

Міністерство освіти і науки України
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»

Український державний університет
науки і технологій



МАТЕРІАЛИ

VIII Міжнародної науково-практичної конференції

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

м. Дніпро, 19-20 жовтня 2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНУ «ІНСТИТУТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗМІСТУ ОСВІТИ»

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

**«МОСТИ ТА ТУНЕЛІ:
ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА»**

**МАТЕРІАЛИ
VІІІ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

19.10.2022–20.10.2022

Дніпро – 2022

Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика [Текст] : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 19-20 жовтня 2022 р. / за заг. ред. О. Л. Тютькіна. Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро, 2022. – 50 с.

У збірнику тез доповідей розглянуто рішення питань відновлення транспортної інфраструктури, зруйнованої під час війни РФ проти України, теорії, проектування і будівництва мостових переходів, будівництва транспортних тунелів і підземних споруд, вирішення проблеми утримання і експлуатації інженерних споруд та розрахунку основ і фундаментів для будівництва інженерних споруд на транспорті. Матеріали подано в рамках VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», яку проведено 19-20 жовтня 2022 р. в Українському державному університеті науки і технологій (УДУНТ).

Збірник тез доповідей рекомендовано для наукових та інженерно-технічних працівників будівельної та залізничної галузей, викладачів, докторантів, аспірантів та студентів закладів освіти, які провадять підготовку фахівців у транспортній галузі.

© Всі права авторів застережені, 2022
© Укр. держ. ун-т науки і технологій,
оригінал-макет, 2022

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАСАД ЕКОЛОГІЧНОГО БУДІВНИЦТВА Пастухова С. В., Арутюнян І. А.	35
РЕЗУЛЬТАТИ ЛОТКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПІДСИЛЕНОГО МІКРОПАЛЕЮ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ Петренко В. Д., Андрєєв В. С., Харченко В. В.	36
АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙ В ТУНЕЛЯХ І МЕТРОПОЛІТЕНАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ Петренко В. Д., Бондаренко Н. К., Мірошник В. А.	38
СТАЦІОНАРНІ КОЛИВАННЯ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ВІД ДІЇ ПЕРІОДИЧНИХ ОДНОСТОРОННІХ ІМПУЛЬСІВ Попович М. М., Ключник С. В.	40
ПИТАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ МОСТОВИХ АРКОВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ІЗ ТРУБОБЕТОНУ Співак Д. С.	41
ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОБСТЕЖЕННЯ СПОРУД Трикоз Л. В., Зінченко О. С.	43
ПРОЄКТУВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА НОРМАМИ ЄВРОКОДІВ Тютюкін О. Л., Дубінчик О. І., Кільдєєв В. Р.	46
АНАЛІЗ ЗМІНИ КОНЦЕПЦІЇ СПОРУДЖЕННЯ ПЛОННОЇ СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ В СКЕЛЬНИХ ПОРОДАХ Тютюкін О. Л., Федоров К. Є.	48

нику, а міцність та жорсткість всієї колони було менше, ніж в аналога з порожнистої сталеві труби.

Руйнування будь-яких в'язів між поясами фермової арки значно знижують граничне навантаження на саму арку. Крім того, зварне з'єднання в'язів із поясами зазвичай визначає втомну довговічність, що також має вирішальне значення при будівництві та контролі якості. Швидкість деформації поясів арки розвивається, якщо текучість відбувається у четверті прогону. Це вказує на те, що текучість трубчастих елементів є основною причиною відмови трубобетонної арки. Зі статистики відомо, у 90 зі 100 випадків втомного пошкодження сталі у композитних мостах, деформації були викликані через невраховані взаємодії між несучими елементами мосту. Такі захворювання особливо характерні для мостів із великими прогонами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jielian Zheng, Jianjun Wang Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridges in China [Текст]. Engineering, 2018. – Vol. 4. – Issue 1. – P. 143-155. Доступ: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.003>
2. Wei Huang, Minshan Pei, Xiaodong Liu, Ya Wei Design and construction of super-long span bridges in China: Review and future perspectives [Текст]. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 2020. – Vol. 14. – P. 803-838. Доступ: <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0644-1>
3. Jiang Liu, Yongjian Liu, Chenyu Zhang, Qihong Zhao, Yi Lyu, Lei Jiang A review of temperature action and effect of concrete-filled steel tubular bridges [Текст]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2020. – Vol. 7. – Issue 2. – P. 174-191. Доступ: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.03.001>
4. Jing Gao, Jiazhan Su, Yong Xia, Baochun Chen Experimental study of concrete-filled steel tubular arches with corrugated steel webs [Текст]. Advanced Steel Construction, 2013. – Vol. 10. – P. 99-115. Доступ: <https://doi.org/10.18057/ijasc.2014.10.1.7>
5. Jianling Hou, Weibing Xu, Yanjiang Chen, Kaida Zhang, Hang Sun, Yan Li. (2020). Typical diseases of a long-span concrete-filled steel tubular arch bridge and their effects on vehicle-induced dynamic response [Текст]. Frontiers of Structural and Civil Engineering. – Vol. 14. – P. 867-887. Доступ: <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0649-9>

ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОБСТЕЖЕННЯ СПОРУД

Трикоз Л. В., Зінченко О. С.

