цілей і взаємозалежних обмежень, що призводить до локальних, а не глобальних оптимумів.

Впровадження інструментів багатокритеріальної оптимізації дозволяє підвищити ефективність управлінських рішень, забезпечуючи одночасне врахування економічних, технічних і організаційних факторів. Особливої актуальності набуває застосування еволюційних алгоритмів і методів машинного навчання, які дозволяють адаптувати систему до динамічних змін зовнішнього середовища. Отже, формування універсального інструментарію багатокритеріальної оптимізації стає важливим завданням сучасного мультипроєктного управління, спрямованого на досягнення стійкості та стратегічної ефективності організації.

Постановка проблеми. У традиційних моделях управління проєктами часто домінує одновимірний підхід, який не враховує множинності взаємопов'язаних критеріїв. У результаті ухвалюються рішення, що є оптимальними лише в межах окремого параметра, але не забезпечують узгодженості всієї системи. У мультипроєктному середовищі це призводить до нерационального використання ресурсів, порушення графіків і зростання ризиків. Багатокритеріальна оптимізація дозволяє вирішити цю проблему шляхом одночасного врахування всіх релевантних факторів – вартості, строків, ризиків, якості, кадрових і стратегічних показників. Проте складність полягає в розробленні універсальної моделі, здатної динамічно реагувати на зміну ваг критеріїв та умов середовища. Саме тому актуальним є пошук ефективних алгоритмічних і аналітичних рішень, які забезпечують баланс між точністю, адаптивністю й обчислювальною ефективністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У науковій літературі питання багатокритеріальної оптимізації розглядаються у працях вчених, які заклали основи сучасних підходів до ухвалення рішень у складних системах. У більш сучасних роботах наголошується на важливості інтеграції стохастичних, еволюційних і когнітивних методів у моделі багатокритеріального аналізу. В управлінні проєктами дедалі ширше використовуються методи NSGA-II, TOPSIS, AHP і компромісне програмування, які поєднують кількісні та якісні параметри оцінки. Водночас залишається недостатньо дослідженим питання адаптивної оптимізації, що враховує часову змінність критеріїв у мультипроєктному середовищі. Це створює

потребу у побудові гібридних моделей, які поєднують аналітичну точність і гнучкість еволюційних алгоритмів.

Метою статті є формування системного уявлення про інструментарій багатокритеріальної оптимізації в мультипроектному управлінні та розроблення моделі, здатної узгоджувати суперечливі цілі в межах єдиного стратегічного простору. Завданням дослідження є аналіз теоретичних засад оптимізації, класифікація методів, побудова адаптивних моделей і визначення алгоритмічних рішень, придатних для цифрових систем управління. Результати спрямовані на удосконалення процесу прийняття рішень у проектному менеджменті, підвищення ефективності розподілу ресурсів і зниження рівня невизначеності в управлінні портфелями проектів.

Виклад основної інформації. Багатокритеріальна оптимізація в мультипроектному управлінні є одним з фундаментальних інструментів сучасного проектного менеджменту, оскільки дозволяє приймати рішення з урахуванням множини суперечливих цілей, кожна з яких відображає певний аспект стратегічного чи операційного успіху компанії. Сутність багатокритеріальної оптимізації (multi-criteria optimization – МСО) полягає у тому, що класична задача оптимізації зводиться не до знаходження єдиної точки мінімуму або максимуму деякої функції, а до визначення множини рішень, які є оптимальними у певному сенсі при одночасному врахуванні кількох критеріїв. Це дозволяє управляти балансом між конфліктними цілями: наприклад, мінімізацією витрат і максимізацією якості, зменшенням тривалості проекту та підвищенням стійкості ресурсних потоків. У мультипроектних системах така оптимізація особливо актуальна, оскільки ресурси підприємства розподіляються між багатьма проектами, що мають власні цілі, строки, ризики та обмеження.

Теоретична база багатокритеріальної оптимізації почала активно формуватись у середині ХХ століття, коли класичні підходи оптимізації перестали задовольняти складність реальних управлінських задач. Основоположною віхою у розвитку даного напрямку стала робота Вільфреда Парето, який ввів поняття парето-оптимальності як стану, коли покращення одного критерію можливе лише за рахунок погіршення іншого. Поняття фронту Парето стало ключовим у подальших теоретичних і прикладних дослідженнях багатокритеріальної оптимізації. Згодом ця концепція була розвинена у роботах Ральфа Кальма, Аркадія Натаріуса, Кеннета Ерроу, Віктора Мейерсона, які поглиблювали аксіоматику прийняття рішень у умовах невизначеності та багатокритеріальності [1].

В мультипроектному управлінні важливість багатокритеріальної оптимізації зростає через високий рівень складності при розподілі ресурсів між проектами, що конкурують за робочу силу, фінанси, обладнання, часові вікна. Наприклад, реалізація одного проекту за максимально короткий термін може призвести до браку ресурсів для інших проектів, зниження їхньої ефективності чи навіть зриву строків. Саме тому керівнику портфеля проектів доводиться постійно балансувати між стратегічними та оперативними цілями різних рівнів.

