

## ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ВУЗЛОВИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ СПОРУД

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У науковій роботі розглянуто основні методи підвищення міцності вузлових з'єднань елементів мостів на основі досліджень, що проводяться задля вдосконалення конструкцій, забезпечення безпечної та тривалої експлуатації споруд критичної інфраструктури. Проаналізовано вплив різноманітних навантажень на мостові конструкції, включаючи ненормований від вибухової хвилі, підбір сучасних та екологічних матеріалів для будівництва мостових споруд. Описано методи щодо підвищення міцності вузлових з'єднань мостових споруд, а також методи моніторингу стану споруди і вчасного виявлення проблем. На конкретному прикладі доведено прямий зв'язок сейсмостійкості мостових споруд з підсиленими вузловими з'єднаннями та їх здатності опиратися вибуховій хвилі.*

**Ключові слова:** міст, пролітна будова, мостова опора, вузлові з'єднання, ригель, напружено-деформований стан.

### *Abstract*

*In the scientific work have been considered the main methods of increasing the strength of connectors of bridge elements which are carried out to improve structures, ensure safe and long-term operation of critical infrastructure facilities. Have been analyzed the influence of various types of loads on bridge structures, including non-normalized from the blast wave, the selection of modern and ecological materials for the construction of bridge structures. Have been described methods for increasing the strength of nodal connections of bridge structures, as well as methods for monitoring the condition of the structure and timely detection of problems. Have been proved a direct connection between the seismic resistance of bridge structures with reinforced nodal joints and their ability to withstand a blast wave on specific example.*

**Key words:** bridge, superstructure, bridge support, nodal connections, crossbar, stress-strain state.

### **Вступ**

В умовах воєнного стану, запровадженого у нашій державі, особливе значення має критична транспортна інфраструктура. На сьогодні використання морських портів обмежене, а авіаційне сполучення повністю паралізоване. Тому залізницею та автодорогами здійснюється лівова частка перевалки вантажів та переміщення людських ресурсів [1, 2]. На даний час використовують навіть другорядні дорожні системи (дороги регіонального значення) для перевезення вантажів різного призначення. Тому такі дорожні системи в Україні отримали важливе стратегічне значення.

Основним елементом кожної автомобільної магістралі є мостові споруди. Мости за конструктивним рішенням, за протяжністю прольотів, матеріалом несучих конструкцій та за інтенсивністю транспортного руху вирізняються у нашій країні широкою різноманітністю [2, 3 – 5].

Значна частка вітчизняної транспортної системи за тривалий час існування втратила експлуатаційну надійність, стала менш безпечною для пересування автомобілів, що призводило до великої кількості аварій та травматизму. Крім того, автомобільні дороги минулого вже не відповідають вимогам сучасних норм з вантажопідйомності та пропускної здатності. Тому нещодавно розпочалася активна робота з модернізації застарілої автодорожньої системи за перспективною програмою Президента України «Велике будівництво». Ця програма стимулювала економічне зростання країни, оскільки модернізація доріг сприяла підвищенню рівня безпеки пересування; розвитку торгівлі та бізнесу, забезпечуючи ефективну транспортну інфраструктуру для підприємств; створенню робочих місць та підтримці розвитку регіонів. Також вона заохотила до співучасті чимало іноземних інвесторів.

### **Основна частина**

Мости – складні, вартісні споруди, термін використання яких зазвичай досягає ста й більше років. У процесі експлуатації вони пошкоджуються; унаслідок збільшення експлуатаційного

навантаження на окремі елементи споруд через об'єктивні процеси інтенсифікації логістики. Іноді зміна умов експлуатації дороги призводить до необхідності збільшити габарити мостів та підвищити їх міцність, тому експлуатовані інженерні споруди потребують періодичних ремонтів, посилення та реконструкції [3 – 5].

Відомо, що в Україні переважна більшість автомобільних доріг була збудована в 50-70 рр. ХХ сторіччя, пережила серію модернізацій, та, з цього часу, фактично, не піддавалася суттєвим змінам, окрім локальних ремонтів дорожнього покриття. Так за даними експлуатаційних організацій (облавтодорів) 46% мостів на дорогах загального користування та 72% комунальних мостів не задовольняють вимоги нормативних документів [2].

У довоєнні часи в Україні мости сприймали навантаження лише від автомобільного транспорту та пішоходів, проте, під час воєнного стану, до мостів та мостових споруд постає набагато більше завдань, таких як:

- Забезпечення надлишкової міцності, через те, що мости можуть бути піддані руйнівним нападам. Тому, природньо, що мости в умовах воєнних дій мають витримувати наслідки вибухів та ураження іншим озброєнням.
- Сприймання навантаження великої інтенсивності, адже існує потреба у транспортування важкої військової техніки та військового обладнання через різноманітні перешкоди.
- Можливість швидкого відновлення експлуатаційних якостей, навіть у випадку пошкодження.

Основним фактором, що впливає на надійність і безпеку мостових споруд є міцність вузлових з'єднань основних конструктивних елементів мостів. Вузлові з'єднання забезпечують з'єднання між різними елементами мосту, такими як опори, прогони, балки тощо. Тому мостові вузли повинні витримувати значні навантаження, а також навантаження від руху транспорту, снігу, вітру та землетрусів. Існують конкретні приклади заходів для підвищення міцності і жорсткості вузлових з'єднань мостових споруд:

- Замість звичайної сталі у вузлах металевих і сталобетонних мостів можна використовувати високоміцну сталь, оскільки вона має набагато вищу міцність на розрив й вигин.
- Болтові з'єднання на звичайних болтах можна замінити високоміцними болтами, адже вони забезпечують додаткове з'єднання, а також, встановити додаткові кріпильні елементи.
- Замість болтових кріплень доцільно використовувати клейово-болтові з'єднання або хімічне анкерування, як більш жорстке.
- Для виготовлення вузлових з'єднань слід використовувати якісні матеріали і технології, які відповідають вимогам проекту.

