

УДК 624.21:69.059.2

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХ ОБСТЕЖЕННЯ

Д-р техн. наук Л. В. Трикоз, асп. Р. В. Юрченко

DEFECTS SYSTEMATIZATION OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES OF UKRAINIAN RAILWAYS AS THE RESULT OF THEIR INSPECTION

D. Sc. (Tech.) L. Trykoz, postgraduate student R. Yurchenko
DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248116>

***Анотація.** У статті наведено результати обстежень 118 залізобетонних мостів на залізницях України, при яких зовнішні ознаки пошкоджень зіставлені з найімовірнішими причинами їх виникнення і категорією дефекту. Встановлено, що найпоширенішими причинами виникнення дефектів і пошкоджень є дія природних чинників (зміна температури та вологості), техногенних (вібрація, струми витоку) і технологічних (недоліки виготовлення або улаштування). Для кожного виду дефекту передбачено свій вид робіт: торкретування, улаштування металообойми, нанесення гідроізоляційного шару. Вказану систематизацію рекомендується застосовувати при нагляді за спорудами і призначенні заходів з їх ремонту і захисту залежно від категорії дефекту і причин його виникнення.*

***Ключові слова:** дефект, категорія дефекту, обстеження, залізобетонний міст.*

***Abstract.** Visual inspection is the important part of the bridges management. Many defects can be detected that determine the traffic conditions, service life, and operation cost. The deterioration of bridges calls for effective methods for condition evaluation and maintenance as well as suitable methods of their repair and recovery. This article aims defects systematization of reinforced concrete bridges to define the effective method for recovering of their technical state. More than 100 reinforced concrete bridges in Ukrainian railways were inspected from 2017 to 2021. Ultrasonic pulse velocity, penetration resistance, reinforcement corrosion tests, and rebar locating were performed on beams, bed block, and piers of reinforced concrete bridges. It is shown that the most probable reasons of defects are natural impacts (freezing-thawing, moisturizing-drying), technogenic factors (train vibration, leakage current), and technological disadvantages (unsatisfactory production or setting). During the inspection, there are three categories of defects were defined. The first one does not influence the train traffic (for example, deficient protective concrete layer). The second one can limit the train traffic (for instance, crack width more than 0.3 mm). The third category endangers the safe railway operation (such as an intense leaching of cement stone at an area more than 2 m²). It is made a proposal to match external signs of damage with reasons their appearance and methods of recovery. Three main types of repairs are used in Ukrainian railways: torkret process, steel hooping, waterproof layer. However, the relationship between the type of defect and the method of recovery has not been estimated before. It is important that the methods of repair and protection will be assigned according to their operation state (a disabled state requires immediate recovery of the structures) as well as the reasons of appearance (destructive acts). These methods must prevent a future destruction or protect of the structures.*

***Keywords:** defect, type of defect, inspection, reinforced concrete bridge*

Вступ. На залізницях України експлуатується значна кількість залізобетонних мостів. При обстеженні в їхніх конструкціях постійно виявляються пошкодження, розвиток яких призводить до передчасного виходу з ладу конструктивних елементів, зниження надійності, довговічності та безпеки експлуатації споруд і вимагає своєчасного відновлення їхніх експлуатаційних властивостей, ремонту і захисту від руйнівних дій. Виникнення і розвиток пошкоджень обумовлені не тільки силовими навантаженнями, на які конструкції розраховані ще на стадії проектування, але й руйнівними діями різної природи, у т. ч. струмами витоку та блукаючими струмами, вібрацією, ґрунтовими водами.

Проте на нормативному рівні питання зіставлення наявних пошкоджень з природою та інтенсивністю руйнівних дій і призначенням відповідних способів захисту від них при ремонті вирішено недостатньо. Це обумовлює недостатню ефективність традиційних заходів ремонту і захисту від руйнівних дій. Виходячи з цього систематизація дефектів залізобетонних мостів залізниць з установами їхнього взаємозв'язку з природою та інтенсивністю руйнівних дій для пошуку оптимального варіанта захисту або відновлення конструкцій є актуальним практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі своєчасного виявлення дефектів присвячено публікації вітчизняних і закордонних дослідників. Так, у роботі [1] запропоновано стратегію експлуатації «без капітального ремонту», яка передбачає зменшення інтервалів між планово-попереджувальними ремонтами, витрати на які вище, ніж витрати на догляд і профілактику, але значно нижче витрат на ремонт. Важливою ланкою є прогнозування зміни фізичного стану мостів. Причому тут слід прагнути до підвищення об'єктивності прогнозу, щоб прогнозування здійснювалося розрахунковим шляхом, а не експертним. Оцінювання стану за бальною оцінкою відповідно до роботи [2] є на сьогодні суб'єктивним, а не об'єктивним показником. Зокрема суб'єктивно на підставі особистого досвіду працівника оцінюються наявність