В контексті мультипроектного середовища багатокритеріальна оптимізація дозволяє будувати не точкові, а сценарні моделі управління. Такі моделі ґрунтуються на системі пріоритетів, коли критерії отримують певні ваги залежно від актуальної стратегії розвитку компанії. Наприклад, у фазі експансії пріоритет може мати швидкість виконання проектів, у фазі стабілізації – мінімізація фінансових ризиків, а в фазі реструктуризації – підвищення внутрішньої синергії проектного портфеля.

Питання класифікації методів багатокритеріальної оптимізації є ключовим, оскільки різні методи по-різному враховують конфліктність критеріїв та можливості прийняття компромісних рішень. Найбільш поширеною є класифікація за принципами побудови оптимізаційної моделі. Так, розрізняють методи агрегування критеріїв, методи векторної оптимізації, методи попарних порівнянь та методи ранжування альтернатив. До першої групи належать методи зважених сум, коли всі критерії приводяться до єдиної шкали через нормалізацію та вагові коефіцієнти. Загальний вигляд такої моделі можна записати у вигляді формули 1:

$$F(x) = \sum_{a=1}^n m_a c_a(x), \quad (1)$$

де $F(x)$ – інтегральна функція ефективності, $c_a(x)$ – i -й критерій, m_a – вага i -го критерію.

Ця модель проста в реалізації та дозволяє формувати єдину цільову функцію для застосування класичних методів нелінійного чи лінійного програмування. Однак вона має істотний недолік: якщо критерії мають нелінійні залежності або різну фізичну природу (наприклад, вартість у грошових одиницях і ризик у процентах), то агрегування може втратити реальний зміст [2].

Іншою групою є методи векторної оптимізації, які будуються на основі поняття Парето-оптимальності. У математичному вигляді задача має вигляд формули 2:

$$\min\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\} \quad x \in X, \quad (2)$$

Розв'язком задачі є множина Парето $P \subset X$, для якої відсутнє домінуюче рішення, яке покращує всі критерії одночасно. Цей підхід дозволяє управляти компромісами між критеріями, однак потребує розробки механізмів вибору одного рішення з множини Парето.

Суттєвий внесок у розвиток багатокритеріальної оптимізації зробили також методи попарних порівнянь, серед яких найпоширенішим є метод аналізу ієрархій (АНР), розроблений Томасом Сааті. Він дозволяє враховувати суб'єктивні експертні оцінки шляхом побудови матриць попарних порівнянь та розрахунку узагальнених вагових коефіцієнтів для критеріїв. Перевагою цього підходу є адаптивність до якісних оцінок, а також простота використання в умовах дефіциту кількісних даних. Недоліком є ризик суб'єктивності експертних оцінок, особливо в мультипроектних системах зі складною взаємозалежністю проектів.

Сучасні дослідження також значною мірою орієнтовані на інтеграцію методів нечіткої логіки в багатокритеріальні моделі мультипроектного управління. Це дозволяє моделювати ситуації, коли критерії важко піддаються точній кількісній оцінці, а оцінюються за допомогою лінгвістичних шкал (наприклад, «високий ризик», «низька вартість», «помірна складність») [3].

Для кращого розуміння структури багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному управлінні доцільно узагальнити ключові теоретичні, методологічні та практичні елементи цього підходу. Нижче наведено рис. 1, який відображає основні компоненти та взаємозв'язки між ними.

Особливістю мультипроектного середовища є також висока динаміка зміни критеріїв у часі. Так, наприклад, один і той самий проект на початковій стадії оцінюється переважно за рівнем необхідних інвестицій та часових рамок, тоді як у фазі реалізації на перший план виходять показники якості, ступінь ризиків та відповідність стратегічним пріоритетам компанії. Це вимагає застосування динамічних моделей багатокритеріальної оптимізації, в яких змінюються як критерії, так і їх ваги в залежності від етапу проектного життєвого циклу.

