

Колесник А. В., Любич В. В.

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕТОННИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД: МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ

Анотація. Досліджуються методи оцінки стану бетонних конструкцій, включно з візуальним оглядом, неразрушаючими методами контролю та дистанційним моніторингом. Пропонуються алгоритми виявлення дефектів та прогнозування зносу.

Ключові слова: технічний стан, бетонні конструкції, діагностика, моніторинг, фортифікаційні споруди.

Abstracts. Methods for assessing the condition of concrete structures, including visual inspection, non-destructive testing and remote monitoring, are investigated. Algorithms for defect detection and wear prediction are proposed.

Keywords: technical condition, concrete structures, diagnostics, monitoring, fortifications.

Вступ

Бетонні фортифікаційні споруди (укриття, захисні стіни, бункери) мають тривалий термін експлуатації, працюючи в жорстких умовах — вплив вибухових, динамічних навантажень, корозійних процесів, змін умов навколишнього середовища. Оцінка їх технічного стану є критичною для забезпечення надійності, безпеки та функціональності. Ефективна діагностика та моніторинг дозволяють виявляти дефекти на ранніх етапах і планувати заходи зміцнення.

Основна частина

У сучасних умовах ведення бойових дій на території України питання оцінки технічного стану фортифікаційних споруд набуває особливої актуальності. Від надійності бетонних укріплень залежить безпека особового складу, збереження техніки та успішність оборонних операцій. Враховуючи значний термін експлуатації більшості інженерних споруд, а також вплив агресивних факторів середовища, виникає необхідність у систематичному моніторингу та діагностиці їх технічного стану [1,2].

На технічний стан бетонних конструкцій впливають такі чинники:

- механічні навантаження (ударні, вибухові, статичні);
- температурно-вологісні коливання, які викликають мікротріщини;
- корозія арматури через проникнення агресивних речовин;
- ерозія поверхонь внаслідок обстрілів, опадів або термічних впливів;
- втома матеріалу, що призводить до поступової втрати міцності.

Комплексна оцінка стану споруд вимагає урахування всіх цих факторів у сукупності. Методи оцінки технічного стану бетонних конструкцій включають в себе:

- візуальний огляд — це базовий етап діагностики, що передбачає: визначення наявності тріщин, сколів, відшарувань; фіксацію деформацій, протікань, відшарувань арматури; фотофіксацію та складання карт пошкоджень. Хоча метод є суб'єктивним, він дає змогу швидко оцінити загальний стан об'єкта;

- неразрушаючі методи контролю (НМК). Для отримання кількісних даних про властивості бетону використовують: ультразвуковий контроль (визначення однорідності та тріщин); склерометричний метод (оцінка міцності бетону за відскоком ударного бойка); електромагнітні методи (виявлення положення арматури, визначення товщини захисного шару); рентгенографію та термографію (визначення внутрішніх дефектів); акустичну емісію (контроль процесів мікроруйнування у реальному часі).

Поєднання кількох методів дозволяє сформувати достовірну картину технічного стану. Лабораторні методи застосовуються для уточнення результатів діагностики — визначення

класу бетону, вмісту води, щільності, глибини карбонізації, ступеня корозії арматури тощо [3,4].

Системи сучасного дистанційного моніторингу дозволяють встановлювати сенсорні системи моніторингу, які у режимі реального часу фіксують: деформації та переміщення елементів конструкції; коливання температури та вологості; появу тріщин (оптоволоконні сенсори); вібрації та акустичні сигнали. Такі системи можуть бути інтегровані у комплекс безпеки військових споруд, передаючи дані до командних пунктів для аналізу [5,6].

Алгоритм оцінки технічного стану включає наступну послідовність етапів:

1. Підготовчий етап — збір даних про конструкцію, умови експлуатації, проектну документацію.

2. Первинна оцінка — візуальне обстеження, фотофіксація.

3. Інструментальна діагностика — застосування НМК та лабораторних випробувань.

4. Аналіз даних і класифікація стану (нормальний, задовільний, аварійний).

5. Прогнозування зносу на основі математичних моделей або машинного навчання.

6. Розроблення рекомендацій щодо ремонту, підсилення або реконструкції споруди.

Для оцінки залишкового ресурсу споруди використовують [7]:

- емпіричні моделі деградації бетону (на основі даних про вологість, температуру, навантаження);

- методи надійності (ймовірнісний підхід);

- цифрові двійники бетонних об'єктів, які дозволяють моделювати процес старіння та вплив пошкоджень у часі.

Висновки

Комплексна оцінка технічного стану бетонних фортифікаційних споруд повинна базуватись на поєднанні візуального контролю, неразрушаючих методів та системного моніторингу [7].

Використання сучасних цифрових технологій (сенсорних мереж, дронів, 3D-моделювання) підвищує точність діагностики та дозволяє здійснювати прогнозування залишкового ресурсу конструкцій.

Розроблення уніфікованих методик оцінки технічного стану фортифікаційних споруд є важливим завданням для підвищення обороноздатності та безпеки військових формувань України.

Список використаних джерел:

1. Amaya A., Sierra-Pérez J. Toward a Structural Health Monitoring Methodology for Concrete Structures under Dynamic Loads Using Embedded FBG Sensors and Strain Mapping Techniques. *Sensors*, 2022, 22(12):4569. DOI: 10.3390/s22124569. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/12/4569>.

2. Колесник А.В. Особливості методики розрахунку та забезпечення стійкості конструкцій фортифікаційних споруд [Електронний ресурс]/А.В. Колесник/ Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції “Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки (2023)” м.Вінниця, 15-16 листопада 2023 р. — Електронний текст дані — 2023. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2023/paper/view/19213>.

3. Liao W.-I., Hsiao F.-P., Chiu C.-K., Ho C.-E. Structural Health Monitoring and Interface Damage Detection for Infill Reinforced Concrete Walls in Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Frames Using Piezoceramic-Based Transducers Under the Cyclic Loading. *Applied Sciences*, 2019, 9(2):312. DOI: 10.3390/app9020312. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/2/312>

4. “Application of non-destructive geophysical methods for testing concrete structures.” *Journal of King Saud University – Science*, [Pik], URL: <https://jksus.org/application-of-non-destructive-geophysical-methods-for-testing-concrete-structures/>

5. “Exploring the Potential of Promising Sensor Technologies for Concrete Structural Health Monitoring.” *Materials*, 2024-? URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/10/2410>

6. “Structural Health Monitoring of Concrete Bridges Through Artificial Intelligence: A Narrative Review.” Applied Sciences, 2023. DOI: URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/9/4855>

7. Колесник А.В. Фортифікаційні споруди для збереження особового складу: аналіз досвіду бойових дій // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки» Вінниця, 13-14 листопада 2024р. Вінниця. С.347-350. Електрон. Текст. дані. 2024 URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2024/paper/view/22270>

Колесник Андрій Вікторович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Любич Володимир Володимирович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Lyubich Volodymyr V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mr.lyubich1988@gmail.com.