

УДК 624.21

Каськів В. І.¹, канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>**Редченко В. П.²**, д-р. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5938-1467>**Завгородній С. С.¹**, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>¹Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна²Приватне спеціалізоване підприємство «Мост-сервіс» (ПСП «Мост-сервіс»), м. Дніпро, Україна

ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ МОСТОВИХ СПОРУД В УКРАЇНІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА НАЦІОНАЛЬНІ ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація

Вступ. Автодорожні мости є важливим елементом транспортної інфраструктури будь-якої країни, і Україна не є винятком. Їхня безпечна експлуатація має критичне значення для забезпечення сталого функціонування логістичних шляхів і економічного розвитку регіонів. Однак, внаслідок збільшення транспортних потоків, руху перевантажених і наднормових транспортних засобів, впливу природних чинників і невчасних ремонтів, відсутності якісного експлуатаційного утримання, значна частина мостів в Україні перебуває у незадовільному технічному стані. Відповідно, необхідно вживати заходів для своєчасного діагностування їхнього технічного стану та запобігання можливим аваріям. У цьому контексті автоматизовані системи моніторингу технічного стану (АСМТС) мостів є ефективним інструментом для забезпечення безперебійної роботи таких споруд.

Проблематика. На автомобільних дорогах загального користування державного значення України нараховується понад 16 тисяч мостів, більше половини з яких не відповідають сучасним нормам і стандартам щодо габаритів і вантажопідйомності. Особливо гостро постає проблема мостів, що експлуатуються понад 40 років, оскільки вони мають підвищену схильність до аварійних ситуацій. Через відсутність систематичного моніторингу та контролю технічного стану таких споруд, існує загроза їхнього руйнування. У світовій практиці для запобігання подібним ситуаціям активно використовують автоматизовані системи моніторингу. В Україні необхідність впровадження таких систем стає все більш актуальною в умовах підвищених вимог до безпеки інфраструктури.

Мета. Метою дослідження є аналіз світового досвіду впровадження АСМТС на автодорожніх мостах і розроблення рекомендацій для їх адаптації та впровадження в Україні з урахуванням національних особливостей. У дослідженні також розглядаються нормативно-правові аспекти та методичні підходи до організації систем моніторингу для забезпечення безпеки й ефективності експлуатації мостових споруд.

Матеріали та методи. Дослідження базується на аналізі літературних джерел і нормативно-правової бази з питань моніторингу технічного стану мостів. Були використані методи аналізу сучасних технологій моніторингу, таких як сенсорні мережі, фотограмметрія, бездротові сенсори, Інтернет речей (IoT), а також методи багатофакторного аналізу ризиків. Крім того, було проаналізовано міжнародний досвід впровадження централізованих систем моніторингу та їхню ефективність щодо запобігання аварійним ситуаціям.

Результати. Світовий досвід впровадження АСМТС показав значне зниження ризиків аварій і витрат на обслуговування мостів завдяки своєчасній діагностиці потенційних проблем. Автоматизовані системи дозволяють безперервно отримувати дані про технічний стан мостів, що забезпечує можливість прийняття обґрунтованих рішень щодо їхнього експлуатаційного утримання та ремонту. У статті також розглянуто нормативно-правове регулювання моніторингу в Україні, зокрема нові методичні рекомендації щодо проєктування та впровадження АСМТС. Запропоновані

підходи до інтеграції сучасних технологій моніторингу дозволять підвищити рівень безпеки мостів та їхньої експлуатаційної надійності.

Висновки. Результати дослідження підкреслюють важливість впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану мостів в Україні для зменшення аварійних ситуацій і забезпечення безпеки руху. Застосування сучасних технологій, таких як сенсорні мережі та Інтернет речей, дозволяє своєчасно виявляти дефекти й оптимізувати витрати на обслуговування споруд. Методичні рекомендації, розроблені для України, сприятимуть стандартизації процесів моніторингу та підвищенню якості управління інфраструктурними об'єктами. Подальші дослідження у цій галузі дозволять удосконалити підходи до моніторингу та впровадити інноваційні рішення, що забезпечать безпеку та надійність мостів в Україні.

