

УДК 502/504
UDC 502/504

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.2-352-357

**ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ЛІНІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ
ІНФРАСТРУКТУРИ**

**INTEGRATED SYSTEM OF ECOLOGICAL ASSESSMENT OF LINEAR
INFRASTRUCTURE OBJECTS**



Бакуліч Олена Олександрівна, професор, кандидат технічних наук, професор кафедри менеджменту Національного транспортного університету, e-mail: bakulich.elena@gmail.com, тел. +3800442808438

<https://orcid.org/0000-0002-5700-0576>



Крюковська Леся Іванівна, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету e-mail: krjukovska@gmail.com, тел. +380442885100,

<https://orcid.org/0000-0001-8944-8036>

Анотація. Сучасний розвиток транспортної інфраструктури закладає основу для підвищених вимог, пов'язаних із забезпеченням екологічної безпеки та пом'якшенням негативного впливу на довкілля. Дослідження практики проектування автомагістралей виявило недоліки, притаманні звичайним методам екологічної оцінки, які зазвичай зосереджуються на окремих аспектах впливу. Дорожня інфраструктура являє собою багатогранну систему, яка охоплює не тільки асфальтові покриття та земляне покриття, але й пов'язані з ними споруди, що виконують гідротехнічні функції. Такі елементи, як мостові переходи, водопропускні труби, дренажні системи та інші гідрологічні компоненти становлять певні екологічні ризики, які вимагають незалежної оцінки. Огляд сучасних методичних підходів виявив значні недоліки окремого розгляду транспортної та гідротехнічної інфраструктури. Встановлені методики, включаючи оцінку життєвого циклу, оцінку впливу на довкілля, багатокритеріальний аналіз рішень, не враховують належним чином системні взаємодії, синергетичні ефекти та кумулятивні впливи, пов'язані зі складними інфраструктурними ініціативами. Це дослідження має на меті сформулювати інтегровану систему екологічної оцінки лінійних інфраструктурних проєктів, засновану на принципах системності, комплексності та динамічності. Запропонована модульна структура складається з окремих компонентів для оцінки транспортної та гідротехнічної інфраструктури, аналітичного модуля для вивчення системних взаємодій та інтеграційного модуля для консолідації висновків. Практична реалізація розробленої методики гарантує підвищення обґрунтованості висновків щодо екологічної безпеки проєктів, оптимізації проєктних рішень з метою пом'якшення негативних наслідків та забезпечення дотримання вимог природоохоронного законодавства.

Ключові слова: оцінка впливу на довкілля; інфраструктурні проекти; транспортна інфраструктура; гідротехнічні споруди; інтегрована методологія; екологічна безпека

Вступ. Сучасний розвиток транспортної інфраструктури створює передумови підвищення вимог до забезпечення екологічної безпеки та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Це відбувається тому, що реалізація проектів має враховувати багатфакторні взаємодії між різними видами інфраструктурних споруд. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) планованої діяльності є невід'ємною складовою процесу проектування та будівництва інфраструктурних об'єктів, що регламентується національним та європейським законодавством.

Практика проектування автомобільних доріг свідчить про недосконалість традиційних підходів до екологічної оцінки, які зазвичай фокусуються на окремих аспектах впливу. Дорожня інфраструктура являє собою комплексну систему, що включає не тільки асфальтове покриття та земляне полотно, а й супутні споруди гідротехнічного призначення. Мостові переходи, водопропускні труби, дренажні системи та інші гідрологічні елементи створюють специфічні екологічні ризики, які потребують окремого розгляду.

Дослідження, проведені як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями, свідчать, що оцінка впливу окремих компонентів транспортної інфраструктури не враховує сукупні екологічні наслідки. Водночас дослідження мультидисциплінарного характеру також створює проблему у визначенні єдиного наукового методу, який би підходив для різних наукових галузей. Науковці відзначають значний прогрес у застосуванні життєвого циклу оцінки (LCA) для дорожньої інфраструктури, в той же час вважають, що проблеми управління інвентаризацією даних є основною перешкодою для застосування цього методу. [1]. На сьогодні в Україні внаслідок активних бойових дій набуває актуальності врахування нових факторів впливів на компоненти довкілля, спричинених руйнуваннями різних типів інфраструктури, з подальшим забрудненням екосистем, через обстріли, бомбування, вибухи та пожежі [2]. Результати досліджень UNEP та CEOBS (2024) вбачають необхідність розроблення та застосування нових методологій оцінки впливу на довкілля в умовах в умовах активних бойових дій та масштабних руйнувань, що створює додаткові виклики для традиційних підходів до ОВД [3]. Багато авторів виконали систематичний огляд соціальних аспектів сталості дорожньої інфраструктури та соціальних наслідків проектів дорожньої інфраструктури, виявивши суттєві прогалини в існуючих методологіях [4, 5].

