

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувачка кафедри,
д-р техн. наук, проф.

_____Ірина ЖУРАВСЬКА

«__» _____ 202__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
**Програмно-апаратна платформа
для моделювання та виявлення дефектів
у стаціонарних технічних конструкціях**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач

_____Поліна КРАВЧЕНКО
підпис

«__» _____ 202__ р.

Керівник д-р техн. наук, професор,
зав. каф. комп'ютерної інженерії

_____Ірина ЖУРАВСЬКА
підпис

«__» _____ 202__ р.

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Комп'ютерної інженерії
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Освітній ступень	Бакалавр
Спеціальність	123 Комп'ютерна інженерія
Освітня програма	Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерної інженерії

_____ Ірина ЖУРАВСЬКА
« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувача
Кравченко Поліні Костянтинівні
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Програмно-апаратна платформа для моделювання та виявлення дефектів у стаціонарних технічних конструкціях

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від 30.10.2024 № 297.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи « _____ » _____ 20__ р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

Очікуваним результатом кваліфікаційної роботи є розроблене апаратне та програмне забезпечення для виконання моделювання та виявлення дефектів у стаціонарних технічних конструкціях

4. Перелік питань, що підлягають розробці:

1) дослідити та проаналізувати методи збору, обробки та аналізу даних у контексті обстеження стаціонарних технічних конструкцій;

2) дослідити існуючі підходи щодо застосування БПЛА в якості інструменту моніторингу стану конструкцій;

3) проаналізувати використання датчиків різних типів для виконання задачі зі збору даних для обстеження технічних конструкцій;

- 4) розробити програмно-апаратну платформу для реалізації задачі з моделювання та виявлення пошкоджень в стаціонарній технічній конструкції;
- 5) провести тестування розробленої програмно-апаратної платформи;
- 6) проаналізувати та визначити подальші доопрацювання, покращення розробленого рішення.

5. Перелік графічних матеріалів

Презентація

6. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи

Керівник роботи

Особистий підпис

Ірина ЖУРАВСЬКА
Власне ім'я ПРИЗВИЩЕ

Здобувач

Особистий підпис

Поліна КРАВЧЕНКО
Власне ім'я ПРИЗВИЩЕ

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи

Тема: Програмно-апаратна платформа для моделювання та виявлення дефектів у стаціонарних технічних конструкціях.

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КБР	30.10.2024	30.10.2024	Виконано
2	Огляд літератури за темою роботи	01.12.2024	20.12.2024	Виконано
3	Складання календарного плану КБР	21.12.2024	31.12.2024	Виконано
4	Аналіз предметної області	13.01.2025	01.02.2025	Виконано
5	Розробка проєктних рішень	05.02.2025	19.02.2025	Виконано
6	Моделювання та конструювання АПЗ	20.02.2025	21.03.2025	Виконано
7	Перевірка працездатності, тестування та апробація розробленого АПЗ, аналіз результатів тестування	24.03.2025	25.04.2025	Виконано
8	Відгук керівника КБР	28.04.2025	10.06.2025	Виконано
9	Оформлення КБР та презентації	28.04.2025	03.06.2025	Виконано
10	Попередній захист	21.05.2025	04.06.2025	Виконано
11	Рецензування	10.06.2025	13.06.2025	Виконано
12	Завершення оформлення КБР та презентації	13.06.2025	17.06.2025	Виконано
13	Захист кваліфікаційної бакалаврської роботи	24.06.2025	24.06.2025	Виконано

Керівник роботи

Особистий підпис

Ірина ЖУРАВСЬКА

Власне ім'я ПРИЗВИЩЕ

Здобувач

Особистий підпис

Поліна КРАВЧЕНКО

Власне ім'я ПРИЗВИЩЕ

«____» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

«Програмно-апаратна платформа для моделювання та виявлення дефектів у
стаціонарних технічних конструкціях»

Студент 405 гр.: Кравченко Поліна Костянтинівна

Керівник: д-р техн. наук, проф,

зав. каф. комп'ютерної інженерії Журавська Ірина Миколаївна

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена дослідженню методів і засобів обстеження стаціонарних технічних конструкцій (СТК), використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як інструменту здійснення моніторингу стану конструкцій, а також розробці програмно-апаратної платформи для моделювання та виявлення дефектів у обстежуваних СТК, що включають у себе промислові, житлові споруди, мости, вітряки тощо. Актуальність бакалаврської роботи обумовлена необхідністю здійснення регулярного моніторингу стану споруд без залучення громіздкого та дорогого обладнання.

Об'єктом дослідження є процес виявлення дефектів у СТК на основі сенсорних даних та моделювання. Предметом дослідження є методи і засоби програмно-апаратної реалізації процесу діагностики технічного стану конструкцій. Практичне значення результатів дослідження полягає у можливості впровадження доступної та ефективної системи моніторингу технічного стану конструкцій без залучення громіздкого обладнання або дорогих інструментів. Отримані результати можуть бути використані для технічного обстеження будівель, мостів, веж та інших інженерних споруд.

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію під час XXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Могилянські читання – 2024 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти» (м. Миколаїв, 06–10 листопада 2024 р.); XXV Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 17–18 квітня 2025 р.); XXI Міжнародної наукової конференції «Ольвійський форум – 2025: стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі» (м. Миколаїв, 16–21 червня 2025 р.); має відповідні публікації матеріалів тез, у тому числі опублікований набір даних у репозиторії Mendeley Data.

Пояснювальна записка кваліфікаційної бакалаврської роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновки, переліку джерел посилання та трьох додатків. У вступі роботи визначено актуальність тематики, сформульовані мета, об'єкт, предмет, практичне значення результатів і завдання для виконання.

У першому розділі проведено аналіз існуючих засобів і методів виконання обстеження СТК, наявність нормативних документів, що регулюють даний процес,

досліджено використання БПЛА як засобу обстеження споруд. У другому розділі, було розглянуто та здійснено підбір апаратних компонентів, а саме одноплатного комп'ютера, датчиків. Також, було проведено огляд мов програмування для реалізації рішення, підбрано систему керування базами даних, розглянуто програмні засоби комп'ютерного математичного моделювання. У третьому розділі кваліфікаційної роботи, здійснено опис концепції програмно-апаратної платформи, етапів розробки як апаратного блоку, так і реалізацію програмної частини з моделювання та виявлення дефектів шляхом використання зібраних вимірюваних даних з ультразвукових датчиків.

У висновках наведено загальний аналіз виконаної роботи та отриманих результатів проведеного дослідження, виконання поставлених задач і розроблення платформи. У додатку А наведено блок-схему алгоритму роботи апаратної частини платформи. У додатку Б – лістинг програмного коду керування одноплатним комп'ютером і датчиками для збору даних. У додатку В – лістинг програмного коду для моделювання у програмному забезпеченні Maple Software. У додаток Г включені матеріали апробації кваліфікаційної роботи.

У цілому, кваліфікаційна бакалаврська робота, без додатків, містить 75 с., 40 рис., 12 табл., 29 джерел посилання.

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

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

“Software-hardware platform for modeling and detecting defects
in stationary technical structures”

Student: Polina Kravchenko

Supervisor: Doctor of Technical Sciences, Professor Iryna Zhuravska

The bachelor's thesis is devoted to the study of methods and means of inspection of stationary technical constructions (STC), the use of unmanned aerial vehicles (UAV) as a tool for monitoring the condition of constructions, as well as the development of a software-hardware platform for modelling and detecting defects in the inspected STC, including industrial and residential buildings, bridges, wind turbines etc. The relevance of the bachelor's thesis is due to the need to regularly monitor the condition of constructions without the use of bulky and expensive equipment.

The object of study is the process of detecting defects in structural steel constructions based on sensor data and modelling. The subject of the study is the methods and means of software-hardware implementation of the process of diagnosing the technical condition of constructions. The practical significance of the research results lies in the possibility of implementing an affordable and effective system for monitoring the technical condition of constructions without the use of bulky equipment or expensive tools. The results can be used for technical inspection of buildings, bridges, towers and other engineering constructions.

The bachelor's thesis was tested during the XXVII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference “Mohyla Readings – 2024: Experience and Trends in the Development of Society in Ukraine: Global, National and Regional Aspects” (Mykolaiv, 06–10 November 2024); XXV All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students “State, Achievements and Prospects of Information Systems and Technologies” (Odesa, 16–18 November 2024); XXI International Scientific and Technical Conference “Olvia Forum – 2025: Strategies of the Black Sea Region Countries in Geopolitical and Political Context” (Mykolaiv, 16–21 June 2025); has relevant publications of abstracts, including a published dataset in the Mendeley Data repository.

The explanatory note of a bachelor's thesis consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and three appendices. The introduction of the work defines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject, practical significance of the results and tasks to be performed. The first section analyses the existing means and methods of performing the inspection of technical constructions, the availability of regulatory documents governing this process, and investigates the use of UAVs as a means of inspecting constructions. In the second section, the selection of hardware components, namely a single-board computer and sensors, was considered and

carried out. In addition, a review of programming languages was conducted to implement the solution, a database management system was selected, and software tools for computer mathematical modelling were considered. The third chapter of the qualification work describes the concept of the software-hardware platform, the stages of development of both the hardware unit and the implementation of the software part for modelling and detecting defects using the collected measured data from ultrasonic sensors. The conclusions provide a general analysis of the work performed and the results of the study, the achievement of the objectives and the development of the platform. Appendix A contains a block diagram of the platform's hardware algorithm. Appendix B contains a listing of the software code for controlling the single-board computer and data collection sensors. Appendix C contains a listing of the software code for modelling in Maple Software. Appendix D contains the materials for testing the qualification work.

The paper consists of 75 pages (excluding appendices), 12 tables, 40 figures, and 4 appendices. The study references 29 sources.

