

УДК 624.21:625.745.1

Боднар Л. П., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Степанов С. М., <https://orcid.org/0000-0003-1220-4310>

Яструбінецький В. Л., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-4837-3303>

Завгородній С. С., <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМ РЕМОНТІВ З УРАХУВАННЯМ НАЯВНОСТІ ДЕФЕКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА МОСТАХ

Анотація

Вступ. В останні роки в Україні значно зросли вага та інтенсивність руху транспортних засобів на автомобільних дорогах. Більшість мостів, які експлуатуються на цих дорогах, збудовані за нормами, проектні навантаження яких не відповідають сучасним навантаженням на транспортні споруди.

Проблематика. Проблема експлуатації мостів із дефектами конструкцій в умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі набуває особливої актуальності на сучасному етапі, тому що вік мостів постійно збільшується, ресурс їх елементів вичерпується.

В умовах обмеженого фінансування економічна та строкова складові розрахункових моделей мають значний вплив на якість проведених розрахунків та визначення оптимальної стратегії проведення ремонтних робіт та утримання мостів в заданих умовах. Вибір запланованих робіт визначається при формуванні планів проведення ремонтів як для оцінки поточного стану мостів, так і з метою визначення термінів прогнозованих ремонтів мостів.

Мета. Метою роботи є розроблення подальшої оптимізації режиму складання планів ремонтних робіт на усунення наявних дефектів мостів.

Матеріали та методи. При визначенні вартості ремонтних робіт в Аналітичній експертній системі управління мостами (АЕСУМ) застосовувались усереднені норми об'ємів робіт. Ця методика була обмежена тим, що розрахунки вартості були сталими та не враховували фактичні дефекти на спорудах.

Досвід експлуатації побудованих мостів за 40–50 років виявив значну кількість різних дефектів конструкцій, в основному, прогонових будов і опор. Причини виникнення дефектів — тривала експлуатація без належного утримання, а також ряд недоліків в ході проектування та будівництва мостів.

З метою подальшої оптимізації режиму складання планів ремонтних робіт наявні дефекти на мостах були розглянуті з точки зору їх впливу на подальше руйнування окремих елементів мосту, або споруди в цілому, на прискорення цього процесу. Такі дефекти були визначені як дефекти підвищеної небезпеки.

Результати. Науковцями ДП «ДерждорНДІ» була розроблена та впроваджується методологія визначення вартості ремонтних робіт шляхом формування наборів робіт на усунення наявних дефектів на обстежених спорудах. Розроблено модуль планування ремонтів мостів з урахуванням необхідності першочергової ліквідації дефектів підвищеної небезпеки.

Висновки. Розроблено методологію визначення вартості ремонтних робіт, а також модуль планування ремонтів мостів з урахуванням необхідності першочергової ліквідації дефектів підвищеної небезпеки.

Ключові слова: автодорожній міст, Аналітична експертна система управління мостами, визначення вартості ремонтних робіт, дефект на мостах.

Вступ

Мости — одна з найважливіших складових транспортної інфраструктури. Своєчасне виявлення небезпечних дефектів та їх усунення, і таким чином запобігання руйнувань мостових споруд надасть можливість ефективно використовувати фінансові ресурси.

За останні роки в Україні значно зросли вага й інтенсивність руху транспортних засобів на автомобільних дорогах. Більшість мостів, які експлуатуються на цих дорогах, збудовані за нормами, проектні навантаження яких не відповідають сучасним навантаженням на транспортні споруди [2].

Проблема експлуатації мостів із дефектами конструкцій в умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі набуває особливої актуальності на сучасному етапі, тому що вік мостів постійно збільшується, ресурс їх елементів вичерпується.

Однією з важливіших функцій Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) [1] є формування науково-обґрунтованої стратегічної програми ремонтів мостів.

В умовах обмеженого фінансування економічна та строкова складові розрахункових моделей мають значний вплив на якість проведених розрахунків та визначення оптимальної стратегії проведення ремонтних робіт та утримання мостів в заданих умовах. Вибір робіт визначається при формуванні планів проведення ремонтів з метою визначення термінів прогнозованих ремонтів мостів.

