

Давиденко О.О.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

**Анотація.** Представлено постановку задачі оптимізації життєвого циклу. Теоретичною базою деградації елементів моста прийнято марковську стохастичну модель.

**Ключові слова:** вартість життєвого циклу, міст, надійність, прогноз ресурсу.

**Аннотация.** Представлена постановка задачи оптимизации жизненного цикла. Теоретической базой деградации элементов моста принято марковскую стохастическую модель.

**Ключевые слова:** стоимость жизненного цикла, мост, надежность, прогноз ресурса.

**Annotation.** The problem presented optimize life cycle. The theoretical basis of the degradation of the elements of the bridge taken Markov stochastic model.

**Keywords:** life cycle cost, bridge, reliability prediction resource.

### Вступ

Рішення, що пов'язані з реалізацією покращення транспортної мережі, зазвичай вимагають розгляду декілька альтернативних рішень. Ще на стадії проекту, а потім і будівництва, багато факторів впливають на прийняття того чи іншого рішення щодо реалізації зменшення затрат. Витрати на проект і будівництво є початковими протягом життєвого циклу і можуть бути меншими за видатки на обслуговування, ремонт, реконструкцію або заміну моста.

Ідея цього дослідження полягає в тому, що автодорожні мости, як інвестиційні рішення, мають враховувати всі затрати та фактори, в строк який планується їх експлуатація, та залежно від цього обрати найбільш ефективну стратегію. Транспортні споруди в Україні проектуються на строк служби в 70-100 років. Статистична оцінка строк служби мостів в Україні [2], показує що реальний середній строк функціонування мостів 40-50 років. Здатність моста

забезпечити строк служби, що регламентується нормативним документом [4], залежить від стратегії експлуатації та підприємства, що його обслуговує. Таким чином, інвестиційні рішення мають враховувати не тільки початкові витрати на створення транспортної споруди, але і всі майбутні, що пов'язані з її експлуатацією, щоб зберегти ці інвестиції для суспільства.

Середній строк служби мостів, який в двічі нижчий ніж нормативний, є показником того, що в Україні не приділяється уваги оптимізації вартості життєвого циклу мостів, яка враховує всі витрати, що неминуче виникають в процесі експлуатації (обслуговування, ремонт, реконструкція або повна заміна моста), внаслідок чого ефективність витрат бюджетних коштів, на обслуговування транспортної мережі, є низькою.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В зарубіжних дослідженнях значну увагу приділяють вартості життєвого циклу мостів як інструменту для прийняття інвестиційних рішень і ефективним плануванням фінансування [11, 14]. Хоча основні принципи аналізу вартості життєвого циклу були сформульовані понад 100 років, проте систематичні підходи до вартості життєвого циклу з'явилися тільки від 25 до 30 років назад в Сполучених Штатах. Вже тоді науковцями з США було запропоновано створення паспорту моста в якому буде міститися інформація про стратегію експлуатації протягом життєвого циклу, що включає в себе перелік заходів (поточний ремонт, капітальний ремонт, реконструкція або заміна моста) відображених в коштах [12, 13, 15].

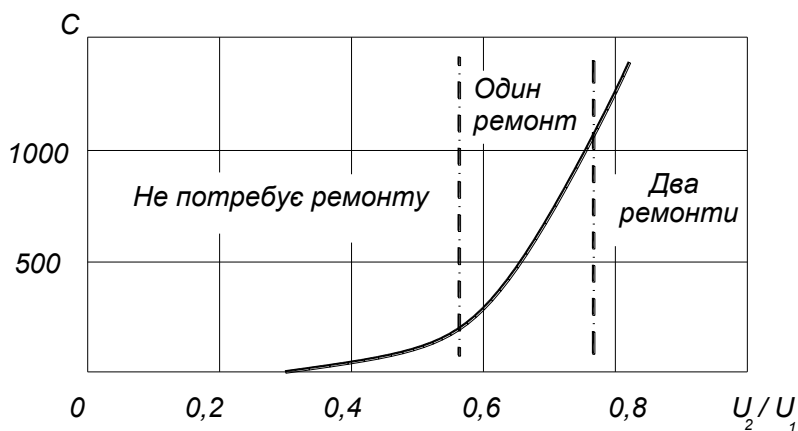
В Європі оптимізацією вартості життєвого циклу мостів стали перейматися пізніше, але по кількості публікацій і уваги, що приділяють цій проблемі, країни Євросоюзу не відстають від США. В науковій роботі Troive S. [17] викладено короткий опис теорії оптимізації життєвого циклу та запропоновано метод побудови моделі де роздільно представлено витрати та вигоди від експлуатаційних заходів (рис. 1).