Ключові слова: автодорожній міст, автоматизовані системи моніторингу, безпека, інфраструктура, методичні рекомендації, сенсорні мережі, технічний стан.

Вступ

Мости є об'єктами критичної інфраструктури, зокрема забезпечують національну безпеку та економічну стабільність країни. Ці споруди потребують постійного контролю в умовах зростаючого навантаження на транспортну мережу та можливих техногенних впливів. Поточний технічний стан мостів на автомобільних дорогах загального користування, дорогах і вулицях населених пунктів викликає серйозні занепокоєння. Багато із цих споруд були побудовані десятки років тому і сьогодні перебувають у стані, що потребує постійного контролю та регулярних обстежень. Зокрема на автомобільних дорогах державного значення України налічується 16 179 мостів, з яких понад 8 500 (53 %) не відповідають сучасним нормам щодо габаритів та вантажопідйомності [1]. Близько 81 % мостів побудовано до 1980 року, середній вік споруд становить 57 років. Деякі мости досягають непрацездатного стану вже за 45-50 років експлуатації. Інтенсивність автомобільного руху та навантаження на мости значно зросли в останні роки, що пов'язано не лише зі збільшенням транспортних потоків, але й зі змінами в логістиці перевезень через економічні та геополітичні чинники. Тому питання регулярних обстежень транспортних споруд звучить все гостріше. Окрім планових обстежень і оглядів транспортних споруд доцільно використовувати системи неперервного або періодичного моніторингу їхнього технічного стану.

Останніми десятиліттями у світі активно впроваджують автоматизовані системи моніторингу технічного стану (АСМТС) мостів. Вони дозволяють отримувати своєчасну інформацію, своєчасно виявляти потенційні проблеми та забезпечувати безпечну та ефективну експлуатацію, а також своєчасний ремонт споруд, на яких вони змонтовані.

Ключовими питаннями при впровадженні таких систем є визначення контрольованих параметрів, зокрема їхньої мінімально достатньої кількості, встановлення критеріїв оцінки технічного стану мостів, перевірка адекватності і верифікація отриманих даних тощо.

Основна частина

Світовий досвід впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану мостів демонструє значний прогрес у забезпеченні безпеки та надійності інфраструктурних споруд. У різних країнах активно розробляють та застосовують сучасні технології, які дозволяють здійснювати безперервний контроль за станом мостів [2 – 15], своєчасно виявляти потенційні проблеми та приймати обґрунтовані рішення щодо їх експлуатації та обслуговування.

Однією з ключових тенденцій у цьому напрямі є інтеграція різних технологій збору та аналізу даних для створення комплексних систем моніторингу. Такі системи поєднують використання сенсорних мереж, оптичних і бездротових датчиків, технологій розпізнавання зображень тощо. Це забезпечує отримання своєчасної інформації про технічний стан споруди, дозволяючи інженерам оперативно реагувати на зміни в елементах конструкції споруди та запобігати можливим аварійним ситуаціям.

Світова практика також свідчить про ефективність централізованих систем моніторингу [4], які об'єднують інформацію з різних об'єктів в єдину платформу. Це особливо актуально для великих

інфраструктурних проєктів, де необхідно координувати дії багатьох підрядників і контролювати стан численних споруд. Централізований підхід забезпечує узгодженість дій, полегшує обмін інформацією між зацікавленими сторонами та підвищує загальну ефективність управління проєктами.

Значну увагу приділяють впровадженню бездротових сенсорних мереж (БСМ) та технологій Інтернету речей (IoT) у системи моніторингу. БСМ дозволяють знизити вартість встановлення та обслуговування систем, забезпечуючи їхню гнучкість і масштабованість. Технології IoT сприяють створенню інтелектуальних систем, які можуть автономно збирати, обробляти та передавати дані у режимі реального часу.

У сфері моніторингу висотних будівель та складних інженерних споруд активно використовують методи фотограмметрії та аналізу зображень для відстеження деформацій та переміщень [9]. Це дозволяє отримувати високоточні дані без необхідності встановлення великої кількості фізичних датчиків.

