https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.199

УДК 624.21:625.745.1

Боднар Л. П.[1], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-4754-721X*
Канін О. П.[2], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0001-6849-2505*
Степанов С. М.[1], *https://orcid.org/0000-0003-1220-4310*
Панібратець Л. Г.[1], *https://orcid.org/0000-0003-0683-9299*

[1] *Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*
[2] *Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*

СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ЗНАЧУЩОСТІ МОСТІВ З МОЖЛИВІСТЮ НАЛАШТУВАННЯ ЇХ ВАГОВИХ ВПЛИВІВ

Анотація

Вступ. Питання пріоритезації автодорожніх транспортних споруд (далі — мостів) виникає при складанні різних видів довгострокових, середньострокових чи короткострокових стратегій, програм і планів з експлуатаційного утримання, поточних і капітальних ремонтів, реконструкції, заміни аварійних або зруйнованих мостів в умовах обмеженої кількості та порядку застосування необхідних ресурсів (фінансових, виробничих потужностей, строків тощо). У результаті пріоритезації визначають впорядкований за встановленими критеріями мостів, які потребують ремонтних заходів.

Проблематика. Однією із передумов ефективного управління функціонуванням мостів на мережі автомобільних доріг України під час їх використання за призначенням є удосконалення оцінювання рейтингу мостів у складі Програмного комплексу «Аналітична експертна система управління мостами» (далі — ПК АЕСУМ) з урахуванням світового досвіду, вимог нормативно-технічних документів і конкретних результатів з технічного оцінювання мостів.

Мета. Метою роботи є створення способу і його комп'ютерної реалізації, який дозволяє досвідченим експертам побудувати гнучку систему критеріїв значущості (рейтингів) мостів з можливістю налаштування їх вагових впливів.

Матеріали та методи. Матеріалами дослідження є результати аналізування світового досвіду в області пріоритезації автодорожніх мостів і дані ПК АЕСУМ щодо наявності мостів, даних їх обстежень, оцінок технічного стану і відповідних висновків експертів. Методи ґрунтуються на застосуванні аналітичного ієрархічного процесу (Analityc hierarchy process) (далі — AHP), запропонованого Томасом Л. Сааті, який широко застосовується в практичній діяльності, зокрема, в пріоритезації мостів у багатьох країнах світу.

Результати. Результатом роботи є спосіб побудови і використання ієрархічної системи критеріїв та субкритеріїв довільного виду з визначенням їх коефіцієнтів ваги, призначений для оцінювання індексу рейтингу моста і реалізований на основі широко відомого і розповсюдженого табличного процесора Excel.

Висновки. Запропонований спосіб включає в себе процедури та інструмент, при застосуванні яких у певній послідовності дає можливість будувати довільну ієрархію критеріїв та субкритеріїв, визначати їх вагові впливи та здійснювати експертне оцінювання значущості (рейтингу) мостів з метою їх пріоритезації для формування програм і планів мостів.

Ключові слова: автодорожній міст, індекс рейтингу моста, ієрархія критеріїв та субкритеріїв, аналітичний ієрархічний процес (AHP), реалізація на Excel, ПК АЕСУМ.

Вступ

Пріоритезація мостів призначена для складання програм і планів експлуатаційного утримання, поточних і капітальних ремонтів, реконструкції та нового будівництва мостів замість аварійних або зруйнованих. У результаті пріоритезації визначають список (або списки, залежно від різновидів програм) найважливіших мостів, які потребують здійснення тих чи інших заходів. Пріоритет моста у списку визначають на основі оцінювання його рейтингу, який враховує фізичний, функціональний і економічний (зовнішній) зноси та важливість моста для виконання державних завдань і соціально-економічних та інших вимог суспільства.

Головну роль у процесі оцінювання рейтингу мостів відіграють досвідчені експерти, а також особи, що приймають рішення у сфері стратегічного та поточного планування підтримки і відновлення експлуатаційної придатності мостів, а також щодо його ресурсного, зокрема фінансового, забезпечення.

Задача пріоритезації є складною і багатокритеріальною, отже не може розв'язуватись у повністю автоматичному режимі. Вона потребує значних зусиль спеціалістів-експертів і розв'язується методом послідовних наближень. На цьому шляху експерту потрібно мати інструменти, які дозволяють більш обґрунтовано та з меншими витратами часу здійснювати пошук оптимального або хоча б раціонального рішення тих чи інших проблем. Одним із корисних інструментів є так званий аналітичний ієрархічний процес [1–9].

У цій роботі викладений спосіб застосування AHP для вирішення питань пріоритезації автодорожніх мостів. Програмне забезпечення, яке реалізує цей спосіб, розроблене з використанням табличного процесора Excel.

Основна частина

Транспортні споруди є важливими дорожніми активами, яким притаманні три види зносу: фізичний, функціональний та економічний (зовнішній). Процес фізичного зносу, як правило, має кумулятивний (поступово накопичувальний) характер, проте може бути і раптовим. Функціональний знос відбувається з-за зростання рівня вимог до експлуатаційних характеристик мостів з боку безпосередніх користувачів доріг (а також спільноти взагалі) і обумовленої ним зміни нормативів проєктування мостів. Економічний (зовнішній) знос може бути спричинений тимчасовими або тривалими змінами потреби у використанні мостів за призначенням.

Пріоритезація мостів необхідна для прийняття рішень щодо порядку та обсягів виконання заходів з: утримання, поточних та капітальних ремонтів, реконструкції або заміни мостів новими на певній мережі доріг. Пріоритезація обумовлена обмеженнями бюджетних видатків та інших ресурсів на здійснення згаданих видів заходів.

Рейтинг — це числовий або порядковий показник, який відображує:

– технічний стан;

– соціально-економічну, оборонну, екологічну, історичну, естетичну тощо значущість (чи важливість) моста.

Рейтинг слугує для визначення пріоритету моста у впорядкованому списку при прийнятті рішень стосовно вибору програми заходів з підтримування та відновлення експлуатаційної придатності мостів на рівні мережі доріг.

Пріоритет моста показує його місце серед інших мостів, що розглядаються на певній мережі доріг для певної програми заходів, при вирішенні питань відносно:

– досягнення визначених цілей суспільства;
– потреби ресурсів (зокрема, фінансових);
– строків виконання конкретних заходів.

Пріоритети можуть відрізнятись залежно від цілей програм заходів.

Метою роботи є створення способу і його комп'ютерної реалізації, що дозволяє досвідченим експертам разом з особами, що приймають рішення (далі — ОПР), побудувати гнучку систему критеріїв значущості (рейтингів) мостів з можливістю налаштування їх вагових впливів для подальшої пріоритезації мостів.

Авторами цієї статті був виконаний аналіз світового досвіду пріоритезації автодорожніх мостів [1–7]. У першу чергу, був проаналізований синтез національних та міжнародних методологій з використання індексів стану мостів у їх пріоритезації [7].

Показники ефективності мостів є важливим компонентом будь-якої успішної системи управління мостами, наприклад — Bridge Management System (далі — BMS) [7]. Вони можуть бути використані як інструмент для взаємодії із законодавством, з менеджерами мостів, а також з громадськістю з таких питань, як безпека дорожнього руху та конструкційна уразливість мостів до катастроф, таких як землетруси, розмиви тощо. Різні типи показників ефективності застосовують для різних цілей. Тип показника ефективності, як правило, є відображенням цілей дорожніх адміністрацій. Індекс стану мосту або індекс стану (Bridge Condition Index) (далі — BCI) використовується як показник ефективності адміністрацій, зацікавлених у збереженні стану мостів, або визначення пріоритетів проєктів їх підтримки чи заміни в межах приналежної ним множини мостів. Інші показники ефективності, такі як геометричні та інвентаризаційні рейтинги, використовують для підвищення безпеки руху на мостах.