Науковці Silva A., Fernandes [16] на прикладі вантового моста, в своїй роботі надають розрахунки вартості життєвого циклу, що засновані на ймовірнісних методах. Вони підкреслюють, що правильний вибір часу ремонту є більш важливим, ніж сама вартість ремонту, так як невчасно проведений ремонт має великий вплив на кінцеву вартість життєвого циклу. Таким чином моделі прогнозу деградації, є більш важливими ніж витрати.



**Рисунок 1** – Схема витрат і вигод впродовж строку служби моста

Незважаючи на безумовну актуальність проблеми оптимізації життєвого циклу мостів – публікацій в Україні мало. Нам відомі тільки декілька публікацій українських науковців – професора Лантух-Лященко А.І. [7, 8] та професора А.С.Дехтяря [5, 6]. Названі роботи містять стислий теоретичний опис аналізу оптимізації життєвого циклу автодорожніх мостів. В роботі А.С. Дехтяря [5] наведено приклад побудови цільової функції (рис. 2), що показує, яку ціну маємо сплачувати за підвищення надійності споруди.



$U_2/U_1$  – допустимий рівень надійності;  $C$  – приведена вартість, умов. одиниці.

**Рисунок 2** – Графік цільової функції

## Формулювання задачі оптимізації

Вибір стратегії експлуатації дорожньої мережі є в рамках політики управління. Задачу вибору стратегії необхідно зводити до мінімуму витрат на технічне обслуговування і максимізувати ефективність операцій з технічного обслуговування. Цей вибір цікавий тим, що потім дозволяє ранжувати за пріоритетами об'єкти управління життєвим циклом.

Сьогодні в практиці експлуатації мостів прийнято розглядати три стратегії:

*A.* Нічого не робити до виходу моста з експлуатації і розробити план його заміни.

*B.* Нічого не робити, поки технічний стан моста не досягне обмежено працездатного стану, що вимагає ремонту на дорогах державного значення.

*C.* Здійснення превентивних заходів щодо зниження швидкості деградації.

Вибір стратегії експлуатації залежить від:

- поточного технічного стану моста;
- несної здатності елементів моста;
- інформації в базі даних;
- строку в який планується експлуатувати міст;
- кривої деградації для кожного елемента моста;
- моменту коли ремонт моста стає необхідним для подальшої експлуатації;
- кількості витрат на обслуговування в порівнянні з різними стратегіями експлуатації;
- стратегій і історії експлуатації в минулому.

Переваги стратегій експлуатації, що засновані на вартості життєвого циклу:

- можливість оцінки експлуатаційних витрат в майбутньому ще на стадії проектування;
- формування бази даних життєвого циклу мостів, з можливістю оцінки витрат на обслуговування в залежності від вибраної стратегії експлуатації;
- прогнозування бюджету необхідного для обраної стратегії експлуатації мостів на рівні мережі в будь-який проміжок часу;
- створення оптимальної програми експлуатації, мінімізуючи витрати протягом всього строку служби моста.

Кожна стратегія має свої переваги і недоліки.

**Таблиця 1** – Переваги і недоліки стратегій експлуатації

Стратегія	Переваги	Недоліки
А	Не вимагає обслуговування до заміни моста. Витрати на технічне обслуговування і вплив на трафік обмежений протягом тривалого часу.	Висока вартість заміни. Проблема внесення в бюджет заміни багатьох мостів одночасно. Прискорення процесу деградації та видимі пошкодження моста, що негативно впливають на зовнішній вигляд споруди і викликають занепокоєння користувачів.
В	Відсутні витрати на експлуатацію і ремонт моста, поки його технічний стан задовільний. Строк служби споруди подовжений за рахунок вчасних ремонтів. Зниженні витрати на експлуатаційні заходи.	Іноді висока вартість ремонту. Можливий невчасний вибір часу коли необхідний ремонт та помилкове визначення технічного стану моста при якому необхідне втручання, що значно збільшує витрати на ремонтні роботи.
С	Незначні витрати на обслуговування. Втручання в рух транспортних засобів майже відсутній. Швидкість деградації значно уповільнюється, при умові виконання регулярних експлуатаційних заходів з початку введення моста в експлуатацію.	З самого початку експлуатації моста повинна бути розроблена програма за якою, впродовж всього строку служби, буде проводитися технічне обслуговування. Експлуатаційні втручання проводять дуже часто. Якщо застосовувати таку стратегію експлуатації для великої кількості мостів одночасно, вона може виявитися неефективною.

