

Колесник А. В., Записов Д. В.

МОНІТОРИНГ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ФУНДАМЕНТІВ ТА НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ УКРИТТІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Анотація. Представлено сучасні системи моніторингу стану бетонних фундаментів та несучих конструкцій. Розглянуто типи датчиків, методи збору, аналізу та інтерпретації даних, що забезпечують своєчасне виявлення дефектів і прогнозування стану конструкцій у реальному часі. Показано перспективи впровадження інтелектуальних систем моніторингу для підвищення надійності укриттів у складних умовах експлуатації.

Ключові слова: моніторинг, фундамент, несучі конструкції, бетонні укриття, прогнозування стану.

Abstracts. Modern systems for monitoring the condition of concrete foundations and load-bearing structures are presented. Types of sensors, methods of data collection, analysis and interpretation are considered, which ensure timely detection of defects and real-time prediction of the condition of structures. The prospects for the implementation of intelligent monitoring systems to improve the reliability of shelters in difficult operating conditions are shown.

Keywords: monitoring, foundation, load-bearing structures, concrete shelters, condition prediction.

Вступ

У сучасних умовах воєнного стану та зростання ризиків надзвичайних ситуацій особливого значення набуває забезпечення надійності захисних споруд цивільного захисту — укриттів, сховищ та командних пунктів. Їхня ефективність значною мірою залежить від технічного стану фундаментів і несучих конструкцій, які сприймають основні навантаження [1].

Традиційні методи періодичного обстеження споруд не завжди дозволяють виявити приховані дефекти або динамічні зміни стану конструкцій. Тому все більшого поширення набувають системи безперервного моніторингу у реальному часі, здатні забезпечити автоматичний контроль параметрів і прогнозування можливих відмов [2].

Основна частина

Сучасні системи моніторингу стану бетонних фундаментів і несучих елементів базуються на поєднанні датчиків різних типів, мікропроцесорних контролерів, засобів передачі даних і програмно-аналітичних комплексів. До основних компонентів таких систем належать:

- тензометричні датчики — для вимірювання деформацій та напружень у бетоні та арматурі;
- ультразвукові сенсори — для контролю цілісності матеріалу та виявлення внутрішніх дефектів;
- акселерометри та вібродатчики — для аналізу динамічної реакції конструкцій;
- датчики вологості й температури — для оцінки умов експлуатації та впливу навколишнього середовища;
- інклінометри — для фіксації зсувів і осідань фундаменту.

Зібрані дані передаються через бездротові канали (GSM, NB-IoT, LoRaWAN) до центрального сервера, де вони обробляються у спеціалізованих програмних середовищах (SCADA, IoT-платформи) [3].

Система моніторингу функціонує на основі принципів розподілених сенсорних мереж, де кожен вузол виконує локальні вимірювання, а потім надсилає дані для узагальнення. Серед сучасних аналітичних інструментів особливе місце займають:

- методи машинного навчання – для автоматичного виявлення відхилень від нормального режиму роботи конструкцій [4];
- методи кореляційного аналізу – для виявлення взаємозв'язків між температурними, вологісними і деформаційними процесами;
- цифрові двійники споруд – 3D-моделі, що відображають реальний стан об'єкта й оновлюються на основі поточних даних моніторингу.

Такі технології дозволяють не лише виявляти пошкодження, а й прогнозувати подальший розвиток дефектів та оцінювати залишковий ресурс конструкції.

Моделі прогнозування ґрунтуються на аналізі часових рядів параметрів (деформації, напруження, вологості, температури). Для цього застосовуються алгоритми регресійного аналізу, нейронні мережі та байєсівські методи [5]. Наприклад, нейронні мережі типу LSTM (Long Short-Term Memory) здатні враховувати попередні зміни параметрів і робити довгострокові прогнози щодо стабільності конструкції.

Отримані в процесі моніторингу дані дозволяють виявляти тенденції зміни фізико-механічних характеристик матеріалів і передбачати розвиток потенційно небезпечних процесів.

Для побудови прогностичних моделей використовуються сучасні аналітичні підходи, зокрема регресійний аналіз, нейронні мережі та байєсівські методи. Регресійні моделі дають змогу визначити кількісні залежності між параметрами та станом конструкцій. Алгоритми машинного навчання, зокрема глибинні нейронні мережі, забезпечують можливість виявлення прихованих закономірностей і складних нелінійних зв'язків у даних. Байєсівські методи, у свою чергу, дозволяють оцінювати ймовірність появи пошкоджень і невизначеність прогнозу.

Застосування таких моделей дає можливість здійснювати раннє попередження про деградацію матеріалів, планувати технічне обслуговування та підвищувати надійність споруд. У результаті створюється основа для формування інтелектуальних систем управління технічним станом фундаментів і несучих конструкцій у реальному часі.

Таким чином, такі підходи забезпечують раннє виявлення критичних змін і підвищують рівень безпеки укриттів, особливо при тривалій експлуатації або впливі динамічних навантажень.

Впровадження систем моніторингу у реальному часі дозволяє:

- мінімізувати ризики аварій та руйнувань;
- підвищити ефективність планування технічного обслуговування;
- зменшити витрати на обстеження та ремонти;
- створити базу даних для розроблення стандартів технічної безпеки

захисних споруд.

Перспективним напрямом є інтеграція систем моніторингу фундаментів та несучих конструкцій у єдину платформу “розумного укриття”, яка поєднуватиме сенсори стану, системи життєзабезпечення, вентиляції та енергозабезпечення.

Висновки

Моніторинг і прогнозування стану фундаментів та несучих елементів укриттів у реальному часі є невід'ємним елементом сучасної системи технічної безпеки [6]. Застосування сенсорних технологій, цифрових двійників та алгоритмів штучного інтелекту забезпечує своєчасне виявлення дефектів, підвищує надійність і продовжує термін експлуатації конструкцій. Подальший розвиток напрямку пов'язаний із стандартизацією методів моніторингу та створенням національних баз даних технічного стану споруд.

Список використаних джерел:

1. Богаченко С. В. Моніторинг технічного стану будівельних конструкцій / С. В. Богаченко ; наук. керівники : С. В. Шатов, А. О. Титюк // Матеріали III наук.-практ. конф. студ.

ПДАБА, (26 квітня 2021 р., Дніпро) : зб. тез. – Дніпро : ПДАБА, 2021. – С. 93-95.
<http://srd.pdaba.edu.ua:8080/handle/123456789/9434>

2. ISO 13374-1:2019. Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation.

3. Dutta, S., Ghosh, A. IoT-based structural health monitoring systems: A review. *Sensors*, 2022, 22(15): 5678.

4. Kaloop, M. R., Li, H. Structural health monitoring using artificial intelligence methods: A review. *Automation in Construction*, 2021.

5. Zonta, D., Glisic, B., Adriaenssens, S. Value of information in monitoring structural systems. *Structural Control and Health Monitoring*, 2019.

6. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. / Технічний комітет стандартизації «Будтехнології» (ТК 309), Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва»./ наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 09 січня 2024 р. № 11 з 2024-09-01.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Записов Дмитро Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dzapicov@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Dmitry Zapysov V. – PhD student of the Department of Civil Engineering, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dzapicov@gmail.com.