

УДК 624.21

## КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВТРУЧАНЬ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Асп. О. О. Давиденко (НТУ)

## КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Асп. А. А. Давыденко (НТУ)

## OPERATIONAL INTERVENTIONS PERFORMANCE CRITERION HIGHWAY BRIDGES

Graduate student A. A. Davydenko

*Стаття присвячена оптимізації витрат на утримання, капітальний ремонт, реконструкцію та нове будівництво протягом життєвого циклу автодорожніх мостів.*

*Пропонується підхід до визначення необхідних експлуатаційних заходів для автодорожніх мостів, які знаходяться в п'ятому експлуатаційному стані, що базується на критерії ефективності експлуатаційних втручань, без традиційних довготривалих і дорогих процедур.*

**Ключові слова:** експлуатація автодорожніх мостів, капітальний ремонт, нове будівництво, реконструкція, технічний стан.

*Статья посвящена оптимизации расходов на содержание, капитальный ремонт, реконструкцию и новое строительство в течение жизненного цикла автодорожных мостов.*

*Предлагается подход к определению необходимых эксплуатационных мероприятий для автодорожных мостов, которые находятся в пятом эксплуатационном состоянии, основанный на критерии эффективности эксплуатационных вмешательств, без традиционных длительных и дорогостоящих процедур.*

**Ключевые слова:** эксплуатация автодорожных мостов, капитальный ремонт, новое строительство, реконструкция, техническое состояние.

*The article is devoted to optimization of expenses for maintenance, major repairs, rebuilding operation and new construction during the life cycle of highway bridges.*

*An approach is proposed for determining the necessary operational measures for highway bridges that are in the fifth operational state, based on the criteria for the effectiveness of operational interventions, without traditional long and costly procedures.*

**Keywords:** operation and maintenance of highway bridges, major repairs, new building, rebuilding operation, technical state.

**Вступ.** Статтю присвячено проблемі оптимізації витрат на утримання, капітальний ремонт, реконструкцію та нове будівництво протягом життєвого циклу автодорожніх мостів.

Загальна кількість автодорожніх мостів, підпорядкованих Укравтодору, 16191 од., 37000 п.м. Сьогодні доводиться констатувати стрімке зростання фізично застарілих споруд, непомірне зростання кількості мостів, що потребують ремонту (рисунки).

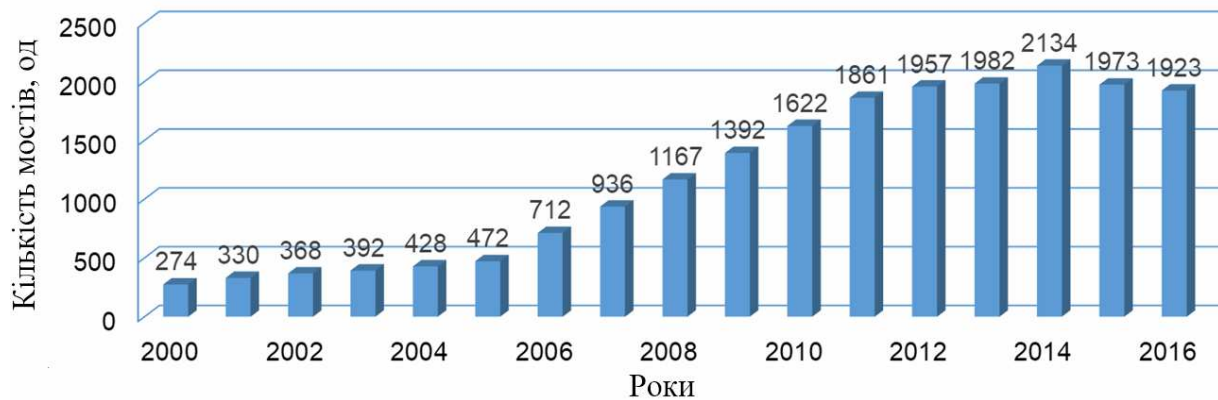


Рис. Кількість мостів, що потребують термінового ремонту

За даними тендерних закупівель, середня вартість капітального ремонту мостів складає 70 тис грн/м<sup>2</sup>, нового будівництва – 100 тис. грн/м<sup>2</sup>. Виведення споруди з експлуатації – це трудомісткі та складні будівельні роботи, вартість яких може сягати до 40 % від нового будівництва. Тоді з врахуванням демонтажу економія при капітальному ремонті на 1000 м<sup>2</sup> в порівнянні з новим будівництвом може складати 70 млн грн. Наведені кошти враховують тільки будівельні роботи. При вирішенні питання необхідності капітального ремонту, реконструкції або нового будівництва за традиційною процедурою є необхідність в спеціальному обстеженні, складанні варіантів, кошторисів і ТЕО, на основі яких і приймається рішення. Це дуже довготривалі і дорогі процедури навіть при складанні кошторисів в укрупнених показниках.