Значний інтерес викликають системи раннього попередження про ризики, особливо в умовах підземного будівництва та будівництва метро. Використання технології інформаційного моделювання будівель (BIM) у поєднанні з реальними даними моніторингу дозволяє створювати детальні моделі споруд і прогнозувати їхню поведінку під впливом різних чинників.

Також потрібно відзначити розвиток методів багатофакторного аналізу ризиків та оптимізації систем управління безпекою. Врахування кореляцій між різними ризиками та застосування багатоцільових оптимізаційних моделей сприяє більш ефективному розподілу ресурсів і зниженню загального рівня небезпеки.

Загалом, світовий досвід показує важливість впровадження автоматизованих систем моніторингу для підтримки безпеки та ефективного управління інфраструктурою. Використання передових технологій та інноваційних підходів дозволяє своєчасно виявляти проблеми, оптимізувати витрати та забезпечувати безперебійну роботу мостів та інших інженерних споруд.

Цей досвід може служити орієнтиром для України у розробленні та впровадженні власних систем моніторингу, адаптованих до національних умов та вимог. Врахування світових тенденцій та інновацій сприятиме підвищенню безпеки, надійності та ефективності експлуатації автодорожніх мостів в країні.

В Україні правове регулювання моніторингу будівель і споруд здійснюється через низку законодавчих актів та нормативних документів. Основні вимоги до безпеки та надійності будівель визначені в Законі України «Про будівельні норми» (редакція від 03.04.2021) [16], який підкреслює необхідність забезпечення експлуатаційної придатності споруд протягом усього їхнього життєвого циклу. Особлива увага приділяється механічному опору та стійкості конструкцій, що є критичними для запобігання руйнуванню чи надмірним деформаціям.

У сфері моніторингу споруд діють такі ключові будівельні норми і нормативні документи:

- ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» [19];
- ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [20];
- ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [17];
- ДБН В.2.5-76:2014 «Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення» [18].

Згідно з цими документами, моніторинг споруд полягає в систематичному спостереженні за змінами технічного стану та оцінці виявлених відхилень. Кількість і види контрольованих параметрів визначають на основі попередніх обстежень, нормативних вимог та умов експлуатування об'єкта. Моніторинг передбачає реєстрацію реакцій споруди на зовнішні та внутрішні впливи, таких як переміщення, деформації та зміни динамічних характеристик. Особливо важливим є використання

автоматизованих систем для безперервного контролю відповідальних конструкцій із високим класом наслідків (СС3).

Проведення моніторингу здійснюють за затвердженою програмою, яка визначає об'єкти спостереження, методи вимірювань, періодичність і критерії оцінки технічного стану. Основні етапи включають складання програми моніторингу, проектування системи, монтаж та тестування обладнання, а також введення системи в експлуатацію після успішної дослідної експлуатації.

Види моніторингу, які передбачені нормативними документами:

- вібраційний моніторинг: контроль динамічних характеристик споруди для оцінки її загального технічного стану;
- деформаційний моніторинг: вимірювання деформацій і переміщень конструкцій для виявлення змін у напружено-деформованому стані;
- геотехнічний моніторинг: контроль стану основ фундаментів, ґрунтів у зоні будівництва та конструкцій кріплення котлованів;
- геодезичний моніторинг: високоточні вимірювання деформацій і переміщень споруди за допомогою геодезичних методів;
- геологічний моніторинг: спостереження за геотехнічними та гідрологічними параметрами, що можуть вплинути на безпеку споруди.

Як зазначалось, завданням моніторингу є своєчасне виявлення відхилень у технічному стані споруди та прогнозування їхнього розвитку. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації, ремонту або підсилення конструкцій, забезпечуючи безпеку людей і мінімізуючи ризики аварійних ситуацій. Система моніторингу повинна забезпечувати збір даних із використанням надійних і точних вимірювальних приладів, а також оброблення та аналізування інформації з можливістю оперативного реагування на критичні зміни. Зберігання та передавання даних здійснюють з урахуванням вимог інформаційної безпеки.