Використовуючи досвід американських та ізраїльських проектувальників, пропонується проектувати та будувати мостові споруди сейсмостійкими, навіть у районах без підвищеної сейсмічної активності, адже їх здатність чинити опір нападам, вибухам, терористичним актам та іншим навантаженням, набагато вища, аніж у звичайних мостів. Прикладом цього є, те що американські проектувальники та будівельники у штаті Каліфорнія будують сейсмостійкі мости й мостові споруди через високий рівень сейсмічної активності в регіоні (рис. 1).



Рис. 1. Арковий міст Сан-Габріель, м. Лос-Анджелес, штат Каліфорнія, США

Каліфорнія розташована у зоні де відбуваються активні тектонічні рухи, і землетруси можуть бути дуже сильними і небезпечними. Сейсмостійкі мости побудовані з використанням спеціальних

інженерних рішень та матеріалів, які є гнучкими і стійкими до деформації. Зазвичай такі мости мають більш широкі опори, що можуть витримати більші сили та краще розділити навантаження; дані мости будують із гнучких конструкцій і це дає змогу витримати коливання під час землетрусу; також практикують будівництво мостів із частинами, які рухаються під час землетрусу, цим ж запобігаючи руйнуванням. Звісно, будівництво сейсмостійких мостів є набагато дорожче, аніж звичайних мостів, але є життєво необхідним заходом для захисту населення і інфраструктури Каліфорнії.

Наведемо приклад прямого взаємозв'язку надлишкової міцності вузлових з'єднань для забезпечення сейсмостійкості та здатності мосту опиратися вибуховій хвилі. Розглянемо для порівняння Антонівський міст, що з'єднує місто Херсон з лівобережжям (рис. 1) та Кримський (Керченський) міст (рис. 2).



Рис. 2. Антонівський міст



Рис. 3. Кримський міст

Кримський міст на переважній протяжності побудований за класичною балковою технологією зі сталевим каркасом із вузловими конструкціями пролітної будови без особливих посилень. Антонівський міст є залізобетонною спорудою, пролітна будова, якого конструктивно являє собою багатопролітну нерозрізну коробчасту балку із потужними посиленними вузловими з'єднаннями елементів. Після початку бойових дій обидва мости зазнали потужних ракетно-дронних ударів з принципово різними наслідками. Кримський міст декілька разів піддався атакам та кожного разу був частково зруйнований через вплив вибухові хвилі. Антонівський міст сприйняв на себе близько 40 прямих ракетних влучань та не був остаточно зруйнований, аж до моменту масштабний підриву вибухівкою. Таким чином стає зрозуміло, що Кримський міст є великою але вразливою спорудою із конструкцією, яку легко зруйнувати, водночас і легко відновити. Антонівський міст відновити буде вкрай складно, але подібні конструкції більш стійкі до нападів з використанням ракетного озброєння.

#### Висновки

При виконанні цієї узагальнюючої науково-дослідної роботи розглянуто основні методи підвищення міцності вузлових з'єднань та мостових споруд. Розглянуто основні фактори, як впливають на міцність та стійкість мостових споруд. Доведено, що у довоєнні часи в Україні мости сприймали менш інтенсивні навантаження, аніж у теперішній час воєнного стану. Тому потрібно використовувати сучасні та надійні методи підвищення міцності мостових споруд, а при зведенні нових мостів потрібно враховувати усі фактори, що відповідають вимогам та викликам нашого часу.

Виходячи із досвіду проектування і проти вибухових заходів ізраїльських та американських спеціалістів, було запропоновано, при розробці та проектуванні мостів враховувати сейсмічну складову і ризики, навіть коли вони відсутні. Внаслідок цього, такі мости та мостові споруди будуть не лише сейсмічно стійкими, а й вибухо стійкими.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov VOLODYMYR, Voitshivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. Попов В.О. Загальні тенденції реконструкції балочних мостових споруд Вінницької області [Електронний ресурс] / В.О. Попов // Тези доповіді на Міжнародній науково-технічній конференції: «Інноваційні технології в будівництві-2022» (м. Вінниця, 23-25.11.2022) – Електрон. текст. дані. – 2022. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16717>

3. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування [На заміну ДБН В.2.3-14:2006]. [Чинний від 2009-11-11] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. (Національні стандарти України).
4. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи - (Чинні від 2010-03-01).- К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 66 с.- (Державні будівельні норми України).
5. ДБН В.2.3-26:2010. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування [На заміну ДБН В.2.3-14:2006, гл. 6] / [Чинний від 2011-10-01] – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. (Національні стандарти України).

**Попов Володимир Олексійович** — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: [v.a.popov.vntu@gmail.com](mailto:v.a.popov.vntu@gmail.com) ORCID 0000-0003-2379-7764

**Кисляк Аліна Віталіївна** – студентка факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, email: [kysliakalinavitalievna@gmail.com](mailto:kysliakalinavitalievna@gmail.com). ORCID 0009-0004-4671-8525

**Popov Volodymyr O.** — Ph.D. Docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, Ukraine, email: [v.a.popov.vntu@gmail.com](mailto:v.a.popov.vntu@gmail.com). ORCID 0000-0003-2379-7764

**Kyslyak Alina Vitaliyivna** – student of Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, Ukraine, email: [kysliakalinavitalievna@gmail.com](mailto:kysliakalinavitalievna@gmail.com). ORCID 0009-0004-4671-8525