



О. Ю. Мулеса^{1,2}, Ф. Е. Гече², Ю. Ю. Богдан², П. П. Валько², В. В. Пойда²

¹Пряшівський університет, м. Пряшів, Словаччина

²ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ У МІСЬКОМУ БУДІВНИЦТВІ

Розроблено інформаційну технологію адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів у міському будівництві. Метою розроблення такої технології є підвищення обґрунтованості управлінських рішень у сфері інвестиційного планування. Основу технології становить логарифмічна модель ідентифікації вагових коефіцієнтів критеріїв, що забезпечує підвищення об'єктивності процесів визначення їх значущості на підставі ретроспективних даних без залучення суб'єктивного експертного оцінювання. Для підвищення точності та адаптивності оцінювання запропоновано використовувати метод ітераційного зменшення суперкритеріїв, який дає змогу мінімізувати надлишковість показників і стабілізувати результати багатокритеріального вибору. Розроблено архітектуру інформаційної технології, що охоплює три рівні: інформаційний, аналітичний та рівень знань. Вона реалізує повний цикл перетворення даних на знання – від формування бази проєктів і визначення ваг критеріїв до генерації продукційних правил, які описують закономірності успішності проєктів. Запропонований підхід забезпечує адаптивність, інтерпретованість, стійкість до малих вибірок і можливість подальшого розширення системи. Результати дослідження можуть бути використані для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері міського планування, енергетики, регіонального розвитку та інших галузях, де необхідні узгодження великої кількості критеріїв і формалізація досвіду реалізованих проєктів.

Запропонована технологія створює підґрунтя для розроблення універсальних методів аналітичного узагальнення, здатних інтегруватися із сучасними системами машинного навчання та штучного інтелекту.

Ключові слова: багатокритеріальний вибір, логарифмічна модель, суперкритерії, адаптивність, база знань, підтримка прийняття рішень.

Вступ / Introduction

Проблематика автоматизації процесів прийняття рішень у міському будівництві набуває особливої актуальності в умовах цифрової трансформації інфраструктури та впровадження концепції Smart City. Сучасні міста потребують інструментів, здатних забезпечити швидко, прозоре й обґрунтоване прийняття управлінських рішень за участю численних критеріїв – технічних, економічних, екологічних та соціальних. У роботах сучасних авторів [1–4] запропоновано різні підходи до використання методів багатокритеріального аналізу, нечіткої логіки, нейронних мереж і гібридних моделей для оцінювання інвестиційних проєктів. Велику увагу звернено на створення систем підтримки прийняття рішень та багатокритеріальних технологій прийняття рішень, які забезпечують підтримку управлінських рішень у сфері будівництва, енергетики та урбаністики.

Разом із тим більшість відомих рішень мають низку обмежень. Частина з них надмірно залежить від суб'єктивних експертних оцінок [5, 6]; інші потребують великих обсягів даних, що не завжди доступні для конкретних регіонів або муніципалітетів [7]. Крім того, наявні інформаційні системи здебільшого не враховують регіональні та соціоекономічні особливості реалізації

проєктів, що знижує їхню адаптивність. Недостатньо розробленими залишаються методи, які дають змогу поєднати нормативні, замовницькі та історичні критерії у єдиній аналітичній моделі для підвищення об'єктивності вибору.

Отже, актуальним є розроблення інформаційної технології підтримки прийняття рішень, яка забезпечує багатокритеріальний вибір інвестиційних проєктів у міському будівництві з урахуванням нормативних вимог, пріоритетів замовника та ретроспективних даних про ефективність раніше реалізованих проєктів. Така технологія має зменшити суб'єктивність оцінювання, автоматизувати процес відбору та надати можливість адаптації до регіональних умов.

Об'єкт дослідження – процес прийняття управлінських рішень у сфері міського будівництва.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми інформаційної технології адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів.

Мета роботи – розроблення інформаційної технології підтримки прийняття рішень для вибору інвестиційних проєктів у міському будівництві на основі логарифмічної моделі ідентифікації вагових функцій та алгоритму ітераційного скорочення суперкритеріїв.