Важливим аспектом є встановлення граничних значень параметрів, перевищення яких може свідчити про небезпечний стан споруди. Ці значення встановлюють на основі проектної документації, результатів попередніх обстежень і результатів натурних обстежень, розрахунків і вимог нормативних документів.

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури України зумовлює необхідність підвищення рівня безпеки та надійності експлуатації автодорожніх мостів. У цьому контексті впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану мостових споруд набуває особливої актуальності. Для забезпечення ефективності та уніфікації підходів до таких систем потрібні чіткі рекомендації, які б надавали алгоритм їхнього проектування, впровадження та експлуатації, саме тому на замовлення Агентства відновлення та розвитку інфраструктури України у 2023 році Державним підприємством «Національний інститут розвитку інфраструктури» (станом на 2023 рік ДП «ДерждорНДІ») були розроблені МР В.2.3-37641918-936:2023 «Методичні рекомендації щодо моніторингу технічного стану автодорожніх мостів з використанням автоматизованої системи збору даних» [21].

Метою розроблених методичних рекомендацій є встановлення єдиних вимог і підходів до створення автоматизованих систем моніторингу технічного стану автодорожніх мостів. Вони покликані забезпечити високу якість проектування та впровадження таких систем, сприяти уніфікації процесів контролювання та аналізування технічного стану мостових споруд. Рекомендації спрямовані на допомогу фахівцям правильно обирати відповідні методи моніторингу та використовувати сучасні технології для підвищення безпеки і надійності експлуатації мостів.

Методичні рекомендації складаються з наступних основних розділів:

1. Сфера застосування: визначає область використання рекомендацій та коло фахівців, для яких вони призначені.
2. Нормативні посилання: містить перелік нормативних документів, на які посилаються рекомендації, що забезпечує їхню відповідність чинному законодавству та стандартам.

3. Терміни та визначення понять: встановлює єдину термінологію для коректного розуміння та застосування рекомендацій.

4. Скорочення: надає розшифрування використаних у тексті скорочень для зручності користувачів.

5. Загальні положення: описує основні принципи організації АСМТС, визначає їхні складові та етапи розробки.

6. Деформаційний моніторинг: детально розглядає методи та засоби контролю деформаційних процесів у конструкціях мостів.

7. Вібраційний моніторинг: описує підходи до контролю динамічних характеристик споруд, які можуть свідчити про зміни в технічному стані.

8. Геотехнічний моніторинг: висвітлює аспекти контролю стану основ та фундаментів мостів, що є критичними для їхньої стійкості.

9. Геодезичний моніторинг: розглядає методи високоточного вимірювання переміщень та деформацій споруд.

10. Система збору, оброблення, зберігання та відтворення даних моніторингу: описує технічні рішення для забезпечення ефективного збору та аналізу даних.

Розроблені рекомендації містять в собі вказівки щодо складу та змісту технічного завдання на розроблення АСМТС, що необхідно на першому етапі підготовки розроблення системи. Вони допомагають визначити призначення та мету створення системи, формулюючи основні завдання відповідно до специфіки конкретного мосту. Також рекомендації сприяють детальному опису характеристик об'єкта моніторингу, враховуючи конструктивні особливості мосту, що впливають на вибір методів контролю. Крім того, вони надають вимоги до системи, визначаючи технічні параметри, які мають бути досягнуті.

Рекомендації будуть надійним підґрунтям під час розроблення програми моніторингу. Вони допомагають у визначенні критично важливих точок контролю, обґрунтовуючи вибір місць встановлення датчиків на основі розрахункових математичних моделей. Рекомендації також наводять вимоги щодо необхідності встановлення граничних значень контрольованих параметрів, визначаючи допустимі межі змін, які сигналізують про необхідність втручання. Загальні вимоги до датчиків та обладнання, включаючи типи датчиків, їхню точність та робочі температурні діапазони, також можна визначати згідно з рекомендаціями.

