



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-3>

УДК 626.8 (075.8)



ОКСЕНЬ Є.І.

Доктор техн. наук, провідний науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: eioksen@gmail.com, тел.: +38 (050) 674-47-78, ORCID: 0000-0003-1075-6840



ТИТАРЕНКО В.А.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділення ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 0679199507@ukr.net, тел.: +38 (067) 919-95-07, ORCID: 0000-0001-9746-2399



ДОМБРОВСЬКИЙ Я.І.

Завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 355niisk356@gmail.com, тел.: +38 (067) 420-57-55, ORCID: 0000-0003-0687-1256



ШУМІНСЬКИЙ В.Д.

Канд. техн. наук, провідний науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: shumikvd@gmail.com, тел.: +38 (096) 617-55-70, ORCID: 0000-0002-8751-1983

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІШОХІДНОГО МОСТУ, ПОШКОДЖЕНОГО В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

АНОТАЦІЯ

В статті наведені результати з оцінки технічного стану пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігів, який було пошкоджено внаслідок воєнних дій. Актуальність роботи обумовлена необхідністю застосування комплексного підходу до оцінки технічного стану конструкцій та елементів мосту, що зазнали пошкоджень внаслідок влучання різних боеприпасів, та обґрунтування рішень щодо його подальшої безпечної експлуатації. В роботі застосовані візуальні та інструментальні обстеження, а також динамічні випробування прогонових будов мосту. Під час обстеження визначені характерні конструкції та елементи, що були пошкоджені під час воєнних дій. За якісним і кількісним оцінюванням дефектів та пошкоджень конструктивних елементів, що отримані внаслідок

воєнних дій, з урахуванням найгірших показників стан мосту визначено як стан 5 – непрацездатний. Вимірювання значення фактичної міцності бетону залізобетонних елементів виконувалось неруйнівним методом за допомогою приладу ОНИКС 2.5. В результаті обстеження встановлено: міцність бетону балок прогонових будов знаходиться в межах $44,4 \div 47,4$ МПа, що відповідає класу бетону С25/30÷С30/35; міцність бетону опор знаходиться в межах $40,1 \div 46,8$ МПа, що відповідає класу бетону С25/30÷С30/35. Міцність бетону в конструктивних елементах мосту за час експлуатації не зменшилася і відповідає проектним вимогам. Динамічні випробування мосту включали визначення спектру частот власних коливань трьохпрогонової статично невизначеної металевої нерозрізної однокоробчастої балки на чотирьох опорах як суцільної конструкції.



Однак, пошкодження прогонової будови мосту, які отримані внаслідок воєнних дій, і встановлені за вимогами [1÷3], не дозволяють використовувати еквіваленти навантажень попередніх випробувань 1990 року і унеможливають їх повне зіставлення [4]. Порівняння частот коливання при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань в 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням 4,1 %. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок воєнних дій, не привели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: візуальні обстеження, експлуатаційний стан, інструментальні обстеження, деформації, динамічні випробування, пішохідний міст, пошкодження, прогонова будова.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE PEDESTRIAN BRIDGE DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

ABSTRACT

The article presents the results of the technical condition assessment of the pedestrian bridge over the Desna River in Chernihiv, which was damaged as a result of military actions. The relevance of the work is due to the need for a comprehensive approach to assessing the technical condition of the bridge's structures and elements that have been damaged due to the impact of various munitions, and to justify decisions regarding its further safe operation. The study utilized visual and instrumental inspections, as well as dynamic testing of the bridge's spans. During the inspection, characteristic structures and elements that were damaged during military actions were identified. Based on a qualitative and quantitative assessment of defects and damages to structural elements caused by military actions, considering the worst indicators, the bridge's condition was determined as state 5 – inoperative. Measurements of the actual strength of the concrete of reinforced concrete elements were performed non-destructively using the ONYX 2.5 device. The survey found: the strength of the concrete of the beams of the spans is within 44.4–47.4 MPa, which corresponds to the concrete class C25/30–C30/35; the strength of the concrete of the supports is within 40.1–46.8 MPa, which corresponds to the concrete class C25/30–C30/35. The strength of the concrete in the structural elements of the bridge has not decreased over time and meets the design requirements. Dynamic testing of the bridge included determining the frequency spectrum of natural oscillations of a three-span statically indeterminate metal continuous single-box girder on four supports as a monolithic structure.