дефектів, що знижують термін служби споруд або їхніх несучих конструкцій (якісне оцінювання); кількість (відсоток) елементів з дефектами; поширеність дефектів. Але прогнозування розвитку дефектів для планування витрат на планово-попереджувальні роботи ця стратегія не передбачає. У статті [3] розглядаються три методи оцінювання технічного стану залізобетонних залізничних мостів: метод класифікації, бальної оцінки та метод теорії ймовірності. Авторами роботи [3] встановлено, що методи бальної оцінки та теорії ймовірності дають схожі результати, які відрізняються від результатів методу класифікації. При розрахунках прогонових будов методом класифікації визначаються внутрішні сили, а методи бальної оцінки та теорії ймовірності робляться тільки на основі візуальних обстежень і випробувань. Якщо в перших двох методах враховуються всі наявні на споруді дефекти, то в методі класифікації тільки дефекти, що знижують вантажопідйомність. Отже, комплексне застосування цих методів є одним із способів визначення правильної оцінки технічного стану залізобетонних залізничних мостів. Недоліком кожного методу є використання в розрахунках ідеалізованих і спрощених моделей, у яких неможливе врахування всіх діючих на конструкцію силових чинників, дефектів і пошкоджень, а також причин їх виникнення. Мета дослідження роботи [4] полягала у виявленні впливу окремих дефектів мостового полотна на технічний стан несучих конструкцій автодорожніх мостів. Процес визначення ступеня зносу потребує високої кваліфікації фахівця-експерта або більш повноцінної, деталізованої таблиці для оцінювання показників зносу, ніж пропонують сучасні норми. Авторами зроблено висновок, що вітчизняні чинні норми не дають можливості оцінювати вплив окремих дефектів на зниження швидкості руху, фактичну несучу здатність (вантажопідйомність) головних елементів і потребують удосконалення.

Балова оцінка була покладена в основу оцінювання стану бетонних мостів у роботі [5]. Результати візуального огляду 123 бе-

тонних мостів показали, що більшість мостів на сільських і основних дорогах вимагають ремонту і технічного обслуговування на основі виставлених балів (відповідно 82,4 і 88,2 бала зі 100). Мости на автомагістралях і автострадах знаходяться в кращому стані, ніж мости на сільських і основних дорогах (91,4 бала зі 100). Використання нових пристроїв, наприклад оптоволоконні або бездротові датчики, при будівництві або ремонті мостів забезпечить ефективне обслуговування. Впровадження цих технологій дозволяє уникнути тривалих виїздів на місця для візуального огляду, усуваючи суб'єктивність процесу. У багатьох країнах розробляються нові стандарти стосовно моніторингу стану конструкцій. У роботі [6] перераховано коди і стандарти обслуговування і моніторингу мостів з Австралії, Китаю, Канади, Європейського Союзу, Великобританії, Швейцарії і США. Ці документи є частиною різних регіональних, національних або міжнародних стандартів різних країн або адміністрацій. Ці стандарти визначають загальну кількість датчиків, які будуть розміщені на конструкції, їх розташування, відстань між ними, а також алгоритми та обробку даних. Нормативні документи охоплюють також такі теми, як ремонт і посилення конструкцій (використання армованих волокон полімерів), інтелектуальне зондування (вбудовані оптоволоконні датчики, датчики з волоконними ґратками), економічне значення (термін служби конструкцій), віддалений моніторинг та інтелектуальна обробка. Новим є підхід, який передбачає, щоб датчики стали частиною вимог для майбутнього проектування і будівництва мостів. Тобто система моніторингу стану конструкцій буде закладатися ще на стадії проектування.