Автори вважають, що використання методичних рекомендацій забезпечить уніфікацію підходів до розроблення та впровадження АСМТС, що підвищить надійність цих систем. Вважаємо, що завдяки чітким вказівкам зменшиться час і витрати на розроблення та впровадження системи, що має привести до економії ресурсів. Своєчасне виявлення відхилень у технічному стані мостів, яке стає можливим завдяки впровадженню АСМТС, підвищить безпеку транспортних споруд і дозволить запобігти можливим аварійним ситуаціям. Рекомендації також враховують можливість використання новітніх технологій та обладнання, що робить системи моніторингу гнучкими та масштабованими, сприяючи їхній адаптивності до майбутніх змін.

Розроблені методичні рекомендації є інструментом для фахівців, залучених до проєктування, впровадження та експлуатації автоматизованих систем моніторингу технічного стану автодорожніх мостів. Вони націлені сприяти підвищенню безпеки транспортної інфраструктури України, забезпечити уніфікацію процесів і впровадження передових технологій у галузі моніторингу інженерних споруд.

У продовження розвитку напрямку автоматизованого моніторингу технічного стану автодорожніх мостів планується виконати дослідження, спрямовані на удосконалення АСМТС мостів. Наступним кроком є визначення основних критеріїв і параметрів, необхідних для ефективного оцінювання технічного стану мостів під час їх тривалого моніторингу. Результатом цих досліджень мають стати методичні рекомендації з вибору критеріїв і параметрів для оцінювання технічного стану мостів при розробленні автоматизованих систем моніторингу.

Це дозволить забезпечити більш точну та своєчасну діагностику стану конструкцій, виявляти дефекти на ранніх стадіях і вживати необхідні заходи для їх усунення. Дослідження спрямовані на підвищення надійності експлуатації мостів і зниження ризиків аварійних ситуацій, що є критично важливим, як для життя людей, безпеки дорожнього руху, так і для економіки країни.

Втілення результатів досліджень, вважаємо, буде сприяти сталому розвитку галузі та відповідатиме сучасним вимогам до управління інфраструктурними об'єктами.

Висновки

Автодорожні мости є критичними елементами інфраструктури України, а їх надійна експлуатація є надзвичайно важливою в сучасних умовах. Впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану (АСМТС) мостів є необхідним кроком для забезпечення безпеки, своєчасної діагностики стану конструкцій і ефективного управління ремонтно-відновлювальними роботами. Світовий досвід показує, що використання передових технологій, таких як сенсорні мережі, Інтернет речей (IoT), фотограмметрія та централізовані системи обробки даних, значно підвищують ефективність управління інфраструктурними об'єктами.

Україна, враховуючи сучасні виклики, пов'язані з відновленням інфраструктури після руйнувань, повинна адаптувати ці технології до національних умов. З урахуванням нормативно-правових вимог, впровадження АСМТС сприятиме підвищенню рівня безпеки мостів і зниженню ризиків аварійних ситуацій. Розроблені методичні рекомендації, що регулюють процес створення і використання АСМТС, є важливим інструментом для уніфікації підходів і підвищення ефективності експлуатації мостів.

Подальші наукові дослідження, будуть спрямовані на удосконалення критеріїв оцінки технічного стану мостів.

Список літератури

1. Каськів В. І., Панібратець Л. Г., Степанов С. М., Грінів В. С., Чайковська Л. І. Стан мостового господарства України на дорогах загального користування державного значення на підконтрольних територіях за 2023 рік. *Дороги і мости*. 2024. Вип. 29. С. 280–292. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.280>.
2. Danijel Rebolj, Ales Magdic, Peter Podbreznik, Mirko Psunder. Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics*. Volume 22, Issue 4, October 2008. P. 493–503.
3. Saad H. Al-Jibouri. Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in International. *Journal of Project Management*. 21 (2003). P. 145–154.
4. Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis, Sergios Lambropoulos. An Integrated Information System for Monitoring Construction Works. *International Journal of Information Technology Project Management*. 5 (1) Copyright: 2014. 12 p.
5. Sangyong Kim, Yoonseok Shin, Gwang-Hee Kim. Case Study on the Maintenance of a Construction Monitoring Using USN-Based Data Acquisition. *The Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 879308.
6. Ting-Hua Yi, Ying Lei, Hua-Peng Chen, Xiao-Wei Ye, Fei Kang, Hao Wang Technology Developments in Structural Health Monitoring and Integrity Maintenance. *Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 976927, 3 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/976927>.
7. Dongwei Qiu, Tong Wang, Qing Ye, He Huang, Laiyang Wang, Mingxu Duan, Dean Luo. A Deformation Prediction Approach for Supertall Building Using Sensor Monitoring System. *Journal of Sensors*. Volume 2019, Article ID 9283584, 12 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/9283584>.
8. Lixin Wang, Shuoshuo Xu, 1 Junling Qiu, Ke Wang, Enlin Ma, Chujun Li, Chunxia Guo. Automatic Monitoring System in Underground Engineering Construction: Review and Prospect. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2020. Article ID 3697253, 16 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3697253>.