Рейтинги уразливості та/або стійкості є прикладами показників ефективності, які використовують для показу того, наскільки транспортні споруди уразливі експлуатаційними небезпеками, такими як урагани, землетруси, або надмірно важкі транспортні засоби, наскільки добре вони виконують свої функції у цих ситуаціях. Індекс стану моста є корисним інструментом для оцінки конструкційного або функціонального стану моста. Індекс розраховується на підставі стану конструкційних елементів моста та сервісу, наданого мостом. Для цілей управління мостом найважливішим використанням індексу «здоров'я» моста (Bridge Health Index) (далі — BHI) є визначення того, які його конструкції є найгіршими і терміново потребують ремонтних робіт.

Більшість BMS також використовують індекс стану мосту (BCI), щоб відстежувати загальний стан системи, весь час оцінюючи переваги програм з технічного обслуговування та реабілітації мостів, а також слугувати основою для виділення ресурсів для мостів на мережі доріг.

Підвищення доступності обстеження на рівні елементів споруди вплинуло на переробку BHI, який широко використовується у світі. В даний час більшість BMS для розрахунку BHI покладаються на інформацію рівня елементів моста.

На основі обчислювального підходу поточні методи удосконалення індексів стану можуть бути розподілені на наступні чотири підходи:

1. Методи на основі співвідношення (Ratio-based) призначають індекс BCI або число (Bridge Condition Number) (далі — BCN) стану моста на основі співвідношення поточного стану моста до його стану, коли він був новим. Метою цього методу є обчислення залишкової вартості моста. Каліфорнійський BHI та метод індексу стану, який використовується програмним забезпеченням управління мостами AASHTOWARE^{tm}, BrM (BrM – BMS, що продається та підтримується AASHTO та широко використовується серед транспортних департаментів у Сполучених Штатах, колишній Pontis), — це приклади для методів співвідношення [7].

2. Зважений усереднений підхід також використовують для планування технічного обслуговування мостів та їх відновлення. Підхід оцінює стан всієї споруди шляхом об'єднання рейтингів стану усіх мостових елементів, які зважуються за їх значенням або внеском у структурну цілісність мосту. Цей підхід, поширений в системах, які покладаються на дані перевірки елементів. BCI або BCN, використовують в Австралії (BCN), Сполученому Королівстві (BCI), Південній Африці (BCI) та Австрії (BCI) — приклади зважених комбінованих підходів [7].

3. Підхід «компонент з найгіршим станом» є загальним у системах, що здійснюють перевірки ключових компонентів мосту. Цей метод використовується для виявлення критичних дефектів у компонентах мостів. У цьому підході BCI апроксимується до рейтингу компонента у гіршому стані. Деякі країни також використовують найгірший (найнижчий) рейтинг національної інвентаризації (National Bridge Inventory) (далі — NBI), щоб повідомити про стан мостів на інформаційних панелях. Німецька та японська системи BCI є прикладами такого підходу [7].

4. Якісні методи не характеризують стан мосту за числовим шкалою. Вони описують споруду як «бідну», «задовільну», або «добру», виходячи із стану та важливості досліджуваних елементів. Вашингтон, штат Флорида та інші штати, використовують рейтинги умов NBI, щоб класифікувати мости, як «добрі», «задовільні», або «бідні». Індикатор стану моста, який використовується у Сіднеї, Австралія [7], є прикладом якісного методу у оцінці загальної стану моста.

Загальний робочий потік управління мостом містить наступні кроки [6].

1. Проведення огляду мосту, щоб зрозуміти нинішній індивідуальний стан моста та оцифрувати його результати.

2. На основі отриманої шляхом огляду моста інформації оцінюють його стан. Оцінка стану моста полягає в кількісному оцінюванні різних елементів моста та масштабу ремонтних робіт (витрат).

3. З використанням інформації та даних, отриманих при оцінюванні стану мостів, розробляють «План ремонту мостів». План ремонту та технічного обслуговування мостів протягом певного періоду часу розроблюють для ефективного відновлення елементів мостів, стан яких в даний час знаходиться нижче цільового рівня управління. Рівень цільового управління слід визначати з урахуванням наявності бюджету для досягнення такого рівня управління. Тому зазначається, що повинні бути підготовлені необхідні варіанти бюджету декількох сценаріїв управління мостами (цільових рівнів управління) для порівняння та прийняття рішень.

4. На основі оцінки стану та ступеня функціональної застарілості мостів розроблюють «план реконструкції мостів». План реконструкції мостів — перелік мостів у порядку убування потреби у реконструкції або заміни мостів.

5. Повинне бути проведене оцінювання на основі змін з часом даних та інформації (ex-ante – до здійснення заходу, ex-post — після здійснення), які можна отримати з оцінки стану, плану ремонту мостів та їх обслуговування і плану реконструкції мостів. Отже, згідно [6], плани ремонту та обслуговування мостів і реконструкції (або заміни мостів новими) розглядають окремо.

Пріоритет для застосування робіт з ремонту та технічного обслуговування слід оцінювати всебічно з урахуванням як індексу здоров'я (HI), що представляє стани пошкодження, так і індексу важливості (Importance Index) (далі — II), що представляє особливості маршруту, географічних умов, а також ступінь ефектів впливу на користувачів доріг та навколишню економіку та мешканців. Ступінь відносного пріоритету (Degree of Relative Priority) (далі — DRP), (Priority Point) (далі — PP) (бали пріоритету) ремонту мосту визначають за формулою:

$$DRP\ (PP) = \alpha \cdot (100 - HI) + \beta \cdot \text{II}, \tag{1}$$

де $\alpha + \beta = 1{,}00$ — сума коефіцієнтів ваги.

Пріоритет для реконструкції моста також всебічно оцінюють з урахуванням: індексу здоров'я (*HI*), індексу важливості (II) та індексу функціонального старіння (Functionally Obsolete Index) (далі — *FOI*), що представляє ступінь перешкод через функціональне старіння моста:

$$DRP\ (PP) = \alpha \cdot (100 - HI) + \beta \cdot \text{II} + \gamma \cdot FOI, \tag{2}$$

де $\alpha + \beta + \gamma = 1{,}00$.

Аналіз світового досвіду дозволив зробити такі висновки:

– пріоритезація мостів базується на багатокритеріальному аналізі, в ході якого обчислюються індекси рейтингу мостів на певній мережі доріг;

– індексом рейтингу моста є безрозмірний показник, що приймає значення від 0 (найменш ймовірний кандидат на вжиття певних заходів з утримання, відновлення, реконструкції або заміни мостів новими) до 100 (найбільш ймовірний кандидат) або від 0 до 1. Він дозволяє порівнювати загальний стан різних мостів на мережі доріг;

– перевага індексу рейтингу моста полягає у забезпеченні гнучкості налаштування коефіцієнтів зважування важливості мостів на основі думки ОПР в рамках рекомендованого інтервалу коефіцієнта зважування на рівні мережі доріг. Недоліком такого оцінювання є суб'єктивізм, що базується на інженерному досвіді, який може бути упередженим;

– світові дослідження дають рекомендації для майбутнього розрахунку пріоритетів проєктів ремонту, реконструкції або заміни мостів в системах управління мостами;

– моделі пріоритезації призводять до більшої точності класифікації рейтингів мостів порівняно з моделями, розробленими на основі опитувань практиків, і моделями, розробленими за допомогою методики статистичної регресії. Однак, пріоритезація також страждає від багаторазового підрахунку показників ефективності, неповного врахування всіх факторів, які, як відомо, впливають на процес прийняття рішень, та відсутності чіткої прозорості між показниками ефективності та оцінкою пріоритету;

– більшість індексів оцінки стану мостів у світовій практиці призначені для того, щоб допомогти зацікавленим сторонам планувати заходи щодо обслуговування та ремонтів мостів. Це характерно для зважених підходів з усереднення та співвідношення, які обчислюють загальний індекс стану, поєднуючи всі дефекти, визначені на рівні елемента. Інші індекси стану, такі як найгірший індекс елементів, визначають слабкі зв'язки у структурі моста, які сильно впливають на безпеку та довговічність моста у випадку аварії. Їх часто використовують разом із середньозваженими методами усереднення. Більшість систем покладаються на якісний підхід до оцінки стану мостів. Якісні методи є важливими для загальної оцінки стану мостів та ідентифікації мостів, які потребують лише технічного обслуговування;

– для розбудови ієрархії критеріїв і субкритеріїв та оцінювання їх вагових впливів найчастіше використовують методи аналітичного ієрархічного процесу (AHP), запропонованого Томасом Л. Сааті [8, 9].

