УДК 502/504
https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202508-07

МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ АЛЬТЕРНАТИВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД У ПРОЦЕДУРІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Покшевницька Т. В.
Національний транспортний університет
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, Київ, 01010
officenttn@ukr.net

Анотація

У статті розроблено та обґрунтовано метод багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив гідротехнічних споруд для застосування у процедурі оцінки впливу на довкілля (ОВД). Актуальність дослідження зумовлена необхідністю формалізації процесу вибору оптимальних технічних рішень гідротехнічних проєктів в умовах наявності різнорідних, часто конфліктуючих екологічних, технічних, економічних та соціальних критеріїв, а також з урахуванням специфічних викликів функціонування критичної інфраструктури в умовах воєнного стану.

Запропонований метод базується на поєднанні методу аналізу ієрархій для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв та адитивної моделі агрегування часткових оцінок технічних альтернатив. Розроблено ієрархічну систему критеріїв оцінювання, що включає п'ять груп критеріїв верхнього рівня (екологічні, технічні, економічні, соціальні критерії та критерії воєнної стійкості) та п'ятнадцять критеріїв нижнього рівня, які деталізують основні аспекти впливу гідротехнічних споруд у межах процедури ОВД.

Для параметризації методу проведено експертне опитування 25 фахівців, що мають досвід у розробці звітів з ОВД, проєктуванні гідротехнічних споруд, наукових дослідженнях та діяльності уповноважених органів. За результатами опитування обґрунтовано доцільність застосування п'ятибальної шкали оцінювання як оптимальної з точки зору зручності використання, достатності деталізації та зниження суб'єктивності експертних суджень. Методом аналізу ієрархій визначено вагові коефіцієнти груп критеріїв, що відображають їх відносну важливість у процедурі ОВД.

Проведений аналіз чутливості результатів підтвердив стійкість запропонованого методу до варіації вагових коефіцієнтів у широкому діапазоні значень та надійність отриманого ранжування технічних альтернатив. Запропонований метод забезпечує формалізований, прозорий та відтворюваний підхід до обґрунтування вибору оптимальних технічних рішень гідротехнічних проєктів з урахуванням екологічних, технічних, економічних, соціальних факторів та факторів воєнної стійкості. Результати дослідження можуть бути використані при підготовці звітів з оцінки впливу на довкілля, проєктуванні гідротехнічних споруд та прийнятті управлінських рішень у сфері водного господарства.

Ключові слова: багатокритеріальна оцінка, технічні альтернативи, гідротехнічні споруди, оцінка впливу на довкілля, метод аналізу ієрархій, система критеріїв, вагові коефіцієнти.

A multicriteria method for evaluating technical alternatives of hydraulic engineering structures in the environmental impact assessment procedure. Pokshevnytska T. The article develops and

substantiates a method for the multicriteria evaluation of technical alternatives of hydraulic engineering structures for application within the environmental impact assessment (EIA) procedure.

The relevance of the study is determined by the need to formalize the process of selecting optimal technical solutions for hydraulic engineering projects under conditions of heterogeneous and often conflicting environmental, technical, economic, and social criteria, as well as by the necessity to account for the specific challenges associated with the functioning of critical infrastructure under martial law. The proposed method is based on a combination of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for determining the weighting coefficients of criteria and an additive aggregation model for integrating partial evaluations of technical alternatives. A hierarchical evaluation criteria system has been developed, comprising five upper-level groups of criteria (environmental, technical, economic, social, and military resilience criteria) and fifteen lower-level criteria that detail the key aspects of the impacts of hydraulic engineering structures within the EIA procedure.

To parameterize the method, an expert survey involving 25 specialists with experience in EIA report preparation, hydraulic engineering design, scientific research, and the activities of authorized bodies was conducted. Based on the survey results, the application of a five-point evaluation scale was substantiated as optimal in terms of ease of use, sufficient level of detail, and reduction of subjectivity in expert judgments. The Analytic Hierarchy Process was applied to determine the weighting coefficients of the criteria groups, reflecting their relative importance within the EIA procedure. Sensitivity analysis confirmed the robustness of the proposed method to variations in weighting coefficients across a wide range of values and the reliability of the resulting ranking of technical alternatives.