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП	4
1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗБОРУ, ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРО СТАН ТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ	7
1.1 Теоретичні основи про моніторинг стану стаціонарних ТК	7
1.2 Застосування БПЛА як засобу моніторингу стану СТК	13
1.3 Формування вимог до ПАП	20
Висновки до розділу 1	22
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У КОНСТРУКЦІЯХ	24
2.1 Вибір технологій та компонентів для реалізації ПАП	24
2.2 Формування концепції та архітектури ПАП	44
Висновки до розділу 2	46
3 СИСТЕМА ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ ПЛАТФОРМИ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	47
3.1 Опис апаратної частини платформи	47
3.2 Збір апаратного блоку платформи	48
3.3 Програмна реалізація платформи.....	58
3.4 Експериментальні дослідження та тестування платформи	64
Висновки до розділу 3	69
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	72
ДОДАТОК А Блок-схема алгоритму роботи апаратної частини	76
ДОДАТОК Б Код програми збору даних	77
ДОДАТОК В Програмний скрипт моделювання.....	79
ДОДАТОК Г Матеріали апробації роботи	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БД	– база даних
БПЛА	– безпілотний літальний апарат
ДБН	– Державні будівельні норми
ДСТУ	– Державний стандарт України
КБР	– кваліфікаційна бакалаврська робота
НД	– нормативний документ
ОС	– операційна система
ПАП	– програмно-апаратна платформа
ПЗ	– програмне забезпечення
СКБД	– система керування базами даних
СТК	– стаціонарна технічна конструкція
ТК	– технічна конструкція
ШІ	– штучний інтелект
CSV	– Comma Separated Values

ВСТУП

Сучасні технології візуалізації та обробки даних, зокрема із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), забезпечують можливості для обстеження стаціонарних технічних конструкцій (СТК). Завдяки мобільності БПЛА та можливості оснащення їх сенсорами є можливим здійснювати оперативний збір інформації про стан інфраструктурних об'єктів без необхідності залучення важкої техніки. Це особливо актуально для мостів, будівель, трубопроводів та інших інженерних споруд, де своєчасне виявлення дефектів є критично важливим для забезпечення безпеки експлуатації.

Актуальність дослідження програмно-апаратної платформи (ПАП) для виявлення дефектів у СТК обумовлена низкою факторів. По-перше, зношення інженерних споруд потребує систематичного контролю технічного стану, що важко реалізувати традиційними методами через їхню трудомісткість та вартість. По-друге, новітні технології збору даних за допомогою БПЛА, датчиків та математичного моделювання дозволяють створювати дво- та тривимірні моделі об'єктів з метою виявлення пошкоджень. По-третє, розробка програмно-апаратного комплексу дозволить ефективно інтегрувати різноманітні методи аналізу даних для забезпечення швидкої діагностики стану об'єктів.

В умовах воєнного стану в Україні питання виявлення пошкоджень критичних інфраструктурних об'єктів, таких як мости, будівлі, опори, захисні споруди тощо, набуває особливої актуальності. Надійна система моніторингу здатна вчасно фіксувати зміни в конструкціях, зменшуючи ризик аварій та сприяючи ефективній експлуатації об'єктів у надзвичайних умовах.

Метою роботи є розробка ПАП для моделювання та виявлення дефектів у СТК із застосуванням датчиків, БПЛА як рухомої платформи для обстеження та програмних засобів для обробки та візуалізації даних для виявлення дефектів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати сучасні методи та засоби діагностики стану ТК;
- дослідити підходи до моделювання об'єктів на основі даних, отриманих із датчиків;
- здійснити аналіз та підбір апаратних і програмних компонентів;
- розробити апаратну частину платформи для збору інформації про об'єкти;
- реалізація математичної моделі для побудови конструкції та виявлення дефектів на основі підібраних програмних засобів;
- здійснити експериментальну перевірку розробленої системи;
- визначити напрями подальшого вдосконалення комплексу.

Об'єктом дослідження є процес виявлення дефектів у технічних конструкціях на основі сенсорних даних та моделювання.

Предметом дослідження є методи і засоби програмно-апаратної реалізації процесу діагностики технічного стану об'єктів.

Практичне значення результатів дослідження полягає у можливості впровадження доступної та ефективної системи моніторингу технічного стану конструкцій без залучення громіздкого обладнання або дорогих інструментів. Запропонований підхід дозволяє в автоматизованому режимі фіксувати пошкодження та створювати візуалізацію об'єктів у просторі. Отримані результати можуть бути використані для технічного обстеження будівель, мостів, веж та інших інженерних споруд.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи відбулася під час XXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Могилянські читання – 2024 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти» (м. Миколаїв, 06–10 листопада 2024 р.) [1]; XXV Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 17–18 квітня 2025 р.) [2]; XXI Міжнародної наукової конференції

«Ольвійський форум – 2025: стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі» (м. Миколаїв, 16–21 червня 2025 р.) [3].

Публікації. Основні положення роботи опубліковані у збірнику матеріалів XXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Могилянські читання – 2024 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти» [4]; збірнику матеріалів XXV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» [5]. Один набір даних у репозиторії Mendeley Data [6]; у збірнику тез доповідей XXI Міжнародної наукової конференції «Ольвійський форум-2025» [3].

1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗБОРУ, ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРО СТАН ТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Теоретичні основи про моніторинг стану стаціонарних ТК

Здійснення моніторингу стану конструкцій, будівель, технічних споруд надає можливість здійснити оцінку та отримати рекомендації щодо засобів усунення дефектів. Здійснення оцінки технічного стану стаціонарних технічних конструкцій (СТК) є важливим етапом для забезпечення та дотримання їх експлуатаційної придатності. Як правило, потреба в здійсненні оцінки стану виникає у випадках початку будівництва поряд з наявними об'єктами, конструктивних недоліків або пошкоджених конструкцій, через які технічні конструкції (ТК) втрачають свою експлуатаційну придатність.

1.1.1 Нормативні документи, що контролюють стан ТК

Контроль стану ТК має включати систематичний характер і дозволяти проводити оцінювання змін на основі кількісних критеріїв, що базуються на процедурах виявлення відповідності конструктивних елементів нормативним вимогам і стандартам. Моніторинг є одним з найбільш поширених механізмів контролю ТК. Даний механізм є комплексною системою, що дозволяє чітко визначати причини формування та появи пошкоджень, що сприятиме ефективному плануванню ремонтних робіт для відновлення споруди.

Станом на сьогодні, на території України найбільш поширеним є тип моніторингу, що заснований на періодичному контролі технічного стану конструкції. Відповідно до ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість» для об'єктів з класом наслідків СС3 необхідне впровадження безперервного моніторингу [11]. Здійснення обстеження технічного стану будівельних об'єктів має обов'язковий характер згідно з наступними державними нормами:

– відповідно до п. 4.1 ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [7] здійснення розробки проектної документації без попередніх інженерних вишукувань, що мають бути виконані відповідно до ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва» на нових земельних ділянках [8], не допускається. Під час виконання реконструкції чи капітального ремонту для відновлення об'єктів не допускається без з'ясування результатів виконаних інженерних вишукувань та інструментального обстеження об'єктів;

– згідно з п. 5.1 ДСТУ Б В.3.1-2:2016 «Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд» [9], на основі даних, що були отримані при обстеженні будівельних конструкцій відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.2-18, що виконані згідно з ДБН А.2.1-1, приймаються рішення щодо необхідності ремонту або підсилення будівельних конструкцій з метою відновлення чи збільшення їх несучої здатності та експлуатаційної придатності.

Основні нормативні документи (НД), що здійснюють встановлення вимог до проведення технічного обстеження БтаС, – це ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються» [10] та ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість» [11] встановлені вимоги щодо проведення моніторингу технічного стану об'єктів нерухомості та їх конструктивних елементів.

Крім того, у зв'язку з воєнними діями, що тривають на території України, Міністерством розвитку громад та територій України, у 2022 році було затверджено «Методику проведення обстеження та оформлення його результатів» (далі – Методику) [12]. Дану Методику розроблено для використання фахівцями та спеціалістами зі здійснення обстеження, у тому числі власниками або управителями об'єктів, виконавчими органами територіальної адміністрації. Зазначається, що здійснення моніторингу

об'єктів, що мають галузеву специфіку слід виконувати з урахуванням положень даної Методики, нормативно-правових актів, будівельних норм і національних стандартів у відповідній сфері.

1.1.2 Засоби здійснення контролю стану конструкцій

Зазвичай моніторинг охоплює сукупність різних методів, що дозволяють здійснювати оцінку технічного стану об'єкта у динаміці на основі періодичних спостережень або в разі проведення огляду після виникнення пошкоджень, включаючи такі основні етапи [13]:

- виконання початкового геодезичного контролю для визначення ступеня деформацій об'єкта;
- проведення візуального огляду конструкцій з метою виявлення, опису та класифікації виявлених дефектів;
- застосування інструментального обстеження стаціонарних елементів конструкцій для встановлення відхилень окремих частин, а також для фіксації наявності та масштабу порушень;
- монтаж комбінованих маяків у місцях, де візуально виявлені тріщини, з подальшим спостереженням за їх змінами протягом усього періоду моніторингу;
- визначення інтегральних характеристик стану несучих конструкцій у контексті зовнішніх впливів, таких як енергія деформацій, коливальні процеси, коефіцієнти демпфування;
- підготовка щомісячних висновків і надання рекомендацій на основі аналізу змін технічного стану несучих конструкцій;
- розроблення заходів щодо забезпечення міцності та стійкості конструкцій, включаючи інструкції з улаштування тимчасових опор і розкріплень, а також вимоги до допустимих монтажних навантажень і впливів.

Для більш достовірної оцінки технічного стану ТК проводиться технічне обстеження, яке є комплексом спеціалізованих дій, зокрема контролю, випробувань, аналізу та оцінювання, спрямованих на встановлення

фактичного робочого стану конструкції або її окремих елементів. Це також включає своєчасне виявлення критичних пошкоджень, усунення несправностей, визначення причин їх виникнення, встановлення придатності до подальшої експлуатації, рівня безпеки для людей та прогнозування подальшої поведінки конструкцій у процесі експлуатації.

Результатом моніторингу є інформація про стан об'єкта та прилеглої території, що надається у вигляді проміжних звітів. Ці звіти ґрунтуються на даних, зібраних і попередньо проаналізованих за допомогою чутливих елементів, встановлених на ТК. У межах звіту, на основі моніторингових спостережень, подається висновок щодо поточних значень контрольованих параметрів [14].