У якості прикладу формули пріоритету моста наведемо формулу штата Вірджинія США (the State of Good Repair Program prioritization formula) [2]:

$$Priority = a \cdot IF + b \cdot CF + c \cdot DRF + d \cdot SCF + e \cdot CEF, \quad (3)$$

де *IF* — (Importance Factor) фактор важливості моста;

CF — (Condition Factor) фактор стану, який вимірює загальний фізичний стан моста на основі узагальнення стану кожного окремого елемента;

DRF — Design Redundancy Factor) фактор проєктної надмірності, який вимірює чотири важливі фактори ризику: надмірність елементів, сприйнятливість до розмиву, вразливість від втоми та вразливість від землетрусу;

SCF — (Structure Capacity Factor) фактор, який вимірює спроможність споруди пропускати дорожній рух з урахуванням обмежень маси транспортних засобів, габаритів споруди по ширині та висоті тощо;

CEF — (Cost-Effectiveness Factor) фактор, який вимірює вартісну ефективність потрібних для реабілітації споруди робіт;

a, b, c, d, e — коефіцієнти ваги факторів, $a + b + c + d + e = 1{,}0$.

Кожен із згаданих факторів-критеріїв синтезує вплив притаманних йому так званих субкритеріїв, які, в свою чергу, можуть залежати від субкритеріїв наступного нижчого рівня ієрархії, які синтезують вплив субкритеріїв ще нижчого рівня і так далі. Отже, критерії і субкритерії утворюють певну ієрархію, що складається з кількох рівнів. На найнижчому рівні ієрархії розміщують так звані альтернативи рішень деякої задачі, залежні від структури ієрархії. Звичайно задача як раз і полягає у виборі найкращої альтернативи. Такими альтернативами в ПК АЕСУМ є варіанти програм або планів різної тривалості (довгострокових, середньострокових, короткострокових) або стратегій їх виконання. Проте, рівень альтернативи не є обов'язковим. В такому випадку, ієрархію критеріїв та субкритеріїв застосовують як інструмент для кваліметричного оцінювання рейтингів мостів обраної мережі доріг для їх пріоритезації.

Метод AHP дозволяє експерту кількісно визначити порівняльну важливість критеріїв та субкритеріїв, які складають ієрархію. Існує декілька різновидів цього методу різної складності [8, 9]. Вдалим прикладом (хоча і не повним) використання AHP для обґрунтування вибору варіанта проєкту моста є методика, викладена у [10]. Укрупнений алгоритм застосування методу AHP містить наступні основні кроки:

1) визначають ціль розв'язку задачі, кількість рівнів ієрархії та власне будують ієрархію критеріїв та субкритеріїв;

2) починаючи з першого, найвищого рівня ієрархії (або чергового рівня) методом попарних порівнянь критеріїв або субкритеріїв визначають вагові коефіцієнти значущості кожного критерію (субкритерію);

3) перевіряють узгодженість суджень експерта відносно значущості кожного критерію (субкритерію). Якщо судження не узгоджені повертаються до кроку 2), а при узгодженості суджень переходять до наступного рівня ієрархії і процес попарних порівнянь продовжують знов-таки починаючи з кроку 2), але вже для вибраного наступного рівня ієрархії.

Далі розглянемо пропонований авторами цієї статті спосіб і його комп'ютерну реалізацію у табличному процесорі Excel.

Запропоновано вважати індексом рейтингу кожної транспортної споруди на рівні мережі автомобільних доріг безрозмірний показник, який характеризує пріоритетність споруди з точки зору підтримування і відновлення її експлуатаційної придатності. Показник приймає значення в інтервалі від 0 до 100 балів, причому 0 — найнижче значення пріоритетності, а 100 — найвище.

На відміну від ДСТУ 9181 [11] індекс рейтингу споруди слід визначати на основі не тільки критерію експлуатаційного стану E, але й з урахуванням відповідності діючим нормам і значущості споруди для досягнення цілей дорожньої адміністрації та суспільства при плануванні з урахуванням вимог Бюджетного кодексу України (**рис. 1**).

Рисунок 1 — Критерії першого рівня ієрархії оцінювання рейтингу споруди

Критерій технічного стану споруди у фазі її експлуатування доцільно характеризувати системою субкритеріїв, яка враховує не тільки експертну експлуатаційну оцінку технічного стану споруди ЕС, але й оцінку відповідності діючим нормам проєктування, ОІ (**табл. 1** і **табл. 2**).

Таблиця 1

Оцінювання індексу відповідності діючим нормам

Рівень ієрархії 2		**Рівень ієрархії 3**		**Встановлення балів оцінки в АЕСУМ**	
Критерій	**Вага**	**Критерій**	**Вага**	**Класифікація**	**Бали**
Структурні параметри конструкції	ω_{21}	Габарит проїзду (ширина проїзду)	ω_{211}	Менший від сучасного нормативу	100
				Рівний проєктному	50
				Відповідає сучасному нормативу	0
		Висота підмостового габариту	ω_{212}	Не відповідає нормативу	100
				Відповідає нормативу	0
		Ширина підмостового габариту	ω_{213}	Не відповідає нормативу	100
				Відповідає нормативу	0
		Висота бар'єрного огородження	ω_{214}	Не відповідає нормативу	100
				Відповідає нормативу	0
		Висота поручневого огородження	ω_{215}	Не відповідає нормативу	100
				Відповідає нормативу	0
		Параметри кривих плану і профілю, повздовжніх та/або поперечних уклонів	ω_{216}	Порушення безпеки руху через невідповідність параметрів, що призвели до частих ДТП.	100
				Порушення безпеки руху через невідповідність параметрів, зрідка ДТП	50
				Відповідні вимогам проєктування, відсутні ДТП	0
		Проєктна вантажопідйомність	ω_{217}	Не відповідає сучасним нормам проєктування	100
				Відповідає сучасним нормам проєктування	0
Характер моста	ω_{22}	Вид моста	ω_{221}	Тимчасовий міст з низькою довговічністю від втоми.	100
				Збірний міст з низькою надмірністю	50
				Інші (постійні) мости	0
		Цілорічна мобільність. Опір стихійним лихам	ω_{222}	Затоплення під час тривалої повені, що призводить до перешкоди здійснення критичної діяльності громадськості.	100
				Затоплення під час нетривалої повені, що не призводить до перешкоди здійснення критичної діяльності громадськості	50
				Відсутність затоплення	0
		Історія стихійного лиха	ω_{223}	Є декілька записів про стихійні лиха	100
				Є запис про стихійне лихо	50
				Немає запису про стихійне лихо	0