Основною метою дослідження роботи [7] було розроблення комплексної системи моніторингу для оцінювання довговічності мостів. Система має інтегрувати реальну практику, в основному засновану на візуальному огляді, і поєднувати реакцію ряду різних надійних датчиків, установлених на конструкції для відстеження

прогресу пошкодження, з поліпшеними реалістичними моделями руйнування. Система і датчики були розроблені для визначення параметрів найбільш важливих механізмів руйнування: корозії арматури в мостах, карбонізації бетону, циклів заморожування-відтавання, лужно-кремнеземної реакції і механічних пошкоджень, а також змін у поведінці конструкцій: статична деформація, напруження, ширина тріщин і коливання. Використання систем постійного моніторингу дає кілька переваг після встановлення системи: зниження експлуатаційних витрат на перевірки і технічне обслуговування на 25 %, на 30 % за рахунок скорочення кількості та обсягу перевірок на об'єкті та зниження загальних витрат на термін служби мостів, на 10 % за рахунок застосування поліпшених моделей прогнозування терміну служби ще на стадії проектування. Постійний моніторинг мостів є ключовим аспектом, який розглядається в роботах [8÷10]. Недоліком візуального обстеження є неможливість визначити внутрішні дефекти [8], але це єдиний шлях для оцінювання характеристик конструкції в різних умовах навколишнього середовища і навантаження, а також для виявлення можливого зносу конструкції з часом [9]. Отже, візуальне оцінювання технічного стану набуває актуальності через необхідність врахування умов експлуатації конструкцій і планування науково обґрунтованих ремонтних робіт при обмеженому їх фінансуванні.

Визначення мети і завдання дослідження. Метою є систематизація дефектів і пошкоджень залізобетонних конструкцій мостів, розташованих на залізницях України, для визначення оптимального способу відновлення їхнього технічного стану. Для досягнення мети було поставлено такі завдання: обстежити певну кількість залізобетонних залізничних мостів; виявити наявність відповідних дефектів і пошкоджень; класифікувати їх за категоріями; встановити найімовірніші причини виникнення

дефектів і пошкоджень; проаналізувати існуючі методи ремонту або відновлення.

Методи дослідження. Для виявлення дефектів застосовувалися візуальні та інструментальні методи обстеження згідно з роботою [11]. Візуальні методи полягають в огляді конструкцій із виявленням усіх дефектів і пошкоджень (зміщення в плані, осідання, крени, прогини тощо) з їх ескізуванням, фото та/або відеозйомкою. До складу детальних обстежень залізобетонних конструкцій входить:

- визначення розмірів деформацій, ширини розкриття і глибини тріщин, перерізів арматури, товщини захисного шару бетону, відколів бетону, фактичного армування залізобетонних конструкцій;

- визначення ступеня пошкодження арматури корозією, глибини та ступеня карбонізації бетону, концентрації хлоридів, електричного потенціалу;

- обмірювання загальних розмірів конструкцій і їхніх перерізів, інструментальні вимірювання для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів.

Визначення характеристик бетону виконувалося неруйнівними методами: склерометричним за роботою [12] і ультразвуковим за роботою [13]. Товщина захисного шару бетону вимірювалася за роботою [14].

Основна частина досліджень. Структурні підрозділи АТ «Укрзалізниця» при утриманні, оцінюванні стану і виявленні пошкоджень керуються інструктивними документами [2, 11, 15]. Порядок виконання обстежень регламентується ДБН В.2.3-6 [11]. Узагальненою характеристикою технічного стану споруди є її експлуатаційний стан, який визначається середньою баловою оцінкою згідно з СОУ «Оцінка технічного стану та експлуатаційної придатності інженерних споруд на залізницях України» [2]. В Інструкції ЦП-0282 [15] перелічено відповідні заходи щодо підвищення показників технічного стану споруди на підставі визначеного експлуатаційного стану. У нормативному документі [2] наводиться характеристика дефектів штучних споруд за їхнім

впливом на безпеку руху поїздів, довговічність споруд і умови їх обслуговування:

I категорія – погіршує умови обслуговування, знижує довговічність споруди, але розвиток дефекту не впливає на пропускання рухомого складу (наприклад морозне лущення поверхні бетону з оголенням крупного заповнювача, тріщини вздовж робочої арматури з розкриттям до 0,3 мм, відсутній або недостатній захисний шар бетону та ін.);



II категорія – розвиток дефекту може обмежити пропускання рухомого складу і створити загрозу безпеці руху (наприклад сильне осередкове вилугування цементного каменю з утворенням сталактитів, тріщини вздовж робочої арматури з розкриттям більше 0,3 мм, корозія робочої арматури з ослабленням перерізу на 20 % та ін.);

III категорія – загрожує безпеці руху поїздів, потребує особливих умов експлуатування аж до введення попереджень (наприклад руйнування бетону на торцевій ділянці в місцях установаження анкерів, похилі тріщини з розкриттям більше 0,3 мм, сильне вилугування цементного каменю на площі більше 2 м² з утворенням сталактитів та ін.).