9. Mingzhi Chen, Guojian Zhang, Chengxin Yu, and Peng Xiao. Research on the application of an Information System in Monitoring the Dynamic Deformation of a High-Rise Building. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020. Article ID 3714973, 9 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3714973>.
10. Qianlong Tang, Mingfeng Lei, Binbin Zhu, Limin Peng, Weimin Wu, Chenghua Shi. Design and Application of Risk Early Warning System for Subway Station Construction Based on Building Information Modeling Real-Time Model. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2021, Article ID 8898893, 12 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/8898893>.
11. Chunguang Chang, Xi Wu, and Xin Yan. Multiobjective Optimization of Safety Risk of Prefabricated Building Construction considering Risk Correlation. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020, Article ID 3923486, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3923486>.
12. Yong Wu, Liang-Yun Zhao, Ye-Xiang Jiang, Wei Li, Ye-Sheng Wang, Huan Zhao, Wei Wu, Xiong-Jian Zhang. Research and Application of Intelligent Monitoring System Platform for Safety Risk and Risk Investigation in Urban Rail Transit Engineering Construction. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2021, Article ID 9915745, 10 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9915745>.
13. Dianliang Xiao, Tiantao Zhang, Xudong Zhou, Guangshun Zheng, and Haoran Song. Safety Monitoring of Expressway Construction Based on Multisource Data Fusion. *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2020, Article ID 8856360, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8856360>.
14. Massimiliano Ferraioli, Alberto Mandara. Base Isolation for Seismic Retrofitting of a Multiple Building Structure: Design, Construction, and Assessment. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2017, Article ID 4645834, 24 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/4645834>.
15. Xiaokun Yan, Hu Li, Feng Liu, and Yang Liu. Structural Safety Evaluation of Tunnel Based on the Dynamic Monitoring Data during Construction. *Shock and Vibration*. Volume 2021, Article ID 6680675, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6680675>.
16. Про будівельні норми: Закон України № 1704-VI, чинний, в редакції від 09.06.2022 № 2254-IX / База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text> (дата звернення 30.09.2024).
17. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018. 35 С. (Інформація та документація).
18. ДБН В.2.5-76:2014 Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення. Київ, 2014. 47 С. (Інформація та документація).
19. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. Київ, 2016. 54 С. (Інформація та документація).
20. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ, 2016. 45 С. (Інформація та документація).
21. МР В.2.3-37641918-936:2023 Методичні рекомендації щодо моніторингу технічного стану автодорожніх мостів з використанням автоматизованої системи збору даних. Київ, 2023. 65 с. (Інформація та документація).

References

1. Kaskiv V. I., Panibratets L. H., Stepanov S. M., Hriniv V. S., Chaikovska L. I. Stan mostovoho hospodarstva Ukrainy na dorohakh zahalnoho korystuvannia derzhavnoho znachennia na pidkontrolnykh terytoriiakh za 2023 rik (State of the bridge economy of Ukraine on public roads of state importance in controlled territories for 2023.). *Dorohy i mosty*. 2024. Vyp. 29. P. 280–292. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.280> [in Ukrainian].
2. Danijel Rebolj, Ales Magdic, Peter Podbreznik, Mirko Psunder. Automated construction activity monitoring system. *Advanced Engineering Informatics*. Volume 22, Issue 4, October 2008, P. 493–503 [in English].

