

УДК 336.581

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-5-12

© Л. Г. Панібратець, заступник начальника
Центру мостів та будівельних конструкцій,
ORCID: 0000-0003-0683-9299;

© С. М. Степанов, провідний інженер
відділу мостів,
ORCID: 0000-0003-1220-431;

© М. А. Борисенко, завідувач відділу
будівельних конструкцій, аспірант,
ORCID: 0000-0001-9772-3536,
e-mail: bridge.center@nidi.org.ua
(ДП «НІПІ»)

© Lyudmila Panibratets, Deputy Head of the Center
for Bridges and Building Structures,
ORCID: 0000-0003-0683-9299;

© Serhii Stepanov, Senior Engineer,
Bridge Department,
ORCID: 0000-0003-1220-431;

© Maksym Borysenko,
Head of the Building Structures Department,
ORCID: 0000-0001-9772-3536,
e-mail: bridge.center@nidi.org.ua
(SE «NIDI»)

СВІТОВИЙ ДОСВІД ІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРІОРИТЕЗАЦІЇ РЕМОНТІВ І ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

WORLD EXPERIENCE IN RESEARCHING THE PRIORITIZATION OF REPAIRS AND RESTORATION OF TRANSPORT STRUCTURES

Анотація. Транспортні споруди, насамперед мости, є критично важливими елементами дорожньої мережі та інфраструктурної стійкості держави. В умовах вікової деградації мостового фонду, зростання інтенсивності руху та обмеженого фінансування питання ефективного планування ремонтів і відновлення набуває системного значення. Метою статті є узагальнення світового досвіду формування систем пріоритезації ремонтів і технічного обслуговування мостів, аналіз сучасних методичних підходів до багатокритеріального ранжування та оптимізації бюджетного розподілу, а також визначення напрямів розвитку інструментів підтримки управлінських рішень. Дослідження ґрунтується на систематичному аналізі наукових публікацій останніх десятиліть, включаючи результати наукометричного огляду 380 рецензованих робіт (1990–2025 рр.) з баз Scopus та Web of Science. У роботі розглянуто методи багатокритеріального прийняття рішень (АНР, TOPSIS, VIKOR, COPRAS, MOORA), підходи до визначення вагомості критеріїв (експертні та об'єктивні методи), моделі оптимізації бюджетів, оцінювання життєвого циклу, а також інструменти машинного навчання та систем моніторингу стану споруд (SHM). Встановлено, що сучасні системи управління мостовим фондом еволюціонували від однофакторного ранжування до інтегрованих моделей, які поєднують багатокритеріальний аналіз, оптимізацію, оцінювання ризиків і дані моніторингу. Показано, що застосування MCDM / MCDA-методів забезпечує прозорість і відтворюваність формування пріоритетів, а інтеграція оцінювання життєвого циклу та оптимізаційних алгоритмів дозволяє формувати довгострокові програми ремонтів з урахуванням бюджетних обмежень і невизначеності.

Ключові слова: автодорожні мости, багатокритеріальний аналіз, індекс пріоритетності, критична інфраструктура, пріоритезація, ремонт, утримання, технічний стан, транспортна споруда, управління активами.

Abstract. Transport structures, especially bridges, are critically important elements of the road network and infrastructure stability of the state. In the context of aging bridge stock, increasing traffic intensity, and limited funding, the issue of effective planning of repairs and restoration is becoming increasingly important. The purpose of the article is to summarize global experience in developing systems for prioritizing bridge repairs and maintenance, analyze current methodological approaches to multi-criteria ranking and budget allocation optimization, and identify directions for the development of management decision support tools. The study is based on a systematic analysis of scientific publications from recent decades, including the results of a scientometric review of 380 peer-reviewed works (1990–2025) from the Scopus and Web of Science databases. The paper considers multi-criteria decision-making methods (AHP, TOPSIS, VIKOR, COPRAS, MOORA), approaches to determining criterion weights (expert and objective methods), budget optimization models, life cycle assessment, as well as machine learning tools and structural health monitoring (SHM) systems. It has been established that modern bridge management systems have evolved from single-factor ranking to integrated models that combine multi-criteria analysis, optimization, risk assessment, and monitoring data. It has been shown that the use of MCDM / MCDA methods ensures transparency and reproducibility in priority setting, while the integration of life cycle assessment and optimization algorithms allows for the development of long-term intervention programs that take into account budget constraints and uncertainty. Effective prioritization of transport infrastructure repairs should be based on a comprehensive combination of multi-criteria models,