Основна мета процесу оптимізації життєвого циклу мостів, переконатися, що кошти, на утримання мостів витрачені найбільш економічно ефективним способом.

### **Математичне формулювання проблеми**

В загальному вигляді задачу оптимізації вартості життєвого циклу представлено таким чином:

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

де  $C$  – цільова функція;

$C_i$  – складові вартості життєвого циклу.

В математичній моделі (1) ключову роль відіграє саме обчислення цільової функції  $C$ , тобто спосіб, в який витрати в різні моменти  $T_i$  часу приводяться до моменту  $T$ . Згідно з методикою [9], загальноприйнятої в економічних розрахунках, приведена вартість  $C_{i,\text{прив}}$ :

$$C_{i,\text{прив}} = C_i(1 + E)^p, \quad (2)$$

де  $E$  – нормативний коефіцієнт ефективності;

$p = T - T_i$  – відстань в часі (в роках).

До основних складових вартості життєвого циклу відносять:

- витрати на будівництво споруди;
- поточні витрати на моніторинг і утримання;
- транспортні витрати;
- транспортні витрати, викликані затримками руху під час виконання ремонтних робіт або реконструкції;
- інші витрати користувачів дороги;
- соціальні витрати, викликані можливою аварією споруди;
- витрати на охорону оточуючого середовища;
- витрати власника споруди на матеріально-технічну базу та адміністрування.

### **Метод оптимізації вартості життєвого циклу в Аналітичній експертній системі управління мостами (АЕСУМ)**

За оптимізацію життєвого циклу в АЕСУМ відповідає програмний модуль генетичного алгоритму (ГА) [1]. Для оптимізації стратегії ремонтів застосовано метод випадкового пошуку оптимального значення цільової функції. Генетичний алгоритм відрізняється від класичного тим, що в ньому враховуються особливості допустимої послідовності виконання різних робіт з ремонтів мостів, які залежать від ступеню деградації моста і вже призначених на попередніх кроках (в минулі роки) робіт. ГА реалізує пошук глобального

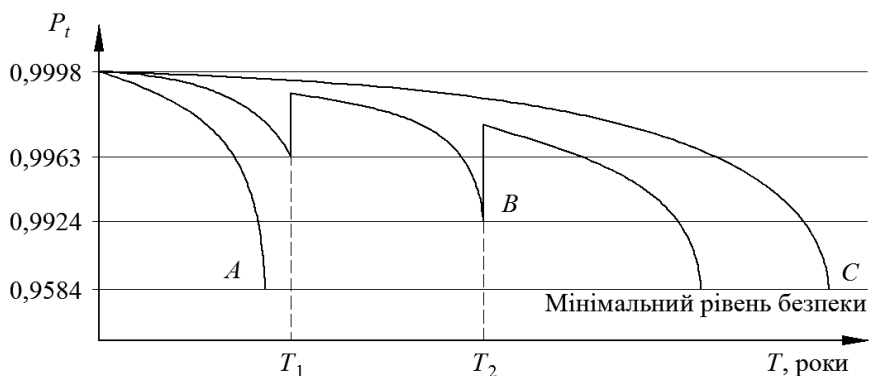
оптимуму в складній задачі системи експлуатації представленою моделлю деградації елементів моста в функції часу, моделлю вартості ремонтно-відновлювальних заходів.

Теоретичною базою деградації елементів моста прийнято марковську стохастичну модель. За цією моделлю [2, 3] в якій визначається залишковий ресурс споруди для кожної стратегії експлуатації (рис. 3) за формулою:

$$P_t = 0,008333 (\lambda t)^5 e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – параметр інтенсивності відмов;

$t$  – час (у роках), що пройшов від початку експлуатації до моменту класифікації дискретного стану.



$T_1$  – час першого ремонту, роки;  $T_2$  – час другого ремонту, роки.

**Рисунок 3** – Графік зміни характеристики безпеки протягом життєвого циклу мостів в залежності від обраної стратегії експлуатації

Підкреслимо, що модель життєвого циклу елементів автодорожніх мостів і її програмна реалізація за методом ГА є мережевого рівня і оптимізує виконання ремонтних робіт в рамках певної дорожньої мережі, певного регіону.