However, the damages to the bridge's span structure resulting from military actions, established according to requirements [1 to 3], do not allow the use of load equivalents from previous tests in 1990 and prevent their full comparison [4]. The comparison of oscillation frequencies when exciting the span structure with vertical thrusts with the frequencies of vertical oscillations obtained during the tests in 1990 showed a coincidence of their values with an average deviation of 4.1%. The damages that the structural elements of the bridge received as a result of military actions did not lead to significant changes in the dynamic characteristics of the metal span structure.

KEYWORDS: visual inspections, operational condition, instrumental inspections, deformations, dynamic testing, pedestrian bridge, damage, span structure.

ВСТУП

В результаті воєнних дій у 2022 році в м. Чернігів був пошкоджений пішохідний міст через р. Десна (далі – міст). На час проведення робіт з оцінки технічного стану міст експлуатувався за призначенням з обмеженням за вантажопідйомністю. Зокрема, по мосту дозволявся рух пішоходів за умови огороження зруйнованих частин мостового полотна і перильного огороження, а також при обмеженні одночасного перебування на мосту не більше 50 осіб. Також було дозволено рух велосипедистів і мотоциклетного транспорту вздовж половини ширини мостового полотна та поодиноких технологічних транспортних засобів вагою до 5 тонн зі швидкістю не більше ніж 5 км/год.

В роботі використані дані попередніх обстежень мосту, що проводилися у 1990 році Дніпропетровським інститутом залізничного транспорту [4] та у 2015 році приватним підприємством «Науково-виробнича фірма «Мостопроект» [5].

Актуальність роботи обумовлена значними пошкодженнями конструкцій мосту внаслідок воєнних дій і необхідністю оцінки впливу отриманих пошкоджень на його працездатність.

МЕТА РОБОТИ – обґрунтування рішень щодо подальшої експлуатації пошкодженого мосту, а саме:

- встановлення (обґрунтування) можливості відновлення мосту та подальшої безпечної його експлуатації;
- планування робіт з відновлення мосту;
- планування невідкладних протиаварійних робіт, консервації мосту;
- обґрунтування рішень щодо припинення експлуатації мосту, виконання робіт з демонтажу (ліквідації).



МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ – візуальні та інструментальні обстеження, динамічні випробування мосту.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОСТУ

Пішохідний міст через р. Десна розташований в парковій зоні м. Чернігів на продовженні І-ї Набережної вулиці правого берегу р. Десна з виходом на дорогу, що прокладена вздовж лівого берегу і в подальшому спрямована на перетин з автомобільною дорогою регіонального значення Р-67 Чернігів – Ніжин – Прилуки – Пирятин.

На рис. 1 наведений ситуаційний план розташування мосту.

Міст був побудований у 1991 році. Конструкція мосту комбінована, складається з двох нерозрізних систем: трьохпрогонової металеві нерозрізної однокоробчастої балки довжиною 242,1 м за схемою 52,8 м + 136,5 м + 52,8 м та однопрогонової залізобетонної довжиною 21,0 м, що в перетині складена трьома залізобетонними балками двотаврового перетину з попередньо напруженою арматурою. Проектні навантаження (за паспортом мосту в складі звіту [4]): натовп 400 кгс/м²; поодинокий автомобіль від технологічного транспорту вагою 13 тон. Довжина мосту – 270,59 м.

На рис. 2÷4 показаний загальний вигляд мосту.

Габарит мосту по ширині – Г-6. Прохід пішоходів і проїзд автомобільного транспорту по мосту організовано без виділення смуг руху, роздільні смуги і центральна роздільна смуга – відсутні. Покриття на мосту асфальтобетонне, товщиною 70÷130 мм.

Водовідвід організований за рахунок попереч-

ного і повздовжнього нахилу поверхні мостового полотна з періодичним розташуванням водоприймальних воронок і вертикальних випускних труб по обидві сторони мостового полотна. Відведення дощових вод – скидання в підмостовий простір.

Деформаційні шви та з'єднання з насипом виконано у вигляді деформаційних швів: на металевій частині мосту – металеві, ковзні, напівзакритого типу; на залізобетонній частині мосту – закритого типу.

Опорні частини різних конструкцій: на опорах №№ 1, 4 (металева прогонова будова) – рухливі, сергьові; на опорах №№ 2, 3 (металева прогонова будова) – стаканно-лінійні; на опорах №№ 4, 5 (залізобетонна прогонова будова) – гумово-металеві.