optimization methods, life cycle analysis, and digital monitoring tools. The transition to integrated adaptive management systems creates the conditions for improving the safety, economic efficiency, and sustainability of transport infrastructure, which is particularly relevant in the context of resource constraints and increased external risks.

Keywords: *prioritization, road bridges, transport structures, asset management, prioritization, multi-criteria analysis, priority index, repair, maintenance, critical infrastructure, technical condition.*

Вступ

Транспортні споруди, насамперед мости, є визначальними елементами дорожньої мережі та критичної інфраструктури. Вони забезпечують безперервність логістики, доступність територій, стійкість економічних зв'язків і безпеку руху. Для України ця роль особливо загострилася в умовах воєнного стану: мости стали не лише «звичайними» інженерними об'єктами, а й частиною обороноздатності, шляхами евакуації населення, коридорами гуманітарних перевезень та експортної логістики. Одночасно більшість мостів, що експлуатуються на автомобільних дорогах загального користування, проектувалися за нормативами та навантаженнями, які часто не відповідають сучасним транспортним потокам. Додатковим чинником є вік споруд: значна частина мостового фонду має тривалий термін експлуатації, що закономірно призводить до накопичення дефектів і зношування.

За такої ситуації «просто ремонтувати все» неможливо. Фінансування обмежене, ресурси експлуатаційних організацій також мають обмежені ресурси, а потреби зростають швидше, ніж можливість відновлення. Відтак ключовим питанням стає пріоритезація: які мости ремонтувати першочергово, які – включити до середньострокових програм, а для яких достатньо посиленого моніторингу та локальних заходів з експлуатаційного утримання. Пріоритезація – це власне спроба формалізувати інженерне та управлінське мислення в умовах дефіциту ресурсів, щоб максимізувати безпеку та корисність витрат.

Протягом останніх десятиліть у світі сформувався великий масив досліджень про системи критеріїв, методики ранжування, комплексне прийняття рішень і оптимізаційні моделі, які допомагають обґрунтовувати розподіл обмежених ресурсів у поточному, середньостроковому та стратегічному плануванні. Однією з найбільш ґрунтовних робіт, на якій базується

наведений матеріал, визначено дослідження [1], у межах якого проаналізовано 380 рецензованих публікацій за 1990 – 2025 роки на основі баз Scopus та Web of Science, із застосуванням інструментів VOSviewer та Bibliometrix R для картографування наукового ландшафту. Важливість такого огляду полягає в тому, що він показує не лише «що писали», а й те, як еволюціонували підходи до управління технічним обслуговуванням мостів: від простого ранжування за технічним станом до інтегрованих систем підтримки рішень, які враховують життєвий цикл, ризики, дані моніторингу та навіть вплив кліматичних змін.

Основне завдання – перетворити досліджену інформацію на цілісну аналітичну публікацію зі зрозумілою логікою: чому пріоритезація необхідна, які методичні напрями сформували сучасний інструментарій, як виглядає математичний каркас ухвалення рішень і куди рухаються сучасні моделі управління мостовим фондом.