Отримані результати використовуються для визначення технічного стану конструкцій. Підсумковим результатом такої оцінки може бути висновок про можливість подальшої експлуатації ТК у штатному режимі. Постійному контролю за допомогою автоматизованих систем підлягають конструкції, що мають критичне значення з погляду безпеки. При цьому використовуються прилади та обладнання, здатні автоматично зберігати, обробляти та передавати результати вимірювань через інформаційні канали зв'язку. Сучасні системи моніторингу ТК містять такі основні елементи:

- вимірювальні елементи (датчики) контрольованих параметрів;
- системи реєстрації, збору та обробки параметрів ТК;
- математичної моделі прогнозування значень контрольованих параметрів;
- системи налаштування та керування моніторингом ТК.

У результаті, побудована математична модель надає можливість виконати попереднє прогнозування значень параметрів ТК. Результатом прогнозу є висновок про експлуатаційну придатність ТК з урахуванням тенденції щодо можливого погіршення технічного стану.

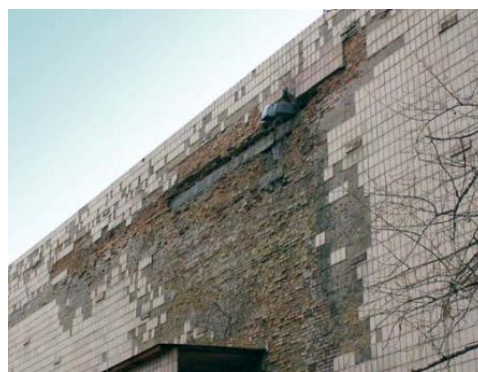
1.1.3 Застосування математичного моделювання в моніторингу ТК

Математична модель надає можливість виконувати попередні прогнозування значень контрольованих параметрів ТК. Результатом такого прогнозу є формування висновку щодо експлуатаційної придатності ТК [13]. Прогноз виходу значень параметрів ТК за межі заданого критерію є основою для прийняття рішень щодо можливості подальшої її експлуатації.

Математичне моделювання зміни технічного стану є складним для об'єкта, що складається з великої кількості конструктивних елементів. Одним з реалізованих рішень є моделювання результатів моніторингу стану будівлі Кінотеатру (м. Київ, вул. Щусєва 4), необхідність обстеження якого внаслідок припинення експлуатації за прямим призначенням без розроблення заходів щодо консервації споруди.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Обстеження стін фасаду будівлі кінотеатру:

а) вигляд кладки стіни фасаду; б) руйнування кладки стіни фасаду у місці розташування водовипускних пристроїв [14]

Для обґрунтування мінімально необхідного армування конструкції необхідно визначити напружено-деформований стан ТК. З даною метою, спеціалісти розробили скінченно-елементну модель ТК у лінійній постановці задачі. Розрахунки ТК виконуються, враховуючи податливість основи, жорсткість монолітної фундаментальної плити та конструкції каркаса. Розрахунки проводяться на основі математичної моделі, що розроблена для сумісного розрахунку системи «Основа-Фундамент-Будівля». Така модель

складається з розрахункової скінченно-елементної моделі конструктивної системи та розрахункової моделі основи. Як правило, спеціалісти виконують моделювання ТК вручну з використанням спеціального ПЗ «Lira-Windows» (рис. 1.2).

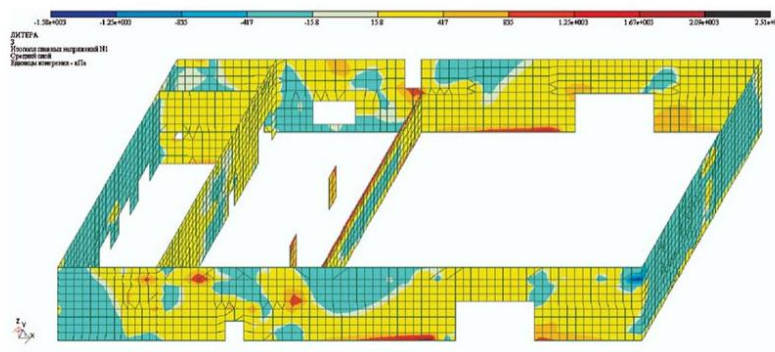


Рисунок 1.2 – Приклад моделювання розподілу головних напружень у стінах першого поверху будівлі кінотеатру у м. Київ [14]

Метод багатфакторного аналізу належить до галузі математичної статистики та використовується для оцінювання ступеня впливу кожного з контрольованих параметрів на технічний стан об'єкта моніторингу. Серед чисельних методів факторного аналізу вирізняється метод головних компонент, що базується на дослідженні коваріаційної матриці статистичних даних. Цей метод дозволяє аналізувати взаємозв'язки між досліджуваними характеристиками та виявляти приховані параметри, що є джерелом лінійних кореляцій між ними.

Крім того, метод головних компонент дає змогу визначити найбільш значущі параметри серед початково обраних, що відіграють провідну роль за умов проведення досліджень, а також встановити наявність статистичних взаємозв'язків, що підтверджують обґрунтованість висновків щодо вагомості впливу окремих факторів на стан об'єкта моніторингу.

Застосування теорії графів у системі моніторингу технічного стану будівлі або споруди відкриває можливості для візуального моделювання об'єкта, де особливе значення надається зв'язкам між окремими його контрольованими параметрами. Застосовуючи підхід графів можна

формалізувати як самі параметри технічного стану, так і внутрішні зв'язки, що дозволяє ефективно вирішувати завдання, пов'язані з обробкою великих обсягів даних, аналітикою, оптимізацією та програмуванням.

1.2 Застосування БПЛА як засобу моніторингу стану СТК

Згідно з даними [15], з 24 лютого 2022-го до 2024-го року в наслідок військової агресії з боку рф, на території України зруйновано понад 213'000 об'єктів. Найбільших збитків зазнали житлово-комунальний сектор, торгівля, промисловість, транспорт та енергетична галузь. У зв'язку з цим надзвичайно важливим стає питання оцінювання стану пошкоджених ТК і визначення доцільності їхнього відновлення. З метою прискорення цих робіт і забезпечення безпеки фахівців під час обстеження об'єктів у важкодоступних зонах актуальним є застосування БПЛА, як рухомої платформи для систем обстежень.

Широке використання технологій БПЛА для аеровізуального спостереження за технічним станом промислової інфраструктури, у тому числі контроль за розвитком небезпечних техногенних процесів стали основними тенденціями у вирішенні задач моніторингу будівельної галузі. Особливу увагу приділяють дослідженням, що стосуються забезпечення безпеки під час виконання будівельних робіт, а також інспекції споруд з метою виявлення потенційно аварійних ділянок. Оцінювання технічного стану конструкцій зазвичай здійснюється шляхом візуального або візуально-інструментального обстеження, що вимагає участі кваліфікованих фахівців зі спеціальною підготовкою.

У разі руйнування будівель або ТК, проведення аварійно-рятувальних чи відновлювальних робіт може ускладнюватися через залишки конструкцій, завали з уламків або будівельного сміття, обмежений простір для переміщення або недостатній розмір проходів і прорізів. Піднімання на верхні поверхи зруйнованих ТК для оцінки внутрішнього стану вимагає встановлення

спеціальних тимчасових конструкцій – риштувань або драбин – у нестабільному середовищі, що створює додаткові ризики для виконавців.

У разі відсутності точних даних щодо масштабу руйнувань важко спрогнозувати обсяги та складність відновлювальних заходів. Саме тому застосування БПЛА є доцільним для проведення попередньої розвідки території та оцінки обсягів майбутніх робіт.

1.2.1 Різновиди БПЛА у сучасному світі, їх стан

Станом на 2024 рік налічується понад 1'500 серійно випущених моделей БПЛА, що належать до різних типів. За останні декілька років їх загальна чисельність зросла майже втричі. Таке різноманіття обумовлене широкою сферою використання БПЛА, а також специфікою їх конструкцій, що дозволяють ефективно виконувати вузьконаправлені задачі.

Для належного проектування та експлуатації цих систем важливим є чітке розуміння їх класифікаційних особливостей. Систематизація безпілотних літальних апаратів має на меті спростити підбір найбільш відповідної моделі з урахуванням умов використання та необхідних експлуатаційних характеристик (рис. 1.3).

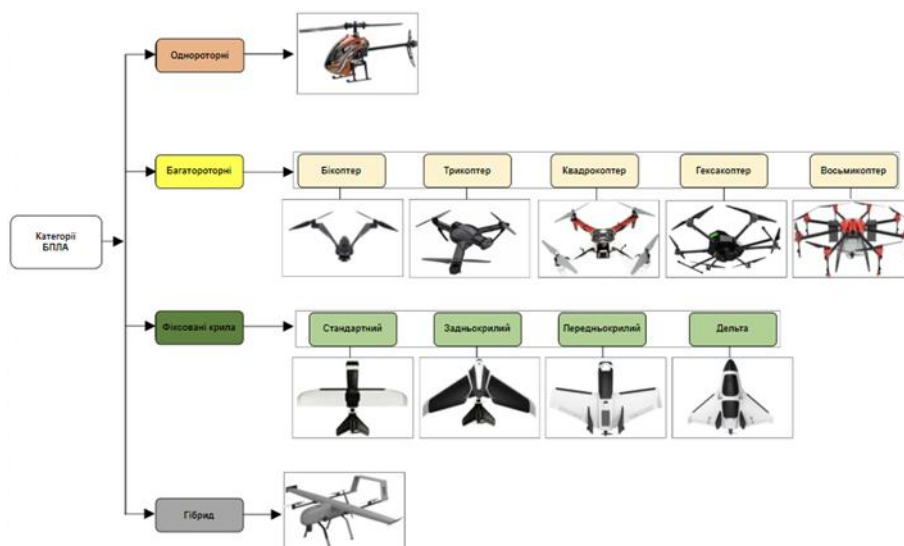


Рисунок 1.3 – Класифікація БПЛА за призначенням

Загальновизнану класифікацію, розроблену Міжнародною асоціацією систем безпілотного транспорту (англ. Association for Unmanned Vehicle Systems International), поділено на кілька категорій. Ця класифікація охоплює як сучасні, так і перспективні розробки БПЛА, однак не є остаточною – вона постійно оновлюється й удосконалюється. До того ж, чимало моделей з унікальними поєднаннями параметрів складно віднести до конкретного типового класу [16].