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

Liudmyla Trykoz, Oleksii Zinchenko. Overview of the modern methods of bridge monitoring.

Abstract. Deterioration of bridges requires effective methods of assessing their condition and maintenance. Proper design, timely structural health monitoring, and maintenance are essential. It is considered the application of modern technical means such as ground penetrating radar, multi-spectral images, terrestrial laser scanning, infrared thermography, non-contact sensors, and unmanned aerial vehicles. The advantages and disadvantages have been studied.

Зношення споруд потребує ефективних методів оцінки їх стану та обслуговування. Оскільки існує зростаюча залежність суспільства від таких інфраструктурних систем як мости, важливе значення мають належне проектування, своєчасний моніторинг та обслуговування. Часто незадовільний огляд та моніторинг призводять до виявлення пошкоджень лише у критичному стані, коли вартість ремонту стає порівняною із вартістю заміни. Для оцінки ступеня пошкодження та якнайшвидшого відновлення суттєво потрібна інформація про поточний та попередній «стан здоров'я» конструкції. Отже, існує потреба у постійному моніторингу справності конструкції. Основна інформація отримується шля-

хом візуального огляду, серед недоліків якого можна відмітити суб'єктивність, великі витрати часу, невеликий об'єм інформації, необхідність спеціалізованого устаткування, закриття дороги. З цієї точки зору застосування автоматичних методів для візуальної оцінки стану мостів має значні переваги. Розглянемо, що пропонує сучасний розвиток технічних засобів для моніторингу.

У випадку, якщо геометрія конструкції складна, а властивості матеріалу невідомі і не можуть бути оцінені безпосередньо, у роботі [1] пропонується мультидисциплінарний підхід, що поєднує лазерне сканування, георадар та аналіз методом кінцевих елементів. Складну геометрію конструкції можна отримувати із хмари точок з використанням даних, зібраних лазерним сканером. Оскільки внутрішня конструкція мосту недостатньо відома, в геометричній зйомці використовуються георадарні методи з метою оцінки його однорідності чи неоднорідності. Отримана інформація використовується для правильного визначення структурної моделі на основі кінцевих елементів, яка використовується для моделювання поведінки конструкції моста. Така методологія є дуже важливою у випадках, коли документація відсутня, а методи руйнівного контролю не можуть бути застосовані.

Для контролю стану безпеки конструкцій дуже важливо планувати ремонтні заходи, що дозволяє мінімізувати супутні витрати. У статті [2] досліджено можливості використання мультиспектральних зображень з дуже високою просторовою роздільною здатністю для виявлення, аналізу та вимірювання ділянок з біологічними колоніями, плямами та/або ремонтними матеріалами на відкритих бетонних поверхнях. Автори застосували мультиспектральний аналіз зображень бетонних поверхонь для класифікації зображень поверхні відкритих бетонних будівель, де раніше під час візуального огляду були виявлені біологічні колонії, відкриті заповнювачі, ремонтні розчини та тріщини. Картування поверхні та статистичні результати автоматично отримуються та зберігаються у цифровому форматі, що може бути корисно при роботі з великими відкритими бетонними площами.

Точна оцінка стану безпеки бетонних мостів надзвичайно важлива для визначення стратегій обслуговування та оптимізації ремонтів. У цьому плані виявлення тріщин та їх характеристика грають особливо значну роль. У статті [3] пропонується новий метод для автоматичної оцінки тріщин у бетонних мостах, заснований на поєднанні технології обробки зображень та наземного лазерного сканування. Наземна фотозйомка вимагає доступу для позиціонування фотостанцій та вичерпного огляду конструкції, що передбачає використання різних фокусних відстаней для досягнення необхідної роздільної здатності. Лазерне сканування виявилось придатним для дослідження геометрії конструкцій та побудови 3D-моделей, включаючи інформацію про контрольні точки, необхідну для визначення характеристик тріщин. Однак процедура, застосована на виявленні несучих частин, тільки за допомогою наземного лазерного сканування, виявилася неефективною для оцінки тріщин у стіні устою. Через знижену роздільну здатність лазера процедура не могла ідентифікувати відповідні неоднорідності, оскільки лазерні промені не проникають у тріщини, які не можуть бути ідентифіковані. Навпаки, глобальна обробка ортотрансформованих зображень дозволила ідентифікувати тріщину в області, що аналізується. За допомогою цієї комбінації надійних та точних методів можна отримати та записати загальну картину розтріскування. Локальний аналіз виявлених тріщин дозволяє виміряти їх ширину, довжину та орієнтацію. Ці особливості показують, що запропонований метод може бути важливою підмогою для визначення та оптимізації робіт з технічного обслуговування бетонних мостів.