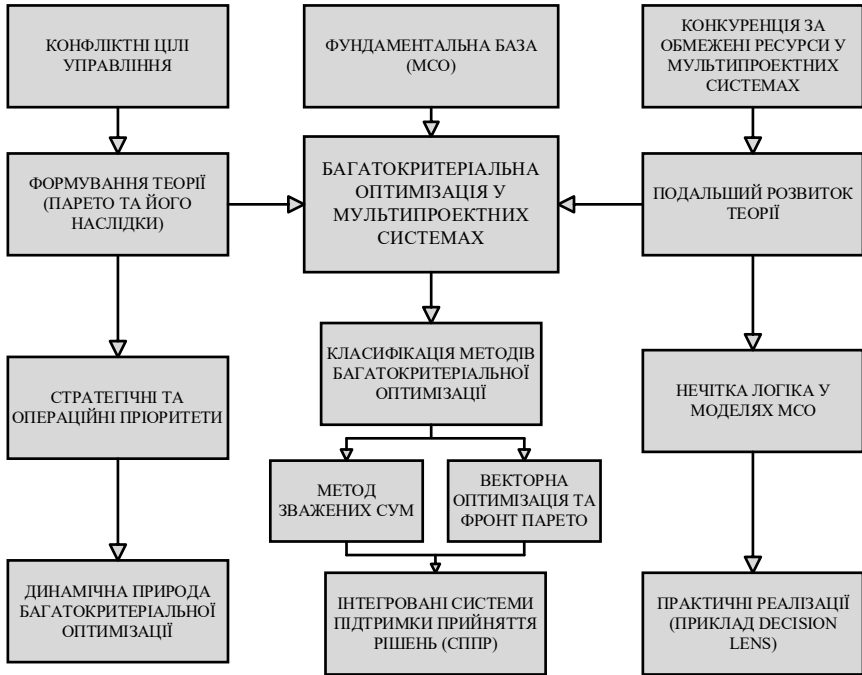


Рис. 1. Структурно-алгоритмічна схема багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному управлінні (розроблено автором на основі [3])

У контексті мультипроектного управління особливої актуальності набувають також інтегровані системи підтримки прийняття рішень (СППР), які поєднують моделі багатокритеріальної оптимізації з інструментами аналітики великих даних, машинного навчання, симуляційного моделювання. Наприклад, система Decision Lens, широко використовувана у корпоративному портфельному управлінні, дозволяє здійснювати багатокритеріальний відбір, ранжування та балансування проектів з урахуванням змін стратегічних сценаріїв розвитку підприємства [4].

Як приклад прикладної моделі багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному управлінні можна навести модель збалансованого портфеля, де вводиться система критеріїв:

- фінансовий ефект проекту $f_1(x)$,
- стратегічна значущість $f_2(x)$,
- ризик реалізації $f_3(x)$,
- кадрове навантаження $f_4(x)$,
- часові рамки реалізації $f_5(x)$.

Загальний вигляд багатокритеріальної моделі може бути записаний через формулу 3, агреговану функцію, наступним чином:

$$\max \left\{ \sum_{a=1}^5 m_a \times c_a(x) - \lambda \times \sum_{a=1}^5 \sigma_a^2 \right\} \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт компенсації за невизначеність, σ_a^2 – оцінка дисперсії (ризик) кожного з критеріїв.

Таким чином, теоретичні засади багатокритеріальної оптимізації в мультипроектному середовищі базуються на поєднанні класичних моделей векторної оптимізації, методів агрегування, попарних порівнянь, нечіткої логіки, стохастичних підходів, а також інструментів симуляційного моделювання з урахуванням стратегічних, фінансових, часових, кадрових та ризикових аспектів проектного портфеля. Кожна з цих моделей дає можливість будувати гнучкі системи підтримки прийняття рішень, які здатні адаптуватися до постійної зміни зовнішніх і внутрішніх факторів у мультипроектному управлінні. Таким чином, після розгляду основних концептуальних підходів та методів багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному середовищі доцільно перейти до аналізу алгоритмічних моделей, які забезпечують практичну реалізацію зазначених теоретичних засад у процесі прийняття управлінських рішень.

Алгоритмічні моделі багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному управлінні займають одне з центральних місць в сучасних дослідженнях проектних систем, оскільки саме в таких моделях поєднуються теоретичні основи оптимізації з реальними практиками прийняття складних рішень в умовах множинних взаємозалежних проектів. Сам характер мультипроектних структур породжує специфічний клас задач, у яких керівник повинен розподіляти обмежені ресурси між проектами, що одночасно конкурують і взаємодіють між собою, формуючи складну конфігурацію внутрішніх та зовнішніх зв'язків. У таких системах класичні моделі одномірної оптимізації не спрацьовують, оскільки будь-яке покращення одного проекту може призвести до порушення графіків, перевантаження ресурсів чи зниження ефективності інших проектів, що належать до того самого портфеля. Саме тому виникає необхідність створення багатокритеріальних алгоритмічних моделей, які здатні одночасно враховувати фінансові, часові, організаційні, кадрові, технологічні та стратегічні критерії, забезпечуючи при цьому можливість балансування суперечливих цілей [5].

Наукова еволюція багатокритеріальної оптимізації в контексті проектного управління бере свій початок ще з робіт Парето, де вводиться фундаментальне поняття недомінованості, що згодом стає базовим у побудові фронтів Парето. У мультипроектних системах цей підхід набуває особливої актуальності, оскільки переважна більшість рішень не можуть бути одночасно кращими за всіма критеріями, а лише представляють собою певні компромісні конфігурації, у яких покращення одного аспекту супроводжується неминучим погіршенням іншого. Виходячи з цієї аксіоматики, математична постановка задачі багатокритеріальної оптимізації в мультипроектних умовах формалізується через мінімізацію векторної функції критеріїв за умов множини обмежень, що включає в себе всі технічні, економічні, часові, кадрові та організаційні ресурси підприємства. Класична структура такого завдання описується як пошук множини рішень, які мінімізують вектор функцій, де кожна функція є окремим критерієм ефективності конкретного проекту або всього портфеля в цілому.