Для досягнення цієї мети визначено основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні наукові підходи до побудови інформаційних технологій підтримки прийняття рішень у сфері будівництва.

2. Сформувати архітектуру інформаційної технології, що реалізує запропонований підхід і забезпечує перетворення даних на знання.

Під час здійснення дослідження та розв'язання поставлених завдань використано такі методи дослідження: методи системного аналізу та математичного моделювання, алгоритмічні методи та методи інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасній науковій літературі спостерігається зростання інтересу до створення інформаційних технологій підтримки прийняття рішень у складних соціально-економічних системах, зокрема в міському будівництві, транспорті, енергетичному менеджменті та плануванні міських територій. Такі технології поєднують методи багатокритеріального вибору, математичного моделювання, нечіткої логіки та елементи штучного інтелекту [1–4].

Класичними інструментами багатокритеріального аналізу є метод аналізу ієрархій (АНР), метод упорядкування за подібністю до ідеального рішення (TOPSIS), метод усунення та вибору, що перетворює реальність (ELECTRE), та метод зважених сум (WSM) [5, 6]. Ці методи активно використовують для оцінювання ефективності інвестиційних або інфраструктурних проєктів. Проте вони мають істотне обмеження – значну залежність від суб'єктивних експертних ваг і відсутність адаптивних механізмів під час зміни умов або доступних даних.

Останні дослідження демонструють спроби інтеграції багатокритеріальних методів із моделями машинного навчання для підвищення точності оцінювання рішень. Запропоновані гібридні підходи поєднують нейронні мережі, нечіткі правила або еволюційні алгоритми [8, 9]. Вони дають змогу зменшити вплив людського чинника, однак потребують великих обсягів даних і характеризуються низькою стійкістю до неповних вибірок.

У сфері міського будівництва переважна більшість систем підтримки рішень орієнтована на вибір земельних ділянок, оптимізацію транспортних потоків, енергетичне планування або екологічну безпеку [10, 11]. Натомість проблема вибору інвестиційних проєктів із урахуванням нормативних, замовницьких і ретроспективних критеріїв залишається недостатньо вивченою. Наявні моделі не мають вбудованого механізму ітераційного скорочення критеріїв, який би давав змогу автоматично відкидати малозначущі параметри, зменшуючи розмірність задачі без втрати точності.

Отже, аналізування літературних джерел засвідчує, що попри істотний прогрес у розробленні моделей багатокритеріального аналізу, недостатньо опрацьованими залишаються питання адаптивності та оброблення малих або неоднорідних даних. Це визначає актуальність створення інформаційної технології підтримки прийняття рішень у виборі інвестиційних проєктів, яка поєднує аналітичну точність математичних моделей, логіку адаптивного скорочення критеріїв та можливість

практичного застосування у міських цифрових екосистемах типу Smart City.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

У результаті виконаного дослідження розроблено інформаційну технологію адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів у міському будівництві. Запропонована технологія забезпечує інтеграцію нормативних, замовницьких і ретроспективних критеріїв у єдину систему оцінювання та дає змогу автоматизувати формування рейтингу інвестиційних проєктів із урахуванням регіональної специфіки та неповноти даних.

На відміну від традиційних систем підтримки прийняття рішень, які ґрунтуються переважно на експертних вагових оцінках, запропонована технологія використовує логарифмічну модель ідентифікації вагових функцій та ітераційний алгоритм скорочення суперкритеріїв, що надає системі властивості адаптивності та стійкості до зміни інформаційних умов [12].

Вербально-математична постановка задачі

У цьому дослідженні розглянуто завдання вибору інвестиційного проєкту в міському будівництві. Побудуємо вербально-математичне формулювання задачі у такій формі.

Нехай N – кількість проєктів, які доступні для вибору;

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$ – множина проєктів, кожен з яких оцінюють за критеріями множини $K = \{K_1, K_2, \dots, K_M\}$, де M – кількість критеріїв; K_j – множина можливих значень критерію під номером j , $j = \overline{1, M}$; причому $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iM})$ – вектори, компоненти яких є значеннями критеріїв у відповідних проєктах, тобто x_{ij} – значення критерію K_j проєкту P_j .