Основна частина

Технічне обслуговування мостів у масштабі країни або окремо по кожній із областей майже ніколи не є «чисто технічною» проблемою. Це управлінське завдання підвищеної складності, у якому необхідно одночасно враховувати технічний стан, транспортну роль, економічні наслідки, ризики небезпечних подій і соціальну ціну відмови. Один міст може мати відносно помірні дефекти, але бути критично важливим у мережі; другий – бути сильно зношеним, проте мати альтернативний маршрут об'їзду поруч і менші наслідки обмеження руху. Тому рішення «де ремонтувати першим» завжди зводиться до оцінки компромісів, а не до однофакторного вибору. На практиці це виявляється в тому, що у переліку критеріїв одночасно з'являються параметри надійності та довговічності, показники руху, економічні оцінки, екологічні обмеження, правові рамки та вимоги безпеки.

Оновлені оцінки стану транспортної інфраструктури ще раз демонструють, наскільки гострою є проблема належного утримання мостів. У США Федеральне управління автомобільних доріг (FHWA) зазначає, що в країні експлуатується понад 617 тис. мостів, і за останніми даними приблизно 7,4 % із них перебувають у «поганому» стані. Водночас Американське товариство цивільних інженерів (ASCE) у своєму звіті присвоїло мостам загальну оцінку «С», що свідчить про середній рівень їхнього технічного стану та наявність значної кількості споруд, які потребують реконструкції.

Подібна ситуація спостерігається й у Канаді: загальнонаціональні оцінювання вказують на істотні потреби в ремонті та обслуговуванні. Зокрема, за звітом про стан інфраструктури Канади за 2019 рік майже 40 % муніципальних доріг і мостів оцінено як такі, що перебувають у задовільному, поганому або дуже поганому стані, а близько 80 % цих об'єктів експлуатуються понад 20 років. Такі показники свідчать про накопичене відставання в ремонтах мостів зі значним віком будівництва і про необхідність у найближчій перспективі або проводити технічне обслуговування, або планувати їхню заміну. При цьому категорія «поганих» не завжди означає негайну небезпеку експлуатації, проте вказує на існування структурних проблем, які потребують ремонту чи посиленого контролю задля гарантування безпеки.

У роботі [1] автори виконали багатовимірний аналіз, у межах якого виокремили шість ключових методичних парадигм управління технічним обслуговуванням мостів (рис. 1).



Рис. 1. Методичні парадигми управління технічним обслуговуванням мостів

Прагнення розв'язувати такі завдання системно і стало причиною активного розвитку методів багатокритеріального прийняття рішень. Суть MCDM/MCDA-підходів полягає в тому, щоб перетворити множину різнорідних критеріїв на узгоджену процедуру порівняння альтернатив, де ними виступають мости або проекти втручань. У базовому випадку формується таблиця «міст – критерій», кожен критерій нормалізується, йому надається вагомість, а далі обчислюється інтегральний показник пріоритетності. Найпростіший варіант такого підходу – метод простого адитивного зважування (SAW), де підсумкова оцінка для i -го мосту може бути описана формулою:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}, \quad (1)$$

де w_j – вагомість критеріїв (сума вагомостей дорівнює 1);

r_{ij} – нормалізовані значення критеріїв, приведені до порівнюваного масштабу.

Попри простоту, така модель може бути доволі ефективною, якщо критерії

добре підібрані, а вагомості – обґрунтовані.