Волога в будівельних матеріалах та компонентах є ключовим аспектом, який необхідно враховувати при оцінці експлуатаційних характеристик будівель, оскільки вона може впливати на їхню довговічність та механічну стійкість, тепловий комфорт та якість повітря в приміщенні, а також енергоефективність будівель. Тому вивчення явищ зволоження має велике значення. Наявність вологи у будівельних матеріалах/компонентах пов'язана з коливаннями температури. Температуру поверхні об'єкта можна виміряти за допомогою інфрачервоної термографії – неруйнівної технології для оцінки стану споруд [4]. Зазвичай ділянки, які мають підвищену вологість, мають і нижчу температуру, що позначається на

термограмах холодним синім кольором. Однак, зниження температури може відбуватися як за рахунок зволоження всередині матеріалу, яке не видно зовні, так і за рахунок теплообміну з оточуючим середовищем. Тому ефект охолодження через присутність води необхідно відокремити від охолодження через пристосування температури поверхні до температури навколишнього середовища за допомогою числового моделювання. Кореляція результатів із властивостями матеріалу дуже важлива для правильного розуміння можливостей використання інфрачервоної термографії для оцінки вологості. Отже, необхідно розробити спосіб моделювання цих явищ, щоб пов'язати зниження температури поверхні саме з випаровуванням вологи, а не з коливанням температур.

Велика увага приділяється використанню сучасних датчиків та безконтактних сенсорів. Польові випробування мосту в дослідженні [5] продемонстрували можливість використання безконтактного лазерного віброметра як альтернативу сенсорним методам моніторингу мосту. Лазерний віброметр був розміщений під мостом без переривання руху на самому мості та проїжджій частині під ним без необхідності прямого доступу до мосту.

Моніторинг стану конструкції є важливою темою для спільноти проектувальників мостів. Швидкий розвиток технологій спростило встановлення вбудованих систем моніторингу мостів. Отримавши кількісні дані, можна буде розробити інтелектуальні конструкції із системами моніторингу, які зможуть доповнити методи суб'єктивного та періодичного візуального огляду, які нині використовуються як основний засіб оцінки стану мостів. У роботі [6] шість балок три пролітного мосту із попередньо напруженого бетону було побудовано з використанням оптичних волокон, залитих у бетон на заводі збірних залізобетонних виробів, що дозволило проводити вимірювання розподіленої деформації за довжиною попередньо напружених балок. Волоконно-оптичні кабелі входять в один кінець балки і проходять вздовж нижніх напружених шарів, підіймаються вгору в кінці кожної балки, а потім повертаються по верхніх напружених шарах бетону, таким чином замикаючи петлю волокна в балці. Результати дозволили дослідити різні явища, включаючи відшарування попередньо напружених елементів, початкове пружне укорочення, повзучість і усадку бетону, а також вплив температури. Мережі бездротових датчиків розробляються як більш дешеве та гнучке альтернативне рішення розгортанню провідних мереж. Кожен датчик повністю автономний і передає показання бездротового зв'язку на приймач і реєстратор даних, розташований десь на конструкції або поряд з нею. Відсутність кабелів означає, що бездротові системи набагато простіше переконфігурувати, ніж дротові, що є ключовою перевагою. Для встановлення датчиків на мосту для збору необхідних даних у [7] використовували повітряні маніпулятори, що усувало необхідність перекриття дороги. Для цього автори запропонували двоетапний підхід: безпілотний літальний апарат, що оснащений балоном під тиском, розпорошує перший компонент клею на цільову область; після цього другий повітряний маніпулятор визначає точне розташування області розпилення і встановлює необхідний датчик, покритий другим компонентом клею.