Найбільша складність при практичній реалізації таких моделей полягає в тому, що критерії зазвичай є різнорідними. Наприклад, критерій мінімізації вартості

проектів має грошовий вимір, тоді як критерій мінімізації ризиків може виражатись у відсотках і формуватись на основі суб'єктивних оцінок ймовірності виникнення певних подій. Додатково критерії можуть бути як кількісними, так і якісними, що вимагає застосування спеціальних процедур нормалізації та узгодження одиниць вимірювання для побудови єдиної оптимізаційної моделі. З цією метою у багатьох сучасних підходах використовується метод агрегування критеріїв через побудову інтегральної функції, яка формує загальну оцінку ефективності на основі вагових коефіцієнтів, що визначають відносну важливість кожного критерію для організації [6]. Саме в цьому контексті особливого значення набуває модель компромісного програмування, що дозволяє не лише врахувати різні одиниці виміру, а й мінімізувати сукупні відхилення критеріїв від бажаних орієнтирних значень, які визначаються стратегічними планами компанії. Формально така модель виражається через формулу 4, мінімізацію функції

$$\min = \left(\sum_{a=1}^n m_a c_a(x) - c_a^p \right)^{1/p}, \quad (4)$$

де вагові коефіцієнти m_a визначаються або шляхом експертного оцінювання, або за допомогою процедур парних порівнянь, а параметр p дозволяє керувати типом компромісу: для $p=1$ досягається рівноважна мінімізація середніх відхилень, тоді як для $p=2$ посилюється вплив найбільших відхилень, що дозволяє мінімізувати ризики появи критичних втрат за окремими критеріями.

Незважаючи на те, що модель компромісного програмування досить ефективно вирішує проблему перетворення мультикритеріальної задачі в єдину функцію оптимізації, вона все ж має певні обмеження у ситуаціях, коли структура простору рішень є складною, розірваною та містить велику кількість локальних екстремумів. Така ситуація характерна саме для мультипроектних систем, де взаємозв'язки між проектами створюють складні каскадні залежності у графіках виконання, використанні ресурсів, фінансових потоках та ризикових профілях. Для подолання цих обмежень у сучасних дослідженнях широко застосовуються алгоритмічні моделі еволюційної багатокритеріальної оптимізації, які дозволяють працювати у складних просторах без необхідності аналітичного опису функціональних залежностей. Одним із найуспішніших методів такого класу є NSGA-II, який через механізми популяційної еволюції формує фронт Парето з високою точністю та стабільністю. У даній моделі рішення представляються як популяція альтернатив, що проходить через серії мутацій, схрещувань та відбору, поступово формуючи множину недомінованих рішень, які найкраще відображають компромісні варіанти розподілу портфельних ресурсів. Математично цей процес виражається через формулу 5:

$$R_{t+1} = \text{Select}(\text{Sort}(R_t \cup B_t)S), \quad (5)$$

де кожна наступна популяція формується шляхом сортування злитих наборів поточної та нової популяції та вибору найкращих рішень відповідно до рівня домінування.

Перевагою еволюційних алгоритмічних моделей є їх здатність одночасно формувати широкий спектр допустимих рішень, що дозволяє керівництву мультипроектних структур обирати рішення не лише з позиції формальних критеріїв, а й враховувати стратегічні сценарії розвитку підприємства в довгостроковій перспективі. Наприклад, компанія може обрати менш фінансово оптимальне, але стратегічно вигідніше рішення з огляду на створення нових

компетенцій, ринкових ніш чи технологічних можливостей, які стануть основою майбутнього конкурентного переваги [7].

З метою візуалізації ролі основних алгоритмічних підходів у системах багатокритеріальної оптимізації мультипроектного управління побудовано рис. 2, який відображає рівень їхнього практичного застосування. Він узагальнює як класичні, так і сучасні адаптивні моделі, що забезпечують реалізацію складних управлінських рішень у багатофакторних середовищах.

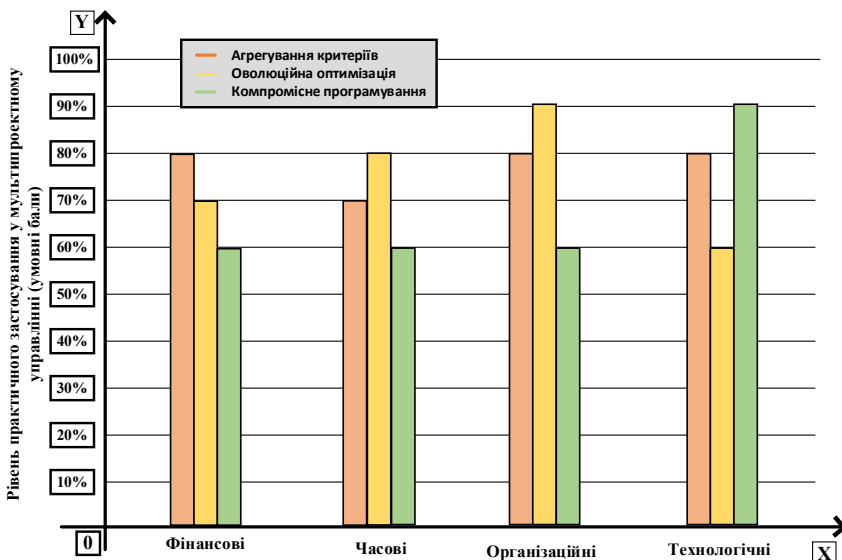


Рис.2. Рівень практичного застосування основних алгоритмічних моделей багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному управлінні (розроблено автором на основі [7])