Досвід експлуатації побудованих мостів за 40–50 років виявив значну кількість різних дефектів конструкцій, в основному, прогонових будов і опор. Причини виникнення дефектів — тривала експлуатація, а також ряд недоліків при проектуванні та будівництві мостів.

В ході експлуатації мостів виникла значна кількість дефектів основних несних конструкцій, які суттєво відрізняються як за своїм впливом на стан споруди в цілому, так і за впливом на окремі її елементи та конструкції. Є ряд дефектів елементів мостів, вплив яких є загрозовим для життя і здоров'я людей та /або суттєво погіршує стан інших конструкцій, обумовлюючи виникнення в них дефектів, прискорюючи деградацію матеріалів, знижуючи несну здатність елементів та вантажопідйомність мосту в цілому. Таким чином, ряд мостів експлуатуються з дефектами конструкцій, які зменшують їх несну здатність.

Основна частина

При формуванні програм ремонтів мостів вирішувались дві задачі:

- розрахунок вартості проведення ремонтних робіт;
- відбір споруд, на яких будуть проводитись роботи та визначення послідовності проведення робіт.

При визначенні вартості ремонтних робіт та робіт на експлуатаційне утримання мостів застосовувались усереднені норми обсягів робіт [4]. Ця методологія була обмежена тим, що розрахунки вартості були сталими та не враховували фактичні дефекти на мостах.

Для усунення цих недоліків науковцями ДП «ДерждорНДІ» була розроблена та впроваджується інша методологія визначення вартості робіт шляхом формування наборів робіт для усунення фактичних, виявлених при обстеженні, дефектів [3]. Окрім того, що в результаті розрахунків були отримані більш наближені до реальних значень прогнозовані вартості ремонтів мостів, ця методологія дозволила застосовувати механізм планування робіт по кожному мосту в залежності від рівня фінансування.

Було введено поняття — *ступінь ваги дефектів*, а саме — недопустимі, обмежено допустимі, допустимі (рис. 1). Крім того, була надана можливість для деяких дефектів призначати декілька наборів робіт для їх усунення, для повного та часткового. Часткове усунення дефектів сповільнює руйнівні процеси та надає можливість відтермінувати повне усунення на більш пізній строк.

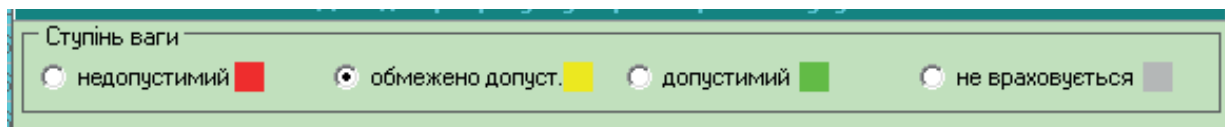


Рисунок 1 — Можливість призначення ступеня ваги дефектів в ПК АЕСУМ

Таким чином, при застосуванні цієї методології, можливе багатоваріантне отримання прогнозованої вартості ремонтів (**рис. 2**).

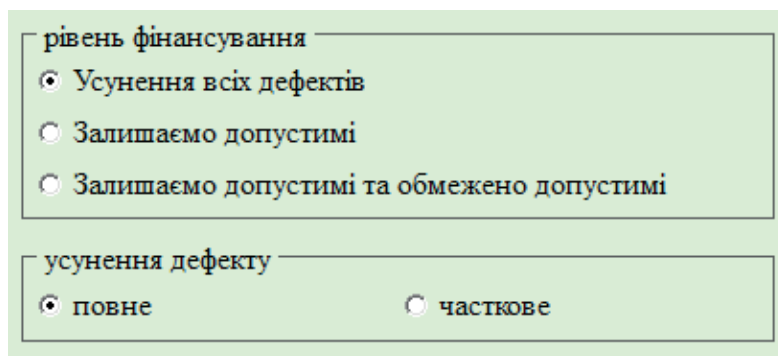


Рисунок 2 — Вибір рівня усунення дефектів при розрахунку вартості ремонтних робіт

Друга задача — відбір споруд, на яких будуть проводитись роботи та визначення послідовності проведення ремонтних робіт — вирішується за рахунок пріоритезації об'єктів.