3. Saad H. Al-Jibouri. Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in International. *Journal of Project Management*. 21 (2003). P. 145–154 [in English].
4. Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis, Sergios Lambropoulos. An Integrated Information System for Monitoring Construction Works. *International Journal of Information Technology Project Management*. 5 (1) Copyright: 2014. 12 p. [in English].
5. Sangyong Kim, Yoonseok Shin, Gwang-Hee Kim. Case Study on the Maintenance of a Construction Monitoring Using USN-Based Data Acquisition. *The Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 879308 [in English].
6. Ting-Hua Yi, Ying Lei, Hua-Peng Chen, Xiao-Wei Ye, Fei Kang, Hao Wang Technology Developments in Structural Health Monitoring and Integrity Maintenance. *Scientific World Journal*. Volume 2014, Article ID 976927, 3 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/976927> [in English].
7. Dongwei Qiu, Tong Wang, Qing Ye, He Huang, Laiyang Wang, Mingxu Duan, Dean Luo. A Deformation Prediction Approach for Supertall Building Using Sensor Monitoring System. *Journal of Sensors*. Volume 2019, Article ID 9283584, 12 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/9283584> [in English].
8. Lixin Wang, Shuoshuo Xu, 1 Junling Qiu, Ke Wang, Enlin Ma, Chujun Li, Chunxia Guo. Automatic Monitoring System in Underground Engineering Construction: Review and Prospect. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2020. Article ID 3697253, 16 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3697253> [in English].
9. Mingzhi Chen, Guojian Zhang, Chengxin Yu, and Peng Xiao. Research on the Application of an Information System in Monitoring the Dynamic Deformation of a High-Rise Building. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020. Article ID 3714973, 9 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3714973> [in English].
10. Qianlong Tang, Mingfeng Lei, Binbin Zhu, Limin Peng, Weimin Wu, Chenghua Shi. Design and Application of Risk Early Warning System for Subway Station Construction Based on Building Information Modeling Real-Time Model. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2021, Article ID 8898893, 12 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/8898893> [in English].
11. Chunguang Chang, Xi Wu, and Xin Yan. Multiobjective Optimization of Safety Risk of Prefabricated Building Construction considering Risk Correlation. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2020, Article ID 3923486, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3923486> [in English].
12. Yong Wu, Liang-Yun Zhao, Ye-Xiang Jiang, Wei Li, Ye-Sheng Wang, Huan Zhao, Wei Wu, Xiong-Jian Zhang. Research and Application of Intelligent Monitoring System Platform for Safety Risk and Risk Investigation in Urban Rail Transit Engineering Construction. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2021, Article ID 9915745, 10 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9915745> [in English].
13. Dianliang Xiao, Tiantao Zhang, Xudong Zhou, Guangshun Zheng, and Haoran Song. Safety Monitoring of Expressway Construction Based on Multisource Data Fusion. *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2020, Article ID 8856360, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8856360> [in English].
14. Massimiliano Ferraioli, Alberto Mandara. Base Isolation for Seismic Retrofitting of a Multiple Building Structure: Design, Construction, and Assessment. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2017, Article ID 4645834, 24 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/4645834> [in English].
15. Xiaokun Yan, Hu Li, Feng Liu, and Yang Liu. Structural Safety Evaluation of Tunnel Based on the Dynamic Monitoring Data during Construction. *Shock and Vibration*. Volume 2021, Article ID 6680675, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6680675> [in English].
16. Pro budivelni normy: Zakon Ukrainy (On construction regulations: Law of Ukraine). No. 1704-VI, chynnyi, v redaktsii vid 09.06.2022 No. 2254-IKh / Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text> (data zvernennia 30.09.2024) [in Ukrainian].