Необхідно розробити правило Ω , яке здійснюватиме відображення (1):

$$\langle P, K \rangle \xrightarrow{\Omega} P^*, \quad (1)$$

де P^* – найефективніший у певному сенсі проєкт.

Під ефективністю проєкту розумітимемо його відповідність обмеженням, які накладаються на проєкти такого типу, та перевагу за певними ознаками над іншими проєктами.

Для розв'язання поставленої задачі запропоновано використовувати метод відбирання інвестиційних проєктів у міському будівництві [12]. Цей метод ґрунтується на поетапній реалізації аналітичних і алгоритмічних процедур, що послідовно звужують множину альтернатив та забезпечують обґрунтований вибір оптимального проєкту.

Метод відбору інвестиційних проєктів у міському будівництві

Метод передбачає використання результатів ретроспективного аналізу, автоматизовану перевірку проєктів на відповідність нормативним вимогам, побудову багатокритеріальної моделі оцінювання та реалізацію адаптивного механізму оптимізації та полягає у послідовній реалізації певних етапів.

Етап 0. Аналіз ретроспективних даних. Цей етап не є безпосередньою частиною методу відбору проєктів, і є підготовчим. Але від його ефективності залежить ефек-

тивність всього методу. На цьому етапі на основі аналізу досвіду реалізації схожих проєктів на цій території визначають числові показники ступенів впливу критеріїв на успішність проєкту. Ці показники будуть використуватися на наступних етапах методу:

- визначення ваг критеріїв, що відображають їхню значущість під час вибору;
- формування суперкритеріїв, які агрегують критерії різних типів;
- побудови багатокритеріальної моделі оцінювання альтернатив.

Етап 1. Відсіювання неперспективних варіантів. Цей етап полягає у аналізі елементів множини проєктів P на відповідність вимогам, які встановлюють нормотворці та замовники послуг. Ті елементи множини P , які не відповідають хоча б одній із цих вимог, відсіюють з розгляду як неперспективні. Так зменшується обсяг даних для подальшої оптимізації, а у вибірці залишаються лише потенційно життєздатні варіанти.

Етап 2. Оцінювання проєктів за багатокритеріальною моделлю. На цьому етапі для кожної категорії критеріїв створюють суперкритерій та розв'язують задачу багатокритеріального вибору. Якщо на цьому етапі є можливість вибрати проєкт, який максимізує всі суперкритерії, то процес вибору завершується, інакше – здійснюємо перехід до наступного етапу.

Етап 3. Адаптивна оптимізація із поступовим скороченням суперкритеріїв. На цьому етапі поступово вилучають критерії із суперкритеріїв з урахуванням ступенів їх впливу на результативну оцінку. Процес виконується доти, доки не буде знайдено прийнятний проєкт або не буде

вичерпано допустимі межі скорочення критеріїв. Так забезпечується адаптивність системи та її здатність працювати з обмеженими або неоднорідними даними.

Далі деталізуємо окремі підходи до реалізації зазначених етапів. Ці підходи утворюють математичне ядро інформаційної технології.

Математичний апарат інформаційної технології

Для ідентифікації вагових функцій для критеріїв із множини K введемо певні позначення. Нехай J^{norm} – множина номерів критеріїв, які надають нормотворці; J^{cust} – номери критеріїв, що надають замовники; J^{retro} – номери критеріїв, отриманих на основі аналізу ретроспективних даних. Причому повинна виконуватись така умова $J^{norm} \cup J^{cust} \cup J^{retro} = \{1, 2, \dots, M\}$ а самі множини можуть між собою перетинатися. Для критеріїв із номерами з множини J^{retro} сформуємо вибірку із трьох типів проєктів:

- проєкти першого типу – ті, які були успішно завершені;
- другий тип утворюють проєкти, які були завершені, але їх реалізація супроводжувалася складнощами, які погіршили очікуваний результат;
- до третьої групи зарахуємо проєкти, які з певних причин не завершені.
- Введемо у розгляд функцію множини вагових функцій $\{f_j(x)\}$, таких, що задовольняють (2):

$$f_j(x): K_j \rightarrow R, j \in J^{retro}. \quad (2)$$

- Для ідентифікації цих функцій задамо правило (3):

$$f_j(x) = \lg \left(\frac{\text{count}(V_l: l=1, n_1 \text{ and } v_{lj} \equiv x) + \alpha \cdot \text{count}(V_l: l=\overline{n_1+1, n_2} \text{ and } v_{lj} \equiv x) + \varepsilon}{\text{count}(V_l: l=\overline{n_1+n_2+1, n_1+n_2+n_3} \text{ and } v_{lj} \equiv x) + (1-\alpha) \cdot \text{count}(V_l: l=\overline{n_1+1, n_2} \text{ and } v_{lj} \equiv x) + \varepsilon} \right) \quad (3)$$

де n_1, n_2, n_3 – відповідно кількість проєктів першого, другого та третього типів; $V_1, V_2, \dots, V_{n_1}$ – вектори зі значеннями критеріїв для проєктів першого типу; $V_{n_1+1}, V_{n_1+2}, \dots, V_{n_1+n_2}$ – вектори зі значеннями критеріїв для проєктів другого типу; $V_{n_1+n_2+1}, V_{n_1+n_2+2}, \dots, V_{n_1+n_2+n_3}$ – вектори зі значеннями критеріїв для проєктів третього типу; $V_l = (v_{lj_1}, v_{lj_2}, \dots, v_{lj_{|J^{retro}|}})$, $l = 1, n_1 + n_2 + n_3$, $\{j_1, j_2, \dots, j_{|J^{retro}|}\} = J^{retro}$, $v_{lj} \in K_j$.

$\alpha \in [0; 1]$, $\varepsilon > 0$ – параметри моделі.

На основі розрахованих вагових коефіцієнтів формують систему інтегральних оцінок проєктів. Для підвищення точності та зручності аналізу всі критерії агрегують у два суперкритерії: ретроспективний (4) та замовницький (5):

$$F^{retro}(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j \in J^{retro}} f_j(x_j), \quad (4)$$

$$F^{cust}(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j \in J^{cust}} g_j(x_j). \quad (5)$$

Отже, кожен проєкт описується парою значень (F^{retro}, F^{cust}) і задача вибору оптимального проєкту формулюється як двокритеріальна оптимізація. Мета розв'язування задачі полягає у пошуку такого елемента множини альтернатив, який забезпечує максимальні значення обох суперкритеріїв, тобто є парето-оптимальним рішенням.

Під час розв'язання задачі можливі три випадки:

Випадок 1. Знайдено єдиний оптимальний проєкт – якщо існує альтернатива, що одночасно максимізує обидва суперкритерії. У такому разі її визнають найкращою і рекомендують для реалізації.

Випадок 2. Знайдено кілька рівнозначних проєктів – якщо виявлено множину альтернатив із близькими значеннями F^{retro} і F^{cust} . У цьому випадку формується набір парето-оптимальних рішень, серед яких остаточний вибір можна зробити за додатковими критеріями або на підставі експертного рішення.

Випадок 3. Відсутність спільного розв'язку – коли жоден проєкт не забезпечує одночасного максимуму обох суперкритеріїв. У такій ситуації застосовують метод ітераційного скорочення суперкритеріїв, який дає змогу зменшити кількість факторів і досягти збалансованого компромісу між нормативними та замовницькими вимогами.

Суть методу ітераційного скорочення критеріїв полягає у поступовому вилученні із аналізу тих критеріїв, вплив яких на підсумкову оцінку мінімальний.

На кожній ітерації алгоритму виконують такі кроки:

Крок 1. Обчислюємо інтегральні оцінки всіх проєктів за поточним набором критеріїв.

Крок 2. Визначаємо критерій із найменшою вагою або з мінімальним внеском у варіацію результатів.

Крок 3. Вилучаємо цей критерій із множини та перераховуємо суперкритерії F^{retro} і F^{cust} .