Таблиця 2

Оцінювання індексу важливості споруди

Рівень ієрархії 2		Рівень ієрархії 3		Встановлення балів оцінки в АЕСУМ		
Критерій (підкритерій)	**Вага**	**Критерій (підкритерій)**	**Вага**	**Класифікація**		**Бали**
Важливість забезпечення доступу	ω_{31}	Населені пункти	ω_{311}	У середині населених пунктів		100
				За межами населених пунктів		0
		Під'їзди до важливих об'єктів	ω_{312}	Екстремально важливі об'єкти: Аеропорти, порти, вокзали, термінали		100
				Важливі об'єкти: автобусні та залізничні станції, релігійні об'єкти		50
				Відсутні важливі об'єкти		0
		Складність відновлення*	ω_{313}	Простір для тимчасового моста	Відсутній	100
					За смугою відводу	50
					В межах смуги відводу	0
				Прогонова будова, м	Понад 25	
					25 чи менше	
				Опори моста у воді	Так	100
					Ні	0
				Довжина моста, м	Більша 50	100
					50 чи менша	0
		Ізольовані населені пункти	ω_{314}	Так		100
				Ні		0
Важливість забезпечення мобільності	ω_{32}	Характеристики дорожнього руху відповідно категорії дороги	ω_{321}	За категоріями доріг	I	100
					II	75
					III	50
					IV	25
					V	5
		Об'їзд	ω_{322}	Довжина, км	Понад 20	100
					Понад 10 до 20	75
					Понад 5 до 10	50
					Понад 1 до 5	25
					До 1	0
		Стратегічно важливі об'єкти	ω_{323}	Так, у радіусі 25 км від аеропортів, портів тощо		100
				Ні		0
		Значення дороги	ω_{324}	Державна міжнародна		100
				Державна національна		75
				Державна регіональна		50
				Державна територіальна		25
				Місцева обласна		10
				Місцева районна		5
		Транспортний коридор	ω_{325}	Так		100
				Ні		0

Кінець таблиці 2

Рівень ієрархії 2		Рівень ієрархії 3		Встановлення балів оцінки в АЕСУМ		
Критерій (підкритерій)	**Вага**	**Критерій (підкритерій)**	**Вага**	**Класифікація**		**Бали**
Зовнішні ефекти	ω_{33}	Пересічення**	ω_{331}	Залізниці	Так	100
					Ні	0
				Автомагістралі	Так	100
					Ні	0
				Доріг категорії	II	100
					III	50
					IV, V	0
				Ріки	Так	100
					Ні	0
				Без пересічень		9
		Комунікації***	ω_{332}	Телекомунікації оптичні	Так	33
					Ні	0
				Телекомунікації металеві	Так	33
					Ні	0
				Електричні кабелі	Так	33
					Ні	0
				Водопостачання / каналізаційні труби	Так	33
					Ні	0
				Нафтопровід	Так	33
					Ні	0
				Відсутні		0
		Порушення потоку води в час повені	ω_{333}	Один прогін		100
				Два прогони		50
				Три прогони чи більше, не через річку		0
* Репрезентативним є максимальне значення з 5 факторів						
** Репрезентативним є максимальне значення з 5 факторів						
*** Сума балів не повинна перевищувати 100						

Розроблена авторами статті книга Excel, названа Range.xlsx, призначена для знаходження значень вагових коефіцієнтів до складових критеріїв та субкритеріїв, які формують рейтинги мостів. Проте, книга Range.xlsx **не призначена** для вибору альтернатив, наприклад, стратегій утримання, ремонтів або реконструкції мостів. Цю задачу вирішують за допомогою програмного комплексу АЕСУМ із застосуванням знайдених з допомогою Range.xlsx вагових коефіцієнтів.

Експлуатаційну оцінку стану споруди *EC* визначають через показник *E* — експертну оцінку експлуатаційного стану споруди за ДСТУ 9181, тобто $EC = 100 - E$. Два критерія, що позначені OI та BI, залежать від системи притаманних ним субкритеріїв.

Вагові коефіцієнти визначають за допомогою квадратних обернено-симетричних матриць попарних порівнянь критеріїв або субкритеріїв. Це означає, що всі елементи головної діагоналі матриці дорівнюють одиниці, тому що ці елементи є порівняннями елементу з самим собою. Експерт задає тільки **наддіагональні** елементи матриці, а відповідні значення симетричних **піддіагональних** елементів обчислюються автоматично, як обернені уведеному наддіагональному

значенню, отже не редагуються користувачем. Користувач повинен заповнити наддіагональні елементи матриці порівнянь **виключно** числами зі шкали відносних переваг Т. Сааті, яка розміщена на кожному листі робочої книги Range.xlsx.

У результаті обчислення матриць порівнянь знаходять коефіцієнти ваги критеріїв або субкритеріїв. Коефіцієнти ваги, після їх обговорення експертами, передаються в ПК АЕСУМ і використовуються в подальшому.

Порядок застосування вагових коефіцієнтів такий, як прийнятий у кваліметрії. В АЕСУМ обробляється масив даних про мости на заданій мережі доріг. На основі обчислення індексів рейтингу мостів, які приймають значення в інтервалі від 0 до 100 балів, мости впорядковують (ранжують) за зменшенням значень індексів рейтингу. Упорядкований список мостів слугує для пошуку оптимальних або раціональних рішень задач обґрунтування стратегій, програм або планів ремонтів, реконструкції чи нового будівництва мостів.

Книга Excel Range.xlsx складається з листів трьох категорій (**рис. 2**).

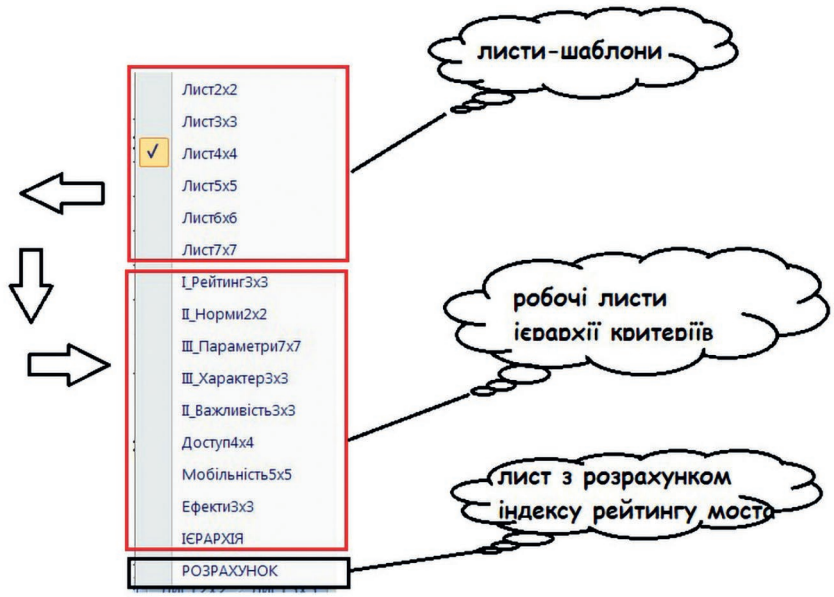
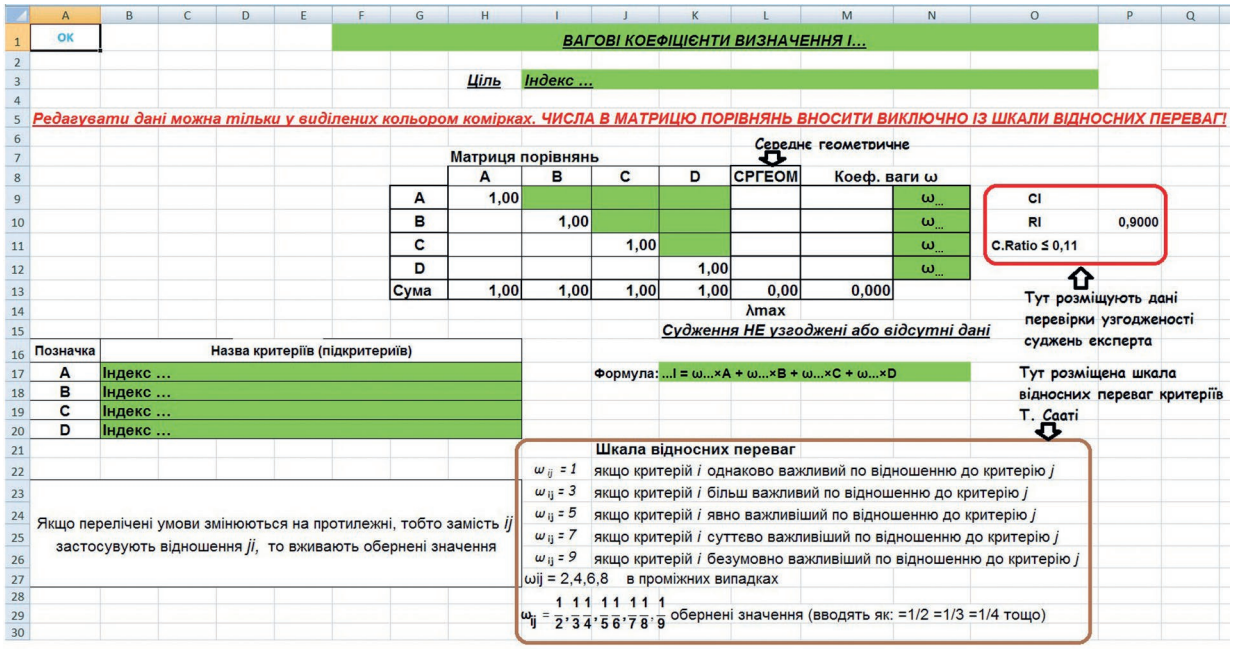