17. DBN V.1.2-14:2018 Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud (General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures). Kyiv, 2018. 35 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

18. DBN V.2.5-76:2014 Avtomatyzovani systemy rannoho vyavlennia zahrozy vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii ta opovishchennia naselennia (Automated systems for early detection of the threat of emergency situations and public notification). Kyiv, 2014. 47 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

19. DSTU-N B V.1.2-17:2016 Nastanova shchodo naukovo-tekhnichnoho monitorynhu budivel i sporud (Instruction on scientific and technical monitoring of buildings and structures). Kyiv, 2016. 54 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

20. DSTU-N B V.1.2-18:2016 Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu (Instruction on inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition). Kyiv, 2016. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

21. MR V.2.3-37641918-936:2023 Metodychni rekomendatsii shchodo monitorynhu tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv z vykorystanniam avtomatyzovanoi systemy zboru danykh (Methodological recommendations for monitoring the technical condition of highway bridges using an automated data collection system). Kyiv, 2023. 65 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Volodymyr Kaskiv¹, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>

Vasyl Redchenko², D.Sc., <https://orcid.org/0000-0001-5938-1467>

Zavhorodnii Serhii¹, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

¹State Enterprise “National Institute for Development Infrastructurt” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

²Private specialized enterprise “Bridge-Service” (PSE “Bridge-Service”), Dnipro, Ukraine

IMPLEMENTATION OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS FOR BRIDGE STRUCTURES IN UKRAINE: WORLD EXPERIENCE AND NATIONAL PERSPECTIVES

Abstract

Introduction. Highway bridges are an important element of the transport infrastructure of any country, and Ukraine is no exception. Their safe operation is critical to ensure the sustainable functioning of logistics systems and economic development of regions. However, due to constant loads, the impact of natural factors and insufficient funding for maintenance, a significant number of bridges in Ukraine are in poor technical condition. Accordingly, it is necessary to take measures to diagnose the condition of bridges in a timely manner and prevent possible accidents. In this context, automated condition monitoring systems (ACMS) are an effective tool for ensuring the smooth operation of such structures.

Problem Statement. There are more than 16 thousand bridges on public roads of national importance in Ukraine, more than half of which do not meet modern standards for dimensions and load capacity. The problem is particularly acute for bridges that have been in operation for more than 40 years, as they are more prone to accidents. Due to the lack of systematic monitoring and control of the technical condition of such structures, there is a threat of their destruction. In the world practice, automated monitoring systems are actively used to prevent such situations. In Ukraine, the need to implement such systems is becoming increasingly relevant in the face of increased requirements for infrastructure security.

Objective. The purpose of the study is to analyze the world experience of implementing ASMTS on highway bridges and to develop recommendations for their adaptation and implementation in Ukraine, taking into account national peculiarities. The study also examines the regulatory aspects and methodological approaches to the organization of monitoring systems to ensure the safety and efficiency of bridge structures.

Materials and methods. The study is based on the analysis of literature sources and the regulatory framework for monitoring the technical condition of bridges. The methods used to analyze modern monitoring technologies, such as sensor networks, photogrammetry, wireless sensors, the Internet of Things (IoT), and methods of multifactorial risk analysis. In addition, international experience in implementing centralized monitoring systems and their effectiveness in preventing emergencies was analyzed.

Results. Global experience in implementing AMTS has shown a significant reduction in accident risks and maintenance costs due to timely diagnosis of potential problems. Automated systems allow to continuously receive data on the technical condition of bridges, which provides the opportunity to make informed decisions on their operational maintenance and repair. The article also discusses the legal and regulatory framework for monitoring in Ukraine, including new guidelines for the design and implementation of AMTS. The proposed approaches to the integration of modern monitoring technologies will increase the level of bridge safety and operational reliability.

Conclusions. The results of the study emphasize the importance of implementing automated systems for monitoring the technical condition of bridges in Ukraine to reduce accidents and ensure traffic safety. The use of modern technologies, such as sensor networks and the Internet of Things, allows for timely detection of defects and optimization of the cost of maintenance of structures. The guidelines developed for Ukraine will help standardize monitoring processes and improve the quality of infrastructure management. Further research in this area will improve monitoring approaches and implement innovative solutions that will ensure the safety and reliability of bridges in Ukraine.

Keywords: highway bridges, automated monitoring systems, sensor networks, Internet of Things, technical condition, infrastructure, safety, Ukraine, methodological recommendations.