Аналіз сучасних трендів дорожнього будівництва свідчить про збільшення проектів, що передбачають синхронізоване будівництво транспортних та гідротехнічних споруд. Це вимагає нових методів оцінки їх кумулятивного впливу на довкілля, що є предметом нашого дослідження.

Результати і пояснення. Наразі інфраструктурні об'єкти є основним фактором глобального впливу на навколишнє середовище. Наприкінці життєвого циклу дорожньо-транспортні та гідротехнічні споруди генерують 100 мільярдів тонн відходів, з яких приблизно 35% потрапляє на сміттєзвалища. Зокрема, будівництво доріг споживає значну кількість ресурсів і спричиняє значний вплив на довкілля. Крім того, суттєвий вплив на навколишнє середовище пов'язаний зі споживанням викопного палива та енергії, а також з викидами парникових газів, пов'язаними з дорожніми послугами, включаючи освітлення, водовідведення, електроенергію та телекомунікації. Ці наслідки включають пряму шкоду екосистемі (фрагментація та зміна середовищ існування, зміни в характері потоку води, шум, штучне освітлення, забруднення та вплив на дику природу). Крім того, дороги опосередковано

сприяють зміні клімату, виснаженню викопного палива та негативному впливу на здоров'я людини, серед інших наслідків. Нарешті, під час експлуатації автомобільний транспорт також впливає на навколишнє середовище [1].

Гідротехнічні споруди в транспортному будівництві мають значний вплив на навколишнє середовище, змінюючи природні водотоки, порушуючи екосистеми, впливаючи на якість води та перенесення осадів, а також збільшуючи вразливість до змін клімату. Хоча ці споруди необхідні для управління інфраструктурою, такою як дренаж та боротьба з повеннями, вони можуть спричинити фрагментацію середовищ існування, призводити до евтрофікації та вимагають стійких конструкцій для запобігання аваріям та мінімізації екологічної шкоди. Для усунення цих наслідків необхідне ретельне планування, врахування кліматичної стійкості та використання екологічно чистих матеріалів і підходів до проектування для захисту як забудованих територій, так і природних екосистем [6].

Сучасна методика оцінки впливу інфраструктурних об'єктів на довкілля охоплює кілька основних методологічних підходів з їх специфікою та масштабами: метод LCA, оцінка впливу на довкілля та багатокритеріальний аналіз рішень (рис. 1).