Крок 4. Розв'язуємо нову двокритеріальну задачу вибору (6):

$$\begin{cases} F^{cust}(X_i) = \sum_{j \in J^{cust}} g_j(x_{ij}) \rightarrow \max, \\ F^{retro}(X_i) = \sum_{j \in J^{retro}} f_j(x_{ij}) \rightarrow \max, \\ g_j(x_{ij}) \geq \delta^j, j \in J^{soft}, \\ X_i \in \{X_1, X_2, \dots, X_N\}, \end{cases} \quad (6)$$

де δ^j – мінімально допустиме значення критерію K_j , яке задав замовник.

Процес продовжується доти, доки не буде досягнуто ідеальної точки для задачі (6). У підсумку досягається узгоджений компроміс між нормативними та замовницькими вимогами, що підвищує надійність прийнятого рішення.

Архітектура розробленої інформаційної технології

Розроблена інформаційна технологія адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів у міському будівництві орієнтована на перетворення ретроспективних даних на нові знання, які можна використати для формування обґрунтованих управлінських рішень. Основу архітектури становлять три взаємопов'язані рівні: інформаційний, аналітичний та рівень знань (рис. 1).

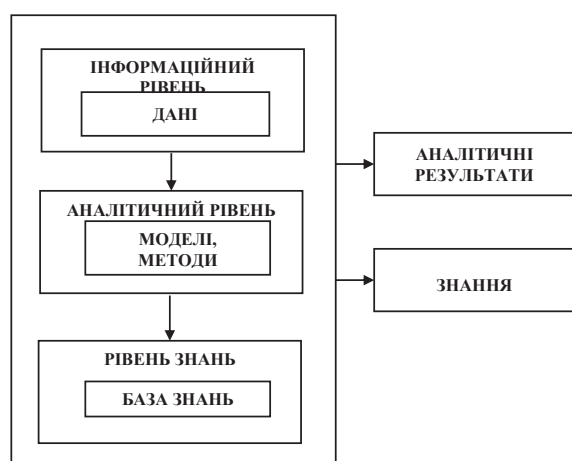


Рис. 1. Узагальнена архітектура інформаційної технології адаптивного вибору інвестиційних проєктів / General architecture of the information technology for adaptive selection of investment projects

Конкретизуємо ці рівні.

Інформаційний рівень. Цей рівень формує базу вхідних даних, необхідних для побудови моделі. До складу інформаційного забезпечення входять структуровані дані про раніше реалізовані інвестиційні проєкти (технічні, економічні, організаційні показники), набір критеріїв оцінювання, поділених на три групи: нормативні, замовницькі та ретроспективні, результати попереднього аналізу успішності проєктів, на основі яких визначають частоти появи критеріїв у різних групах проєктів (успішних, частково успішних, неуспішних).

На цьому рівні дані нормалізують, очищають від пропусків і перетворюють у форму, придатну для математичного оброблення.

2. Аналітичний рівень. Аналітичний рівень реалізує процес математичного узагальнення даних та побудови знаннєвої моделі. Основні функції – визначення вагових коефіцієнтів критеріїв за логарифмічною моделлю, формування інтегральних суперкритеріїв, виконання двокритеріальної оптимізації для визначення парето-оптимальних проєктів, реалізація ітераційного скорочення суперкритеріїв, що забезпечує адаптивність системи до різних наборів даних.

На цьому рівні із великого обсягу вхідної інформації виділяють закономірності, що характеризують взаємозв'язки між критеріями та результатами проєктів.

3. Рівень знань. Результатом роботи аналітичного рівня є формування нових знань у формі продукційних правил, що описують типові закономірності успішності проєктів. На цьому рівні створюють базу знань, у якій результати аналітичних обчислень подають у вигляді логічних конструкцій виду “якщо – то”. Наведемо приклади таких правил:

Якщо ваговий коефіцієнт критерію $w_i > 0,5$, то критерій вважається стимулювальним і підвищує успішність проєкту.

Якщо $w_i < -0,3$, то критерій є ризиковим, його потрібно переглянути або компенсувати іншими параметрами.

Якщо для групи критеріїв середнє значення $w_i > 0,4$, то цю групу визнають ключовим фактором успіху в цій галузі будівництва.