Рисунок 2 — Склад листів книги Range.xlsx

Перша категорія листів — листи-шаблони, які містять заготовки для формування листів будь-якої ієрархії критеріїв або субкритеріїв. На кожному листі-шаблоні розміщені дані, що призначені для здійснення попарних порівнянь критеріїв (субкритеріїв) однієї певної розмірності: 2×2, 3×3, 4×4, 5×5, 6×6 і 7×7. Отже, максимальна кількість критеріїв (субкритеріїв), що порівнюються, дорівнює 7.

Приклад листа-шаблону для випадку 4-х субкритеріїв наведений на **рис. 3**. Приклад вже заповненої матриці попарних порівнянь для випадку 4×4 з другої категорії — робочих листів ієрархії наведений на **рис. 4**.

Оцінки відносної важливості елементів, що порівнюють, повинні бути узгоджені, тому визначають індекс узгодженості (Consistency Index) (далі – CI) та відношення узгодженості (Consistency Ratio) (далі – C.Ratio) через розрахунок максимального власного значення оберненосиметричної матриці попарних порівнянь λ_{max} за методикою, наведеною, наприклад, у роботах Т. Сааті [8, 9].



ОК

ВАГОВІ КОЕФІЦІЄНТИ ВИЗНАЧЕННЯ І...

Ціль: Індекс ...

Редагувати дані можна тільки у виділених кольором комірках. ЧИСЛА В МАТРИЦЮ ПОРІВНЯНЬ ВНОСИТИ ВИКЛЮЧНО ІЗ ШКАЛИ ВІДНОСНИХ ПЕРЕВАГ!

Матриця порівнянь

	A	B	C	D	СРГЕОМ (Середнє геометричне)	Коеф. ваги ω	
A	1,00						ω...
B		1,00					ω...
C			1,00				ω...
D				1,00			ω...
Сума	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,000	

λmax

CI
RI 0,9000
C.Ratio ≤ 0,11

Тут розміщують дані перевірки узгодженості суджень експерта

Судження НЕ узгоджені або відсутні дані

Позначка	Назва критеріїв (підкритеріїв)
A	Індекс ...
B	Індекс ...
C	Індекс ...
D	Індекс ...

Формула: ...I = ω...×A + ω...×B + ω...×C + ω...×D

Тут розміщена шкала відносних переваг критеріїв Т. Сааті

Шкала відносних переваг

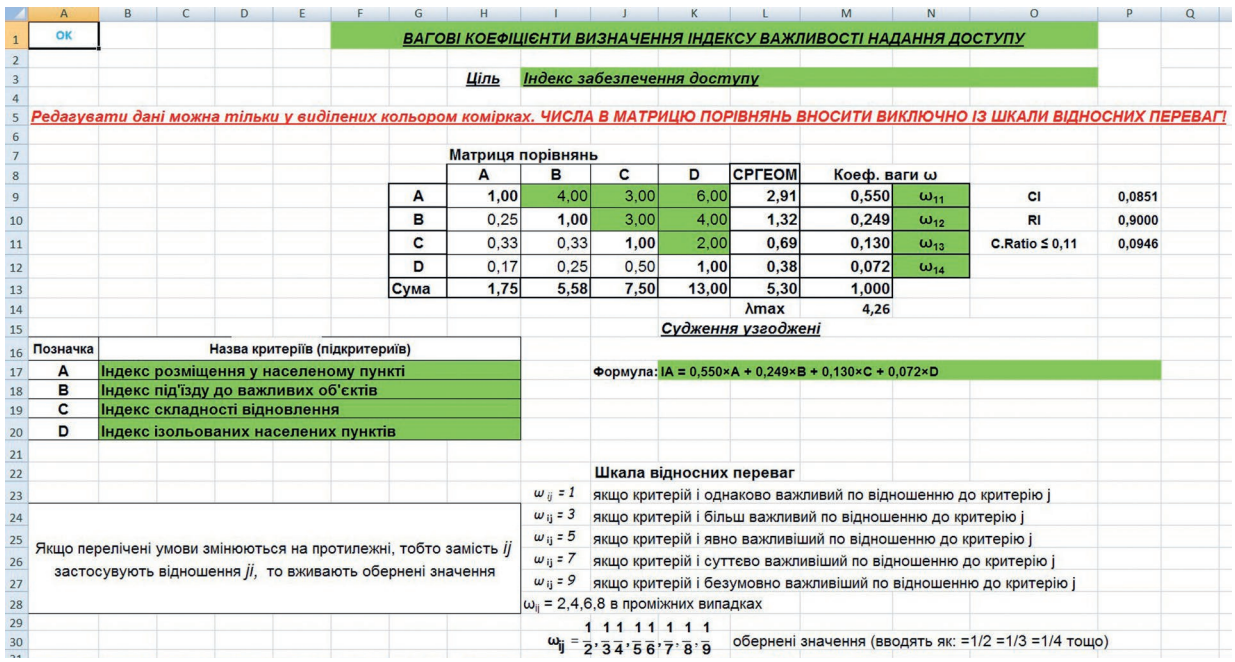
$\omega_{ij} = 1$	якщо критерій *i* однаково важливий по відношенню до критерію *j*
$\omega_{ij} = 3$	якщо критерій *i* більш важливий по відношенню до критерію *j*
$\omega_{ij} = 5$	якщо критерій *i* явно важливіший по відношенню до критерію *j*
$\omega_{ij} = 7$	якщо критерій *i* суттєво важливіший по відношенню до критерію *j*
$\omega_{ij} = 9$	якщо критерій *i* безумовно важливіший по відношенню до критерію *j*

ωij = 2,4,6,8 в проміжних випадках

$\omega_{ij} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$ обернені значення (вводять як: =1/2 =1/3 =1/4 тощо)

Якщо перелічені умови змінюються на протилежні, тобто замість *ij* застосовують відношення *ji*, то вживають обернені значення

Рисунок 3 — Приклад листа-шаблону матриці порівнянь розміром 4×4. Комірки, у яких користувачеві дозволено редагувати дані, відмічені зеленим кольором



ОК

ВАГОВІ КОЕФІЦІЄНТИ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ ВАЖЛИВОСТІ НАДАННЯ ДОСТУПУ

Ціль: Індекс забезпечення доступу

Редагувати дані можна тільки у виділених кольором комірках. ЧИСЛА В МАТРИЦЮ ПОРІВНЯНЬ ВНОСИТИ ВИКЛЮЧНО ІЗ ШКАЛИ ВІДНОСНИХ ПЕРЕВАГ!