Водночас саме визначення вагомостей часто стає найскладнішим елементом, адже воно відображає управлінські пріоритети: що важливіше – безпека чи економія коштів, соціальні наслідки чи швидкість робіт, поточний стан чи стратегічна роль у мережі. Один із найпоширеніших способів формування вагомостей – аналітичний ієрархічний процес (АНР), що структурує завдання у вигляді ієрархії та використовує парні порівняння критеріїв. Тобто АНР – це аналітичний ієрархічний процес (від англ. Analytic Hierarchy Process) математичний метод, який використовується для підтримання прийняття комплексних рішень шляхом структурування завдання у вигляді ієрархії критеріїв і альтернатив. Метод, заснований на математиці та психології, дозволяє порівнювати та зважувати різні варіанти, ґрунтуючись як на об'єктивних даних, так і на суб'єктивних судженнях, і визначати пріоритети для кожного варіанту. АНР застосовується для вибору, ранжування та обґрунтування рішень у ситуаціях із багатьма критеріями. Він допомагає впорядкувати складні проблеми та знайти оптимальний варіант. АНР/АНР – Аналітичний ієрархічний процес (АНР) та аналітичний мережевий процес (АНР) – це методи прийняття рішень, розроблені Томасом Л. Сааті для структурування та аналізування складних проблем за декількома критеріями. АНР використовує ієрархію, тоді як більш загальний АНР використовує мережеву структуру, що дозволяє враховувати зворотний зв'язок і залежності між критеріями.

Експерти порівнюють критерії «один з одним», а потім математично синтезуються ваги. Перевага АНР у тому, що він дає змогу формалізувати експертну думку і одночасно перевірити її узгодженість. Узгодженість зазвичай оцінюють через індекси CI і CR , які залежать від найбільшого власного значення матриці парних порівнянь:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}, CR = \frac{CI}{RI}. \quad (2)$$

Якщо узгодженість низька, модель фактично підказує, що експертні оцінки потрібно переглянути: інакше вагомості можуть виявитися випадковими. З практики дорожнього господарства, АНР корисний ще й тим, що забезпечує прозорість: можна показати, чому певні критерії отримали більшу вагомість, а отже, – чому певний міст опинився у верхній частині списку. Інший популярний підхід – TOPSIS, де пріоритет визначається не просто сумою балів, а близькістю альтернативи до ідеального рішення та віддаленістю від антиідеального.

TOPSIS (від англ. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) – один із найпопулярніших методів багатокритеріального аналізу рішень (MCDA). Розроблений у 1981 році, цей метод використовують для ранжування альтернатив на основі їхньої близькості до ідеального рішення. Головні кроки методу базуються на формуванні матриці рішень, їхній нормалізації, зважуванні критеріїв, визначенні ідеального та антиідеального рішень, розрахунку відстаней і ранжування альтернатив. Переваги методу полягають у простоті та наочності, врахуванні множини критеріїв та гнучкості у застосуванні. Приклади використання включають управління проектами, фінансовий аналіз, медицину та логістику. Метод TOPSIS є потужним інструментом для прийняття рішень у багатокритеріальних задачах, тому що сприяє підвищенню ефективності та конкурентоспроможності.

Формально для кожного мосту обчислюють відстані до цих двох «полюсів» у багатовимірному просторі критеріїв:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad (3)$$

а потім коефіцієнт близькості:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}. \quad (4)$$

Чим більший C_i , тим кращий ранг. Для інфраструктурних задач це інтуїтивно: міст має бути одночасно «якмога ближче» до бажаних значень і «якмога далі» від найгірших сценаріїв. Перевага TOPSIS – у наочності та гнучкості, а також у тому, що підхід природно працює з багатьма критеріями. Коли критерії суперечливі, а рішення є пошуком компромісу, застосовують VIKOR – метод багатокритеріального прийняття рішень (MCDM). (від – серб. Vlekriterijumsko KOMpromisno Rangiranje). Цей метод був розроблений Серафімом Оприковичем у 1979 році з метою усунути проблему прийняття рішень із суперечливими та несумісними (різні одиниці виміру) критеріями. Він передбачає, що компроміс є прийнятним для вирішення конфлікту і що особа, яка ухвалює рішення, прагне знайти найближче до ідеального рішення, тому альтернативи оцінюються відповідно до всіх встановлених критеріїв.

Потім VIKOR ранжує альтернативи та визначає рішення, яке називається компромісом і є найближчим до ідеального. Методологія VIKOR виділяється як важливий метод прийняття багатокритеріальних рішень. VIKOR розшифровується як «багатокритеріальна оптимізація та компромісне рішення».