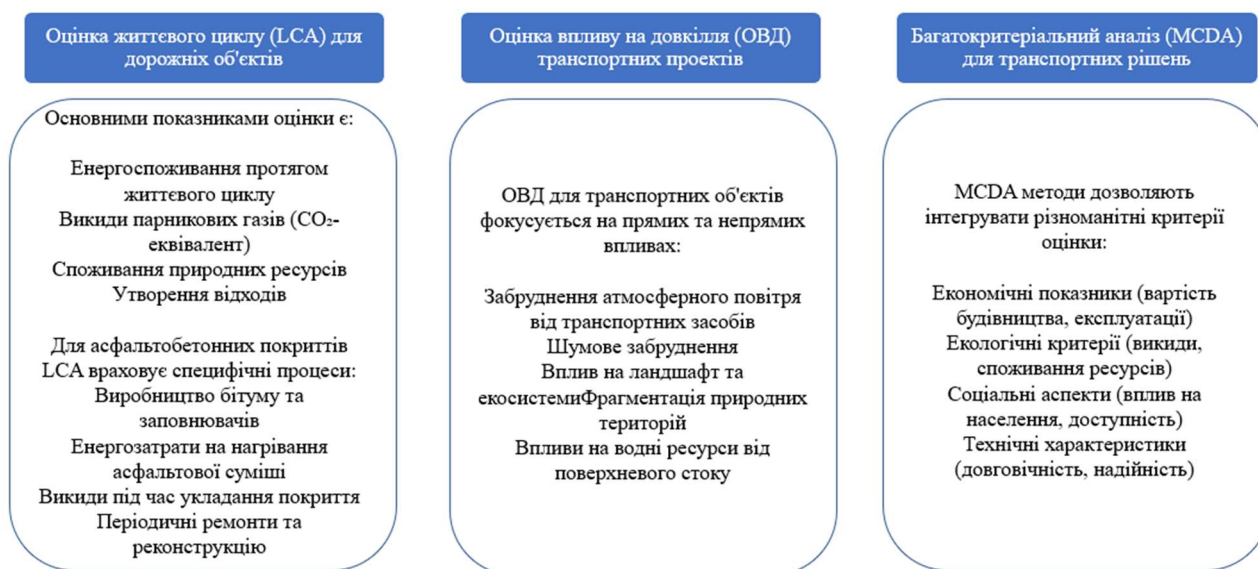


Рисунок 1 – Методики оцінки впливу інфраструктурних об'єктів на довкілля
Figure 1 – Methods for assessing the impact of infrastructure facilities on the environment

Гідротехнічні об'єкти в складі транспортної інфраструктури потребують специфічних підходів до екологічної оцінки, що враховують особливості водних екосистем. Методологія оцінки цих об'єктів базується на трьох основних компонентах: гідрологічне моделювання змін водного режиму, оцінка впливу на водні екосистеми та біорізноманіття, а також моніторинг якості поверхневих і підземних вод. Кожен із цих компонентів включає в себе різні методи та підходи, адаптовані до унікальних характеристик функціональності водної екосистеми (рис. 2).

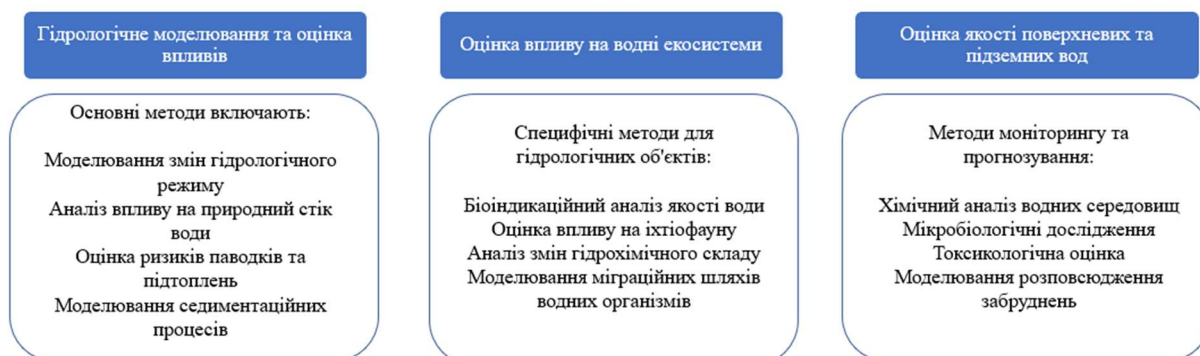


Рисунок 2 – Методики оцінки впливу гідрологічних об'єктів транспортної інфраструктури
Figure 2 – Methods for assessing the impact of hydrological objects on transport infrastructure

Існуючі методики не в змозі повністю оцінити вплив дорожнього стоку на гідротехнічні споруди, зміни гідрологічного режиму внаслідок будівництва доріг, комплексний вплив на прибережні екосистеми та довгострокові наслідки взаємодії систем.

Для усунення виявлених недоліків існуючих підходів пропонується розробити інтегровану систему, яка базується принципах системності, комплексності та динамічності (рис. 3).