Матриця порівнянь

	A	B	C	D	СРГЕОМ	Коеф. ваги ω			
A	1,00	4,00	3,00	6,00	2,91	0,550	ω_{11}	CI	0,0851
B	0,25	1,00	3,00	4,00	1,32	0,249	ω_{12}	RI	0,9000
C	0,33	0,33	1,00	2,00	0,69	0,130	ω_{13}	C.Ratio ≤ 0,11	0,0946
D	0,17	0,25	0,50	1,00	0,38	0,072	ω_{14}		
Сума	1,75	5,58	7,50	13,00	5,30	1,000			

λmax 4,26

Судження узгоджені

Позначка	Назва критеріїв (підкритеріїв)
A	Індекс розміщення у населеному пункті
B	Індекс під'їзду до важливих об'єктів
C	Індекс складності відновлення
D	Індекс ізольованих населених пунктів

Формула: IA = 0,550×A + 0,249×B + 0,130×C + 0,072×D

Шкала відносних переваг

$\omega_{ij} = 1$	якщо критерій і однаково важливий по відношенню до критерію j
$\omega_{ij} = 3$	якщо критерій і більш важливий по відношенню до критерію j
$\omega_{ij} = 5$	якщо критерій і явно важливіший по відношенню до критерію j
$\omega_{ij} = 7$	якщо критерій і суттєво важливіший по відношенню до критерію j
$\omega_{ij} = 9$	якщо критерій і безумовно важливіший по відношенню до критерію j

ω_{ij} = 2,4,6,8 в проміжних випадках

$\omega_{ij} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$ обернені значення (вводять як: =1/2 =1/3 =1/4 тощо)

Якщо перелічені умови змінюються на протилежні, тобто замість *ij* застосовують відношення *ji*, то вживають обернені значення

Рисунок 4 — Приклад розрахованої матриці порівнянь розміром 4×4

Листи-шаблони є «будівельними блоками» для відтворення ієрархії критеріїв будь-якої кількості рівнів. На їх основі саме у книзі Range.xlsx створені робочі листи ієрархії критеріїв (субкритеріїв), які відтворюють ієрархію, наведену на **рис. 1** і у **табл. 1** та **табл. 2**. Таку ієрархію

можна представити у вигляді «дерева, що росте до низу». Наверху стовбур, далі гілки, а у самому низу — листя. Для прикладу, у книгу Range.xlsx добавлений необов'язковий лист «ІЄРАРХІЯ», наведений на **рис. 5**.

Ціль	I рівень ієрархії		II рівень ієрархії		III рівень ієрархії	
Індекс рейтингу моста, RI, балів	Індекс експлуатаційного стану споруди, EC = 100 - E	ω_1				
	Індекс відповідності діючим нормам, OI	ω_2	Структурні параметри конструкції, шаблон 7x7	ω_{21}	Габарит проїзду (ширина проїзду)	ω_{211}
					Висота підмостового габариту	ω_{212}
					Ширина підмостового габариту	ω_{213}
					Висота бар'єрного огородження	ω_{214}
					Висота поручневого огородження	ω_{215}
					Параметри кривих плану і профілю, повздовжніх та/або поперечних уклонів	ω_{216}
					Проєктна вантажопідйомність	ω_{217}
			Характер моста, шаблон 3x3	ω_{22}	Вид моста	ω_{221}
					Цілорічна мобільність. Опір стихійним лихам	ω_{222}
					Історія стихійного лиха	ω_{223}
	Індекс важливості споруди, BI	ω_2	Важливість забезпечення доступу, шаблон 4x4	ω_{31}	Населені пункти	ω_{311}
					Під'їзди до важливих об'єктів	ω_{312}
					Складність відновлення*	ω_{313}
					Ізольовані населені пункти	ω_{314}
			Важливість забезпечення мобільності, шаблон 5x5	ω_{32}	Характеристики дорожнього руху відповідно	ω_{321}
					Об'їзд	ω_{322}
					Стратегічно важливі об'єкти	ω_{323}
					Значення дороги	ω_{324}
					Транспортний коридор	ω_{325}
			Зовнішні ефекти, шаблон 3x3	ω_{33}	Пересічення**	ω_{331}
					Комунікації***	ω_{332}
					Порушення потоку води в час повені	ω_{333}

Рисунок 5 — Ієрархія критеріїв (субкритеріїв) визначення індексу рейтингу моста, лист «ІЄРАРХІЯ». Тут ω з різними підрядковими індексами є ваговими коефіцієнтами

Ціллю розрахунків є індекс рейтингу моста RI, який на першому рівні ієрархії складається з трьох критеріїв EC, OI та BI (**рис. 6**).

ОК

ВАГОВІ КОЕФІЦІЄНТИ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ РЕЙТИНГУ МОСТА

Ціль: Індекс рейтингу моста

Редагувати дані можна тільки у виділених кольором комірках. ЧИСЛА В МАТРИЦЮ ПОРІВНЯНЬ ВНОСИТИ ВИКЛЮЧНО ІЗ ШКАЛИ ВІДНОСНИХ ПЕРЕВАГ!

Матриця порівнянь

	A	B	C	сргеом	Коеф. ваги ω	
A	1,00	3,00	7,00	2,759	0,682	ω_1
B	0,33	1,00	2,00	0,874	0,216	ω_2
C	0,14	0,50	1,00	0,415	0,103	ω_3
Сума	1,48	4,50	10,00	4,05	1,000	

λmax 3,00

Судження узгоджені

CI 0,001

RI 0,58

C.Ratio ≤ 0,11 0,002

Позначка	Назва критеріїв (підкритеріїв)
A	100 - показник експлуатаційного стану E
B	Індекс відповідності діючим нормам
C	Індекс важливості моста

Формула: BI = 0,091×A + 0,218×B + 0,601×C

Якщо перелічені умови змінюються на протилежні, тобто замість *ij* застосовують відношення *ji*, то вживають обернені значення

Шкала відносних переваг

$\omega_{ij} = 1$ якщо критерій і однаково важливий по відношенню до критерію j

$\omega_{ij} = 3$ якщо критерій і більш важливий по відношенню до критерію j

$\omega_{ij} = 5$ якщо критерій і явно важливіший по відношенню до критерію j

$\omega_{ij} = 7$ якщо критерій і суттєво важливіший по відношенню до критерію j

$\omega_{ij} = 9$ якщо критерій і безумовно важливіший по відношенню до критерію j

ω_{ij} = 2,4,6,8 в проміжних випадках

$\omega_{ij} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$ обернені значення (вводять як: =1/2 =1/3 =1/4 тощо)

Рисунок 6 — Приклад заповненої експертом матриці порівнянь з визначенням рівня узгодженості суджень та коефіцієнтів ваги критеріїв

Подібним способом створюються інші робочі листи книги Range.xlsx (або нової книги з іншою назвою). Лист «ІЄРАРХІЯ» не є обов'язковим, проте він може бути корисним для розуміння складу і структури ієрархії. Однак, його створення потребує від користувача певних початкових знань та вмінь роботи з Excel.