Крім того, еволюційні алгоритми добре працюють у ситуаціях, де критерії є стохастичними або мають невизначену природу, оскільки легко інтегрують у свою структуру механізми стохастичних збурень, що дозволяє природно моделювати ризики, варіації та флуктуації параметрів зовнішнього середовища. Це критично важливо у мультипроектному управлінні, де багато вхідних даних можуть змінюватися в процесі реалізації проектів – починаючи від коливань валютних курсів, зміни вартості будівельних матеріалів і закінчуючи появою нових технологічних обмежень, змін у регуляторному полі та кадрових ризиків. Розглянувши специфіку алгоритмічних моделей багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному середовищі, доцільно зосередитися на адаптивних стратегіях управління, які забезпечують динамічне реагування системи на зміну умов реалізації проектного портфеля.

У системах, де реалізується одночасно багато проектів, кожен з яких має свої специфічні ресурси, часові межі, цілі, зацікавлені сторони та ризики, потреба в

адаптації управлінських стратегій набуває ключового значення. Ідеться не просто про прийняття рішень на основі сталих моделей чи політик, а про постійну здатність системи перебудовувати своє управлінське поле відповідно до змін у зовнішньому середовищі, внутрішніх параметрах проєктів і розвитку портфельної структури. Багатокритеріальна оптимізація у цьому контексті є не стільки математичною задачею, скільки інтегрованою адаптивною стратегією, яка дозволяє одночасно враховувати безліч факторів, що змінюються у часі, та узгоджувати їх у межах спільного цільового простору [8].

Фундаментальним для побудови адаптивних стратегій є уявлення про мультикритеріальне поле, у якому кожне рішення проєктного менеджера знаходиться в точці перетину декількох векторів впливу. Кожен із цих векторів може бути описаний через функціонал, що представляє певний критерій: прибутковість, ризик, швидкість реалізації, рівень інноваційності, відповідність стратегічним цілям компанії або очікуванням зовнішніх стейкхолдерів. У звичайному, статичному варіанті, такі критерії зважуються за фіксованою матрицею ваг і піддаються компромісній або агрегованій оптимізації. Проте у динамічних мультипроєктних системах ця вага змінюється у часі, змінюється й сама релевантність критеріїв. Проєкти, які раніше мали низький пріоритет, можуть несподівано ставати критичними у випадку стратегічного розвороту підприємства, фінансового обмеження або зовнішньої кризи. У таких випадках класичні моделі втрачають свою релевантність, і виникає необхідність формування гнучких стратегій, які не просто реагують на зміну вхідних параметрів, а інтерпретують її як тригер для зміни самої структури критеріїв та механізмів прийняття рішень.

З цієї позиції адаптивна багатокритеріальна оптимізація повинна будуватись на моделі, яка включає як первинний функціонал ефективності, так і функціонал реактивності – здатності системи змінювати свої параметри у відповідь на збурення або нові обмеження. У таких моделях змінюється не лише структура цільової функції, але й сам набір допустимих рішень, межі оптимізації, правила побудови компромісів. Наприклад, при входженні в фазу затягування строків проєкту, ваговий коефіцієнт для критерію «тривалість реалізації» автоматично збільшується, тоді як критерій «інноваційність» зменшує свою роль [9]. Формально така динаміка може бути виражена за допомогою функцій часу для кожного критерію, які задають вагу критерію не як сталу величину, а як функцію, що змінюється залежно від параметрів середовища. Це демонструє формула 6:

$$m_a = \varphi_a(H(t), J(t), K(t)), \quad (6)$$

де $H(t)$ – ресурсна ситуація на поточний момент, $J(t)$ – стратегічний профіль портфеля, $K(t)$ – поведінкові параметри учасників проєкту (наприклад, рівень залучення, мотивації або конфліктності).

Іншим важливим аспектом адаптивних стратегій є здатність передбачення, тобто перехід від реактивного управління до прогностного. Для цього багатокритеріальні моделі включають у себе елементи сценарного аналізу, симуляційного прогнозування, стохастичної оптимізації. У цих підходах не просто визначаються поточні оптимальні стратегії, а будуються моделі, які показують, як зміниться ефективність того чи іншого рішення за різних варіантів розвитку подій. У мультипроєктному управлінні це надзвичайно важливо, оскільки провал одного критичного проєкту може створити ефект доміно для усього портфеля. У цьому контексті адаптивна стратегія повинна враховувати множину сценаріїв і формувати

розв'язки, які є стійкими до змін і водночас не занадто консервативними, щоб дозволити рух у зону інноваційного ризику.