The developed method provides a formalized, transparent, and reproducible approach to substantiating the selection of optimal technical solutions for hydraulic engineering projects, taking into account environmental, technical, economic, social, and military resilience factors. The research results may be applied in the preparation of environmental impact assessment reports, the design of hydraulic engineering structures, and managerial decision-making in the field of water management.

Keywords: multicriteria evaluation, technical alternatives, hydraulic engineering structures, environmental impact assessment, Analytic Hierarchy Process, criteria system, weighting coefficients.

Постановка проблеми

Процедура оцінки впливу на довкілля (ОВД) є превентивним інструментом екологічно орієнтованого планування та прийняття рішень у сфері водного господарства [1]. Одним із центральних етапів ОВД є порівняння та вибір технічних альтернатив реалізації планованої діяльності, що дозволяє обґрунтувати оптимальне рішення з урахуванням екологічних, технічних, економічних та соціальних факторів [2].

Гідротехнічні споруди характеризуються значним різноманіттям типів, конструктивних рішень та режимів експлуатації, що зумовлює необхідність порівняльного аналізу декількох технічних альтернатив на етапі підготовки проєктної документації та звітів з ОВД. Вибір технічної альтернативи має враховувати не лише традиційні техніко-економічні показники, але й складний комплекс екологічних наслідків, соціальних ефектів та, в умовах воєнного стану, факторів воєнної стійкості критичної інфраструктури [3].

Методичні рекомендації з підготовки звіту з ОВД визначають технічні альтернативи як технічно і технологічно допустимі та економічно доцільні варіанти реалізації планованої діяльності, що можуть відрізнятися за типом інженерних і конструктивних рішень, застосованими технологіями, проєктною потужністю, умовами та режимами експлуатації [4, 5]. Проте існуючі методичні підходи до порівняння технічних альтернатив часто мають описовий характер і не забезпечують формалізованого багатокритеріального оцінювання.

Аналіз сучасних багатокритеріальних підходів у технічних задачах засвідчує, що традиційні однокритеріальні методи прийняття рішень виявляються непридатними при наявності конфліктуючих показників. Це обумовлює потребу у застосуванні методів багатокритеріального аналізу (MCDM), які дозволяють структурувати проблему вибору, формалізувати критерії оцінювання та отримати обґрунтований результат при врахуванні різнорідних факторів [6, 7, 8].

Метою дослідження є розроблення методу багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив гідротехнічних споруд для застосування у процедурі ОВД, що забезпечує формалізований та відтворюваний підхід до обґрунтування вибору оптимальних технічних рішень.

Актуальність дослідження

Актуальність дослідження зумовлена зростанням складності прийняття рішень у сфері проєктування та реалізації гідротехнічних споруд, що супроводжується необхідністю одночасного врахування екологічних, технічних, економічних і соціальних чинників у процедурі оцінки впливу на довкілля (ОВД). У сучасних умовах такі рішення характеризуються багатофакторністю та наявністю конфліктуючих критеріїв, що істотно ускладнює вибір оптимальних технічних альтернатив на основі традиційних однокритеріальних підходів. Додатковим чинником актуальності є необхідність адаптації методів оцінювання до сучасних викликів функціонування критичної інфраструктури, зокрема в умовах воєнного стану, що потребує інтеграції до системи критеріїв показників надійності, безпеки та стійкості гідротехнічних споруд. У цьому контексті застосування методів багатокритеріального аналізу (MCDM) набуває особливого значення, оскільки вони дозволяють структурувати проблему вибору, формалізувати систему критеріїв та забезпечити комплексну оцінку технічних альтернатив з урахуванням різнорідних факторів впливу. Таким чином, розроблення та наукове обґрунтування методу багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив гідротехнічних споруд у процедурі ОВД є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення обґрунтованості, прозорості та ефективності прийняття рішень у сфері водного господарства та екологічної безпеки.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями

Авторський доробок безпосередньо пов'язаний із вирішенням актуальних наукових і практичних завдань у сфері екологічної оцінки, проєктування гідротехнічних споруд та прийняття управлінських рішень у водогосподарській галузі. Розроблений метод багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив спрямований на подолання існуючих обмежень традиційних підходів до вибору проєктних рішень у процедурі оцінки впливу на довкілля (ОВД), які не забезпечують достатнього рівня формалізації та обґрунтованості результатів.