Всі листи Range.xlsx, окрім листа «РОЗРАХУНОК» (**рис. 7**), є незалежними один від одного. Створення листа «РОЗРАХУНОК» виконує більш-менш досвідчений користувач Excel. Це пов'язано з тим, що формули листа посилаються на назви робочих листів книги Range.xlsx.

Редагувати дані можна тільки у виділених кольором комірках			Вага		Вага		Вага	Фактори, балів
	Ціль	І рівень ієрархії	ω	ІІ рівень ієрархії	ω	ІІІ рівень ієрархії	ω	
	Індекс рейтингу моста, RI, балів: 83,832	Індекс експлуатаційного стану споруди, EC = 100 - E	0,682					20
		Індекс відповідності діючим нормам, OI	0,216	Структурні параметри конструкції	0,750	Габарит проїзду (ширина проїзду)	0,397	100
						Висота підмостового габариту	0,193	100
						Ширина підмостового габариту	0,099	0
						Висота бар'єрного огородження	0,116	100
						Висота поручневого огородження	0,103	100
						Параметри кривих плану і профілю, повздовжніх та/або поперечних уклонів	0,047	0
						Проєктна вантажопідйомність	0,046	100
				Характер моста	0,250	Вид моста (тимчасовий, збірний, постійний)	0,674	100
						Цілорічна мобільність. Опір стихійним лихам	0,226	100
						Історія стихійного лиха	0,101	100
		Індекс важливості споруди, BI	0,103	Важливість забезпечення доступу	0,285	Населені пункти	0,550	100
						Під'їзди до важливих об'єктів	0,249	100
						Складність відновлення*	0,130	100
						Ізольовані населені пункти	0,072	100
				Важливість забезпечення мобільності	0,628	Характеристики дорожнього руху відповідно	0,398	100
						Об'їзд	0,339	100
						Стратегічно важливі об'єкти	0,151	100
						Значення дороги	0,084	100
						Транспортний коридор	0,028	100
				Зовнішні ефекти	0,086	Пересічення**	0,731	100
						Комунікації***	0,188	33
						Порушення потоку води в час повені	0,081	0

Рисунок 7 — Приклад листа «РОЗРАХУНОК»

Комп'ютерна реалізація Range.xlsx запропонованого способу була протестована на прикладах з оригінальних робіт автора АНР Т. Сааті. На **рис. 8 – 13** наведені порівняння з прикладами з роботи Т. Сааті [8].

Table 4 Pairwise comparison matrix for the subcriteria with respect to flexibility

	Location	*Time*	*Work*	*Priorities*
Location	1	1/3	1/6	0.091
Time	3	1	1/4	0.218
Work	6	4	1	0.691

Рисунок 8 — Приклад 3×3 Т. Сааті [8]

Матриця порівнянь						
	A	B	C	СРГЕОМ	ω	
A	1,00	0,33	0,17	0,38	0,091	ω_1
B	3,00	1,00	0,25	0,91	0,218	ω_2
C	6,00	4,00	1,00	2,88	0,691	ω_3
Сума				4,17	1,000	

Рисунок 9 — Результат порівняння для випадку матриці порівнянь 3×3

Table 5 Pairwise comparison matrix for the alternatives with respect to potential increase in salary

	Domestic Co	*Int'l Co*	*College*	*State Univ.*	*Priorities*
Domestic company	1	4	3	6	0.555
Int'l company	1/4	1	3	5	0.258
College	1/3	1/3	1	2	0.124
State University	1/6	1/5	1/2	1	0.064

Рисунок 10 — Приклад 4×4 Т. Сааті [8]

Можна стверджувати про достатню збіжність результатів для запропонованої розрядності значень елементів матриці порівнянь.

Матриця порівнянь							
	A	B	C	D	СРГЕОМ		
A	1,00	4,00	3,00	6,00	2,91	0,544	ω_{11}
B	0,25	1,00	3,00	5,00	1,39	0,260	ω_{12}
C	0,33	0,33	1,00	2,00	0,69	0,128	ω_{13}
D	0,17	0,20	0,50	1,00	0,36	0,067	ω_{14}
Сума					5,35	1,000	

Рисунок 11 — Результат з порівняння для випадку матриці 4×4

Table 3 Pairwise comparison matrix of the main criteria with respect to the Goal

	Flexibility	*Opportunities*	*Security*	*Reputation*	*Salary*	*Priorities*
Flexibility	1	1/4	1/6	1/4	1/8	0.036
Opportunities	4	1	1/3	3	1/7	0.122
Security	6	3	1	4	1/2	0.262
Reputation	4	1/3	1/4	1	1/7	0.075
Salary	8	7	2	7	1	0.506

Рисунок 12 — Приклад 5×5 Т. Сааті [8]

Матриця порівнянь								
	A	B	C	D	E	СРГЕОМ	ω	
A	1,00	0,25	0,17	0,25	0,11	0,26	0,034	ω_{11}
B	4,00	1,00	0,33	3,00	0,14	0,89	0,117	ω_{12}
C	6,00	3,00	1,00	4,00	0,50	2,05	0,268	ω_{13}
D	4,00	0,33	0,25	1,00	0,14	0,54	0,071	ω_{14}
E	9,00	7,00	2,00	7,00	1,00	3,88	0,509	ω_{15}
Сума						7,63	1,000	

Рисунок 13 — Результат порівняння для випадку матриці 5×5

Висновки

1. Результатом роботи є спосіб побудови і використання ієрархічної системи критеріїв і субкритеріїв з визначенням коефіцієнтів ваги їх впливу, призначений для оцінювання індексів рейтингів мостів на вибраній мережі доріг.

2. Запропонований спосіб включає в себе процедури, застосування яких у певній послідовності дає можливість будувати довільну ієрархію критеріїв та субкритеріїв, визначати їх вагові впливи та здійснювати експертне оцінювання значущості (рейтингів) мостів з метою їх пріоритезації для формування програм і планів експлуатаційного утримання і ремонтів мостів.

3. Розроблений спосіб базується на застосуванні аналітичного ієрархічного процесу (AHP), запропонованого Т.Л. Сааті.

4. Для реалізації способу розроблений відповідний комп'ютерний інструмент на основі табличного процесору Excel, представлений книгою Range.xlsx. Книга Range.xlsx містить шість незалежних один від одного листів-шаблонів, які використовують для створення також незалежних робочих листів з матрицями попарних порівнянь відповідного розміру, які заповнюються користувачем-експертом шляхом використання шкали відносних переваг Т.Л. Сааті, розміщених на кожному робочому листі. Після заповнення матриці попарних порівнянь автоматично здійснюється перевірка узгодження суджень експерта. Тестування Range.xlsx здійснене шляхом порівняння результатів, отриманих Т.Л. Сааті, з результатами обчислення узгоджених значень локальних вагових коефіцієнтів у Range.xlsx. Можна стверджувати про достатню збіжність результатів.

5. Результати викладених у статті досліджень і розробок проходять апробацію, потребують обгворення та узагальнення в експертному середовищі для подальшого їх включення у ПК АЕСУМ з метою використання у підсистемі планування діяльності з утримання, реабілітації та реконструкції та/або заміни мостів новими. Відповідно виникає потреба у розробленні нормативного документа відповідного рівня.