БПЛА класифікують за низкою параметрів, зокрема: призначенням, масою, тривалістю та висотою польоту, типом апарату й крила, системою управління, паливною системою, кількістю використань та радіусом дії. За масштабом виконуваних завдань БПЛА поділяються на тактичні (до 80 км), оперативно-тактичні (до 300 км) та стратегічні (до 700 км). Масова класифікація передбачає такі типи: малорозмірні (до 200 кг), середні (200–2'000 кг), великі (2'000–5'000 кг) та важкі (понад 5'000 кг).

За призначенням виділяють універсальні (перенесення навантаження) та спеціалізовані (для конкретних завдань) БПЛА. Використання композитних матеріалів дає змогу зменшити вагу планера на 30–40 %, що дозволяє збільшити дальність або корисне навантаження. За тривалістю польоту БПЛА існують короткотривалі (до 6 годин), середні (6–12 годин) і довготривалі (понад 12 годин). За висотою – маловисотні (до 1 км), середньовисотні (1–4 км), висотні (4–12 км) і стратосферні (понад 12 км).

Системи керування БПЛА поділяються на дистанційно керовані, напіваавтоматичні й повністю автономні. Передача даних здійснюється через радіоканали з частотами від 433 МГц до 5,2 ГГц. Через них також можуть передаватися відео- та фотоматеріали. Габаритні параметри антен та їх конструктивні особливості мають істотний вплив на аеродинамічні властивості безпілотних літальних апаратів.

Згідно з чинними регламентами повітряного руху, БПЛА класифікуються на ті, що виконують польоти за візуальними правилами, та апарати, які функціонують за приладовими правилами. У першому випадку

керування здійснюється в межах прямої видимості оператора, що, як правило, обмежує експлуатацію денним часом. У разі виникнення зон з обмеженою видимістю або повної втрати візуального контакту, управління переходить до автоматизованого режиму, що передбачає опору як на приладові показники, так і на алгоритми автоматичного керування в межах дозволених сценаріїв польоту.

У тому числі, БПЛА класифікуються за типом крила на літакові (з нерухомим крилом), коптерні (роторного типу) та гібридні. Найпоширенішими залишаються літакові та вертолітні типи. Дрони з фіксованим крилом (50–180 км/год) більш енергоефективні, оскільки підйомна сила формується завдяки аеродинаміці, що знижує навантаження на двигуни. Недоліком є потреба у злітно-посадковій смугі та відсутність здатності зависати. Мультироторні дрони (40–100 км/год) можуть злітати та здійснювати посадку вертикально та утримувати позицію над об'єктами, що робить їх зручними для точкових завдань, зокрема в межах стільникового покриття. Основні недоліки – високе енергоспоживання та менша мобільність.

Кількість гвинтів у мультикоптерах є критично важливою, оскільки впливає на вантажопідйомність, тривалість польоту та керованість. За напрямком підйому БПЛА бувають горизонтальні, вертикальні та мультипідйомні, що залежить від конструкції крила та способу зльоту або посадки. За паливною системою БПЛА поділяють на монозаправні (одноразова заправка на заводі) та полізаправні (багаторазова заправка: наземна, платформна або бортова). Зі збільшенням кількості двигунів зростає споживання енергії, габарити, вітрильність і складність управління, але також і вантажопідйомність. Вітрові навантаження на висоті можуть змінювати курс, тому стабілізація траєкторії вимагає більше енергії. У зв'язку з необхідністю підтримання заданого оператором курсу польоту, безпілотний літальний апарат витрачає додаткову кількість енергії. Для легких БПЛА доцільним є використання електричних авіаційних двигунів, що живляться від акумуляторних батарей. У разі експлуатації апаратів середнього класу,

доцільним є застосування комбінованих силових установок, що поєднують електродвигуни з поршневыми або роторними двигунами внутрішнього згоряння.

Класифікація БПЛА також здійснюється за критерієм кратності використання. Вирізняють одноразові літальні апарати (в тому числі ті, що не передбачають посадки, та моделі з можливістю посадки), а також багаторазові БПЛА, які здатні витримати щонайменше 10 повноцінних циклів застосування. Щодо дальності дії, виділяють п'ять основних категорій: ближньої дії – до 40 км, малої дальності – до 70 км, середньої – до 300 км, великої – до 1'500 км, а також апарати великої тривалості польоту, які забезпечують радіус дії понад 1'500 км.

1.2.2 Використання БПЛА в Україні

Використання БПЛА в Україні стрімко зростає та має важливе значення в різних сферах. На сьогодні, застосування БПЛА у військовій сфері стало одним з ключових інструментів. Вони використовуються для розвідки, збору інформації, виявлення техніки, позицій і переміщень. БПЛА також допомагають коригувати артилерійський вогонь, уточнюючи координати для точних ударів, виконують ударні місії. Їх застосовують для моніторингу лінії фронту, розмінування та пошуку вибухонебезпечних предметів. Українські компанії, такі як «Devigo» [17], активно розробляють власні моделі дронів, зокрема такі, що є підходящими для вирішення різних завдань з повітряної розвідки, патрулювання, картографування місцевості з можливістю передачі актуальної інформації в режимі реального часу.

У цивільному секторі БПЛА також мають широке застосування. В аграрному секторі використовуються для моніторингу стану полів, визначення здоров'я рослин, виявлення хвороб, а також для внесення добрив і засобів захисту рослин, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів. У будівництві та інфраструктурі дрони інспектують мости, дороги, лінії

електропередач, трубопроводи, а також створюють 3D-карти та моделі для проєктування.

Завдяки високій роздільній здатності камер та можливості знімати з різних ракурсів, БПЛА дозволяють отримувати детальну інформацію про рельєф місцевості, існуючі споруди та інфраструктуру. У контексті інспекції та моніторингу, БПЛА дозволяють виявляти дефекти, пошкодження та інші проблеми на ранніх стадіях. Оснащені тепловізорами, камерами високої роздільної здатності та іншими сенсорами, літальні апарати здатні проводити детальний огляд будівельних та технічних конструкцій, мостів (рис. 1.4), трубопроводів, ліній електропередач та інших об'єктів інфраструктури.



Рисунок 1.4 – Візуалізоване зображення принципу застосування БПЛА для моніторингу стану конструкції моста компанією «Manam Applications»

Таке застосування має ряд переваг, а саме проведення інспекції у важкодоступних або небезпечних місцях, сучасні сенсори дозволяють виявляти навіть незначні дефекти та пошкодження, що можуть бути невидимі неозброєним оком, БПЛА записують відео та фотографії високої якості, що можуть бути використані для детального аналізу стану об'єктів та планування ремонтних робіт [18].

В екологічних цілях дрони допомагають моніторити стан лісів, річок, природоохоронних територій, а також виявляти незаконну вирубку лісів чи забруднення. Для екстрених служб БПЛА стали важливим інструментом у рятувальних операціях, особливо у важкодоступних місцях, і для ліквідації

наслідків катастроф, таких як затоплення чи пожежі. БПЛА активно застосовуються у комерційних та наукових проєктах. Наприклад, тестуються системи доставки товарів, включаючи медикаменти у віддалені райони, а також ведуться наукові дослідження, такі як метеорологічний чи геологічний моніторинг.

Водночас використання БПЛА має певні виклики. Основними проблемами є протидія з боку електронної боротьби, коли дрони можуть бути заглушені чи перехоплені, залежність від імпорту компонентів для їхнього виробництва, а також недостатньо розвинене законодавство, що регулює використання БПЛА. Попри це, перспективи розвитку є значними. Україна активно розвиває власне виробництво, розширює використання, здійснюється інтеграція БПЛА з іншими технологіями, зокрема штучним інтелектом (ШІ) та технологіями Інтернету речей.

1.2.3 Використання різних БПЛА для моніторингу стану ТК

Розглядаючи БПЛА для обстеження ТК, доцільно ознайомитися з тими моделями, що стали основними даному напрямку [19]. Одним з таких є DJI Mavic 3, модель якого пропонує функції та можливості високоякісного зображення, що ідеально підходить для детальної оцінки будівельних майданчиків та зовнішнього вигляду. Загальна тривалість польоту даного БПЛА сягає 46 хвилин з дальністю до 30'000 км. У тому числі, DJI Mavic 3 є спеціальним дроном для аерофотозйомки, дозволяє ретельно оцінювати конструкції та забезпечує стабільні характеристики польоту у складних умовах.

Модель БПЛА DJI Phantom 4 RTK пропонує високоточні можливості відображення, придатні для детальних обстежень місця. Phantom 4 RTK забезпечує точність фіксування кожного сантиметра площини огляду, вимагаючи менше наземних контрольних точок. Точність горизонтального позиціонування становить до 1 см, у свою чергу, точність позиціонування по

вертикалі становить до 1,5 см. Абсолютна точність фотограмметричної моделі в горизонтальній площині складатиме до 5 см.

Модель DJI Matrice 300 RTK підтримує різноманітні корисні навантаження, забезпечуючи різноманітні методи збору даних, пропонує збільшений час польоту до 55 хвилин, що дозволяє проводити більш комплексні перевірки ТК. Іншим варіантом БПЛА, що використовується для інспекції стану ТК на сьогодні є Yuneec H520. Дана модель наділена камерою з 30-кратним оптичним зумом, тепловізійною камерою 640T та денною камерою 4K. Також, одним з останніх варіантів, що є поширеним серед спеціалістів з моніторингу стану ТК є Autel Robotics EVO Lite+. Квадрокоптер EVO Lite+ оснащений 1-дюймовим CMOS-датчиком камери та інтелектуальним алгоритмом світла Autel, що дозволяє захоплювати чіткі, яскраві деталі вночі з низьким рівнем шуму – навіть при високому значенні ISO. Дрон забезпечує безперервний, автономний політ тривалістю до 40 хвилин. Найголовнішим недоліком кожного типу є його дорога вартість.