Він спирається на ідею балансу між «груповою корисністю» і мінімізацією найбільшого програшу за окремим критерієм. У підсумку формується інтегральний показник, наприклад:

$$Q_i = v \frac{S_i - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} + (1 - v) \cdot \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}, \quad (5)$$

де параметр v визначає, наскільки рішення орієнтоване на «загальне благо» порівняно з уникненням найгіршого випадку. Саме це робить VIKOR корисним у ремонтних програмах, де завжди є вибір між максимальною користю для мережі та ризиками / витратами окремих об'єктів.

Поряд із VIKOR у задачах пріоритетизації технічного обслуговування мостів широко застосовується метод COPRAS (Complex Proportional Assessment – комплексна пропорційна оцінка) багатокритеріальна техніка прийняття рішень, що використовується для ранжування та оцінки альтернатив на основі різних критеріїв, які можуть бути як якісними, так і кількісними. Він працює шляхом присвоєння впливу критеріям, нормалізації ефективності альтернатив, а потім обчислення кінцевого балу на основі пропорційного співвідношення до ідеальних і антиідеальних рішень. Цей процес забезпечує кінцеве ранжування, де альтернатива з найвищим балом є найсприятливішим вибором.

Його ключова ідея полягає у пропорційному порівнянні альтернатив з урахуванням критеріїв двох типів: корисних (чим більше, тим краще) та витратних (чим менше, тим краще). На першому етапі формується матриця рішень x_{ij} , де x_{ij} , – значення j -го критерію для i -ї альтернативи (мосту). Далі виконують нормалізацію та зважування:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad q_{ij} = w_{ij} r_{ij}. \quad (6)$$

Ще одним поширеним інструментом є метод MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis – багатоцільова оптимізація на основі аналізу співвідношень), який використовують для отримання рейтингу альтернатив у багатокритеріальних задачах з одночасною присутністю корисних і витратних критеріїв. Виконують нормалізацію матриці рішень за допомогою векторної (евклідової) нормалізації:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}. \quad (7)$$

Змістивши акцент на гібридні моделі VIKOR, науковці запропонували метод визначення пріоритетних мостів для

підвищення їхньої стійкості. Для визначення впливу зазначених критеріїв, а саме віку, площі, проектного рівня високої поєвнені та рівня дорожнього покриття, було використано метод CRITIC. Потім для визначення пріоритетності мостів було застосовано п'ять методів MCDM: TOPSIS, VIKOR, COPRAS, ARAS та MOORA. Згодом було застосовано метод WSM (метод зваженої суми для багатокритеріального аналізу – Weighted Sum Model) для формування остаточного рейтингу мостів шляхом об'єднання рейтингів, отриманих за допомогою зазначених вище методів MCDM. Був зроблений висновок, що COPRAS та MOORA продемонстрували найвищу кореляцію за рангом Спірмена, відповідно 1 та 0,993. Деякі автори оцінили проекти відновлення мостів на основі конкретних цілей, таких як вартість, термін експлуатації, середньодобовий рух, зокрема вантажних транспортних засобів тощо. Після цього було визначено об'єктивний вплив оцінки пріоритетності на основі методу стандартного відхилення від цільового значення та концепції ентропії. Далі було використано метод VIKOR для визначення пріоритетності втручання серед мостів, що потребують ремонту.