Наукова значущість дослідження полягає у розвитку методології багатокритеріального аналізу шляхом адаптації методів прийняття рішень до специфіки гідротехнічних проєктів та процедур ОВД. Запропонована ієрархічна система критеріїв, що інтегрує екологічні, технічні, економічні, соціальні та безпекові аспекти, розширює теоретичні засади комплексної оцінки технічних альтернатив і сприяє підвищенню точності та відтворюваності результатів багатокритеріального оцінювання.

Практичне значення авторського доробку полягає у можливості застосування розробленого методу при підготовці звітів з ОВД, проєктуванні гідротехнічних споруд та обґрунтуванні вибору оптимальних технічних рішень у процесі планування та реалізації водогосподарських проєктів. Використання запропонованого підходу дозволяє підвищити прозорість процедури порівняння технічних альтернатив, знизити суб'єктивність експертних оцінок та забезпечити комплексне врахування різнорідних факторів впливу на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У сучасній науковій літературі активно розвивається напрям застосування методів багатокритеріальної оцінки (MCDM/MCDA) для розв'язання складних технічних та екологічних задач. Дослідження підтверджують, що традиційні однокритеріальні підходи не забезпечують адекватного врахування множини взаємопов'язаних і часто конфліктуючих факторів, що зумовлює необхідність використання багатокритеріальних моделей прийняття рішень [9-11].

Суттєва частина робіт присвячена розвитку та порівняльному аналізу класичних і гібридних методів MCDM, зокрема AHP, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE та ELECTRE, які застосовуються для вибору оптимальних технічних альтернатив у різних галузях інженерії та управління проєктами [12-14]. Автори зазначають, що поєднання декількох методів дозволяє підвищити надій-

ність результатів оцінювання та зменшити вплив суб'єктивності експертних суджень.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням багатокритеріальних підходів у задачах екологічної оцінки та аналізу сталості технічних рішень. У сучасних роботах MCDM інтегрується з методами оцінки життєвого циклу (LCA), що забезпечує комплексне врахування екологічних, економічних і соціальних аспектів при порівнянні альтернатив [15-17]. Такий підхід є особливо актуальним для інфраструктурних проєктів, у яких необхідно одночасно оцінювати технічні параметри та екологічні наслідки.

У контексті процедур оцінки впливу на довкілля (ОВД/EIA) дослідники наголошують на доцільності застосування багатокритеріальних методів для формалізації процесу вибору альтернатив та підвищення прозорості прийняття рішень [18-20]. Зокрема, MCDM використовується для ранжування проєктних рішень з урахуванням екологічних ризиків, економічної ефективності та соціальної прийнятності, що відповідає сучасним вимогам до комплексної оцінки впливів.

Таким чином, аналіз сучасних публікацій свідчить про зростання ролі багатокритеріальних методів у вирішенні технічних і екологічних задач та підтверджує доцільність їх застосування для оцінки технічних альтернатив у процедурі ОВД.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.

Незважаючи на наявність нормативно-методичної бази ОВД, існуючі підходи до порівняння технічних альтернатив переважно мають описовий характер і не забезпечують формалізованого, кількісно обґрунтованого та відтворюваного механізму прийняття рішень. Це призводить до підвищення рівня суб'єктивності експертних оцінок, ускладнення обґрунтування вибору оптимальних проєктних рішень та зниження прозорості результатів процедури ОВД.

Матеріали та методи дослідження

Методологічною основою дослідження є метод аналізу ієрархій (MAI) Т. Сааті для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв та адитивна модель для агрегування часткових оцінок альтернатив. Метод аналізу ієрархій обрано з огляду на його методологічну обґрунтованість, наявність механізму перевірки узгодженості експертних суджень та широке визнання у міжнародній практиці багатокритеріального оцінювання, зокрема у процедурах екологічної оцінки.

Для обґрунтування системи критеріїв та параметрів методу проведено експертне опитування 25 фахівців, що мають досвід у розробці звітів з ОВД, проєктуванні гідротехнічних споруд та прийнятті рішень щодо екологічної прийнятності проєктів. До складу експертної групи увійшли розробники звітів з ОВД (10 осіб, 40%), проєктувальники гідротехнічних споруд (7 осіб, 28%), представники уповноважених органів (5 осіб, 20%) та науковці (3 особи, 12%). Така структура експертної групи забезпечила репрезентативність різних професійних перспектив.