Відповідно, з'являється потреба у розробці програмно-апаратного комплексу, що стане ефективним доповненням до недорого вартісних моделей БПЛА для здійснення польоту з метою моніторингу стану та виявлення дефектів у стаціонарних ТК.

1.3 Формування вимог до ПАП

Для формування вимог маємо визначитися з функціональними, нефункціональними, вимогами апаратного та програмного забезпечення (ПЗ). Функціональні вимоги:

- сканування та збір даних: система повинна мати можливість безперебійно отримувати дані від пристрою, що буде на «борту» БПЛА, з високою частотою вибірки для забезпечення достатньої деталізації даних;
- збереження даних: система повинна забезпечувати збереження отриманих даних про стан ТК з пристрою у базі даних (БД) разом з відповідними координатами обльоту конструкції за траєкторією;

– виявлення об'єктів: ключовою функцією системи є можливість порівнювати отримані результати вимірювання з еталонними зразками в БД для виявлення дефектів ТК з високою точністю.

Щодо формування нефункціональних вимог ПАП, варто виокремити наступні:

- продуктивність системи: платформа повинна забезпечувати збір та коректне збереження даних у реальному часі з мінімальною затримкою;
- масштабованість: платформа має підтримувати розширення функціоналу, збільшення обсягів оброблюваних даних та підключення нових модулів без суттєвого перепроєктування системи;
- надійність використання: має бути врахована стійкість до збоїв, а в разі їх виникнення – забезпечувати відновлення роботи без втрати вже зібраних даних. У тому числі, має бути передбачено використання апаратної частини в різних погодних умовах, тому при проєктуванні системи повинно бути враховано коливання температур, вологості або наявності механічних вібрацій;
- зручність у використанні: програмний інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим для операторів із мінімальними технічними знаннями;
- безпека даних: забезпечення захисту даних від несанкціонованого доступу (шифрування, багаторівнева автентифікація). Відповідність вимогам стандартів безпеки для роботи з технічними структурами (наприклад, ISO).
- енергонезалежність: апаратна платформа для збору даних повинна бути розроблена для використання з автономними джерелами живлення з мінімальним енергоспоживанням, наприклад, живлення мікрокомп'ютера від Li-Ion батарей.

Вимоги до апаратного забезпечення:

- збір даних про стан ТК: система повинна отримувати та зберігати даних у відповідності з координатами на визначений відстані;
- підключення до комп'ютеру або серверу: апаратна частина платформи повинна мати змогу підключатися до комп'ютера або сервера з

достатніми обчислювальними ресурсами для обробки великих обсягів даних та зберігання їх у БД.

Вимоги до ПЗ:

- система керування базами даних (СКБД): для зберігання даних про структуру та стан ТК та еталонних зразків необхідна СКБД, що здатна ефективно працювати з великими обсягами даних та забезпечувати швидкий пошук і доступ до них;
- бібліотеки та інструменти: система повинна використовувати ефективні програмні бібліотеки та інструменти для обробки та аналізу даних, реалізації алгоритмів порівняння та класифікації, візуалізації даних та моделювання об'єкта моніторингу у Maple Software та результатів виявлення дефектів у ТК.

Таким чином, сформовано початкові вимоги до ПАП для моделювання та виявлення дефектів у стаціонарних ТК. Однак, варто зазначити, що в ході проведення практичних експериментів дані вимоги можуть бути розширені, удосконалені та приведені у відповідність з реальними результатами в процесі розробки програмно-апаратної частини платформи для моніторингу стану складних технічних конструкцій різних типів.

Висновки до розділу 1

Аналіз предметної області у першому розділі продемонстрував актуальність та показав, що даний напрямок роботи має низку переваг у практичному використанні. Таким чином, використання БПЛА з вбудованою програмно-апаратною платформою у галузі обстеження складних ТК у якості основного інструмента, надає такі можливості, як своєчасний та детальний огляд конструкції, зменшення собівартості виконання інспекційних робіт, скорочення тривалості процесу обстеження, покращення точності аналізу та визначення геометричних характеристик ушкоджень ТК. У тому числі, моніторинг шляхом використання програмно-апаратної платформи дозволить здійснювати не лише виявлення дефектів у стаціонарних ТК, а й

моделювання ушкоджень, що у перспективі значно пришвидшить процес відновлення певної споруди.

Огляд існуючих методів моніторингу стану стаціонарних ТК, продемонстрував, що спеціалісти використовують дороговартісні БПЛА з вбудованими камерами, що призначені безпосередньо для аерофотозйомки, оперативного отримання просторових даних. Такий спосіб обстеження є дійсно ефективним, однак потребує чималих коштів для забезпечення пристроями, а також не дозволяє відтворити модель ушкодженої споруди, адже є способом збору візуальних фотознімків. Варіант використання надбудови апаратної платформи на «борту» простого БПЛА для збору даних з метою виявлення дефектів у конструкціях може здобути перспективу розвитку та практичного використання в галузі моніторингу забудов.

У результаті дослідження предметної галузі, було сформовано першочергові вимоги до розробки ПАП з виявлення дефектів у стаціонарних ТК та моделювання обстеженої конструкції у подальшому. Майбутня платформа повинна забезпечувати збір та збереження даних у реальному часі, здійснювати обробку та аналізувати зібрані дані для виявлення та відтворення об'єкту дослідження з дефектами в якості моделі. Дана ПАП базуватиметься на достатньо потужній апаратній платформі з підкріпленням програмним забезпеченням, у якому виконуватиметься математичне моделювання ТК, для виконання поставлених умов до платформи.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У КОНСТРУКЦІЯХ

2.1 Вибір технологій та компонентів для реалізації ПАП

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи, необхідно розробити платформу для виявлення дефектів у стаціонарних ТК та їх моделювання для візуалізації пошкоджень для формування звітності. Інструментом, що виконуватиме обхід навколо конкретної конструкції, є БПЛА. Використання БПЛА дозволить проводити обстеження стаціонарних ТК за визначений час, у складних умовах та важкодоступних місцях. Однак, враховуючи, що призначені БПЛА для аерофотозйомки з вбудованою високоякісною камерою є дороговартісними та збір фото- або відео-матеріалів є об'ємною задачею для подальшої обробки та моделювання, необхідно розробити ергономічну апаратну платформу для збору даних, що кріпитиметься до «борту» БПЛА. Варто виокремити, що така платформа має бути енергоефективною для можливості виконання збору інформації протягом всього часу здійснення польоту БПЛА, забезпечувати коректність та цілісність даних для подальшого використання, у контексті моделювання конструкції з пошкодженнями в програмній платформі.

2.1.1 Вибір одноплатного комп'ютера

Використання одноплатного комп'ютера для задач, що пов'язані із збором даних, має численні переваги, такі як низьке енергоспоживання, доступна вартість, мінімальне тепловиділення та достатня продуктивність. Такі характеристики роблять одноплатні комп'ютери придатними для інтеграції в системи збору даних, чого і вимагає сформована задача кваліфікаційної роботи. Розглянемо використання одноплатних комп'ютерів для організації ефективного збору, обробки та зберігання даних у різноманітних периферійних обчислювальних середовищах.

На одноплатних комп'ютерах встановлені такі компоненти, як: мікропроцесор, оперативна пам'ять та інструменти введення/виведення. У якості архітектури використовують Intel та системи з низькою обробкою енергії такі, як RISC (англ. Reduced Instruction Set Computing, укр. обчислення зі скороченим набором команд) та SPARC (англ. Scalable Processor Architecture, укр. масштабована процесорна архітектура). Від типу процесора, ринок поділяється на ARM, X86, ATOM і PowerPC. На сьогодні, поширеними у використанні для збору даних, обробки одноплатними комп'ютерами є Raspberry Pi, Orange Pi, BeagleBoard, LattePanda, Nvidia Jetson Nano тощо. Кожен з таких одноплатних комп'ютерів орієнтований на вбудовані системи, апаратну інтеграцію та використання в обчислювальних задачах (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняння основних характеристик популярних одноплатних комп'ютерів

Характеристика	Raspberry Pi Model B	Orange Pi 5	BeagleBoard BeagleBone Black	LattePanda 3 Delta 864	Nvidia Jetson Nano
Процесор	Broadcom BCM2711, Quad-Core Cortex-A72	Rockchip RK3588S, Octa-Core	AM335x ARM Cortex-A8	Intel Celeron N5105 Quad-Core	Quad-Core ARM Cortex-A57
Графічний процесор	Broadcom VideoCore VI	ARM Mali-G610 MP4	PowerVR SGX530	Intel UHD Graphics	Nvidia Maxwell
Оперативна пам'ять	до 8 Гбайт	до 16 Гбайт	до 512 Мбайт	до 8 Гбайт	до 4 Гбайт
Операційна система	Raspberry Pi OS (Linux)	Ubuntu, Debian	Debian-based Linux	Windows 10, Linux	Ubuntu, JetPack
Порти	2 × micro-HDMI, 4 × USB, Ethernet	HDMI, USB 3.0/2.0, Ethernet	HDMI, USB, Ethernet	HDMI, USB 3.0, Ethernet, GPIO	HDMI, USB 3.0/2.0, Ethernet
Розширення, пінів	40	26	46	2 × 50	40
Живлення, В	5	5	5	12	5
Вартість, \$	від 35	від 60	від 50	від 279	від \$99
Призначення	IoT, навчання, проекти «розумного будинку»	AI, IoT, сервери, мультимедіа	IoT-проекти, вбудовані системи	висока продуктивність, Windows/Linux проекти	AI, обробка зображень, машинне навчання

В основі досліджень одноплатних комп'ютерів, головними критеріями є продуктивність, надійність та їхня вартість. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi є найбільш використовуваним у галузі науки, техніки та інженерії. Сімейство одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi створене на основі архітектури ARM/Cortex. Даний комп'ютер побудований на системі-на-чипі Broadcom BCM2835, що також включає процесор архітектури ARM із тактовою частотою роботи до 700 МГц, графічний процесор VideoCore IV, у тому числі на 512 або 256 Мбайт оперативної пам'яті, у залежності від серії. Також є можливість використання SD-карти. Відповідно, таке апаратне наповнення дозволяє відтворювати відео формату H.264 у роздільній здатності 1080p. За час існування британського фонду Raspberry Pi Foundation, розробниками було випущено 11 модифікацій одноплатних комп'ютерів, найбільшого поширення набули версії 2B, Zero W, 3B, 4B та Raspberry Pi 5 [20]. Тому доцільно буде розглянути та провести порівняння даних версій.

Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 2 Model B – це наступне покоління після Raspberry Pi Model B, що було представлено у жовтні 2016 року. Даний комп'ютер побудований на базі однокристальної системи Broadcom BCM2837 з чотирма 64-бітними ядрами ARMv8-A Cortex-A53 з тактовою частотою 900 МГц. Модель Raspberry Pi 2 Model B одноплатного комп'ютера має наступні характеристики (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Загальна технічна характеристика Raspberry Pi 2 Model B

Характеристика	Значення
Форм-фактор	Raspberry Pi 2
Процесор	Cortex-A53, 900 МГц
Кількість ядер	4
Оперативна пам'ять, Гбайт	1
Ethernet	10/100 Ethernet
Порти	1 × RJ45, 4 × USB, 1 × HDMI
Wi-Fi	Відсутній
Вартість, грн (станом на 03.01.2025)	2190,00

Raspberry Pi Zero W – одноплатний комп'ютер з процесором Broadcom BCM2835 на 1 ГГц, 512 МБайт RAM та бездротовими модулями Wi-Fi та Bluetooth. На одноплатному комп'ютері також містяться слот для microSD-карти, роз'єм HDMI Mini, коннектор для штатних камер CSI Mini та два порти USB Micro (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Загальна технічна характеристика Raspberry Pi Zero W

Характеристика	Значення
Форм-фактор	Raspberry Pi Zero / Zero W
Процесор	Cortex-A53, 1 ГГц
Кількість ядер	2
Оперативна пам'ять, Мбайт	512
Bluetooth	Bluetooth 4.1
Порти	1 × USB, 1 × miniHDMI, 1 × microUSB
Wi-Fi	2,4 ГГц
Вартість, грн (станом на 03.01.2025)	913,00

Raspberry Pi 3 Model B від Raspberry Pi Foundation отримав новий 64-бітний процесор BCM2837 з чотирма ядрами Cortex-A53, що працює на частоті 1,2 ГГц. Поєднання збільшення тактової частоти на 33 % з різними архітектурними поліпшеннями забезпечує збільшення продуктивності на 50–60 % у 32-бітному режимі. Також, на плату додані Wi-Fi та Bluetooth 4.1 модулі. Поріг вхідного струму збільшений до 2,5 А, що дозволяє підключати енергоємні пристрої до USB портів. Технічна характеристика наведена нижче (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Загальна технічна характеристика Raspberry Pi 3 Model B

Характеристика	Значення
Форм-фактор	Raspberry Pi 3 Model B
Процесор	Cortex-A53 1,2 ГГц
Кількість ядер	4
Оперативна пам'ять, Гбайт	1
Ethernet	10/100 Ethernet
Порти	4 × USB 2.0, 1 × HDMI
Wi-Fi	2,4 ГГц
Вартість, грн (станом на 03.01.2025)	3395,00

Ключовими характеристиками одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4B є високопродуктивний 64-розрядний чотирьох ядерний процесор, підтримка двох дисплеїв з роздільною здатністю до 4K через micro-HDMI портів, апаратне декодування відео в 4Kp60, до 4 Гбайт оперативної пам'яті, у залежності від обраної моделі, дводіапазонна бездротова мережа на 2,4 ГГц і 5,0 ГГц, Bluetooth 5.0, два порти USB 3.0 (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Загальна технічна характеристика Raspberry Pi 4 Model B

Характеристика	Значення
Форм-фактор	Raspberry Pi 4 Model B
Процесор	Cortex-A72 1,5 ГГц
Кількість ядер	4
Оперативна пам'ять, Гбайт	до 4
Ethernet	10/100/1000 Ethernet
Порти	2 × micro-HDMI, 2 × USB 3.0, 2 × USB 2.0
Wi-Fi	2,4 ГГц / 5,0 ГГц
Вартість, грн (станом на 03.01.2025)	3599,00

Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5 – це п'яте покоління одноплатного комп'ютера, що розроблено для різноманітних застосувань у сфері комп'ютерної техніки та інтернету речей. Цей пристрій відзначається потужною апаратною платформою та різноманітними можливостями для розробки проєктів. Raspberry Pi 5 базується на оновленому процесорі та включає в себе різні порти та інтерфейси для підключення різноманітних пристроїв, таких як монітори, камери, сенсори тощо. На основі 64-розрядному чотирьохядерному процесору Arm Cortex-A76, що працює на частоті 2,4 ГГц, Raspberry Pi 5 забезпечує збільшення продуктивності процесору у 2–3 рази у порівнянні з Raspberry Pi 4. Чіп контролера надає основну частину можливостей вводу-виводу для Raspberry Pi 5:

- пропускна здатність USB порту збільшена більше, ніж удвічі, що дозволяє забезпечити вищу швидкість передачі даних на зовнішні накопичувачі та інші високошвидкісні пристрої;

- парною трансиверів MIPI з чотирма смугами по 1,5 Гбіт/с була замінена двосмугова камера та інтерфейси дисплея MIPI зі швидкістю 1 Гбіт/с, що дозволило збільшити пропускну здатність утричі;
- з підтримкою високошвидкісного режиму SDR104, наявна максимальна продуктивність SD-карти.

У тому числі, уперше платформа демонструє одноканальний інтерфейс PCI Express 2.0, що забезпечує підтримку периферійних пристроїв з високою пропускну здатністю. Загальна технічна характеристика наведена нижче (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика Raspberry Pi 5

Характеристика	Значення
Форм-фактор	Raspberry Pi 5
Процесор	Cortex-A76 2,4 ГГц
Кількість ядер	4
Оперативна пам'ять, Гбайт	до 8
Ethernet	10/100/1000 Ethernet
Порти	2 × micro-HDMI, 2 × USB 3.0, 2 × USB 2.0
Wi-Fi	2,4 ГГц / 5,0 ГГц
Вартість, грн (станом на 03.01.2025)	3926,00

Дана плата має вбудований бездротовий зв'язок Wi-Fi та Bluetooth, що полегшує підключення до мережі та інших пристроїв. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5 підтримує різноманітні операційні системи та мови програмування, що робить його універсальним інструментом для розробників. Також ідеально підходить для створення IoT-проектів, серверів, медіацентрів, емуляторів тощо, де необхідна потужна обчислювальна платформа.

Провівши аналіз наявної інформації в мережі Інтернет, було з'ясовано, що виводи GPIO Raspberry Pi 5 забезпечують чудову можливість розширення для різних типів датчиків. Дана модифікація одноплатного комп'ютера дозволяє збирати, зберігати дані, а також структурувати складні моделі даних та експортувати їх для здійснення аналізу відповідно до поставленої мети та реалізації технічних вимог проекту.

2.1.2 Вибір датчиків для виміру відстані та збору даних

Вибір сенсорів для вимірювання відстані та збору даних є одним з ключових етапів розробки апаратної системи для аналізу дефектів у стаціонарних конструкціях. Від правильності вибору буде залежати точність, надійність та ефективність системи. Такі датчики, як ультразвукові, лазерні далекоміри чи лідари, дозволяють з високою деталізацією визначати геометричні параметри досліджуваного об'єкта, у результаті моделювати його для виявлення деформацій, тріщин, отворів або інших дефектів.

Пропонується розглянути технічні характеристики, переваги та обмеження різних типів сенсорів, а також їх відповідність завданням збору даних для аналізу дефектів у стаціонарних ТК.

Ультразвуковий (УЗ) датчик – це датчик, що використовує високочастотні звукові хвилі для виявлення присутності та відстані до об'єктів. УЗ-датчик працює, випромінюючи звукові хвилі на частоті вище верхньої межі людського слуху, вимірюючи час, що необхідний для відбиття хвиль після удару від об'єкта [21]. Отже, вимірювання відстані здійснюється шляхом обчислення часу між моментом випромінювання сигналу та його поверненням після відбиття від об'єкта.

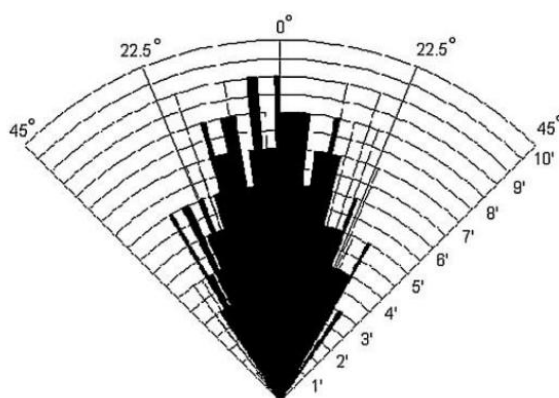


Рисунок 2.1 – Діаграма спрямованості звуку УЗ-далекоміра [21]

Для ефективного виконання цього завдання УЗ-далекомір має дві ключові конструктивні особливості. По-перше, з метою забезпечення якісного відбиття сигналу від перешкод, датчик генерує ультразвукові хвилі з частотою

40 кГц. Це забезпечується за допомогою вбудованого п'єзокерамічного випромінювача, здатного створювати високочастотні коливання. По-друге, конструкція випромінювача спрямована на формування вузького променя, що обмежує розповсюдження звуку у боки, на відміну від звичайних динаміків, і дозволяє зосередити сигнал у заданому напрямку. Як можна побачити на діаграмі спрямованості руху, кут огляду найпростішого УЗ-далекоміра становить орієнтовно 50–60 градусів (рис 2.1). Для звичайного варіанту використання, у випадку коли датчик визначатиме перешкоди перед собою, даний кут огляду є прийнятним.