Якщо проєкт одночасно задовольняє нормативні обмеження та перевищує порогові значення суперкритеріїв F^{retro} і F^{cust} , то його автоматично вносять до бази успішних проєктів і використовують для навчання системи в наступних циклах аналізу.

Обговорення результатів дослідження. Розроблена інформаційна технологія адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів у міському будівництві поєднує аналітичні та математичні підходи до формування управлінських рішень. Її основна перевага – здатність перетворювати емпіричні дані на формалізовані знання, які можна безпосередньо використати для підтримки процесів планування та фінансування інвестиційних програм.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено інформаційну технологію адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів на основі логарифмічної моделі ідентифікації вагових коефіцієнтів та методу ітераційного скорочення суперкритеріїв, що забезпечує підвищення об'єктивності та стійкості процесів прийняття рішень у міському будівництві.

Практична значущість результатів дослідження полягає у можливості застосування розробленої інформаційної технології для автоматизованого відбирання та оцінювання інвестиційних проєктів у міському будівництві, що забезпечує зменшення суб'єктивності експертних рішень і підвищує ефективність управління ресурсами на рівні муніципалітетів та девелоперських структур.

Наукова новизна запропонованої технології полягає у впровадженні логарифмічної моделі ідентифікації вагових коефіцієнтів, яка дає змогу визначати значущість критеріїв без залучення суб'єктивних

експертних оцінок. Такий підхід дає змогу працювати із обмеженими або фрагментарними даними, що особливо актуально в умовах малих вибірок і нерівномірного накопичення статистики у сфері міського будівництва.

На відміну від класичних методів багатокритеріального аналізу (AHP, TOPSIS, ELECTRE), які передбачають попереднє визначення ваг критеріїв на основі опитувань або експертних таблиць, у розробленій системі ці ваги обчислюються автоматично на підставі порівняння частоти появи ознак у проєктах різної успішності. Це мінімізує вплив людського фактора та підвищує об'єктивність результатів.

Запропонована двокритеріальна модель оцінювання дає змогу поєднувати ретроспективні та замовницькі критерії у єдину систему суперкритеріїв, забезпечуючи баланс між історичним досвідом та поточними управлінськими пріоритетами. У разі відсутності єдиного парето-оптимального рішення активується ітераційний механізм скорочення суперкритеріїв, який поступово зменшує кількість малозначущих факторів і стабілізує результат. Такий підхід реалізує адаптивність технології та її здатність самостійно уточнювати модель без зовнішнього втручання.

Важливою властивістю технології є її стійкість до неповних і шумових даних. Використання логарифмічної моделі з параметрами ризику (α) та регуляризації (ϵ) дає змогу уникнути перенавчання й компенсувати нестачу інформації, що типово для управлінських систем із малим обсягом спостережень.

Серед ключових переваг розробленої інформаційної технології можна відзначити адаптивність, об'єктивність, інтерпретованість, масштабованість, стійкість (табл. 1).

Викладені результати демонструють, що запропонована інформаційна технологія забезпечує вищу адаптивність, стійкість до неповних даних і можливість автоматизованого формування знань порівняно із традиційними та гібридними підходами.

Отже, запропонована архітектура формує замкнений цикл “дані $\rightarrow$ модель і методи $\rightarrow$ аналітичні результати $\rightarrow$ знання”, що забезпечує накопичення нових закономірностей під час функціонування системи. Це перетворює інформаційну технологію на інтелектуальну платформу підтримки прийняття рішень, придатну до використання у сферах, де потрібна формалізація досвіду і висока точність за обмежених даних – від міського планування до енергетичного або соціального проєктного менеджменту.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика підходів до багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів / Comparative characteristics of approaches to multi-criteria selection of investment projects