Слід зазначити, що метод оптимізації в АЕСУМ не дає можливості одночасно аналізувати декілька стратегій експлуатації і порівнювати витрати/строки служби для кожної з них.

### Висновки

1. В цьому дослідженні сформульовано задачу оптимізації і показано існуючі сьогодні напрями оптимізації вартості життєвого циклу експлуатації автодорожніх мостів.

2. Оптимізація вартості життєвого циклу автодорожніх мостів є пріоритетним напрямом для багатьох розвинених країн світу, в якості інструменту для прийняття інвестиційних рішень і ефективного планування фінансування транспортної мережі.

3. Для того, щоб транспортна мережа України могла розвиватися, необхідно радикально переглянути відношення до будівництва та експлуатації транспортних споруд. Будівництво мостів необхідно розглядати, як інвестиційні рішення, а заходи щодо підтримки їх технічного стану, як збереження цих інвестицій для суспільства.

4. Існуючий апарат оптимізації вартості життєвого циклу в АЕСУМ, реалізовано за методом генетичних алгоритмів. Метод є мережевого рівня і оптимізує виконання ремонтних робіт в рамках певної дорожньої мережі, певного регіону. Проте обрати кількість ремонтів протягом життєвого циклу можна тільки на об'єктному рівні.

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

### Література

1. Боднар Л.П. Генетичні алгоритми в оптимізації стратегій ремонтів мостів // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна – Д., 2016. – Вип. 6.– С. 18–23.
2. Давиденко, О.О. Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів України [Текст] / О.О. Давиденко // Автошляховик України – К., 2014. – Вип. 237. – С. 29–35.
3. Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – Введено вперше; надано чинності 2012-12-28. – К. : Мінрегіонбуд України, – 57 с.
4. Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-22:2009. Мости і труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Введено вперше; надано чинності 2010-03-01. – К. : Мінрегіонбуд України, – 73 с.
5. 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.
6. Дехтяр, А. С. Оптимальні строки й об'єми ремонтів залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // Зб. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Львів, 2001. – Вип. 3. – С. 83-86.



7. Лантух-Лященко, А.І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Вісник Транспортної Академії України. – К., 1999. – Вип. 3. – С. 59–63.
8. Лантух-Лященко, А.І. Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Збірник. Дороги і мо-сти. ДерждорНДІ – К, 2008. – Вип. 9. – С. 12–18.
9. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах В.Є Канарчук, О.А.Лудченко, Л.П.Барилевич та ін.-К.: Логос, 1996.-348 с.
- 10.Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат. – 1978. – 239 с.
- 11.“Life Cycle Cost Analysis,” Summary of Proceedings: FHWA Life Cycle Cost Symposium. Symposium sponsored by FHWA and AASHTO, December 15–16, 1993, Washington, DC; published in Searching for Solutions: A Policy Discussion Series, No. 12 (November 1994).
- 12.Hudson, S.W., Carmichael, R.F., III, Moser, L.O., Hudson, W.R., and Wilkes, W. J. NCHRP Report 300: Bridge Management Systems. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC (1987).
- 13.Hyman, W.A., and Hughes, D.J. “Computer Model for LifeCycle Cost Analysis of Statewide Bridge Repair and Replacement Needs.” Transportation Research Record 899, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC (1983); pp. 52–61.
- 14.Permanent International Association of Road Congresses. “Methods for Selecting Road Investment.” Economic and Finance Committee, Permanent International Association of Road Congresses, Paris (1991).
- 15.Saito, M., and Sinha, K.C. “The Development of Optimal Strategies for Maintenance, Rehabilitation and Replacement of Highway Bridges, Final Report, Vol. 1: The Elements of IBMS.” FHWA/IN/JHRP-88/15, Joint Highway Research Project, School of Civil Engineering, Purdue University (1988).
- 16.Silva, A. & Fernandes, A., Probabilistic approach for predicting life cycle costs and performance of bridges. Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost. Cruz, Frangopol & Neves (eds) © 2006 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0 415 40315 4.
- 17.Troive, S., Structural LCC Design of Concrete Bridges, Royal Institute of Technology, TRITA-BKN. Bulletin 41, ISSN 1103-4270, Stockholm 1998.

#### **Рецензенти**

С.Й. Солодкий, д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка" (Львів)

В.М. Нагайчук, канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ" (Київ)

#### **Reviewers**

S.Yo. Solodkyi, Dr.Tech.Sci., “Lviv Polytechnic” (Lviv)

V.M. Nahaychuk., Ph.D., “DerzhdorNDI” (Kyiv)