УЗ-датчик моделі HC-SR04 (рис. 2.2) є найдешевшим далекоміром для використання в технічних проєктах. Даний датчик дозволяє проводити виміри відстані в діапазоні від 2 см до 500 см із точністю 0,5–1,0 см.

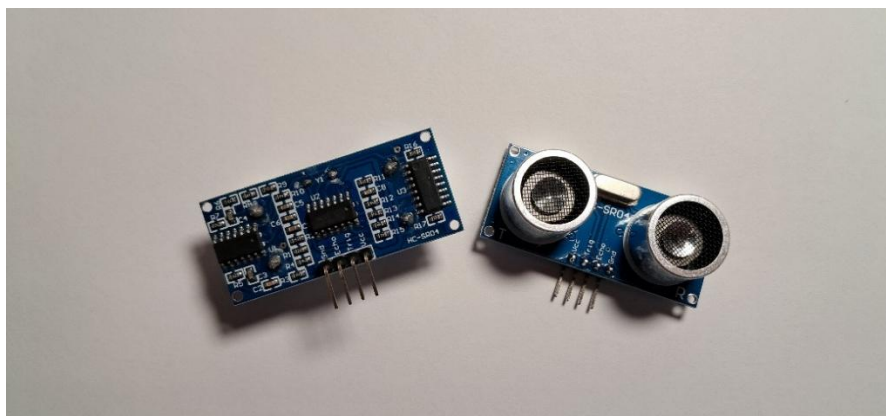


Рисунок 2.2 – Зображення УЗ-сенсора HC-SR04

Принцип дії датчика HC-SR04 реалізується за такою послідовністю:

- на вхід Trig подається керуючий імпульс тривалістю до 10 мкс;
- цей імпульс перетворюється у серію з восьми ультразвукових імпульсів частотою 40 кГц, які передаються в простір за допомогою передавача;
- після досягнення перешкоди сигнали відбиваються й потрапляють на приймальний елемент датчика, формуючи відповідний сигнал на виході Echo;
- далі отриманий сигнал обробляється з метою обчислення відстані до об'єкта.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики датчику HC-SR04

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	3,8–5,5
Струм, мА	8
Частота, кГц	40
Максимальна дистанція, мм	1500
Роздільна здатність, мм	3
Ширина імпульсів, мкс	10
Кут, градусів	15
Вартість, грн (<i>станом на 05.01.2025</i>)	59,00

Однак, варто виокремити декілька недоліків УЗ-далекоміра. По-перше, поверхні, що мають пористу або поролонову структуру добре поглинають ультразвук, відповідно датчик втрачає здатність вимірювати відстань до них. По-друге, якщо об'єкт, відстань до якого вимірюється, швидко рухається, швидкості звукової хвилі недостатньо для здійснення коректних вимірів.

Інфрачервоний (ІЧ) датчик – електронний компонент, що реагує на зміну інтенсивності теплового фонового випромінювання (рис. 2.3). Під тепловим випромінюванням мається на увазі будь-яке тепло, що вироблене об'єктами. ІЧ-сенсори широко використовуються в промисловій автоматизації, споживчій електроніці та системах безпеки. Вони працюють в інфрачервоному спектрі, як правило, в діапазоні довжин хвиль від 700 нм до 1 мм, що підходить виявлення на малих і середніх відстанях [22].



Рисунок 2.3 – Зображення ІЧ-датчику моделі Sharp GP2Y0A02YK0F

ІЧ-датчик складається з ІЧ-світлодіода та ІЧ-фотодіода, разом вони називаються фотопарою або оптопарою.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики Sharp GP2Y0A02YK0F [22]

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	4,5–5,5
Струм, мА	33
Частота, кГц	40
Максимальна дистанція, мм	1500
Кут, градусів	15
Вартість, грн (<i>станом на 05.01.2025</i>)	260,00

ІЧ-датчики відстані є інструментами для збору даних і дослідження поверхонь, таких як стіни, на наявність дефектів. Вони працюють за принципом відбиття інфрачервоного світла від об'єкта, що дозволяє вимірювати відстань між сенсором і поверхнею. Такий підхід є корисним для виявлення деформацій, тріщин або інших дефектів, адже ІЧ-сенсори здатні працювати в умовах низького освітлення або повної темряви, що робить їх зручними для використання у реальних умовах на місці.

Ці датчики є економічно доступними і досить простими в інтеграції з іншими системами збору даних, такими як одноплатні комп'ютери чи мікроконтролери. ІЧ-датчики можуть бути використані для розробки мобільних платформ, що автоматично сканують поверхні споруд під час інспекцій, або в якості частини стаціонарних систем моніторингу, що регулярно збирають дані для аналізу стану будівель.

Однак, важливо зазначити, що ІЧ-сенсори мають обмеження. А саме, їхня точність може знижуватися при вимірюванні на поверхнях з низьким коефіцієнтом відбиття або при наявності пилу, інших часток у повітрі. Тому для забезпечення надійних результатів часто використовуються в комбінації з іншими типами сенсорів, такими як ультразвукові датчики або лазерні системи.

Ще одним засобом для визначення відстані до об'єктів є лідар. Лідар (англ. LiDAR, Light Detection and Ranging) – це технологія, що базується на використанні активних оптичних систем для збору та аналізу інформації про віддалені об'єкти. Принцип дії ґрунтується на відбитті та розсіюванні

світлових імпульсів у прозорому або напівпрозорому середовищі. У системах машинного зору сканувальні лідари дають змогу формувати 2D або 3D модель навколишнього простору. Окремий клас – атмосферні лідари – дозволяють не лише визначати положення непрозорих об'єктів, а й досліджувати оптичні характеристики середовища, через яке проходить випромінювання [23].



Рисунок 2.4 – Зображення далекоміра TF-Luna Lidar Ranging Sensor [24]

Лідари забезпечують дуже високу точність вимірювання відстаней, до міліметрів, здатні сканувати об'єкти на значних відстанях (до сотень метрів). Вони можуть фіксувати дрібні деталі, такі як тріщини, деформації або інші дефекти, що є важливим для проведення технічних обстежень конструкцій. Особливістю використання лідарів є те, що такі далекоміри здатні створювати детальні 3D-моделі. Це дозволяє аналізувати поверхні споруд з різних кутів і виявляти дефекти, що можуть бути непомітні при використанні звичайних сенсорів.

Таблиця 2.9 – Характеристики лідару TF-Luna Lidar Ranging Sensor

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	3,7–5,2
Струм, мА	70
Потужність, Вт	35
Дальність дії, м	до 8
Центральна довжина хвилі, нм	850
Інтерфейс зв'язку	UART, I2C, I/O
Вартість, грн (станом на 07.01.2025)	1426,00

Варто виокремити недоліки при використанні таких сенсорів, не зважаючи на значні технічні переваги проти УЗ- та ІЧ-датчиків. Лідари є

набагато дорожчими за інші типи сенсорів, що може бути важливим фактором при виборі обладнання. У тому числі, далекоміри можуть бути менш точними при роботі з дуже темними або відбивними матеріалами, такими як скло або чорні поверхні, оскільки лазерне випромінювання може не відбиватися з потрібною силою.

Для задач збору даних та аналізу дефектів у ТК, УЗ-датчик є оптимальним вибором завдяки своїм достатнім характеристикам, надійності та економічній ефективності. Висока точність вимірювань на середніх відстанях, здатність працювати з різноманітними поверхнями, сумісність з одноплатними комп'ютерами, а також порівняно низька вартість роблять УЗ-датчики привабливими для застосування в контексті задачі з моніторингу стану стаціонарних ТК. Хоча інші датчики, такі як ІЧ-сенсори та лідари, можуть пропонувати вищу точність на великих відстанях або працювати в специфічних умовах, УЗ-датчики забезпечують баланс між якістю результатів і вартістю, що робить їх найбільш практичним і доступним вибором практичного застосування для розробки апаратної платформи.

2.1.3 Обрання мови програмування для керування збором даних

Для розробки апаратної платформи, керування одноплатним комп'ютером Raspberry Pi 5 та датчиками для задачі зі збору даних для виявлення дефектів під час обходу стаціонарної ТК або споруди, пропонується використовувати мову програмування Python.

Python є об'єктно-орієнтованою мовою програмування високого рівня з динамічною типізацією. Структури даних високого рівня з динамічною семантикою та зв'язуванням роблять Python підходящим для виконання швидкої розробки програм, у тому числі як засіб поєднування наявних компонентів. Дана мова програмування підтримує численні пакети модулів, це сприяє модульності та повторному використанню програмного коду.

Як мова програмування, Python має численні переваги, що дозволяють використовувати її доволі гнучко та ефективно для реалізації широкого

спектру задач. Однією з таких переваг є те, що стандартний дистрибутив Python має велику кількість корисних модулів, включно для розробки графічного інтерфейсу. Також, є зручною для розв'язання математичних проблем, оскільки має засоби роботи з комплексними числами, надає функціонал з оперування цілими числами довільної величини. Стандартна бібліотека Python містить понад 200 модулів, що дозволяють здійснювати розробку програм під різні технічні потреби, у тому числі для керування одноплатними комп'ютерами та датчиками.

Для порівняння, варто виокремити, що ще однією з популярних мов програмування для роботи з Raspberry Pi є Java. Java, відома своєю універсальністю та крос-платформною сумісністю, є популярною мовою для програм на основі Інтернет речей. Завдяки парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування Java дозволяє розробникам створювати класи та об'єкти, що робить її дуже зручною для побудови складних програмних систем. Також мова програмування Raspberry Pi забезпечує інтегроване середовище розробки для запуску Java, полегшуючи розробку програм Java на платформі. Однак, не зважаючи на постійний розвиток та випуск нових версій Java, дана мова програмування для роботи з одноплатним комп'ютером не є вигідною з точки зору швидкодії та функціональності, у той час як Python вирізняється широким спектром функціональних можливостей, простотою написання коду та швидкості відпрацювання (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Порівняння ефективності Python та Java

Характеристика	Python 3	Java 21
Швидкість виконання, операцій/секунду	20–50 (інтерпретований код, залежить від задачі)	100–200 (компільований код, залежить від JVM)
Використання пам'яті для простих програм, Мбайт	20–30	15–40
Час запуску скрипта, секунд	0,1–0,3	1–3
Швидкодія на Raspberry Pi 5, % від пікової швидкості	≈20 %	≈ 50%

Характеристика	Python 3	Java 21
Робота з багатопоточністю	Обмежена через GIL, низька продуктивність у багатоядерних задачах	Висока продуктивність завдяки потокам JVM
Продуктивність у великих системах	≈ 60 % використання CPU	≈ 80 % використання CPU)

Як можна побачити, мова програмування Python у роботі з Raspberry Pi має швидший час розробки, однак через інтерпретований характер є менш продуктивним для інтенсивних обчислень на Raspberry Pi. Використовується для легких задач, таких як робота з GPIO або невеликі автоматизації. У свою чергу, Java потребує більше пам'яті та ресурсів для запуску JVM, підходить для стабільних систем з великими обчислювальними навантаженнями.