Реалізація таких стратегій на практиці відбувається через інтеграцію алгоритмів багатокритеріальної оптимізації в системи автоматизованого управління, що дозволяє створювати замкнені контури прийняття рішень з постійним оновленням вхідних параметрів, динамічним балансуванням критеріїв, адаптацією до змін і перевіркою стійкості рішення. У найсучасніших реалізаціях такі системи доповнюються інструментами машинного навчання, що дозволяє їм самонавчатись на основі історичних даних, формуючи нові ваги, коригуючи сценарні моделі та автоматично виділяючи домінантні напрямки у розподілі ресурсів. Саме це дає змогу побудувати модель, яка не лише підказує найкраще рішення, а й імітує процес мислення управлінської команди в умовах високої невизначеності [10].

Для системного узагальнення ключових елементів адаптивної багатокритеріальної оптимізації у мультипроектному середовищі доцільно виділити основні групи факторів, що формують її концептуальну основу. У таблиці 1 наведено структурування цих факторів із урахуванням особливостей їх впливу на процеси прийняття управлінських рішень.

Таблиця 1

**Основні елементи адаптивної багатокритеріальної оптимізації у
мультипроектному управлінні**

Група факторів	Основний зміст	Особливості впливу
Структура мультипроектного середовища	Одночасна реалізація кількох проектів з різними строками, ресурсами, ризиками та цілями	Формує складну конфігурацію взаємозалежностей, потребує балансування між проектами
Динамічність критеріїв	Зміна ваг критеріїв у часі залежно від стратегічних, фінансових та кризових факторів	Забезпечує гнучкість та перебудову пріоритетів під впливом зовнішніх і внутрішніх змін
Функціонал ефективності та реактивності	Комбіновані функції цільової оптимізації та здатності до перебудови	Забезпечує адаптацію моделі при виникненні нових обмежень чи зміні умов
Моделювання поведінкових параметрів	Урахування поведінкових характеристик учасників проектів (мотивація, залучення, конфліктність)	Впливає на стабільність виконання проектів та якість прийняття рішень
Сценарне та симуляційне прогнозування	Побудова моделей розвитку подій за різних варіантів змін середовища	Дозволяє заздалегідь оцінити ризики та підготувати стійкі управлінські рішення
Реакція на сукупність ризиків	Оцінка сумарного негативного ефекту при комбінованих кризових впливах	Забезпечує стійкість системи до ефекту доміно при збої окремих проектів
Інструменти адаптивного управління	Автоматизовані системи з алгоритмами оптимізації, машинного навчання та самонавчання	Дозволяють оперативно коригувати параметри системи в реальному часі

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Особливої складності набуває адаптація таких моделей у випадку, коли виникають комбінації критичних факторів: одночасна зміна вартості ресурсів, затримка в поставках, кадрові ризики та необхідність виконання проектів у межах

фіксованих строків. У таких випадках жоден з критеріїв не може бути пріоритетним абсолютно – система повинна обирати траєкторію руху, яка дозволить мінімізувати сумарний негативний ефект. У математичному вираженні така стратегія адаптації описується через формулу 7, функцію зваженого штрафу, яка враховує втрати по кожному критерію з урахуванням їх критичності в даному контексті:

$$\min \left(\sum_{a=1}^k \alpha_a(t) \times V_a(x, t) \right), \quad (7)$$

де $\alpha_a(t)$ – динамічний коефіцієнт критичності критерію i в момент часу t , а $V_a(x, t)$ – функція втрат, яка залежить як від самого рішення x , так і від поточних умов виконання проєкту.

Така формалізація дозволяє інтегрувати в одну модель одночасно багатокритеріальну оптимізацію, динамічну адаптацію та елементи реактивного планування. Вона не просто виводить систему до точки компромісу, а забезпечує стійкість у випадку кризи, гнучкість у випадку змін і швидкість реагування у випадку необхідності перебудови ресурсного ланцюга. Сучасна проєктна практика, особливо в інфраструктурному будівництві, айти-індустрії та складному інжинірингу, вже активно впроваджує такі підходи у вигляді адаптивних модулів у рамках цифрових платформ управління портфелем [11].

Узагальнюючи викладені теоретичні засади, наступний рис. 3 демонструє основні структурні компоненти та взаємозв'язки, що формують адаптивну багатокритеріальну оптимізацію у мультипроєктному управлінні. Рисунок відображає динамічну взаємодію ресурсних, поведінкових, стратегічних і ризик-орієнтованих факторів у процесі прийняття управлінських рішень.