Для подальшої оптимізації режиму складання планів ремонтних робіт наявні дефекти на мостах були розглянуті з точки зору їх впливу на подальше руйнування окремих елементів мосту, або споруди в цілому, на прискорення цього процесу. Такі дефекти були визначені як дефекти підвищеної небезпеки.

Наведемо декілька прикладів розповсюджених типів дефектів, які мають найбільший вплив на конструкцію споруди:

1. Наскрізні похилі тріщини (**рис. 3**) в приопорних ділянках елементів прогонових будов залізобетонних мостів.



Рисунок 3 — Похила тріщина в приопорній зоні (міст на автомобільній дорозі Р-46 Харків – Охтирка на км 80+419)

Дефект виникає при вигині залізобетонних балок від вертикального, постійного та тимчасового навантаження.

Причини виникнення дефекту:

- низька міцність на розтяг бетону стінки прогонової будови;
- недостатня кількість арматури, що сприймає поперечну силу в балці при вигині, у тому числі:

- вертикальних хомутів;
- похилій (відігнутої) арматури.

Спосіб усунення дефекту: посилення приопорних ділянок балки:

- збільшити товщину стінки на приопорних ділянках;
- збільшити кількість вертикальних хомутів, розташувати додаткові хомути в «новому» бетоні і надійно зв'язати їх з існуючими хомутами.

2. Пошкодження бетону плити проїзної частини залізобетонних мостів від вилуговування.

Можливе руйнування через недостатню міцність бетону на стиск.

Спосіб усунення дефекту — влаштування додаткової монолітної залізобетонної плити поверх існуючої.

Необхідно забезпечити спільну роботу плит, крім того, слід виконати розрахунок прогонової будови (з урахуванням додаткового навантаження від ваги монолітної плити) та, при необхідності, посилити нижню робочу арматуру.

3. Значна корозія робочої арматури елементів прогонової будови залізобетонних мостів.



Рисунок 4 — Значна частина робочої арматури оголена, схильна до корозії, кілька струн обірвані. Несна здатність балки значно знижена (міст через р. Роставиця на автомобільній дорозі національного значення Н-02 /М-06/-Кременець – Біла Церква – Ржищів – Канів – Софіївка на км 375+787)

Спосіб усунення дефекту — заміна пошкоджених балок.

4. Нерівномірні прогини балок залізобетонних мостів (можливе руйнування через перевантаження окремих балок).



Рисунок 5 — Одна з балок прогонової будови не опирається на ригель, а «висить» на сусідніх балках та виключена з роботи (міст через Великий Аджаликський лиман на автомобільній дорозі міжнародного значення М-28 Одеса – Южний — /М-14/ на км 22+856)

Спосіб усунення дефекту — необхідно влаштувати додаткову опору під аварійну балку або виконати заміну балок прогонової будови.

5. Втрата стійкості стиснутих елементів прогонової будови металевих мостів.



Рисунок 6 — Погнута стійка прогонової будови. Знижена несна здатність прогонової будови (міст на автомобільній дорозі територіального значення Т-07-37 Хуст – Шаян – Вишково – Буштино з під’їздом до санаторію «Шаян» на км 1+248)

Спосіб усунення дефекту — необхідно влаштувати додаткові зв'язки між дефектною стійкою і поясами прогонової будови.

6. Корозія основних несних елементів металевих мостів.

Знижена несна здатність прогонової будови.

Спосіб усунення дефекту — необхідно очистити конструкції прогонової будови від продуктів корозії і виконати посилення елементів.

7. Корозія сталевих несних елементів прогонової будови сталезалізобетонних мостів.

Знижена несна здатність прогонової будови.

Спосіб усунення дефекту — необхідно очистити конструкції прогонової будови від продуктів корозії і виконати посилення елементів.

8. Розладнання з'єднання залізобетонної плити зі сталевими балками прогонової будови сталезалізобетонних мостів.

Цей дефект може бути встановлений візуально по збільшенню прогинів прогонової будови.

При цьому істотно знижується несна здатність прогонової будови.