ВІЗУАЛЬНІ ОБСТЕЖЕННЯ

Під час візуального обстеження мосту визначались ділянки, які були пошкоджені під час воєнних дій, та здійснювалась фіксація дефектів та пошкоджень конструкцій мосту. При обстеженні конструкцій зверталась увага на наявність таких факторів:

- механічні пошкодження та руйнування несучих конструкцій внаслідок обстрілу;
- наявність тріщин та деформацій конструкцій, місця розташування пошкоджень і тріщин, ширина розкриття, довжина;
- локальне руйнування ділянок конструкцій механічним шляхом;
- наявність місць протікання, висолів, ураження грибокком;
- наявність слідів корозії елементів;



Рисунок 1 – Ситуаційний план розташування пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігів



Рисунки 2 ÷ 4 – Загальні види на пішохідний міст через р. Десна в м. Чернігів.
Вид на пошкодження мосту з лівого берега в бік центру міста



Рисунки 5 ÷ 6 – Пробиття бокового вертикального листа та поперечних ребер металевої балки мосту та бокового вертикального листа та ребер жорсткості металевої балки мосту



Рисунки 7 ÷ 8 – Пошкодження (пробиття) бокового вертикального листа та елементів поперечної рами жорсткості металевої балки мосту, а також бокового вертикального листа металевої балки мосту



- дефекти, що знижують несучу здатність конструкцій та довговічність експлуатації мосту;
- деформації від силових впливів та перевантаження конструкцій;
- технічний стан системи водовідведення;
- стан захисного покриття металевих конструкцій;
- стан захисного шару в залізобетонних конструкціях;
- ступінь пошкодження арматури і закладних деталей корозією;
- стан покриття мостового полотна та покриття на підходах до мосту.

Внаслідок влучання різних боєприпасів несучі конструкції та елементи мосту зазнали пошкоджень, що призвели до:

- руйнування мостового полотна прогонових будов та асфальтобетонного покриття проїзної частини від вибухів;
- наскрізного пробиття листів коробчастої металеві балки снарядами та вигинів і деформування її бокових листів;
- руйнування снарядами ортотропної плити та внутрішніх поперечних і повздовжніх

ребер жорсткості;

- руйнування поверхні оголовка опор уламками снарядів;
- руйнування вибухами снарядів бетонного покриття поверхні конусу.

Характерні пошкодження конструкцій наведені на рис. 5÷13.

За якісним і кількісним оцінюванням дефектів



Рисунок 9 – Деформація елементів металеві балки мосту внаслідок вибуху



Рисунки 10÷11 – Пробиття і деформування горизонтального та вертикального листів балки прогонової будови № 3-4



Рисунки 12÷13 – Пошкодження металеві перильного огороження, пробиття мостового полотна на прогонової будови № 3-4 та залізобетонного лицьовального блоку опори № 2



та пошкоджень конструктивних елементів, що отримані внаслідок воєнних дій, з урахуванням найгірших показників, стан мосту визначено як стан 5 – непрацездатний.

За результатами виконаних відповідно до вимог [2] розрахунків вантажопідйомності прогонових будов встановлено, що прогонова будова № 3-4 внаслідок отриманих пошкоджень зазнала втрати вантажопідйомності за згинальним моментом, яка склала 27,0 %. За зниженням вантажопідйомності прогонових будов міст знаходиться в стані 4 – обмежено працездатний.

За якісним і кількісним оцінюванням дефектів та пошкоджень стан опор і опорних частин мосту відповідно до вимог [2] визначається як стан 4 – обмежено працездатний.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ОБСТЕЖЕННЯ

Вимірювання значення фактичної міцності бетону залізобетонних елементів виконувалось неруйнівним методом за допомогою приладу ОНИКС 2.5. В результаті обстежень встановлено: міцність бетону балок прогонових будов знаходиться в межах $44,4 \div 47,4$ МПа, що відповідає класу бетону $C25/30 \div C30/35$ ($B30 \div B35$); міцність бетону опор знаходиться в межах $40,1 \div 46,8$ МПа, що відповідає класу бетону $C25/30 \div C30/35$ ($B30 \div B35$). Міцність бетону в конструктивних елементах мосту за час експлуатації не зменшилася і відповідає проектним вимогам.

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ МОСТУ

Оцінювання експлуатаційного стану мосту за результатами обстеження виконано відповідно до вимог [1, 2].