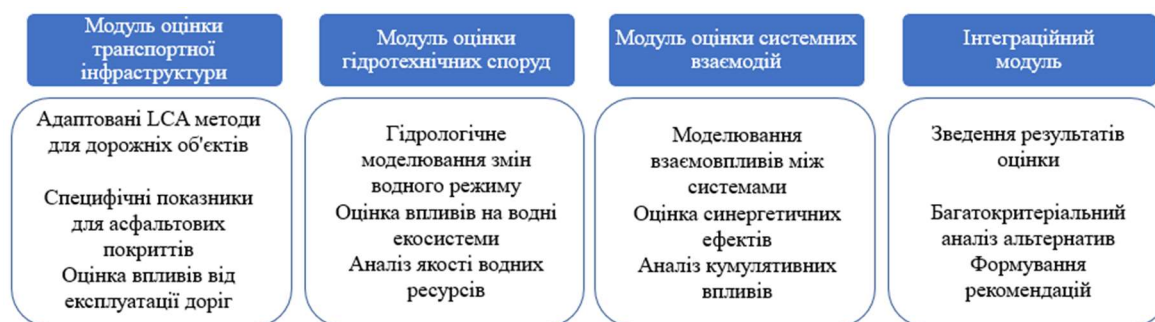


Рисунок 3 – Структура інтегрованої системи
Figure 3 – The structure of the integrated system

Принцип системності зумовлює необхідність розгляду транспортно-гідротехнічної інфраструктури як цілісної системи, яка охоплює всі рівні взаємодії різних її компонентів. Комплексність сприяє комплексній оцінці всіх форм впливу на навколишнє середовище, враховуючи їх потенціал для взаємного посилення або послаблення. Динамічність дозволяє враховувати часову мінливість, притаманну екологічним процесам, а також тривалі наслідки, що випливають з експлуатації об'єктів інфраструктури.

Перевагами запропонованої інтегрованої системи екологічної оцінки лінійних об'єктів інфраструктури є забезпечення комплексної оцінки всіх впливів на довкілля. Застосування методу дає змогу враховувати взаємодію між різними типами інфраструктурних об'єктів та можливість оптимізації проектних рішень для мінімізації очікуваних впливів та їх зменшення або усунення. Крім того, за результатами оцінки за даним підходом підвищує обґрунтованість висновків щодо екологічної безпеки проектів та їх відповідності вимогам природоохоронного законодавства.

Висновки. Дослідження сучасних методологічних стратегій екологічної оцінки інфраструктурних проєктів виявило помітні недоліки ізольованої оцінки транспортної та гідротехнічної інфраструктури. У той час як традиційні методи, такі як оцінка життєвого циклу (LCA), оцінка впливу на довкілля (ОВД) та багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA), демонструють ефективність для конкретних типів структур, вони не дають змоги розглядати в комплексі взаємодію систем, синергетичні ефекти та кумулятивні впливи, пов'язані зі складними інфраструктурними ініціативами. Інтегрована система, запропонована для екологічної оцінки об'єктів лінійної інфраструктури, ґрунтується на принципах систематичності, комплексності та динамічності, що дозволяє вирішити обмеження, притаманні поточним методологіям. Ця модульна структура містить окремі компоненти для оцінки транспортної та гідравлічної інфраструктури, аналітичний модуль для вивчення взаємодії системи та інтеграційний модуль для консолідації висновків. Практична реалізація розробленої методики має на меті забезпечити підвищення обґрунтованості зроблених висновків щодо екологічної безпеки проєктів, а також оптимізацію проєктних рішень для зменшення негативних впливів та забезпечення дотримання природоохоронного законодавства. Цей запропонований підхід має значну актуальність, особливо в контексті відновлення інфраструктури України після збитків, пов'язаних з війною, де важливо враховувати нові екологічні фактори ризику.

Перелік посилань

1. Picardo, A., Soltero, V. M., & Peralta, E. Life Cycle Assessment of Sustainable Road Networks: Current State and Future Directions. *Buildings*. 2023. №13(10), 2648. <https://doi.org/10.3390/buildings13102648>
2. Ukraine - Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): February 2022 - December 2024 (English). URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english> (дата звернення 01.09.2025)
3. CEOBS Environmental Assessment (2024). URL: <https://reliefweb.int/report/ukraine/assessing-environmental-damage-ukraine-february-2024> (дата звернення 08.08.2025)
4. Vijayakumar, A., Mahmood, M.N., Gurmu, A. Social sustainability assessment of road infrastructure: a systematic literature review. *Qual Quant*. 2024. № 58, 1039–1069. <https://doi.org/10.1007/s11135-023-01683-y>.
5. Pius Kahangirwe, Frank Vanclay, Jos Arts. Using environmental and social impact assessment to improve tourism infrastructure projects in protected areas: green tourism in the Kalinzu Central Forest Reserve in Uganda. *Journal of Environmental Planning and Management* 0:0, pages 1-24.
6. . Ghani Muhammad, Yonglai Zheng, Alrasheed Khaled, Raja, Babar. Factors Influencing Performance, Durability, and Environmental Impact of Hydraulic Structures Using Waste Composite. *Civil Engineering Journal*. 2025. 11. 2536-2559. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-06-021>.

