

УДК 553.98:550.8

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФУНДАМЕНТІВ ПІД ВПЛИВОМ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Якубенко А. П.¹, аспір., Загільський В. А.², канд. техн. наук, доц.,

Бікус К. М.³, канд. техн. наук, доц.

ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету у науки і технологій

¹arturpetrovich@gmail.com, ²zagilsky.vitaly@pdaba.edu.ua, ³bikus.kateryna@pdaba.edu.ua

Постановка проблеми. У сучасних урбанізованих умовах фундаментні конструкції будівель усе частіше зазнають впливу довготривалих низькоамплітудних динамічних навантажень, зумовлених рухом легкорейкового транспорту, автотранспорту та іншими антропогенними джерелами. Попри те, що такі вібрації часто сприймаються як некритичні, накопичені дослідження свідчать про їхню здатність спричиняти поступову деградацію фундаментів: мікротріщини, осідання, зниження жорсткості впродовж тривалого періоду. Особливо це актуально для щільної міської забудови, де моніторинг стану конструкцій ускладнений.

Мета дослідження. Метою є обґрунтування доцільності використання систем моніторингу технічного стану конструкцій (SHM) для виявлення ранніх ознак деградації фундаментів під впливом динамічних навантажень.

Результати дослідження. Особливу увагу приділено вібраційним методам моніторингу, які дозволяють оцінити зміни в глобальних динамічних характеристиках (власні частоти, коефіцієнти загасання, форми коливань), що свідчать про потенційне пошкодження або втрату жорсткості [1]. Аналіз літератури показав ефективність сучасних методів обробки сигналів, зокрема вейвлет-перетворень і критеріїв модальної достовірності, для підвищення чутливості до незначних пошкоджень [1]. Крім того, впровадження методів машинного навчання (ML) і глибокого навчання (DL) розширює можливості SHM. Наприклад, нейронні мережі та автоенкодера дозволяють видобувати ознаки з необроблених вібраційних даних у режимі реального часу [1].

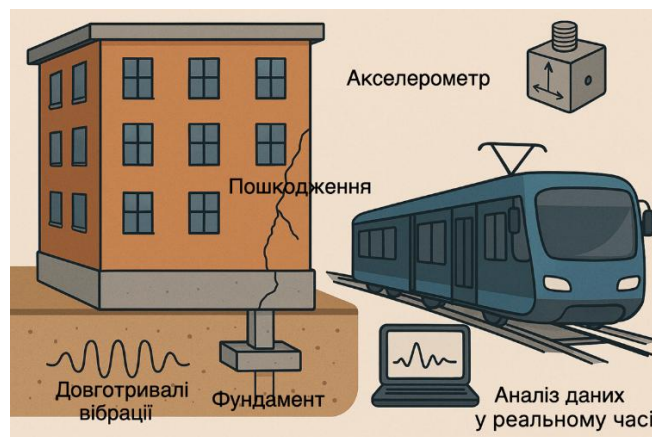


Рис. Складові системи SHM для фундаменту
під впливом динамічних навантажень

Як перспективний напрямок подальших досліджень запропоновано порівняльний аналіз реакції фундаменту будівлі поблизу трамвайної колії в умовах наявності та відсутності SHM. Очікується, що це дозволить підтвердити переваги раннього виявлення пошкоджень для запобігання серйозним структурним ризикам (рис.).

Практичне застосування SHM продемонстровано на прикладах мостів [2] і пальових фундаментів [3], де використовуються акселерометри, деформаційні датчики та бездротові сенсорні мережі. У пальових фундаментах перспективним є поєднання вібраційного моніторингу та чисельного моделювання, що дозволяє оцінити накопичення пошкоджень у сталевих трубах, заповнених бетоном [4].

Висновки. Незважаючи на значний прогрес у технологіях SHM, залишаються актуальними такі проблеми, як некоректність зворотних задач пошуку пошкоджень, складність розгортання систем у щільній міській забудові, а також потреба в великих обсягах навчальних даних для моделей ML. Для підвищення стійкості міської інфраструктури до динамічних навантажень необхідно зосередити зусилля на міждисциплінарних дослідженнях, що поєднують геотехнічні, конструктивні та цифрові підходи.

Запропоновано орієнтуватися на масштабовані, недорогі рішення SHM, які дозволять інженерам, забудовникам і міським планувальникам оперативно реагувати на зміни технічного стану фундаментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zar A., Hussain Z., Akbar M. et al. Towards vibration-based damage detection of civil engineering structures : overview, challenges, and future prospects. *Int J Mech Mater Des.* 2024. URL: <https://doi.org/10.1007/s10999-023-09692-3>
2. Saidin S. S. et al. The Application of Vibration-Based Techniques in Bridge SHM. *Int J Concrete Struct Mater.* 2022. Vol. 16. P. 69. URL: <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00557-1>
3. Zhou Y. et al. Performance of wireless sensor network in concrete pile damage detection under dynamic loading. *J Infrastruct Preserv Resil.* 2024. Vol. 5. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s43251-024-00155-z>
4. Wang X. et al. Experimental and numerical investigation of damage accumulation in concrete-filled steel tube piles under repeated axial loading. *J Infrastruct Preserv Resil.* 2023. Vol. 4. P. 81. URL: <https://doi.org/10.1186/s43251-023-00081-6>