Критерій порівняння	Традиційні MCDM-методи (AHP, TOPSIS, ELECTRE)	Гібридні моделі (Fuzzy, ML-based)	Запропонована інформаційна технологія
Формування ваг критеріїв	Потребує експертних оцінок	Використовує великі навчальні вибірки	Автоматичне визначення за логарифмічною моделлю
Обсяг необхідних даних	Середній або великий	Дуже великий	Малі або фрагментарні дані
Адаптивність до зміни умов	Обмежена	Помірна	Висока (ітераційне скорочення суперкритеріїв)
Урахування нормативних і замовницьких критеріїв	Часткове	Залежить від моделі	Інтегроване через систему суперкритеріїв
Стійкість до неповних даних	Низька	Низька або середня	Висока
Інтерпретованість результатів	Висока	Низька	Висока (продукційні правила “якщо – то”)
Можливість автоматизації	Часткова	Висока	Висока, із формуванням бази знань

Висновок / Conclusions

1. Розроблено інформаційну технологію адаптивного багатокритеріального вибору інвестиційних проєктів у міському будівництві, яка поєднує елементи математичного моделювання, аналітичного опрацювання та формалізації знань.

2. Запропоновано логарифмічну модель ідентифікації вагових коефіцієнтів критеріїв, що дає змогу автоматично визначати їхню значущість на основі ретроспективних даних без залучення експертного суб'єктивного оцінювання. Це забезпечує об'єктивність і відтворюваність результатів навіть за умов обмежених вибірок.

3. Розроблено архітектуру інформаційної технології, що складається із трьох взаємопов'язаних рівнів – інформаційного, аналітичного та рівня знань. Така структура реалізує повний цикл перетворення даних на знання: від накопичення інформації $\rightarrow$ через математичне узагальнення $\rightarrow$ до генерації логічних правил і рекомендацій.

4. Основними перевагами запропонованої технології є адаптивність, інтерпретованість, стійкість до малих даних і можливість розширення. Результати можуть бути використані для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері будівництва, міського планування, енергетики чи інших галузях, де необхідна формалізація досвіду та узгодження багатьох критеріїв.

References

- Zavadskas, E., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. (2015) Selecting a Contractor by Using a Novel Method for Multiple Attribute Analysis: Weighted Aggregated Sum Product Assessment with Grey Values (WASPAS-G). *Studies in Informatics and Control*, 24, 141–150. <https://doi.org/10.24846/v24i2y201502>
- Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert systems with Applications*, 42(8), 4126–4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>

3. Yang, C.-C., Ou, S.-L., & Hsu, L.-C. (2019). A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model for Evaluating Companies' Green Credit Rating. *Sustainability*, 11(6), 1506. <https://doi.org/10.3390/su11061506>
4. Sierra, L. A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2018). A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 187, 496–513. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.022>
5. Greco, S., Ehrgott, M., & Figueira, J. R. (Eds.). (2016). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (2nd ed.). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
6. Slama, H. B., Gaha, R., Tlija, M., Chatti, S., & Benamara, A. (2023). Proposal of a Combined AHP-PROMETHEE Decision Support Tool for Selecting Sustainable Machining Process Based on Toolpath Strategy and Manufacturing Parameters. *Sustainability*, 15(24), 16861. <https://doi.org/10.3390/su152416861>
7. Villalba Nieto, P. X., Sónchez-Garrido, A. J., & Yepes Piqueras, V. (2024). A review of multi-criteria decision-making methods for building assessment, selection, and retrofit. <https://doi.org/10.3846/jcem.2024.21621>
8. Salimian, S., Mousavi, S. M., Tupenaite, L., & Antucheviciene, J. (2023). An Integrated Multi-Criteria Decision Model to Select Sustainable Construction Projects under Intuitionistic Fuzzy Conditions. *Buildings*, 13(4), 848. <https://doi.org/10.3390/buildings13040848>
9. Yu, G., Zeng, S., & Zhang, C. (2020). Single-Valued Neutrosophic Linguistic-Induced Aggregation Distance Measures and Their Application in Investment Multiple Attribute Group Decision Making. *Symmetry*, 12(2), 207. <https://doi.org/10.3390/sym12020207>
10. Chen, J. (2014). GIS-based multi-criteria analysis for land use suitability assessment in City of Regina. *Environ. Syst. Res.*, 3, 13. <https://doi.org/10.1186/2193-2697-3-13>
11. Esfandi, S., Tayebi, S., Byrne, J., Taminiau, J., Giyahchi, G., & Alavi, S. A. (2024). Smart Cities and Urban Energy Planning: An Advanced Review of Promises and Challenges. *Smart Cities*, 7(1), 414–444. <https://doi.org/10.3390/smartcities7010016>
12. Mulesa, O. (2025). An Adaptive Selection of Urban Construction Projects: A Multi-Stage Model with Iterative Supercriterion Reduction. *Urban Science*, 9(5), 146. <https://doi.org/10.3390/urbansci9050146>