Спосіб усунення дефекту — виконати перевірочний розрахунок несної здатності сталеві частини прогонової будови, потім провести контрольне випробування прогонової будови навантаженням, вплив якого не перевищує несну здатність сталеві частини прогонової будови. За результатами випробувань розробити проект і виконати посилення сталеві частини прогонової будови.

9. Силкові похилі тріщини тіла ригелів залізобетонних опор.



Рисунок 7 — Згинальний момент від навантаження на консоль ригелю перевищує розрахункове значення (міст через р. Путила на автомобільній дорозі територіального значення Т-26-01 Чернівці – Вашківці – Путила – контрольно-пропускний пункт «Руська» на км 106+976)

Спосіб усунення дефекту — зменшити навантаження на консоль ригеля (наприклад, зменшити ширину тротуару).

10. Корозія арматури стоек залізобетонних опор.

Зниження несної здатності стійки, а також опори в цілому.

Спосіб усунення дефекту — очистити поверхню арматури від продуктів корозії, влаштувати залізобетонну «сорочку» стійки.

11. Підмив стоянів.

Можливо обвалення стояна і, отже, і прогонової будови.

Спосіб усунення дефекту — за спеціальним розробленим проектом виконати шпунтове огороження фундаменту і нижньої частини тіла стояну, відкачати воду всередині огорожі, виконати додатковий фундамент стояна.

12. Втрата частини тіла підферменника під опорною частиною.

Найчастіше причиною виникнення такого дефекту є низька якість бетону монолітних підферменників (цей бетон приготовлений, як правило, в будівельних умовах). У результаті можливий перекіс опорної частини і виникнення додаткових нерозрахованих зусиль в балках прогонової будови.

Спосіб усунення дефекту — піднімання прогонової будови, заміна дефектного підферменника.

Для врахування дефектів підвищеної небезпеки в ПК АЕСУМ до довідника дефектів була додана відповідна ознака (рис. 8).

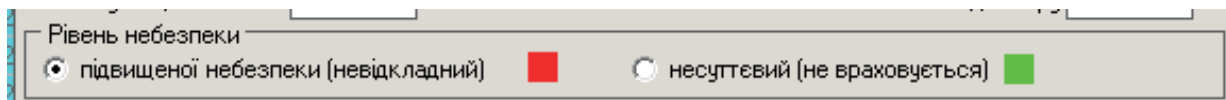


Рисунок 8 – Відмітка приналежності до дефектів підвищеної небезпеки

При застосуванні методології визначення вартості робіт шляхом складання наборів робіт для усунення наявних дефектів ми маємо можливість застосовувати ознаку дефектів підвищеної небезпеки та враховувати при розрахунку тільки ці дефекти (рис. 9).

Рисунок 9 — Визначення параметрів розрахунку вартості ремонтних робіт з урахуванням дефектів підвищеної небезпеки

Особливо важливого значення врахування наявності дефектів підвищеної небезпеки набуває на етапі відбору споруд, на яких будуть проводитись роботи.

Наявність дефектів підвищеної небезпеки може бути одним із визначальних критеріїв при визначенні першочерговості проведення ремонтних робіт.

Висновки

Виконано аналіз дефектів конструкцій мостів і впливу цих дефектів на ймовірність руйнування споруд.

Розроблена методологія оцінки впливу вагомості дефектів елементів при плануванні ремонтів мостів із урахуванням необхідності першочергової ліквідації дефектів підвищеної небезпеки.

Створені механізми збереження даних впливу дефектів для подальшого застосування в програмному комплексі АЕСУМ.

Розроблено модуль планування ремонтів мостів з урахуванням необхідності першочергової ліквідації дефектів підвищеної небезпеки.

Список літератури

1. Боднар Л.П., Лантух-Лященко А.І., Канін О.П., Коваль П.М., Фаль А.Є. Аналітична експертна система управління мостами. Досвід впровадження. *Дорожня галузь України*. 2011. № 7. С. 42–47.

2. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009. 84 с. (Інформація та документація).

3. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М., Стабровський О.О. Визначення прогнозованої вартості проведення ремонтів мостів з використанням Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ). *Дороги і мости*. 2016. Вип. 16. С. 28–35. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/viznachennya-prognozovanoyi-vartosti-provedennya-remontiv-mostiv-z-vikoristannyam-analitichnoyi-ekspertnoyi-sistemi-upravlinnya-mostami-aesum> (дата звернення: 01.02.2020).