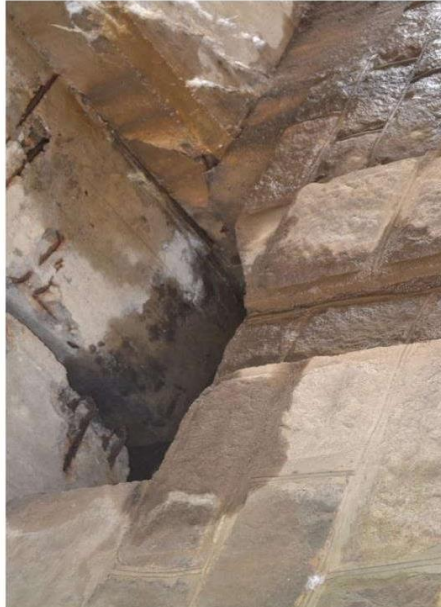
У період з березня 2017 р. по квітень 2021 р. було проведено натурні дослідження характерних пошкоджень 118 залізобетонних мостів, які розташовані на регіональних філіях «Південна залізниця», «Південно-Західна залізниця», «Донецька залізниця» АТ «Укрзалізниця». Результати досліджень узагальнені в таблиці, де зовнішні ознаки дефектів зіставлені з найімовірнішими причинами їх виникнення та існуючими методами ремонту. Очевидно, що заходи з ремонту і захисту споруд слід призначати залежно від їхнього експлуатаційного стану (непрацездатний стан вимагає негайного ремонту або реконструкції споруди) і причин виникнення пошкоджень (руйнівних дій), причому ці заходи мають запобігати подальшій руйнівній дії на конструкції або захищати від них.

Таблиця



Дефекти залізобетонних мостів залізниць

Номер	Вид конструкції	Номер типу дефекту	Опис дефекту	Фото пошкодження	Найімовірніша причина виникнення	Існуючий метод ремонту/відновлення
1	2	3	4	5	6	7
1	Прогонова будова	1.1	Руйнування бетону біля опорних частин		Спільна дія попереминого заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів (витоку і блукаючих)	Відновлення споруди торкретуванням
		1.2	Тріщини вздовж стрижнів робочої арматури		Спільна дія попереминого заморожування – відтавання, електричних струмів (витоку і блукаючих), корозія робочої арматури	Улаштування металообойми



Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7
1	Прогонова будова	1.3	Відшарування захисного шару		Спільна дія попереминого заморозування – відтавання, вібрації, недостатня товщина захисного шару	Улаштування металообойми
		1.4	Вилугування цементного каменю		Фільтрація слабкомінералізованих вод через тіло конструкції	Очищення споруди та нанесення гідроізоляційного шару

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7
1	Прогонова будова	1.5	Раковини та сколи бетону		Спільна дія попереминого заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів (витоку і блукаючих)	Улаштування металообойми
		1.6	Корозія арматури		Дія електричних струмів (витоку і блукаючих), недостатня товщина захисного шару	Очищення арматури від слідів корозії та улаштування металообойми

Продовження таблиці

1					5	6	7
2						Спільна дія попереминого заморозування – відтавання, вібрації, електричних струмів (витоку і блукаючих)	Улаштування металообойми
2	Опори	2.1	Тріщини			Фільтрація слабкомінералізованих вод через тіло конструкції	Очищення споруди та нанесення гідроізоляційного шару
		2.2	Вилуговування цементного каменю				

Закінчення таблиці

1	2	3	4	5	6	7
		3.1	Тріщини		Спільна дія попереминого заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів	Улаштування металообойми
3	Підферментний блок	3.2	Відшарування захисного шару		Недостатня товщина захисного шару бетону, вплив електричних струмів	Відновлення споруди торкретуванням

Висновки. Запропоновано систематизацію пошкоджень залізобетонних мостів залізниць з їх нумерацію за типами, у якій зовнішні ознаки пошкоджень зіставлені з найімовірнішими причинами їх виникнення і категорією дефекту. Встановлено, що найімовірнішими причинами виникнення дефектів і пошкоджень є спільна дія природних (поперемінне заморожування-відтавання, зволоження-висушування) і техногенних (вібрація, електричні струми) чинників. Також можна відокремити причини технологічного характеру – недостатню товщину захисного шару при виготовленні конструкції або неякісне улаштування

