

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОРУШЕНЬ У ТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Тези представляють аналіз методів обстеження технічних конструкцій та розроблене рішення апаратно-програмного комплексу збору даних для моделювання у математичному програмному середовищі з метою виявлення в них дефектів.

Ключові слова: обробка цифрових сигналів, математичне двовимірне моделювання, рухомі апаратні платформи, Інтернет речей, обстеження технічних конструкцій.

Здійснення візуального контролю технічних конструкцій здатне забезпечити продовження їх експлуатаційного терміну, обслуговування та безпеку. Саме за допомогою візуального огляду можна чітко оцінювати стан компонентів, матеріалів, наявність або появу нових дефектів з метою вчасного планування ремонтних робіт. Проте, традиційні засоби візуального контролю значною мірою є трудомісткими та схильними до грубих помилок, що впливатимуть на швидкість, точність ремонту та загалом планування відновлювальних робіт [1]. Враховуючи, що проблема пошкоджень технічних конструкцій, споруд і будівель на сьогодні залишається актуальною та невпинно зростає, для виконання обстеження конструкцій з метою виявлення дефектів і моделювання їх, пропонується розробити апаратно-програмне рішення з використанням рухомих апаратних платформ як інструменту виконання моніторингу споруд різної складності, у незалежності від їх розташування та стану внаслідок пошкоджень.

Виконання обстеження конструкцій може бути у важкодоступних або небезпечних зонах, відповідно як рухому платформу пропонується використати безпілотний літальний апарат (БПЛА) – DJI Phantom 4, застосування якого зможе забезпечити маневреність та здатність здійснювати моніторинг у відповідних умовах (рис. 1).



Рис. 1. Дрон моделі DJI Phantom 4 з підготовкою шасі до монтажу моніторингового блока

У тому числі, конструкція БПЛА дозволяє здійснити оснащення його, як платформи, необхідними датчиками для виконання збору цифрових даних з метою їх подальшої обробки, аналізу та визначення наявності порушень в конструкціях або їх елементах.

БПЛА моделі DJI Phantom 4 DJI є платформою для обстеження технічних конструкцій, оскільки має функцію стабілізацію польоту (GPS, сенсори перешкод у шести напрямках) та тривалість автономного функціонування сягає до 30 хвилин. У тому числі, наявність інтелектуальних режимів польоту, – Waypoint, ActiveTrack, – забезпечує можливість автоматизованого обльоту за заданим маршрутом [2]. Такий підхід

сприятиме підвищенню ефективності моніторингу, своєчасному виявленню дефектів технічних споруд та візуалізації з використанням програмного забезпечення комп'ютерного математичного моделювання.

Для забезпечення задачі зі збору даних та їх обробки у розробленому рішенні, пропонується використати одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5 як ядро для керування датчиками, а також ультразвукові датчики типу HC-SR04 для виконання замірів у просторі та визначених об'єктів при обстеженні технічної конструкції. Вибір одноплатного комп'ютера для керування процесом збору, збереження, попередньої обробки даних і бездротової передачі інформації на сервер, було здійснено на користь Raspberry Pi 5, оскільки дана модель є компактною одноплатною обчислювальною системою, призначеною для реалізації вбудованих рішень у сфері технічного моніторингу.

Плата оснащена чотириядерним процесором ARM Cortex-A76 з тактовою частотою до 2,4 ГГц, вона забезпечує суттєве підвищення продуктивності порівняно з попередніми моделями. Плата підтримує до 8 Гбайт оперативної пам'яті LPDDR4X, має два порти USB 3.0, порт PCIe 2.0, двосмуговий Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 5.0 та гігабітний Ethernet [3]. Наявність відповідних характеристик забезпечує ефективну працездатність у визначених умовах. Проте, варто відзначити, що на поточному етапі проектування обсяг оброблюваних даних є відносно невеликим, що дозволяє ефективно використовувати ресурси одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 5 без необхідності залучення більш продуктивного обладнання, однак має потенціал розширення у відповідності до ускладнення задач з обстеження та збільшення обсягу даних для обробки. Для вимірювання відстані до об'єктів та виявлення дефектів поверхонь під час обстеження технічних конструкцій було обрано ультразвуковий датчик HC-SR04, що використовується у системах моніторингу з вимірюванням нахилу будівель, просідання ґрунту навколо СТК тощо [4]. Цифровий сенсор забезпечує достатню точність (до 3 мм) у діапазоні 0,2–1500 мм, що є прийнятним для завдань просторової локалізації на малих і середніх відстанях. Простота інтерфейсу, низьке енергоспоживання та можливість інтеграції з мікроконтролерами і одноплатними комп'ютерами, зокрема Raspberry Pi, роблять HC-SR04 оптимальним вибором для систем технічного моніторингу.