У таких умовах з'являється нагальна потреба в спрощеній процедурі визначення необхідності і ефективності експлуатаційних втручань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема оптимізації витрат на утримання, ремонт і реконструкцію протягом життєвого циклу моста завжди була центральною в теорії експлуатації. Всі дослідники цієї оптимізаційної задачі сходяться в думці, що цільова функція задачі є нелінійною, зростаючою з часом, по мірі того як деградують елементи

споруди. Ця задача сьогодні принципово вирішена. Є багато наукових публікацій, особливо закордонних [4, 5, 7, 8], в яких досліджується економічна доцільність продовження експлуатації моста. В загальному вигляді – це оптимізаційна задача, де необхідно відшукати таку стратегію експлуатації, в якій приведені витрати сягають мінімуму:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $C$  – цільова функція;

$C_i$  – складові вартості життєвого циклу;

$n$  – кількість складових вартості життєвого циклу.

Наведемо основні складові вартості життєвого циклу:

- $C_1$  – витрати на будівництво споруди;
- $C_2$  – поточні витрати на моніторинг і утримання;
- $C_3$  – транспортні витрати;
- $C_4$  – транспортні витрати, викликані затримками руху під час виконання ремонтних робіт або реконструкції;
- $C_5$  – інші витрати користувачів дороги;
- $C_6$  – соціальні витрати, викликані можливою аварією споруди;
- $C_7$  – витрати на охорону навколишнього середовища;

-  $C_8$  – витрати власника споруди на матеріально-технічну базу та адміністрування.

У світі широкого розповсюдження набули Системи Управління Мостоми (СУМ, англ.: BMS) [9], які у своїй більшості мають модуль оптимізації експлуатаційних витрат. Модель, згадана вище, за якою можливо спрогнозувати доцільність ремонту/ капітального ремонту/ реконструкції або нового будівництва та вирішити оптимізаційну задачу, має низку суттєвих недоліків, які ускладнюють її використання в рамках програмного комплексу, що обробляє технічну інформацію про стан споруди. По-перше, в базі даних відсутня більшість із наведених вище витрат. По-друге, для визначення витрат на будівництво моста попередньо необхідно скласти проект капітального ремонту/ реконструкції або проект нової споруди для техніко-економічного порівняння.

**Визначення мети та задачі досліджень.** Метою роботи, поданої нижче, є теоретичне дослідження оптимізації витрат на утримання, капітальний ремонт, реконструкцію та нове будівництво протягом життєвого циклу автодорожніх мостів.

Мотивацією дослідження є принципова важливість оптимізації витрат на утримання мостів для покращення їх технічного стану та підтримання дорожньо-транспортної мережі в роботоспроможному стані.

**Модель оцінки ефективності експлуатаційних втручань.** Пропонується підхід доцільності виконання капітального ремонту, реконструкції або нового будівництва мостів, який базується на даних програмного комплексу АЕСУМ Укравтодору України [1] та нормативному документі системи експлуатації автодорожніх мостів ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2013 [6].

Вводиться критерій ефективності ремонтних заходів прогнотичних будов

мостів, що знаходяться в п'ятому експлуатаційному стані, згідно з класифікацією [6, табл. 4.1]. Науково-технічним базисом моделі є такі два твердження:

1. Визначальними параметрами з бази даних АЕСУМ для розбудови критерію доцільності приймаються показники технічного стану споруди [6]: інтенсивність відмов  $\lambda$  та експертна оцінка технічного стану споруди  $E$  (рейтинг).

2. Формалізованим критерієм доцільності подальшої експлуатації є безрозмірна величина  $K_E$  – критерій ефективності експлуатаційних втручань:

$$K_E = \frac{E}{\lambda \cdot 100}, \quad (2)$$

де  $E$  – експертна оцінка технічного стану моста (рейтинг);

$\lambda$  – інтенсивність відмов (швидкість деградації).

Експертна оцінка  $E$  технічного стану моста (рейтинг) [6] визначається за формулою

$$E = \frac{80(5 - \sum_{i=1}^{i=7} \alpha_i D_i)}{4} + 20, \quad (3)$$

де  $D_i$  – номер експлуатаційного стану групи конструктивних елементів споруди згідно з [6];

$\alpha_i$  – коефіцієнти впливу стану  $i$ -го елемента на загальний стан споруди (нормалізовані коефіцієнти ваги),  $i = 1, 2, \dots, 7$ .

**Обґрунтування граничних значень критеріїв моделі.** Для визначення граничних значень використовуються статистичні оцінки вибірки термінів служби автодорожніх залізобетонних мостів України [2, 3]. Отримані за формулою (2) величини коефіцієнта ефективності  $K_E$  для середніх значень інтенсивності відмов подано в табл. 1.