Вихідними даними для розрахунку є номери експлуатаційного стану груп конструктивних елементів мосту: проїзна частина – стан 5; прогонова будова – стан 5; опори та опорні частини – стан 4; фундаменти – стан 2; підмостове русло – стан 3; підходи – стан 3. Експлуатаційний стан мосту в цілому оцінено за формалізованою експертною оцінкою. Відповідно до результатів обстеження рейтинг мосту складає 38,4 бали. Згідно з [2], якщо отримане значення рейтингу менш ніж 39 балів, то міст знаходиться в стані 5 – непрацездатний.

ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МОСТУ

Динамічні випробування мосту є обов'язковою процедурою під час визначення технічного стану прогонових будов з розрахунковою довжиною прольоту 35 м і більше, а також для всіх мостів, які розташовані в районах із сейсмічністю 7 балів і більше та мають прогонові будови довжиною понад 18 м. Для інших конструкцій динамічні випробування проводять за потреби визначення впливу на них динамічного навантаження

чи визначення впливу коливань конструкції на комфортність руху (наприклад, пішоходів).

Динамічні випробування прогонів мосту виконувалось відповідно до [3]. За методами проведення випробувань та аналізування їхніх результатів розрізняють такі види експлуатаційних динамічних випробувань: модальне контролювання (аналізування вільних коливань); випробування рухомим навантаженням (аналізування вимушених коливань). Динамічні випробування прогонів мосту здійснювались методом модального контролювання (оскільки рух транспортних засобів, окрім технологічного з обмеженням швидкості, по мосту було заборонено) та включали такі етапи: підготовка до натурних випробувань; проведення натурних випробувань; порівняння результатів випробувань з розрахунками та складання висновку.

На етапі підготування динамічних випробувань мосту відповідно до вимог [3] було виявлено особливості його конструкції як динамічної системи. Конструкція мосту складається з двох нерозрізних систем, які можна виділити в окремі динамічні моделі: трьохпрогонова статично невизначена металева нерозрізна однокоробчаста балка на чотирьох опорах довжиною 242,1 м ($52,8$ м + $136,5$ м + $52,8$ м) (прогони №№ 1-2, 2-3 та 3-4) та однопрогонова залізобетонна частина на двох опорах довжиною 21,0 м (прогін № 4-5).

Динамічні випробування мосту включали визначення спектру частот (модальне контролювання) власних коливань трьохпрогонової статично невизначеної металевої нерозрізної однокоробчастої балки на чотирьох опорах (прогони №№ 1-2, 2-3 та 3-4) як суцільної конструкції з урахуванням внесків кожного з прогонів в загальні коливання. Визначення внеску окремих прогонів в загальні коливання прогонової будови оцінювалось зіставленням спектрів коливань в кожному з вказаних прогонів при ініціюванні коливань імпульсним навантаженням. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту, призвели до суттєвого зниження вантажопідйомності прогонових будов і не дозволяють відтворити умови динамічного навантаження, які було застосовано під час попередніх динамічних випробувань 1990 року [4].

За методикою [3] при динамічних випробуваннях мосту виконувались такі роботи:

- 1) визначення центральних точок поверхні мостового полотна кожного з прогонів (прогони № 1-2, № 2-3 та № 3-4) з похибкою 0,1 м;
- 2) закріплення в цих точках поверхні мостового полотна одновісного перетворювача прискорення з орієнтацією осі вимірювання з максимальним відхиленням від вертикальної осі 3° та підготовка обладнання фіксації сигналів коливання поверхні



мостового полотна прогону до запису;

- 3) розташування відносно перетворювача прискорення спеціальної групи з чотирьох пішоходів (фрагмент імітації натовпу), що створює навантаження, близьке до проектного 400 кгс/м^2 ;
- 4) фіксація сигналів коливання поверхні мостового полотна прогону;
- 5) ініціювання коливального імпульсу в прогоновій будові шляхом підстрибування з жорстким приземленням групи з чотирьох пішоходів (п. 3);
- 6) витримка часу для згасання коливань в прогоновій будові;
- 7) виконання п.п. 6, 7 для накопичення статистичних даних;
- 8) послідовне виконання п.п. 2-8 для прогонів № 2-3 та № 3-4;
- 9) обробка результатів вимірювань з визначенням частот власних коливань прогонових будов мосту.

За результатами динамічних випробувань отримані значення частот власних коливань прогонових будов металевої частини мосту, які складають для прогонів: № 1-2 – $42,33 \pm 0,868 \text{ Гц}$; № 2-3 – $26,682 \pm 0,37 \text{ Гц}$; № 3-4 – $41,448 \pm 0,267 \text{ Гц}$.