Для прийняття рішень щодо обслуговування інфраструктури було досліджено багато методів машинного навчання (ML) та оптимізації, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Традиційні статистичні підходи, такі як лінійна регресія та аналіз часових рядів широко використовуються для прогнозування витрат та аналізування тенденцій у плануванні обслуговування. Наприклад, модель лінійної регресії прогнозує витрати на обслуговування як функцію відповідних змінних (наприклад, віку мосту). Для складного, багатопараметричного прийняття рішень використовуються моделі ML, такі як ймовірнісні нейронні мережі (PNN) та мережі радіальних базових функцій (RBFN). Ці моделі можуть фіксувати нелінійні взаємозв'язки і часто вдосконалюються за допомогою методів зменшення розмірності, таких як аналізування головних компонент (PCA), для підвищення точності прогнозування. Машини опорних векторів

(SVM) також використовуються для оцінювання ризиків і класифікації завдань. Сучасні архітектури глибокого аналізування (DL) ще більше покращили можливості моделювання. До них належать модель глибоких нейронних мереж (DNN), нейронні мережі з вбудованими сутностями (NN-EE) та самоорганізоване об'єднання кластерів на основі карт (SOMCM) з використанням багатовимірної матричної композитної нейронної мережі для ідентифікації поверхневих зображень.

Висновки

Пріоритезація технічного обслуговування мостів у сучасних умовах є необхідною відповіддю на одночасну дію трьох чинників: старіння мостового фонду, зростання навантажень і хронічну обмеженість фінансування. Коли кількість об'єктів, що потребують втручання, перевищує можливості бюджету і підрядних ресурсів, рішення «ремонтувати все» перетворюється на недосяжну декларацію, а відсутність пріоритетів – на прямий шлях до накопичення ризиків. Саме тому інструменти системного ранжування та планування мають розглядатися як компонент безпеки і керованості інфраструктури, а не як формальність. Для України, де транспортні споруди виконують ще й функції стійкості держави у кризових умовах, ця теза набуває додаткового значення: неправильна черговість втручань може означати не лише перевитрати, а й втрату критичних маршрутів у найменш сприятливий момент.

Світовий досвід, узагальнений у дослідженнях останніх десятиліть, показує, що ефективна пріоритезація повинна спиратися на багатокритеріальність. Відмова від «одного головного показника» на користь системи критеріїв дає змогу наблизити модель до реальності, де технічний стан, інтенсивність руху, наслідки перекриття, вартість робіт, екологічні обмеження та ризики небезпечних подій формують єдину картину. Методи MCDM/MCDA дають формалізований і, що принципово важливо, пояснюваний механізм вибору. Вони не лише будують рей-

тинг, а й надають можливість сформулювати логічні запитання: які саме критерії «підняли» міст угору, які «опустили», що станеться, якщо змінити вагомість критеріїв або додати нові дані. Така прозорість є ключовою для державних і муніципальних програм, де рішення повинні бути не тільки правильними технічно, а й легітимними з погляду суспільства та контролюючих інституцій.

Водночас сучасна практика дедалі більше рухається від «статичних» рейтингів до інтегрованого управління життєвим циклом. Оцінювання життєвого циклу змушує розглядати міст не як об'єкт разового ремонту, а як актив, що потребує тривалої стратегії: інколи дорожче втручання зараз виявляється дешевшим у сумі за 10–20 років, якщо воно різко зменшує ризики, частоту обстежень і майбутні ремонти, знижує суспільні втрати від обмеження руху. В цьому контексті оптимізаційні моделі стають інструментом перетворення пріоритетів на реальний, виконуваний план: вони дозволяють розкласти роботи у часі, враховувати бюджетні межі, потужності підрядників, логістичні обмеження, а також «вартість відкладання», коли зволікання робить проблему дорожчою і небезпечнішою.

Окремим поворотним моментом є інтеграція даних реального часу, SHM та цифрових двійників. Вони створюють передумови для адаптивного управління, коли пріоритетність не визначається «раз на рік» за інерцією, а коригується відповідно до фактичного стану, нових дефектів і змін експлуатаційних умов. У перспективі це відкриває можливість переходу до управління «за станом» і навіть до прогнозно-попереджувальної логіки, коли рішення приймають до настання критичної фази деградації. У таких системах методи машинного навчання та глибокого аналізування можуть виконувати роль «прискорювачів» – підвищувати точність прогнозів, автоматизувати оброблення даних обстежень і допомагати формувати сценарії втручання, що мінімізують сумарні витрати та ризики.