4. М 218-03450778-425:2005 Методика оцінки обсягів та структури робіт з поточного утримання мостів. Київ, 2005. 26 с. (Інформація та документація).

References

1. Bodnar L.P., Lantukh-Lyashchenko A.I., Kanin O.P., Koval P.M., Fal A.Ye. Analytical expert system for bridge management. Experience of implementation. *Dorozhnia haluz Ukrainy*. 2011. № 7. P. 42–47. [in Ukrainian].

2. DBN V.1.2-15:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby Navantazhennia i vplyvy [State Building Norms (DBN V.1.2-15:2009) Transport facilities. Bridges and culverts. Basic design requirements]. Kyiv, 2009. 84 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. Bodnar L.P., Stepanov S.M., Koval P.M., Stabrovskyi O.O. Vyznachennia prohnozovanoi vartosti provedennia remontiv mostiv z vykorystanniam Analitychnoi ekspertnoi systemy upravlinnia mostamy (AESUM) [Determination of the estimated cost of bridges' repairs using an Analytical Expert Bridges Management System (AESUM)]. *Dorogi i mosti (Roads and bridges)*. 2016. Issue. 16. P. 28–35. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/viznachennya-prognozovanoyi-vartosti-provedennya-remontiv-mostiv-z-vikoristannyam-analitichnoyi-ekspertnoyi-sistemi-upravlinnya-mostami-aesum> (Last accessed: 01.02.2020) [in Ukrainian].

4. М 218-03450778-425:2005 Metodyka otsinky obsiahiv ta struktury robit z potochnoho utrymattia mostiv [Method (M 218-03450778-425:2005) Method for estimating the volume and structure of work on the current maintenance of bridges]. Kyiv, 2005. 26 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Larysa Bodnar, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Serhii Stepanov, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4310>

Vitalii Yastrubnitskyi, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4837-3303>

Serhii Zavhorodnii, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

REPAIR PROGRAMS DEVELOPMENT TAKING INTO ACCOUNT THE PRESENCE OF HIGH-RISK DEFECTS ON BRIDGES

Abstract

Introduction. In recent years in Ukraine, the weight and traffic volume of vehicles on the roads have increased significantly. Most of the bridges that are operating on these roads were built according to norms, the design loadings of which are not corresponding to the modern loadings on transport facilities.

Problem Statement. The issue of bridges operation with defects of the structure in the condition of limited funding of the road industry become particularly relevant at the present stage, as the age of bridges is constantly increasing, and the resource of their elements is being expiring.

Due to limited funding, the economic and time components of the designed models have a significant impact on the quality of performed calculations and the determination of the optimal strategy for performing of repairing work in specified conditions. The choice of planned works is determined during repairing plans development, both for evaluation of the current state of bridges and for determination of predicted bridge repairing terms.

Purpose. the purpose of the work is the development of further optimization of the mode of repairs plan development to eliminate existing defects of bridges.

Materials and methods. During the determination of repairs cost in the Analytical Expert Bridge Management System (AESUM), the average norms of the work volume were used. This method was limited by the fact that cost calculations were constant and did not consider actual defects of the bridges.

The experience of the constructed bridges operation over 40–50 years revealed a significant number of various defects of structure, mainly of spans and piers. The causes of defects are long-term operation without proper maintenance, as well as a number of shortcomings during the design and construction of bridges.

In order to further mode optimization of repair plans development, the existing defects on the bridges were studied from the point of view of their impact on the further destruction of certain elements of the bridge, or the facility as a whole, on the acceleration of this process. Such defects have been identified as high risk defects.

Results. Scientists of «DerzhdorNDI» SE have developed and applied the technique of repair cost determination by formation of works complex to eliminate existing defects at the inspected facilities. A module for bridge repair planning has been developed considering the need for priority elimination of high risk defects.

Conclusions. The technique of repairs cost determination was developed, as well as the module for bridge repair planning considering the need for priority elimination of high risk defects.

Keywords: highway bridge, Analytical Expert Bridge Management System (AESUM), repairs cost determination, defect on bridges.