INTEGRATED SYSTEM OF ECOLOGICAL ASSESSMENT OF LINEAR INFRASTRUCTURE OBJECTS

Bakulich Olena O., National Transport University, Ph.D, Professor at the Department of Management, e-mail: bakulich.elena@gmail.com, tel. +3800442808438, Ukraine, Kyiv 01010, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka Str., <https://orcid.org/0000-0002-5700-0576>.

Kriukovska Lesia I., National Transport University, Ph.D., Associate professor at the Department of Ecology and Environmental Protection technology, e-mail: krjukovska@gmail.com, tel. +380442885100, Ukraine, Kyiv 01010, 1 M. Omelianovycha-Pavlenka Str., <https://orcid.org/0000-0001-8944-8036>

Abstract. The current development of transport infrastructure lays the foundation for increased requirements related to ensuring environmental safety and mitigating negative impacts on the environment. Research into highway design practices has revealed shortcomings inherent in conventional environmental assessment methods, which typically focus on individual aspects of impact. Road infrastructure is a multifaceted system that includes not only asphalt and earthen surfaces, but also related structures that perform hydraulic functions. Elements such as bridge crossings, culverts, drainage systems, and other hydrological components pose specific environmental risks that require independent assessment. A review of current methodological approaches has revealed significant shortcomings in the separate consideration of transport and hydraulic infrastructure. Established methodologies, including life cycle assessment, environmental impact assessment, and multi-criteria decision analysis, do not adequately consider the systemic interactions, synergistic effects, and cumulative impacts associated with complex infrastructure initiatives. This study aims to formulate an integrated system for the environmental assessment of linear infrastructure projects based on the principles of systematicity, comprehensiveness, and dynamism. The proposed modular structure consists of separate components for assessing transport and hydraulic infrastructure, an analytical module for studying systemic interactions, and an integration module for consolidating conclusions. The practical implementation of the developed methodology guarantees more reliable conclusions regarding the environmental safety of projects, optimization of project decisions to mitigate negative consequences, and compliance with environmental legislation.

Keywords: environmental impact assessment; infrastructure projects; transport infrastructure; hydraulic structures; integrated methodology; environmental safety.

References

1. Picardo, A., Soltero, V. M., & Peralta, E. Life Cycle Assessment of Sustainable Road Networks: Current State and Future Directions. *Buildings*. 2023. №13(10), 2648. <https://doi.org/10.3390/buildings13102648>
2. Ukraine - Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): February 2022 - December 2024 (English). URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english> (дата зверення 01.09.2025)
3. CEOBS Environmental Assessment (2024). URL: <https://reliefweb.int/report/ukraine/assessing-environmental-damage-ukraine-february-2024> (дата зверення 08.08.2025)
4. Vijayakumar, A., Mahmood, M.N., Gurmu, A. Social sustainability assessment of road infrastructure: a systematic literature review. *Qual Quant*. 2024. № 58, 1039–1069. <https://doi.org/10.1007/s11135-023-01683-y>.
5. Pius Kahangirwe, Frank Vanclay, Jos Arts. Using environmental and social impact assessment to improve tourism infrastructure projects in protected areas: green tourism in the Kalinzu Central Forest Reserve in Uganda. *Journal of Environmental Planning and Management* 0:0, pages 1-24.
6. Ghani Muhammad, Yonglai Zheng, Alrasheed Khaled, Raja, Babar. Factors Influencing Performance, Durability, and Environmental Impact of Hydraulic Structures Using Waste Composite. *Civil Engineering Journal*. 2025. 11. 2536-2559. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-06-021>.

Дата надходження до редакції 05.06.2025