Експертне опитування проводилося у два етапи. На першому етапі експерти оцінювали зручність використання та достатність деталізації чотирьох типів шкал оцінювання (3-бальної, 5-бальної, 7-бальної, 10-бальної) та вказували свій пріоритетний вибір. На другому етапі експерти здійснювали попарні порівняння п'яти груп критеріїв за дев'ятибальною шкалою відносної важливості Сааті для визначення вагових коефіцієнтів.

Перевірка узгодженості індивідуальних матриць попарних порівнянь здійснювалася через розрахунок відношення узгодженості. Груповий вектор пріоритетів визначався методом середнього геометричного індивідуальних вагових коефіцієнтів. Для оцінки стійкості результатів проведено аналіз чутливості методом систематичної варіації ваг у межах ±30% від базових значень.

Результати дослідження та їх обговорення

Розроблена система критеріїв має ієрархічну структуру і включає критерії верхнього та нижнього рівнів. Критерії верхнього рівня формують концептуальну основу багатокритеріальної оцінки та відображають ключові виміри впливу гідротехнічних споруд у межах процедури ОВД. Система включає п'ять груп критеріїв верхнього рівня, де екологічні критерії призначені для оцінювання впливу на стан водних об'єктів, технічні критерії характеризують надійність та адаптив-

ність технічних рішень, економічні критерії відображають фінансову доцільність альтернатив, соціальні критерії враховують вплив на населення та рівень суспільної прийнятності, а критерії воєнної стійкості оцінюють здатність споруд функціонувати в умовах підвищених техногенних і воєнних ризиків.

Критерії нижнього рівня деталізують критерії верхнього рівня та відображають окремі аспекти впливу технічних альтернатив. Загалом система включає 15 критеріїв нижнього рівня. Екологічні критерії нижнього рівня включають вплив на якість води, рівень антропогенного забруднення та довготривалість екологічних наслідків. Технічні критерії нижнього рівня охоплюють надійність, довговічність та можливість модернізації споруд. Економічні критерії нижнього рівня деталізують капітальні та експлуатаційні витрати, а також узагальнені показники економічної ефективності. Соціальні критерії нижнього рівня включають вплив на населення, рівень зайнятості та соціальну прийнятність альтернатив. Критерії воєнної стійкості нижнього рівня деталізують захищеність споруд, швидкість відновлення функціонування та автономність у разі порушення зовнішніх інфраструктурних зв'язків (рис. 1).

Результати експертного опитування виявили чітку перевагу п'ятибальної шкали оцінювання. З 25 експертів 18 осіб (72%) віддали перевагу п'ятибальній шкалі, 5 експертів (20%) – семибальній, 2 експерти (8%) – десятибальній, і жодного голосу не отримала трибальна шкала. Середня оцінка зручності використання п'ятибальної шкали становила 4,6 бала, достатності деталізації – 4,5 бала, що є найвищими показниками серед усіх розглянутих варіантів.

Аналіз обґрунтувань експертів виявив такі аргументи на користь п'ятибальної шкали: інтуїтивна зрозумілість п'яти градацій якості; чіткість критеріїв розмежування балів, що зменшує суб'єктивність оцінок; достатня роздільна здатність для відображення реальних відмінностей між альтернативами; практична зручність для розробників звітів з ОВД в умовах обмеженого часу та ресурсів; зрозумілість для широкої аудиторії, включаючи осіб, що приймають рішення, та громадськість.

П'ятибальна шкала забезпечує оптимальний баланс між точністю оцінки та практичною зручністю застосування. Вона достатньо деталізована для виявлення суттєвих відмінностей між технічними альтернативами, але не створює ілюзії надмірної точності та не ускладнює процедуру оцінки. Психологічна природність п'яти градацій полегшує формування узгоджених експертних суджень та забезпечує зрозумілість результатів для різних груп зацікавлених сторін.

Визначення вагових коефіцієнтів здійснено методом аналізу ієрархій на основі попарних порівнянь п'яти груп критеріїв експертами. Перевірка узгодженості індивідуальних матриць попарних порівнянь виявила високу якість експертних суджень: 21 експерт (84%) мав відношення узгодженості менше 0,10, що свідчить про тран-



Рисунок 1. Система критеріїв верхнього та нижнього рівнів

зитивність та логічну несуперечливість їх оцінок.