O. Y. Mulesa^{1,2}, F. E. Geche², Y. Y. Bohdan², P. P. Valko², V. V. Poida²

¹ University of Prešov, Prešov, Slovakia

² Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY FOR MULTI-CRITERIA SELECTION OF INVESTMENT PROJECTS IN URBAN CONSTRUCTION

In the study, an information technology for adaptive multi-criteria selection of investment projects in urban construction was developed, which ensures the rationality of decision-making processes under conditions of limited data volume. A logarithmic model for identifying the weighting coefficients of criteria was proposed, allowing their significance to be automatically determined based on retrospective data without involving expert evaluations. The mechanism of forming super-criteria that integrate regulatory, customer, and retrospective indicators into a single evaluation system was investigated. The use of the adaptive multi-criteria selection method ensures the stability and robustness of results when working with small data samples.

An architecture of the information technology was developed, which includes three interconnected levels – informational, analytical, and knowledge levels – implementing a full cycle of data-to-knowledge transformation. It was found that the results of analytical computations can be represented as “if – then” production rules that reflect the patterns of successful project implementation. It was established that the developed technology is characterized by adaptability, interpretability, robustness to fragmented data, and the possibility of further model extension. This is achieved because the combination of the logarithmic model and iterative reduction provides increased system sensitivity to changes in input data and reduces the risk of incorrect project classification. At the same time, the use of super-criteria allows maintaining a balance between regulatory requirements and managerial priorities of stakeholders. The improved technology can be integrated into strategic-level decision support systems for automated selection and ranking of investment programs in urban planning, energy, and social infrastructure. The obtained results form the basis for developing intelligent decision support systems in the fields of urban planning, energy, transport, and investment resource management, and also open prospects for integration with modern machine learning tools.

Keywords: multi-criteria selection, logarithmic model, super-criteria, adaptability, knowledge base, decision support.

Інформація про авторів:

Мулеса Оксана Юріївна, д-р техн. наук, професор, Пряшівський університет, м. Пряшів, Словаччина; ДВНЗ “Ужгородський національний університет”, м. Ужгород, Україна.

Email: oksana.mulesa@unipo.sk; <https://orcid.org/0000-0002-6117-5846>

Гече Федір Елемирович, д-р техн. наук, професор, ДВНЗ “Ужгородський національний університет”, м. Ужгород, Україна.

Email: fedir.geche@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-4757-9828>

Богдан Юрій Юрійович, аспірант, ДВНЗ “Ужгородський національний університет”, м. Ужгород, Україна.

Email: yurii.bohdan@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0001-0337-7079>

Валько Павло Петрович, аспірант, ДВНЗ “Ужгородський національний університет”, м. Ужгород, Україна.

Email: pavlo.valko@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0001-9501-0126>

Пойда Василь Васильович, викладач, ДВНЗ “Ужгородський національний університет”, м. Ужгород, Україна.

Email: vasyi.poida@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0003-2298-4418>

Цитування за ДСТУ: Мулеса О. Ю., Гече Ф. Е., Богдан Ю. Ю., Валько П. П., Пойда В. В. Інформаційна технологія багатокритеріального вибору інвестиційних проектів у міському будівництві. *Український журнал інформаційних технологій*. 2025, т. 7, № 2. С. 145–150.

Citation APA: Mulesa, O. Y., Geche, F. E., Bohdan, Y. Y., Valko, P. P., & Poida, V. V. (2025). Information technology of multicriteria selection of investment projects in urban construction. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 7(2), 145–150. <https://doi.org/10.23939/ujit2025.02.145>