З огляду на необхідність автономної роботи апаратного модуля, закріпленого на рухомій платформі, було забезпечено живлення одноплатного комп'ютера Raspberry Pi. Для цього застосовано плату розширення типу UPS HAT, що забезпечує стабільне живлення від двох Li-Ion акумуляторів форм-фактору 18650, ємністю по 3500 мА·год кожен. Така конфігурація дозволяє підтримувати безперебійну роботу обчислювального модуля впродовж циклу обстеження та здійснювати керування ультразвуковими датчиками для збирання вимірювальної інформації. Обране рішення забезпечує мобільність та енергетичну незалежність системи протягом певного часу, що є критично важливим у разі експлуатації в польових умовах або на об'єктах зі складним доступом до джерел електроживлення.

У підсумку розроблений апаратно-програмний комплекс (АПК) вбудовується «на борт» БПЛА для подальшого етапу – збору просторових даних шляхом вимірювання відстані до окремих елементів стаціонарної технічної конструкції (рис. 2).

Методика збирання даних включає кілька послідовних етапів [5]:

- вибір цільового об'єкта або поверхні в межах конструкції; визначення еталонних відстаней для подальшого порівняння;
- задання координатного початку або центральної осі відліку, від якої здійснюються вимірювання по ліву та праву сторони;
- запис фактичних даних з використанням ультразвукових датчиків, керованих одноплатним комп'ютером;
- збереження результатів у структурованому форматі CSV, що містить такі параметри: порядковий номер запису, координати стартової точки, еталонне та фактичне значення для лівої сторони, відсоток відхилення; еталонне та фактичне значення для правої сторони, відсоток відхилення.

Визначення наявності дефектів або відхилень у конструкції здійснюється шляхом аналізу відсоткового відхилення фактичних значень від еталонних, проте на даний момент процес виявлення пошкоджених або деформованих ділянок об'єкта не є автоматизованим.



Рис. 2. Зібраний АПК на рухомій апаратній платформі

Після завершення збору даних, сформований масив передається на фізичний сервер, де на поточному етапі здійснюється ручна підготовка даних, зокрема їх очищення від викидів і аномальних значень. Після цього очищений набір імпортується до програмного середовища комп'ютерного моделювання Maple Software, в якому реалізується етап обробки цифрових сигналів. Результатом даного процесу є візуалізація технічного стану досліджуваного об'єкта (наприклад, конструктивного коридору або технічної споруди) у вигляді двовимірної графічної моделі (рис. 3).

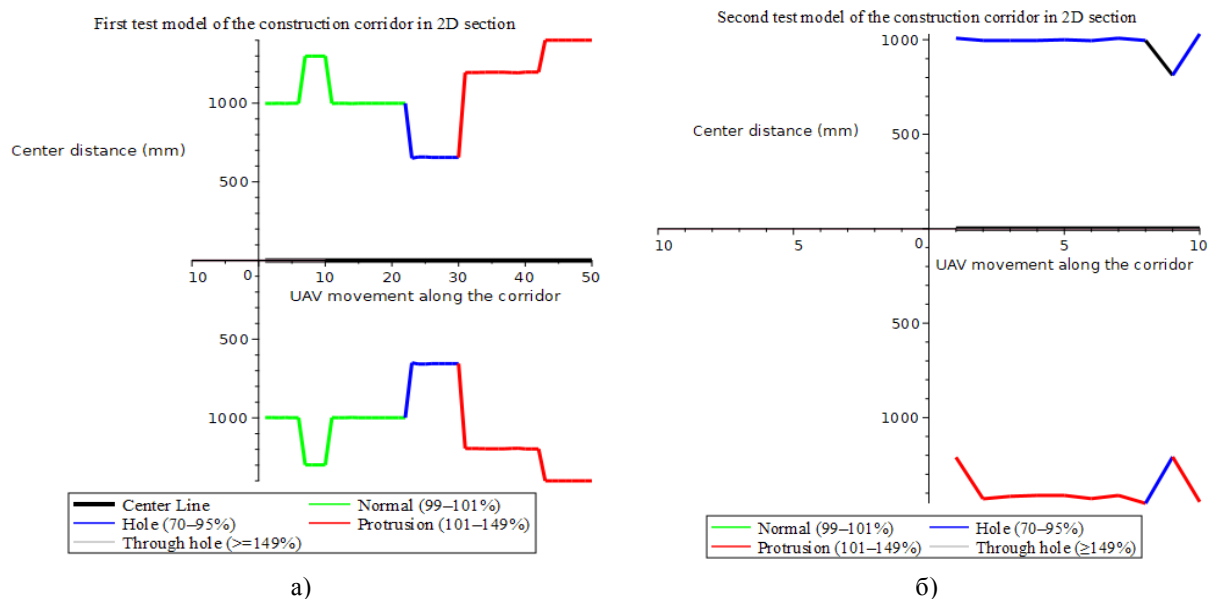


Рис. 3. Результати виконання моделювання обстежуваних зон:

а) моделювання з чотирма параметрами ушкоджень; б) тестове моделювання за фактичними даними вимірювань

Моделювання здійснюється за допомогою скрипту, що виконує наступну логіку:

- 1) імпорт модулів візуалізації – підключення бібліотек `plottools` і `plots` для побудови графіків;
- 2) ініціалізація та структурування даних – дані зчитуються у форматі таблиці, де кожен запис містить ідентифікатор точки, ідеальне значення відстані, фактичні вимірювання до лівої та правої стін, а також відповідні відсоткові відхилення;
- 3) підготовка координат для побудови – координати для графіків будуються окремо для лівої та правої стін, з урахуванням симетричного відображення правої стіни через інверсію знаку;
- 4) класифікація дефектів – залежно від відсоткового відхилення обчислюється колір лінії для кожного сегмента траєкторії;
- 5) побудова сегментованих графіків – для кожної стіни створюється набір кольорових відрізків відповідно до класифікації, що дозволяє локалізувати проблемні ділянки;

6) легенда – додаються умовні позначення для кожного типу дефекту, що робить інтерпретацію моделі інтуїтивно зрозумілою;

7) фінальна візуалізація – всі елементи об'єднуються в єдиний графік з підписами осей і заголовком.

Обстеження технічних конструкцій залишається актуальним завданням у контексті забезпечення їхньої експлуатаційної надійності та безпеки. У межах дослідження було проаналізовано традиційні методи моніторингу стану технічних споруд, що дозволяє обґрунтувати доцільність розробки апаратно-програмного комплексу для виявлення дефектів та виконання просторового моделювання. На основі аналізу сформовано концепцію функціонального апаратно-програмного комплексу, підібрано відповідні компоненти апаратного забезпечення, зокрема ультразвукові сенсори для визначення відстаней до поверхонь. Здійснено їх монтаж і проведено тестовий збір даних. Отримані результати вимірювань було оброблено та візуалізовано в середовищі математичного моделювання Maple, що дозволило відтворити структуру контрольованого простору з виявленням відхилень від еталонних параметрів.

Перспективами подальшого розвитку є автоматизація процесів аналізу отриманих даних, впровадження алгоритмів для класифікації виявлених дефектів автоматично, масштабування комплексу для уможливлення обробки великої кількості даних та автоматичного визначення наявності дефектів, використання у системі датчиків більшої дальності для здійснення обстеження складних технічних конструкцій.

References

1. Perez H., Tah J. H. M., Mosavi A. Deep learning for detecting building defects using convolutional neural networks. *Sensors*. 2019. Vol. 19, no. 16. P. 3556. DOI: 10.3390/s19163556 (Last accessed: 05.05.2025).
2. Phantom 4 RTK Specifications. *Drone Ops*. URL: <https://droneops.co.za/dji-phantom-4-rtk-specs/> (Last accessed: 07.05.2025).
3. Arduino ultrasonic sensor overview and tutorials. *SeeedStudio*. URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/11/04/hc-sr04-features-arduino-raspberry-pi-guide/> (Last accessed: 06.05.2025).
4. Sudarmanto A., Khalif M., Huda A. Detection of building slope and land subsidence using ultrasonic HC-SR04 sensors based Arduino Uno R3 and Blynk. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2540, No. 100004. DOI: 10.1063/5.0125207.
5. Kravchenko P., Zhuravska I., Obukhova K. Dataset of building parameters collected by UAV with wireless data transfer from IoT ultrasonic sensors and a single-board computer for 2D/3D modeling : Dataset. *Mendeley Data*. Publ. Apr. 29, 2025. V. 1.1. DOI: 10.17632/6zj7tj6xtn.1.

DOI 10.34132/mspc2025.01.06.20

**Polina Kravchenko,
Vitalii Nikolskyi,
Iryna Zhuravska**

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR DETECTION AND MODELING OF DEFECTS IN TECHNICAL CONSTRUCTIONS

The theses present an analysis of methods for inspecting technical constructions and a developed solution for a hardware-software complex for collecting data for modeling in a mathematical software environment in order to detect defects in them.

Key words: digital signal processing, mathematical 2D modeling, mobile hardware platforms, Internet of Things, inspection of technical constructions.

Відомості про авторів / Information about the Authors

Поліна Кравченко, бакалаврантка кафедри комп'ютерної інженерії, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: kravchenko.p@chmnu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0009-0002-7521-5914>.

Polina Kravchenko, Bachelor's Student of the Computer Engineering Department at Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: kravchenko.p@chmnu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0009-0002-7521-5914>.

Віталій Нікольський, д-р техн. наук, професор, професор кафедри технічної експлуатації флоту Національного університету "Одеська морська академія", м. Одеса, Україна. E-mail: vitalii_nik@ukr.net, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8123-4233>.

Vitalii Nikolskyi, DSc (Techn.), Professor, Professor of the Department of Technical Operation of the Fleet at Odesa National Maritime Academy, Odesa, Ukraine. E-mail: vitalii_nik@ukr.net, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8123-4233>.

Ірина Журавська, д-р техн. наук, професор, завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: iryna.zhuravska@chmnu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8102-9854>.

Iryna Zhuravska, DSc (Techn.), Professor, Head of the Computer Engineering Department at Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: iryna.zhuravska@chmnu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8102-9854>.

© П.Кравченко, В. Нікольський, І. Журавська
20.05.2025.

Стаття отримана редакцією