Список літератури

1. Nasser Yari, New Model for Bridge Management System (BMS): Bridge Repair Priority Ranking System (BRPRS), Case Based Reasoning for Bridge Deterioration, Cost Optimization, and Preservation Strategy. PhD Thesis University of New Hampshire. Durham, 2018. 232 p. URL: https://scholars.unh.edu/dissertation/2392 (дата звернення: 04.02.2023).
2. State of Good Repair (SGR) Program Bridge Prioritization Formula Current Formula for FY2018 Funding Round, 2018. 21 p. URL: http://www.virginiadot.org/business/resources/bridge/SGR_PrioritizationFormula_Description_08-31-2018.pdf (дата звернення: 04.02.2023).
3. Matthew J. Whelan, Tara L. Cavalline, Aidan Alar, Kelsey Lane Guidelines for Prioritization of Bridge Replacement, Rehabilitation, and Preservation Projects. University of North Carolina at Charlotte. 2019 URL: https://www.researchgate.net/publication/341625502_Guidelines_for_Prioritization_of_Bridge_Replacement_Rehabilitation_and_Preservation_Projects (дата звернення: 04.02.2023).
4. Patidar V. Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems. / Vandana Patidar, Samuel Labi, Kumares C. Sinha, Paul Thompson // NCHRP REPORT 590. 2007. URL: https://www.nap.edu/download/23147 (дата звернення: 04.02.2023).
5. Methodology for Ranking Relative Importance of Structures to Virginia's Roadway Network / 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. // Virginia Transportation Research Council, 2016. 61 p. URL: http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/16-r19.pdf (дата звернення: 04.02.2023).
6. Bridge Management Guidelines. Road Development Authority. Japan International Cooperation Agency. The Project for Capacity Development on Bridge Management In The Democratic Socialist Republic of Sri Lanka // jica, 2017. 90 p. URL: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12307682.pdf (дата звернення: 04.02.2023).
7. Chase, S.B., Adu-Gyamfi, Y., Aktan, A.E., and Minaie, E. Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices. Report No. FHWA-HRT-15-081, 2016. 56 p. URL: https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/15081/15081.pdf (дата звернення: 04.02.2023).
8. Saaty T.L. Transport Planning with Multiple Criteria: The Analytic Hierarchy Process Applications and Progress Review. *Journal of Advanced Transportation*. 1995. Vol. 29, No. I. P. 81–126. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/atr.5670290109 (дата звернення: 04.02.2023).
9. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98. URL: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Abas/post/How-do-I-perform-AHP-on-a-hierarchy-having-more-than-two-levels/attachment/59d646d0c49f478072eaea6a/AS%3A273837772476419%401442299420290/download/saaty_2008.pdf (дата звернення: 04.02.2023).
10. СОУ 42.1-37641918-093:2013 Мости та труби. Варіантне проектування мостів. Київ, 2013. 40 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 32 с. (Інформація та документація).

References

1. Nasser Yari, New Model for Bridge Management System (BMS): Bridge Repair Priority Ranking System (BRPRS), Case Based Reasoning for Bridge Deterioration, Cost Optimization, and Preservation Strategy. PhD Thesis University of New Hampshire. Durham, 2018. 232 p. URL: https://scholars.unh.edu/dissertation/2392 (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

2. State of Good Repair (SGR) Program Bridge Prioritization Formula Current Formula for FY2018 Funding Round, 2018. 21 p. URL: http://www.virginiadot.org/business/resources/bridge/SGR_PrioritizationFormula_Description_08-31-2018.pdf (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

3. Matthew J. Whelan, Tara L. Cavalline, Aidan Alar, Kelsey Lane Guidelines for Prioritization of Bridge Replacement, Rehabilitation, and Preservation Projects. University of North Carolina at Charlotte. 2019 URL: https://www.researchgate.net/publication/341625502_Guidelines_for_Prioritization_of_Bridge_Replacement_Rehabilitation_and_Preservation_Projects (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

4. Patidar V. Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems. / Vandana Patidar, Samuel Labi, Kumares C. Sinha, Paul Thompson // NCHRP REPORT 590. 2007. URL: https://www.nap.edu/download/23147 (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

5. Methodology for Ranking Relative Importance of Structures to Virginia's Roadway Network / 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. // Virginia Transportation Research Council, 2016. 61 p. URL: http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/16-r19.pdf (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

6. Bridge Management Guidelines. Road Development Authority. Japan International Cooperation Agency. The Project for Capacity Development on Bridge Management In The Democratic Socialist Republic of Sri Lanka // jica, 2017. 90 p. URL: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12307682.pdf (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

7. Chase, S.B., Adu-Gyamfi, Y., Aktan, A.E., and Minaie, E. Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices. Report No. FHWA-HRT-15-081, 2016. 56 p. URL: https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/15081/15081.pdf (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

8. Saaty T.L. Transport Planning with Multiple Criteria: The Analytic Hierarchy Process Applications and Progress Review. *Journal of Advanced Transportation*. 1995. Vol. 29, No. I. P. 81–126. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/atr.5670290109 (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

9. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98. URL: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Abas/post/How-do-I-perform-AHP-on-a-hierarchy-having-more-than-two-levels/attachment/59d646d0c49f478072eaea6a/AS%3A273837772476419%401442299420290/download/saaty_2008.pdf (Last accessed: 04.02.2023) [in English].

10. SOU 42.1-37641918-093:2013 Bridges and pipes. Alternative design of bridges. Kyiv, 2013. 40 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

11. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv [State Standard of Ukraine (DSTU 9181:2022) Transport facilities. Road bridges directive for maintenance state assessing and predicting of highway bridges]. Kyiv, 2022. 32 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

Larysa Bodnar[1], *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-4754-721X*
Olexandr Kanin[2], *Ph.D., https://orcid.org/0000-0001-6849-2505*
Serhii Stepanov[1], *https://orcid.org/0000-0003-1220-4310*
Liudmyla Panibratets[1], *https://orcid.org/0000-0003-0683-9299*

[1] *M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*
[2] *National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*

SYSTEM OF CRITERIA FOR THE IMPORTANCE OF BRIDGES WITH THE POSSIBILITY OF ADJUSTING THEIR WEIGHT INFLUENCES

Abstract

Introduction. Questions of priority of road bridges (hereinafter referred to as bridges) arise when drafting various types of long -term, medium -term or short -term strategies, programs and plans for routine maintenance, current and major repairs, reconstruction, replacement of emergency or destroyed bridges in a limited amount (financial, production capacity, terms, etc.). As a result of the priority, the list (or lists) of the bridges is determined by some criteria, which require the application of certain measures, depending on the place of bridges in this list.

Problem Statement. One of the prerequisites for effective management of the operation of bridges on the network of roads of Ukraine during their use is to improve the evaluation of bridges rating in the Software complex «Analytical expert system of bridge management» (SC AESUM), taking into account world experience, requirements of regulatory and technical documents and specific results for technical assessment of bridges.

Purpose. The purpose of the work is to create a method and its computer implementation, which allows experienced experts to build a flexible system of criteria for significance (ratings) of bridges with the ability to adjust their weight influences.

Materials and methods. Research materials are the results of the analysis of world experience in the priority of highway bridges and SC AESUM data on the availability of bridges, their surveys, assessments of technical condition and corresponding expert conclusions. Methods are based on the use of the analytical hierarchical process (AHP), proposed by Thomas L. Saaty, which is widely used in practical activity, in particular in the priority of bridges, in many countries around the world.

Results. The result of the work is a way of constructing and using a hierarchical system of criteria and subcriteries of an arbitrary species with the determination of their coefficients of weight, designed to evaluate the index of the rating of the bridge and is implemented on the basis of a widespread and widespread tabular processor Excel.

Conclusions. The proposed method includes procedures and tools, the use of which in a certain sequence makes it possible to build an arbitrary hierarchy of criterias and subcriterias, to determine their weight influences and to carry out expert evaluation of the significance (rating) of bridges in order to prioritize them for the formation of programs and plans for maintaining the operation of bridges.

Keywords: highway bridge, bridge rating index, hierarchy of criterias and subcriterias, analytical hierarchical process (AHP), Excel implementation, SC AESUM.