Розрахунок групового вектора пріоритетів методом середнього геометричного індивідуальних вагових коефіцієнтів дав наступні результати: екологічні критерії – 0,30 (30%), економічні критерії – 0,25 (25%), технічні критерії – 0,20 (20%), соціальні критерії – 0,15 (15%), критерії воєнної стійкості – 0,10 (10%).

Екологічним критеріям було присвоєно найвищий ваговий коефіцієнт 0,30, що відображає центральну роль екологічних аспектів у процедурі ОВД та узгоджується з її метою – забезпечення екологічно обґрунтованих рішень та мінімізації негативних впливів на довкілля. Економічні критерії отримали ваговий коефіцієнт 0,25, що визнає необхідність врахування фінансової доцільності технічних рішень. Технічним критеріям відповідає ваговий коефіцієнт 0,20, що підкреслює важливість надійності та довговічності гідротехнічних об'єктів. Соціальні критерії мають ваговий коефіцієнт 0,15, визнаючи значення впливу на населення та соціальної прийнятності проєктів. Критеріям воєнної стійкості відповідає ваговий коефіцієнт 0,10, що враховує специфіку функціонування критичної інфраструктури в умовах воєнного стану.

Аналіз чутливості результатів проведено методом систематичної варіації ваг у межах ±30% від базових значень з пропорційною корекцією інших ваг. Особлива увага приділялася впливу варіації ваги екологічних критеріїв (від 0,20 до 0,40) та критеріїв воєнної стійкості (від 0,05 до 0,15) як найбільш дискусійних у контексті процедури ОВД. Результати показали високу стійкість ранжування альтернатив до змін вагових коефіцієнтів: у всіх дев'яти сценаріях варіації ваг найкраща альтернатива зберігала найвищий ранг. Варіація ваги критеріїв воєнної стійкості від 0,05 до 0,15 не призвела до зміни двох найкращих альтернатив, що свідчить про те, що інтеграція цих критеріїв підсилює обґрунтованість вибору, не змінюючи принципово результатів оцінювання.

Методологічна структура Методу багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив включає два взаємопов'язані блоки: блок формування множини технічних альтернатив та блок їх багатокритеріальної оцінки (рис. 2).

Перший блок дозволяє сформувати початкову множину технологічно можливих технічних альтернатив та здійснити їх попередній відбір на основі застосування обмежень (природних, нормативних, екологічних, економічних, соціальних, безпекових). Другий блок включає процедури багатокритеріального оцінювання відібраних альтернатив за системою із 15 критеріїв, розрахунок

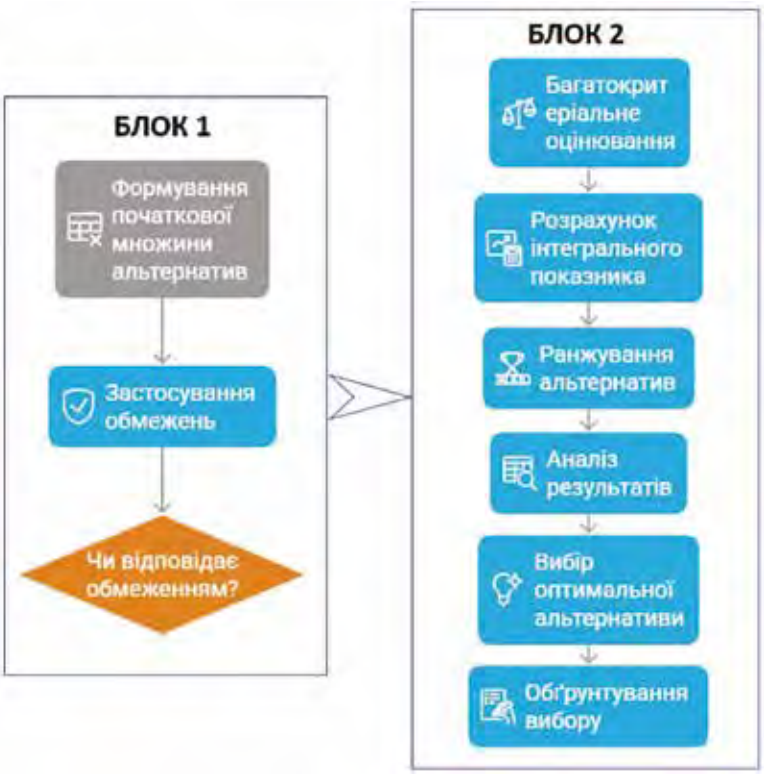


Рисунок 2. Методологічна структура методу багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив

інтегрального показника та обґрунтування вибору оптимального технічного рішення.