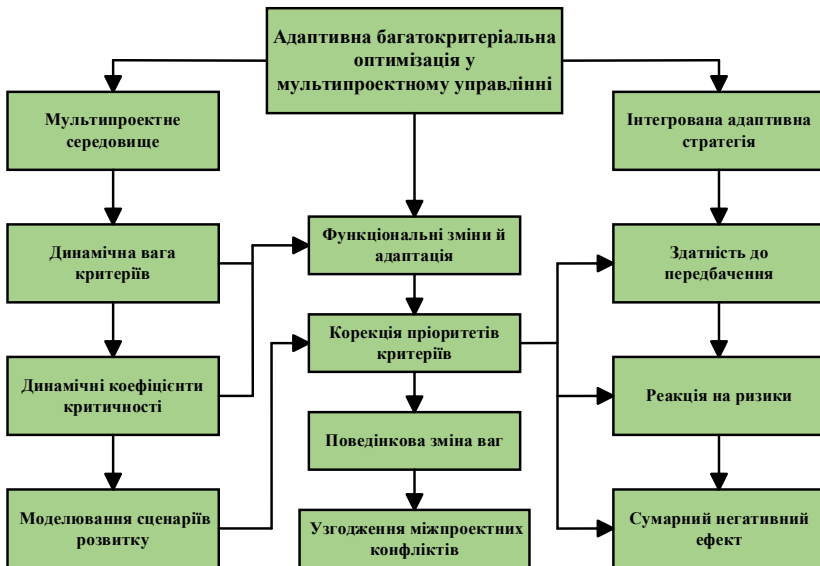


Рис. 3. Структурна схема адаптивної багатокритеріальної оптимізації в мультипроєктному управлінні (розроблено автором на основі [11])

У мультипроектному середовищі особливо важливим стає поняття стратегічної інтерпретації адаптивних рішень. Це означає, що система управління повинна не лише реагувати на зміни параметрів зовнішнього середовища, але й усвідомлено формувати власні пріоритети розвитку, навіть у ситуаціях високої невизначеності та ризикової турбулентності. Власне, це наближає адаптивні стратегії багатокритеріальної оптимізації до категорії так званих когнітивних систем управління, де процес прийняття рішень стає не лінійною процедурою вибору, а складною процедурою перманентної оцінки ситуації, накопичення інформації, перерозподілу стратегічних ваг та прогнозного балансування. У таких когнітивних системах сама логіка побудови моделей оптимізації змінюється в залежності від того, які зміни сталися в операційному, фінансовому, ринковому чи регуляторному середовищі.

Дуже важливою складовою адаптивної багатокритеріальної оптимізації виступає елемент управління ризиками, який інтегрується безпосередньо в алгоритмічну структуру моделі. У класичних підходах ризики розглядаються як зовнішні обмеження, які фіксують певні межі допустимих рішень. В адаптивних стратегічних моделях ризики стають динамічними змінними, що безпосередньо впливають на структуру критеріїв, їх вагу, а також змінюють саму природу компромісних рішень. Наприклад, при різкому зростанні валютних коливань критерій фінансової стабільності починає домінувати, тоді як критерій маркетингового експансіонізму автоматично знижується в пріоритеті. Таким чином, адаптивна багатокритеріальна модель виступає не як статичний механізм, а як гнучка реактивно-прогнозна система, де кожен новий ризик перетворюється на індикатор зміни управлінських пріоритетів [12].

Особливо складною є інтеграція такого підходу в системи мультипроектного управління великих корпоративних структур, де портфель проектів включає в себе не лише поточні активності, а й середньострокові та довгострокові програми стратегічного розвитку. У таких ситуаціях адаптивна багатокритеріальна оптимізація трансформується в багаторівневу ієрархічну систему, де кожен рівень управління – оперативний, тактичний, стратегічний – має свою власну систему критеріїв, ваг і функціоналів оптимізації. При цьому зміни на одному рівні неминуче тягнуть за собою перебудову критеріїв на інших рівнях. Для опису таких моделей сучасна наука управління дедалі частіше застосовує терміни мультиагентних адаптивних систем, у яких кожен проект виступає як окремий агент з власною поведінкою, цілями і обмеженнями, а центральна система управління виконує роль координатора, що балансує між окремими агентами на основі узагальнених правил стратегічної доцільності.

Висновок.

Багатокритеріальна оптимізація у системах мультипроектного управління є ключовим інструментом підвищення ефективності управлінських рішень у сучасних умовах цифрової трансформації будівельної галузі. Вона забезпечує комплексний підхід до координації проектів, де кожен елемент портфеля оцінюється не ізольовано, а з урахуванням взаємозалежності між ресурсами, термінами, ризиками, якістю та стратегічними цілями компанії. Такий підхід дозволяє уникати локальної оптимізації та переходити до глобального узгодження рішень, що забезпечує стабільність усієї організаційної системи.

Ефективність багатокритеріальної оптимізації полягає у здатності системи враховувати змінні фактори середовища, невизначеність і динаміку ринку.

Використання методів Парето-оптимальності, компромісного програмування, аналізу ієрархій (АНП) та еволюційних алгоритмів, зокрема NSGA-II, забезпечує формування множини альтернативних варіантів рішень, серед яких обирається найбільш збалансований відповідно до поточних цілей компанії. Це створює основу для переходу до аналітично керованих систем управління, де рішення формуються на основі даних, а не інтуїтивних припущень.