Таблиця 1

Поділ мостів на групи за значенням коефіцієнта ефективності

Інтенсивність відмов	Критерій ефективності ( $E=39-20$ )
0,028	13-7
0,030	12-7
0,036	10-6
0,044	8-5

Отримані граничні значення коефіцієнта ефективності експлуатаційних втручань (табл. 1) слугують для формулювання рекомендації щодо

капітального ремонту/реконструкції або нового будівництва для автодорожніх мостів у п'ятому технічному стані (табл. 2).

Таблиця 2

Поділ мостів на групи за значенням коефіцієнта ефективності

Група А	Група Б	Група В
$K_E < 8$	$8 \leq K_E < 14$	$K_E \geq 14$
Приймається рішення про продовження експлуатації моста. Призначається капітальний ремонт або реконструкція	Рішення про припинення/продовження експлуатації моста приймається шляхом спеціального обстеження та експертного обґрунтування	Приймається рішення про припинення експлуатації моста

Алгоритм визначення доцільності капітального ремонту/реконструкції або нового будівництва автодорожніх мостів:

- з історії експлуатації визначається інтенсивність відмов  $\lambda$ ;

- за нормативним документом експлуатації мостів ДСТУ-Н [6] визначається експертна оцінка (рейтинг) технічного стану споруди  $E$  за формулою (3) на основі натурних обстежень;

- за формулою (2) визначається критерій ефективності експлуатаційних втручань;

- за значенням  $K_E$  встановлюють необхідність капітального ремонту/реконструкції або припинення експлуатації і необхідності в новому будівництві автодорожнього моста.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Виконане теоретичне

дослідження оптимізації витрат на утримання, капітальний ремонт, реконструкцію та нове будівництво протягом життєвого циклу автодорожніх мостів показало необхідність в спрощеній процедурі визначення виду експлуатаційних заходів, орієнтованій на автоматизоване прийняття рішень.

Практичним результатом дослідження є критерій ефективності експлуатаційних втручань, що дає числову оцінку, виражену в безрозмірних одиницях, доцільності капітального ремонту/реконструкції або нового будівництва автодорожніх мостів.

Критерій дозволяє прогнозувати необхідність капітального ремонту/реконструкції або нового будівництва при постійному значенні інтенсивності відмов для мостів всіх типів. Введений критерій доцільності в 2015 році був реалізований в ПК Укравтодору АЕСУМ. Застосування

критерію ефективності для вирішення проблеми ремонту, реконструкції або нового ремонту демонструє суттєвий економічний ефект за рахунок того, що відпадає необхідність попередньої розробки проектів та відповідних кошторисів.

Ця робота була виконана під керівництвом доктора технічних наук, професора А. І. Лантуха-Лященко Висловлюю йому мою щирю подяку.

### *Список використаних джерел*

1. Боднар, Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку [Текст] / Л. П. Боднар // Дороги і мости: зб. наук. праць. – К.: ДерждорНДІ, 2010. – Вип. 12. – С. 31-39.
2. Давиденко, О. О. Статистичний прогноз технічного стану автодорожніх мостів України [Текст] / О. О. Давиденко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 10. – С. 4-12.
3. Давиденко, О. О. Функція інтенсивності відмов елементів споруд [Текст] / О. О. Давиденко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. – С. 88-96.
4. Дехтяр, А. С. Оптимальна експлуатація залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // Системні методи керування, технології та організації виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. – 2001. – Вип. 12. – С. 385-392.
5. Дехтяр, А. С. Планування експлуатації залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // Зб. наук. праць V Наук. міжнар. симпоз. “Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій”. – Львів, 2002. – №5. – С. 162-168.
6. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2013. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – [Чинні від 2013-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 116 с. – (Національний стандарт України).
7. Evaluation of Life Cycle Cost. Analysis Methodologies / Senthil Kumaran Durairaj, S.K. Ong, A.Y.C. Nee and R.V.H. Tan // Corporate Environmental Strategy, Vol. 9, No. 1, 2002. – P. 30-39.
8. Jutila A., Sundquist H. ETSI PROJECT (Stage 1). Bridge Life Cycle Optimisation [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI\\_Stage1.pdf](http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI_Stage1.pdf).
9. Zanyar Mirzaei, Bryan T. Adey, Leo Klatter, Jung S. Kong. Overview of existing Bridge Management Systems – Report by the IABMAS Bridge Management Committee [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.f.waseda.jp/akiyama617/rIABMAS/resources/IABMAS-BMC-BMS-Report-20120717.pdf>.

---

Давиденко Олександр Олександрович, аспірант, асистент кафедри мостів та тунелів Національного транспортного університету. Тел. (050) 471-33-99. E-mail: [oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua](mailto:oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua). [orcid.org/0000-0003-0176-3256](https://orcid.org/0000-0003-0176-3256).

Davydenko Aleksandr, graduate student, Department of Bridge and Tunnel Engineering, National Transport University. Tel. (050) 471-33-99. E-mail: [oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua](mailto:oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua). [orcid.org/0000-0003-0176-3256](https://orcid.org/0000-0003-0176-3256).

Стаття прийнята 26.06.2017 р.