Пошкодження прогонової будови мосту, які отримані внаслідок воєнних дій, і встановлені за вимогами [1 ÷ 3] відповідні обмеження з вантажопідйомності прогонових будов не дозволяють використовувати еквіваленти навантажень попередніх випробувань 1990 року [4] та унеможливають їх повне зіставлення. Зіставлення частот коливання за виконаними випробуваннями, що встановлені при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами, з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань в 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням 4,088 %. Найбільша розбіжність має місце для третьої моди коливань і складає 28,57 %.

Найменше значення частоти власних коливань, яке має прогонова будова, притаманне прогону № 2-3 і складає $26,682 \pm 0,37 \text{ Гц}$, що значно вище межі утворення резонансних явищ для пішохідних мостів. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок воєнних дій, не призвели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови.

ВИСНОВКИ

1. За результатами обстеження встановлено, що пішохідний міст через р. Десна в м. Чернігів отримав дефекти та пошкодження від воєнних дій. За якісним і кількісним оцінюванням дефектів та пошкоджень конструктивних елементів, що отримані внаслідок влучання різних боєприпасів, та з урахуванням найгірших

показників стан мосту визначається як стан 5 – неприцездатний.

2. За результатами виконаних відповідно до вимог [2] розрахунків вантажопідйомності прогонових будов встановлено, що прогонова будова № 3-4 внаслідок пошкоджень, що отримані внаслідок бойових дій, зазнала втрати вантажопідйомності за згинальним моментом, яка складає 27,0 %. За зниженням вантажопідйомності прогонових будов міст знаходиться в стані 4 – обмежено причездатний.
3. За результатами обстеження рейтинг мосту складає 38,4 балів, що менше ніж 39 балів. Відповідно рейтингу згідно до вимог [2], міст знаходиться в стані 5 – неприцездатний.
4. За узагальненням експлуатаційних показників експлуатаційний стан мосту, який отримав пошкодження внаслідок воєнних дій, визначається як стан 5 – неприцездатний.
5. Пошкодження прогонової будови мосту, які отримані внаслідок воєнних дій і встановлені за вимогами [1 ÷ 3], не дозволяють використовувати еквіваленти навантажень попередніх випробувань 1990 року і унеможливають їх повне зіставлення з даними попередніх випробувань [4]. Порівняння частот коливання при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань у 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням 4,1 %. Найбільша розбіжність має місце для третьої моди коливань і складає 28,6 %. Найменше значення частоти власних коливань притаманне прогону № 2-3 і складає $26,682 \pm 0,37 \text{ Гц}$, що значно вище межі утворення резонансних явищ для пішохідних мостів. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок воєнних дій, не призвели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови.
6. До виконання робіт з відновлення мосту рекомендується вести спостереження за станом пошкоджених елементів конструкції мосту з інтервалом 10 діб, встановити тимчасові огородження для заборони доступу до зруйнованих поверхонь мостового полотна і зруйнованих ділянок перильного огородження. Особливу увагу слід приділити постійному контролю за неприпустимістю накопичення зливових і талих вод у внутрішніх об'ємах металевої мостової балки та улаштуванню додаткових дренажних отворів.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-6:2009 Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023.
3. ДСТУ 8748:2017 Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
4. Исследование статической и динамической работы пешеходного моста через реку Десна в г. Чернигов / Отчёт № 635 по теме № 11.15.89.90 / – Днепропетровск: ДИИТ, 1990. – 58 с.
5. Спеціальне обстеження пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігові / Звіт / – К.: ПП «Науково-виробнича фірма «Мостопроект», 2015. – 41 с. (Паспорт мосту у складі звіту).

REFERENCES

1. DBN V.2.3-6:2009 «Bridges and pipes. Examination and testing».
2. DSTU 9181:2022 «Instructions for evaluating and predicting the technical condition of road bridges».
3. DSTU 8748:2017 «Instructions for conducting dynamic tests of highway bridges».
4. Investigation of the static and dynamic work of the pedestrian bridge over the Desna River in Chernigov / Report No. 635 on topic No. 11.15.89.90 / — Dnipropetrovsk: DYYT, 1990.
5. Special survey of the pedestrian bridge across the Desna River in Chernihiv / Report / – K.: PP "Science and Production Firma «Mostoproekt», 2015. – 41 p. (Passport of the bridge is part of the report).

Стаття надійшла до редакції 15.01.2024 року