Інтеграція багатокритеріальних методів у цифрові платформи ERP, PPM та BIM дозволяє реалізувати принцип «розумного управління» – тобто синхронізувати інформаційні, економічні та технічні процеси в реальному часі. Така інтеграція дає змогу забезпечити не лише оптимальний розподіл ресурсів, але й підвищити прозорість комунікацій між усіма учасниками мультипроектного середовища.

Розвиток інструментів когнітивного аналізу, машинного навчання та нечіткої логіки відкриває нові перспективи для створення адаптивних систем, здатних до самонавчання та прогнозування сценаріїв розвитку. У результаті багатокритеріальна оптимізація стає не просто математичною моделлю, а стратегічним елементом управління, що поєднує аналітичну точність і гнучкість прийняття рішень.

Отже, впровадження багатокритеріального підходу в мультипроектне управління сприяє підвищенню конкурентоспроможності будівельних компаній, забезпечує стійкість організаційних структур та формує основу для розвитку інтелектуальних управлінських систем нового покоління.

Список літератури:

1. Arrow K. J. Social Choice and Individual Values. New Haven: Yale University Press, 1963. 214 p. URL: <https://archive.org/details/socialchoiceindi0000arrow>
2. Alvarez-Campana, P., Villafañez, F., Acebes, F., Poza, D. Simulation-Based Approach for Multiproject Scheduling Based on Composite Priority Rules. *International Journal of Simulation Modelling*. 2024. 23. 29-40. DOI:10.2507/IJSIMM23-1-667.
3. Odu Godwin Review of multi-criteria optimization methods – theory and applications. *IOSR Journal of Engineering*, 2013. Vol. 3(10), pp. 01-14. DOI:10.9790/3021-031020114.
4. Воронін А.М., Зіатдінов Ю.К., Пермяков О.Ю., Вараламов І.Д. Багатокритеріальна оптимізація динамічних систем керування. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2014. № 2. С. 38-48.
5. Bates, M.E. (2021). Advances in multi-criteria decision analysis and multi-objective optimization for sustainable water resources and sediment management. URL: <https://escholarship.org/uc/item/33r7j9pw>
6. Новаківський І.І. Система управління підприємства в інформаційному суспільстві: дис. ... д-ра. екон. наук: 08.00.04. Львів, 2017. 494 с.
7. Deshpande A. Multi-criteria decision making using reinforcement learning and its application to Food, Energy, and Water Systems (Fews) Problem. Dissertation, Purdue University, 2021. URL: <https://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI30505347/>
8. Рижакова Г.М., Чуприна Ю.А. Формування будівельного кластеру у форматі державних інвестиційних цільових програм. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019. Вип. 40. С. 19-24. <http://ways.knuba.edu.ua/issue/view/11913>

9. Opricovic, S. Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems. PhD Thesis, University of Belgrade, 1998. 302 с. URL: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1600129&utm>

10. Чуприна Х.М., Чуприна Ю.А., Бородавко М.В., Грабчак Д.В.. Структурно-когнітивного моделювання процесів управління інтелектуалізацією будівельних підприємств. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2020. № 5 (228). С. 89-98.

11. Ramezani B. P. Multi-criteria performance evaluation and control in power and energy systems. PhD Dissertation, Clemson University, 2022. 220 p. URL: https://open.clemson.edu/all_dissertations/3212/

12. Lova, Antonio & Maroto, Concepción & Tormos, María. Multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*. 2000. 127. 408-424. DOI:10.1016/S0377-2217(99)00490-7.

Miroslav POLZIKOV

Tools for multi-criteria decision optimization in multiproject management

In today's highly dynamic business environment and increasingly complex management processes, construction and engineering companies face the challenge of making decisions that must account for a wide range of interrelated criteria. Traditional approaches focused on a single objective – such as minimizing costs or shortening project durations – are becoming ineffective in complex multiproject systems, where each managerial decision has a multidimensional impact on overall performance.

Multi-criteria optimization provides a scientifically grounded framework for reconciling conflicting objectives by combining the flexibility of analytical methods with the precision of mathematical modeling. The integration of Pareto optimality principles, compromise programming, the Analytic Hierarchy Process (AHP), and evolutionary algorithms such as NSGA-II enables the generation of multiple alternative decision options that take into account both short-term operational needs and long-term strategic priorities of an organization.

The practical application of multi-criteria models in multiproject management contributes to the automation of project coordination processes, rational allocation of resources, and reduction of conflicts within corporate ecosystems based on ERP and PPM platforms. Such systems form the foundation for flexible portfolio management, where each project element is integrated into a unified information and analytical space.

The incorporation of cognitive analytics, machine learning, and fuzzy logic enhances the adaptability of management systems and their ability to respond effectively to environmental uncertainty. Multi-criteria optimization emerges as a core tool for building next-generation analytical management models that not only improve the accuracy and resilience of managerial decisions but also lay the groundwork for a transition toward predictive and analytical management in modern multiproject environments.

Keywords: *multi-criteria optimization, multiproject management, Pareto optimality, evolutionary algorithms, compromise programming, fuzzy logic, adaptive strategy, decision support.*