Згодом майбутнє планування технічного обслуговування мостів все частіше

визначатиметься ризиками кліматичних змін і невизначеністю. Зростаюча частота екстремальних подій вимагає включення показників уразливості та стійкості у моделі пріоритетизації, а також застосування стохастичних і надійних підходів до оптимізації. Це означає, що ефективна програма повинна бути «стійкою» не лише в інженерному сенсі, а й у планувальному: витримувати зміни фінансування, появу нових даних, зміну регуляторних пріоритетів і несподівані зовнішні удари. Паралельно критично зростає роль інструментів візуалізації та роз'яснень: інтерактивні панелі, карти, сценарії, аналіз чутливості ваг критеріїв стають механізмом перетворення складних моделей на практичні рішення, які можуть бути впроваджені інституційно.

Таким чином, найбільш результативною є інтегрована стратегія, де багатокритеріальне ранжування, оптимізація бюджетів, аналіз життєвого циклу, інтелектуальні методи оброблення даних і технології моніторингу працюють як єдина система. У цій логіці пріоритетність перестає бути списком «на поточний рік» і перетворюється на безперервний процес управління ризиками та ресурсами. Для України, з урахуванням безпекових викликів і потреб відновлення, впровадження такого підходу може забезпечити не лише ефективніше використання коштів, а й підвищення безпеки руху, збереження критичних маршрутів, підтримку економічної активності та формування фундаменту для довгострокової стійкості транспортної інфраструктури.

References

1. Abdelkader, E.M.; Al-Sakkaf, A.; Ebrahim, K.; Elkabalawy, M. (2025) Maintenance Budget Allocation Models of Existing Bridge Structures: Systematic Literature and Scientometric Reviews of the Last Three Decades. *Infrastructures* 252. <https://www.mdpi.com/2412-3811/10/9/252>
2. Matthew J. Whelan, Tara L. Cavalline, Aidan Alar, Kelsey Lane. (2019). *Guidelines for Prioritization of Bridge Replacement, Re-*

habilitation, and Preservation Projects. University of North Carolina at Charlotte.

https://www.researchgate.net/publication/341625502_Guidelines_for_Prioritization_of_Bridge_Replacement_Rehabilitation_and_Preservation_Projects

3. Audrey K. Moruza, Adam D. Matteo, P. E., Jonathan C. Mallard, P. E., Jeffrey L. Milton, Prasad L. Nallapaneni, P. E., and Rex L. Pearce, P. E. (2016). 61. https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2709&context=krc_researchreports

4. Silimanotham H., Henry M. (2023). Bridge maintenance prioritization by using multi-criteria decision analysis *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, PP. 2770–2777. https://www.researchgate.net/publication/373931168_Bridge_maintenance_prioritization_by_using_multi-criteria_decision_analysis

5. Lee, J., Jeong, Y., Chang, C. (2025). Developing a Bridge Health Index (BHI) with a Wighted Priority Index (PI) for Maintenance Decision-Making: An Open Data-Based Approach in Korea. 15, 6435.

<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/12/6435>

6. Contreras-Nieto C., Shanb Y., Lewisc P., Hartellb J. A. (2019). Bridge maintenance prioritization using analytic hierarchy process and fusion tables. *Automation in Construction*, 99–110. <https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2022/08/Bridge-Maintenance-Prioritization-Using-Analytic-Hierarchy-Process-And-Fusion-Tables.pdf>

7. Echaveguren T., Dechent P. (2019). Allocation of bridge maintenance costs based on prioritization indexes. *Revista de la Construcción*. 18, 3, 568–578. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2019000300568

ISSN 0365-8392

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-5-12

Дата першого надходження статті: 28.02.2026

Дата прийняття до друку: 15.03.2026

Дата публікації: 31.03.2026