гідроізоляції, через що відбувається фільтрація води крізь конструкцію з вилуговуванням цементного каменю. Для відновлення або ремонту конструкцій мостів застосовують три види робіт: торкретування, улаштування металообойми, нанесення гідроізоляційного шару. Вказану систематизацію рекомендується застосовувати при нагляді за спорудами і призначенні заходів з їх ремонту і захисту залежно від категорії дефекту і причин його виникнення. Подальше дослідження буде спрямоване на пошук сучасних ремонтних матеріалів, ефективних антикорозійних систем, сухих бетонних і полімер-бетонних сумішей тощо.

Список використаних джерел

1. Бильченко А. В., Кислов А. Г. Особенности системы мониторинга физического состояния городских мостов. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 39. С. 23–26. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2011/6866> (дата звернення: 08.08.2021).
2. СОУ 45.120-00034045-015:2012. Оцінка технічного стану та експлуатаційної придатності інженерних споруд, затверджений наказом Укрзалізниці від 27.11.2012 р. № 419-Ц. Київ: Держадміністрація залізничного транспорту України, 2012. 98 с.
3. Гармаш А. В., Соломка В. І., Горбова О. В. Оцінювання технічного стану залізобетонних залізничних мостів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 39. С. 33–36. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2011/6868> (дата звернення: 08.08.2021).
4. Безбабічева О. І., Лозова О. О. Дослідження впливу деяких дефектів мостового полотна на технічний стан мостових споруд. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 84. С. 31-36. URL: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.31> (дата звернення: 08.08.2021).
5. Lima M. M., Miller D., Doh J. Structural Health Monitoring of Concrete Bridges in Guilan Province Based on a Visual Inspection Method. *Structural Durability and Health Monitoring*. 2013. Vol. 9(4). P. 269–285. URL: <https://doi.org/10.32604/sdhm.2013.009.269> (last access: 08.08.2021).
6. Moreu F., Li X., Li S., Zhang D. Technical Specifications of Structural Health Monitoring for Highway Bridges: New Chinese Structural Health Monitoring Code. *Frontiers in Built Environment*. 2018. Vol. 4. P. 10. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00010> (last access: 08.08.2021).
7. Comisu C.-C., Taranu N., Boaca G., Scutaru M.-C. Structural health monitoring system of bridges. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 199. P. 2054-2059. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.472> (last access: 08.08.2021).
8. Cunha A., Caetano E., Magalhães F., Moutinho C. Recent perspectives in dynamic testing and monitoring of bridges. *Structural Control and Health Monitoring*. 2013. Vol. 20 (6). P. 853-877. URL: <https://doi.org/10.1002/stc.1516> (last access: 08.08.2021).
9. Fujino Y., Siringoringo D. M. Abe M. Japan's experience on long-span bridges monitoring. *Structural Monitoring and Maintenance*. 2016. Vol. 3(3). P. 233-257. URL: <https://doi.org/10.12989/smm.2016.3.3.233> (last access: 08.08.2021).

10. Tan Z. C., Qiu S., Liu Y. Development and Challenge of Structural Health Monitoring of Long-Span Bridges. *Key Engineering Materials*. 2014. Vol. 619. P. 51–59. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.619.51> (last access: 08.08.2021).

11. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 63 с.

12. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 20 с.

13. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с.

14. ДСТУ Б В.2.6-4-95 (ГОСТ 22904-93). Конструкції будинків і споруд. Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури. Київ: Держкоммістобудування України, 1996. 17 с.

15. ВНДУЗ 32.2.04-015-2013. ЦП «ЦП-0282 Інструкція з утримання штучних споруд», затверджена наказом Укрзалізниці від 13.02.2013 р. № 027-Ц/од. Київ: Держадміністрація залізничного транспорту України, 2013. 161 с.

Трикоз Людмила Вікторівна, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-68.

E-mail: lvtrikoz@ukr.net ORCID 0000-0002-8531-7546.

Юрченко Руслан Валентинович, здобувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-68. E-mail: uruslanv1994@gmail.com.

ORCID 0000-0003-4695-2958.

Trykoz Liudmyla, DSc, professor, Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net ORCID 0000-0002-8531-7546.

Yurchenko Ruslan, postgraduate student, Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-68. E-mail: uruslanv1994@gmail.com ORCID 0000-0003-4695-2958.

Статтю прийнято 16.07.2021 р.