Таким чином, сучасний розвиток технічних засобів обстеження дозволяє отримувати більші обсяги об'єктивної інформації з меншими затратами часу, що підвищить якість робіт з обстеження мостів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lubowiecka, I. Historic bridge modelling using scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics [Текст] / I. Lubowiecka, J. Armesto, P. Arias, H. Lorenzo // *Engineering Structures*, 2009. – Vol. 31. – P. 2667-2676.
2. Valença, J. Damage assessment on concrete surfaces using multi-spectral image analysis [Текст] / J. Valença, L. M. S. Gonçalves, E. Júlio // *Construction and Building Materials*, 2013. – Vol. 40. – P. 971-981.
3. Valença, J. Assessment of cracks on concrete bridges using image processing supported by laser scanning survey [Текст] / J. Valença, I. Puente, E. Júlio, H. González-Jorge, P. Arias-Sánchez // *Construction and Building Materials*, 2017. – Vol. 146. – P. 668-678.

4. Barreira, E. Assessing the humidification process of lightweight concrete specimens through infrared thermography [Текст] / E. Barreira, R. Almeida, J. Ferreira // Energy Procedia, 2017. – Vol. 132. – P. 213-218.
5. Abedin, M. Health monitoring of steel box girder bridges using non-contact sensors [Текст] / M. Abedin, A. B. Mehrabi // Structures, 2021. – Vol. 34. – P. 4012-4024.
6. Vardanega, P. J. Bridge monitoring. Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation, and Maintenance (Second Edition) [Текст] / P. J. Vardanega, G. T. Webb, P. R. A. Fidler, F. Huseynov, K. K. G. K. D. Kariyawasam, C. R. Middleton // Butterworth-Heinemann, 2022. – P. 893-932.
7. Ivanovic, A. Towards Autonomous Bridge Inspection: Sensor Mounting Using Aerial Manipulators [Текст] / A. Ivanovic, L. Markovic, M. Car, I. Duvnjak, M. Orsag // Applied sciences, 2021. – Vol. 11. – P. 8279.

ПРОЄКТУВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА НОРМАМИ ЄВРОКОДІВ

Тютюкін О. Л., Дубінчик О. І., Кільдєєв В. Р.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

Oleksii Tiutkin, Olga Dubinchyk, Vitalii Kildieiev. Design of pile foundations according to Eurocodes.

Abstract. The Eurocodes are a set of structural design standards developed by the European Committee for Standardization to cover the subject of structural design. Eurocodes, together with Eurostandards, are a closed apparatus for managing the reliability and monitoring the durability of buildings and structures, corresponding to the national system. Eurocode 7 Part 1 deals with the principles of geotechnical design. These principles relate to the calculation of geotechnical operations in relation to structural elements interacting with the soil: foundations, piles.

Єврокоди – це норми з проєктування будівель, мостів та інших споруд цивільного будівництва. В їх основі лежить теорія проєктування за граничними станами і метод часткових коефіцієнтів.

Проєктування пальових фундаментів виконується за ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7 Геотехнічне проєктування Частина 1 Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT) [1], розділ 7 та ДСТУ-Н Б В. 1.2-13:2008 Настанова Основи проєктування конструкцій (EN 1990:2002, IDN) [2]. Єврокод 7 містить вимоги щодо міцності, стійкості, експлуатаційної надійності і довговічності конструкції. Настанова розглядає принципи і вимоги безпеки і експлуатаційної надійності, описує основи проєктування і перевірки.

Положення Розділу 7 EN 1997-1 застосовуються при проєктуванні паль-стійок, висячих паль, висмикуваних паль і горизонтально навантажених паль, що встановлюються забиванням, вдавлуванням, загвинчуванням або бурінням з ін'єктуванням і без нього.

Положення Єврокоду 7, як і всіх інших Єврокодів, поділяються на принципи (P) та правила. Принципи – це безальтернативні вимоги, які мають бути виконані в проєкті (наприклад, осідання повинно бути менше допустимого значення), правила – це набір загально-визнаних методів, які задовольняють і не суперечать принципам. Проєктувальник має право обирати будь-які методи розрахунку, але несе відповідальність за надійність конструкції, тому зазвичай використовуються методи наведені в Єврокоді 7.

При проєктуванні пальових фундаментів слід керуватися загальними принципами, покладеними в основу EN 1990:2002. Конструкції слід проєктувати та виготовляти таким чином, щоб вони протягом передбаченого терміну експлуатації з необхідним рівнем надійності сприймали всі впливи, які можуть з'явитися у процесі зведення та експлуатації і залишалися придатними для зазначеного терміну експлуатації за призначенням.

Для кожної геотехнічної проєктної ситуації слід перевірити, чи не буде перевищено жоден із можливих граничних станів визначених EN 1990:2002. Граничні стани можуть виникнути в ґрунтовій основі або в споруді, а також спільно в основі та споруді.