На початковому етапі формулюється потреба у гідротехнічній споруді, визначаються кількісні параметри проєктної потужності та технічні обмеження. Формується початкова множина технічних альтернатив, яка включає всі технологічно можливі типи гідротехнічних споруд, здатні реалізувати визначену водогосподарську функцію. Для кожної альтернативи збирається базова інформація на основі типових проєктних рішень, технічної літератури та досвіду реалізації аналогічних об'єктів.

До сформованої множини послідовно застосовуються шість груп обмежень: природні (відповідність гідрологічним, геологічним, кліматичним умовам), нормативні (дотримання вимог чинного законодавства), екологічні (неперевищення допустимих рівнів впливу), економічні (відповідність бюджетним можливостям), соціальні (прийнятність для населення), безпекові (забезпечення надійного функціонування в умовах воєнного стану). До подальшого аналізу допускаються лише ті технічні альтернативи, які одночасно відповідають усім встановленим обмеженням.

Для кожної альтернативи зі звуженої множини проводиться експертна оцінка за п'ятнадцятьма критеріями за п'ятибальною шкалою, де 1 бал відповідає найгіршому значенню критерію, а 5 балів – найкращому значенню. До отриманих експертних оцінок застосовуються вагові коефіцієнти груп критеріїв. Розраховується інтегральний показник для кожної технічної альтернативи за формулою зваженої суми, де інтегральний показник відображає комплексну оцінку альтернативи з урахуванням усіх значущих аспектів впливу на довкілля, технічних можливостей, економічної доцільності, соціальної прийнятності та воєнної стійкості.

Технічні альтернативи ранжуються за значенням інтегрального показника від найбільшого до найменшого. Альтернатива з найвищим значенням інтегрального показника розглядається як найбільш оптимальна з точки зору комплексного врахування всіх груп критеріїв. Проводиться аналіз результатів з метою виявлення сильних та слабких сторін кожної альтернативи. На основі результатів ранжування та аналізу здійснюється вибір оптимальної технічної альтернативи, яка фіксується у звіті з оцінки впливу на довкілля з детальним обґрунтуванням.

Висновки

У результаті дослідження розроблено та науково обґрунтовано метод багатокритеріальної оцінки технічних альтернатив гідротехнічних споруд, адаптований до процедури оцінки впливу на довкілля. Запропонований підхід забезпечує формалізацію процесу вибору оптимальних технічних рішень в умовах наявності різнорідних і часто конфліктуючих екологічних, технічних, економічних, соціальних та безпекових критеріїв. Сформовано ієрархічну систему критеріїв, що інтегрує екологічні, технічні, економічні, соціальні критерії та критерії воєнної стійкості, а також їх деталізацію на нижньому рівні. Поєднання методу аналізу ієрархій для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв і адитивної моделі агрегування часткових оцінок дозволило створити науково обґрунтований, прозорий і відтворюваний механізм ранжування технічних альтернатив.

Науково обґрунтовано доцільність використання п'ятибальної шкали експертного оцінювання, яка забезпечує оптимальний баланс між точністю оцінки, зручністю практичного застосування та зниженням суб'єктивності експертних суджень. Визначені на основі експертного опитування вагові коефіцієнти критеріїв відображають їх відносну значущість у процедурі ОВД та підтверджують домінуючу роль екологічних і економічних факторів у процесі прийняття рішень.

Перспективи подальшого використання результатів дослідження пов'язані з можливістю розширення запропонованого методу на інші типи інфраструктурних проєктів, зокрема об'єкти транспортної, енергетичної та водогосподарської інфраструктури, а також із його інтеграцією в цифрові системи підтримки прийняття рішень та програмні комплекси екологічної оцінки. Доцільним є подальше удосконалення системи критеріїв шляхом включення показників життєвого циклу споруд, кліматичних ризиків та показників сталого розвитку, а також розширення експертної бази й апробація методу на широкому спектрі реальних проєктів. Результати дослідження можуть бути використані при розробленні нормативно-методичних документів у сфері ОВД, удосконаленні процедур екологічної експертизи та формуванні науково обґрунтованих підходів до управління розвитком критичної інфраструктури.

Список використаної літератури

1. Noble B., Pope J. Environmental impact assessment as a decision-making tool for sustainable development. *Environmental Impact Assessment Review*. 2021. Vol. 89. Art. 106658. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106658.

2. Барабаш О. В., Хрутьба Ю. С., Покшевницька Т. В. Комплексний підхід до оцінки впливу на довкілля реалізації природоохоронних проєктів. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2024. № 6. С. 93–98. DOI: https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-10.

3. Santos A. R., Silva L. M., Ribeiro J. M., Freitas M. A. Sustainability assessment model for Brazilian hydroelectric projects using multicriteria analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Vol. 51. Art. 101851. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101851.

4. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Загальні методичні рекомендації щодо змісту та порядку складання звіту з оцінки впливу на довкілля : затв. наказом Міндовкілля України від 15.03.2021 № 193. Київ, 2021. URL: https://mepr.gov.ua.

5. Науково-методичні рекомендації щодо підготовки звіту з оцінки впливу на довкілля при будівництві малих гідроелектростанцій. Київ, 2019. URL: https://www.river.org.ua.

6. Zavadskas E. K., Turskis Z. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*. 2011. Vol. 17, № 2. P. 397–427. DOI: https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291.

7. Azhar A. N., Radzi A. M. N., Halimatul M. W. A. Multi-criteria decision making: a systematic review. *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*. 2021. Vol. 14, № 8. DOI: https://doi.org/10.2174/2352096514666211029112443.

8. Bayram Zumrut I., Baran H. B., Ozbalta T. G. Multi-criteria decision-making approach for selecting a structural system of an industrial facility. Organization, *Technology and Management in Construction: an International Journal*. 2022. Vol. 14, № 1. P. 2656–2665. DOI: https://doi.org/10.2478/otmcj-2022-0010.

9. Goh M., Tan P. S., et al. Multi-criteria decision-making approaches in engineering applications. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, № 9. DOI: https://doi.org/10.3390/app11093841.

10. Mardani A., Saraji M. K., et al. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 7. DOI: https://doi.org/10.3390/su13073720.

11. Zavadskas E. K., Govindan K., Antucheviciene J. Hybrid multiple criteria decision-making methods. *Technological and Economic Development of Economy*. 2021. Vol. 27, № 2. DOI: https://doi.org/10.3846/tede.2021.14010.

12. Pamucar D., Ecer F. Selection of sustainable suppliers using integrated fuzzy MCDM approach. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 346. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131092.

13. Keshavarz Ghorabaee M., Zavadskas E. K., et al. Multi-criteria decision-making methods for engineering problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2021. Vol. 97. DOI: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.104028.

14. Rezaei J., Hemmes A., Tavasszy L. Multi-criteria decision-making for complex systems. *Omega*. 2021. Vol. 96. DOI: https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102274.

15. Šaparauskas J., Turskis Z. Evaluation of construction alternatives using MCDM. *Buildings*. 2022. Vol. 12, № 4. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12040521.

16. Ibahar E., Cebi S. Risk assessment of engineering systems using MCDM methods. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022. Vol. 223. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108552.

17. Kumar A., Singh P., Sharma R. Application of MCDM in environmental project evaluation. *Decision Analytics Journal*. 2022. Vol. 5. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100140.

18. Gbogbo F., Arthur J. K., et al. Multi-criteria decision analysis in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 2021. Vol. 90. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106620.

19. Onat N. C., Kucukvar M., et al. Sustainability assessment of infrastructure alternatives using MCDM and LCA. *Sustainable Cities and Society*. 2022. Vol. 80. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103760.

20. Pereira L., Costa H., Silva R. Applications of multi-criteria decision aid methods. *Electronics*. 2022. Vol. 11, № 11. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics11111720.