Контакти введення/виведення загального призначення (GPIO) в одноплатному комп'ютері Raspberry Pi дозволяють взаємодіяти з різними компонентами, підключаючи датчики, світлодіоди, двигуни тощо. Для керування цими пінами за допомогою обраною мови програмування Python, використовується модуль RPi.GPIO. Даний модуль забезпечує простий інтерфейс для налаштування контактів входів і виходів, зчитування їх стану та керування ними.

Перевагами використання модулю RPi.GPIO є простота використання, гнучкість та широка підтримка користувацької спільноти. Використовуючи модуль RPi.GPIO можна керувати широким спектром апаратних компонентів, датчиками, перемикачами та реле, безпосередньо через написання скрипта на Python. У тому числі, даний модуль має широку та змістовну документацію, що дозволяє працювати з ним початківцям.

Окрім керування УЗ-датчиком для дослідження поверхонь ТК, необхідно також передбачити спосіб збору та запису отриманих даних з сенсорів на апаратній платформі. Одним з найменш вибагливих до ресурсів та найпоширенішим у використанні є збір даних у формат електронних таблиць або Comma Separated Values (CSV). Для виконання такого завдання буде обрано модуль мови програмування Python – csv, що реалізує класи для

читання та запису табличних даних у відповідному форматі. Це дозволить послідовно записувати отримувані значення про відстань від стін при виконання «обходу» об'єкта, виконувати збір набору даних структуровано та в єдиному форматі. У результаті зібрані матеріали дослідження будуть уніфіковані, що спростить маніпуляції з ними в базі даних та виконання імпорту у середовище математичного моделювання, де буде реалізовано моделювання зафіксованих дефектів у стаціонарних ТК.

Таким чином, Python є найбільш відповідною мовою програмування до сформованих задач та повністю відповідатиме технічним вимогам реалізації апаратної частини, керування одноплатним комп'ютером Raspberry Pi 5 та УЗ-датчиками HC-SR04 для ефективного збору даних щодо стану ТК, здійснення їх структурування, збереження та керування ними на апаратній платформі до моменту їх передачі у базу даних та програмну платформу для виконання моделювання у Maple Software.

2.1.4 Вибір СКБД для здійснення операцій над даними моделювання

У проєкті з реалізації задачі виявлення та моделювання дефектів у стаціонарних ТК буде виконуватися збір даних. Набір даних може бути об'ємним, адже кількість записів вимірювань залежатиме від кількості «обходів» споруди, її складності та масштабів. У тому числі, у результаті зібраних великих обсягів даних щодо досліджуваних поверхонь споруд, необхідно забезпечити їх надійне та ефективне збереження. Оскільки система потенційно може збирати дані обсягом до кількох гігабайт протягом виконання тривалих досліджень, щодо виявлення дефектів у конструкціях, їх необхідно структуровано зберігати у базі даних (БД) для подальшої обробки, аналізу та їх використання у контексті моделювання ТК у програмному математичному середовищі Maple Software згідно з поставленим завданням щодо реалізації програмно-апаратної платформи.

Відповідно необхідно здійснити вибір БД, що відповідатиме потребам, сумісністю та можливістю підключення до ПЗ Maple Software. Перевагами використання БД є те, що дані з бази можуть безпосередньо використовуватися для обчислень та побудови моделей, програма математичного моделювання може обробляти дані, що експортуються з бази. Також результати аналізу Maple Software можна експортувати назад до бази даних для зберігання або подальшої обробки.

Оскільки використання середовища Maple Software обмежує вибір серед БД, розглядалися наступні можливі варіанти, що дозволятимуть виконати підключення до неї, такі як MySQL, SQLite, PostgreSQL та Microsoft SQL Server. Кожен з цих варіантів має як переваги, так і недоліки у роботі. Однак, головним пунктом у виборі БД для керування зібраними даними є доступність з'єднання з Maple та підключення за допомогою спеціальних пакетів.

Для порівняння сформовано таблицю між альтернативними варіантами БД, у якій продемонстровано низку переваг обраної SQLite (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Порівняльна характеристика БД

Характеристика	SQLite	MySQL	PostgreSQL	Microsoft SQL Server
Тип СКБД	файлова	серверна	серверна	серверна
Підключення до Maple Software	вбудований пакет SQLite	встановлення драйверів ODBC/JDBC	встановлення драйверів ODBC/JDBC	встановлення драйверів ODBC/JDBC
Використання	не потребує додаткових налаштувань, без необхідності серверу	потрібне встановлення і налаштування сервера	потрібне встановлення і налаштування сервера	висока складність налаштування
Швидкодія	висока для невеликих обсягів даних	висока для великих обсягів даних	висока для великих обсягів даних	висока для великих обсягів даних
Обсяг даних	до 1 Тбайт	більше 1 Тбайт	більше 1 Тбайт	більше 1 Тбайт
Вимоги до ресурсів	не потребує серверного підключення	підключення серверу	підключення серверу	підключення серверу
Кросплатформенність	є	є	є	лише Windows

Згідно з порівняльними характеристиками, використання БД SQLite є найбільш оптимальним варіантом, адже дозволяється розгорнути БД

локально, без складних налаштувань та підключення додаткових серверів, достатній продуктивності для обсягів даних проєкту, а також наявність можливості швидкої та коректної інтеграції до програми моделювання Maple Software. Відповідно до офіційної документації Maplesoft [25], пакет SQLite забезпечує прямий доступ до БД SQLite. Крім цього, бібліотека SQLite програмного забезпечення реалізує самодостатній безсерверний механізм транзакційної БД SQL без додаткової конфігурації. При використанні даного пакета типи даних автоматично зіставлятимуться між Maple і SQLite, що забезпечить їх коректність під час роботи.

Отже, SQLite є оптимальною БД для зберігання та роботи з даними для реалізації ПАП, враховуючи простоту використання та ефективність при достатній функціональності згідно зі сформованими вимогами до проєкту.

2.1.5 Вибір ПЗ для математичного моделювання

Для реалізації задачі з моделювання дефектів у стаціонарних ТК, планується використовувати програмні засоби математичного моделювання. На сьогодні, математичне моделювання є одним з інструментів для вивчення та вдосконалення різної складності споруд або ТК. Використання спеціалізованого ПЗ дозволяє не лише відтворювати точну модель, однак паралельно проводити комплексний аналіз характеристик, виявлення дефектів і формування кінцевої звітності для спеціалістів для прийняття оптимальних рішень щодо виправлення знайдених дефектів. Найпоширенішими середовищами числового обчислення є MATLAB, Maple, Simulink та GUI Octave.

MATLAB є числовим обчислювальним середовищем, що було розроблене компанією MathWorks. Дозволяє виконувати операції з матрицями, будувати графіки функцій і даних, реалізовувати алгоритми, створювати користувацькі інтерфейси та інтегруватися з програмами, що були написані іншими мовами програмування. Хоча основним призначенням

MATLAB є числові обчислення, його розширений функціонал включає символічні обчислення завдяки механізму MuPAD [26].

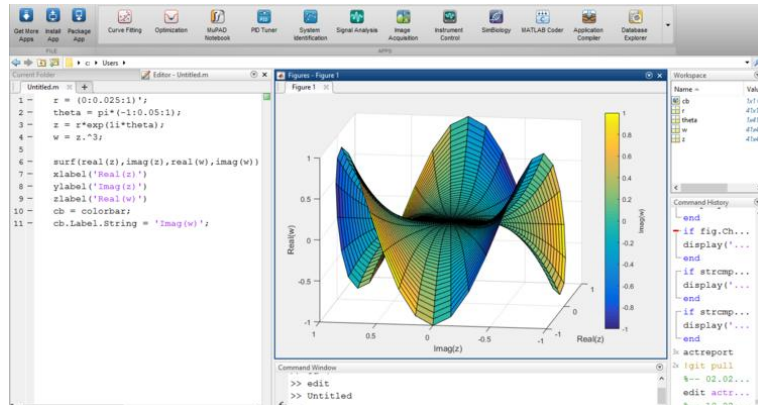


Рисунок 2.5 – Інтерфейс обчислювального середовища MATLAB

MATLAB також надає засоби для об'єктно-орієнтованого програмування, зокрема підтримує класи, наслідування, віртуальну диспетчеризацію, пакети, а також семантику передавання даних як за значенням, так і за посиланням. У MATLAB реалізовано розділення класів на класи значень і класи-посилання, що залежить від наявності суперкласу-дескриптора.

Одним із програмних продуктів для математичного моделювання, розроблених компанією The MathWorks, є Simulink – інтерактивне програмне середовище, призначене для моделювання та аналізу динамічних систем різної природи: дискретних, неперервних, гібридних, розривних і нелінійних. Це середовище дозволяє створювати графічні блок-діаграми, перевіряти функціональність систем і вдосконалювати їхню архітектуру. Simulink повністю інтегрований з MATLAB, що відкриває доступ до широкого спектра аналітичних інструментів, зокрема до модуля Stateflow для моделювання подієво-залежної поведінки. Компонент Model Explorer забезпечує зручну навігацію по складних моделях, налаштування параметрів та інтеграцію алгоритмів, написаних мовами C/C++, FORTRAN, ADA або MATLAB [27].

Ще одним середовищем для математичного моделювання та числових обчислень є GNU Octave (рис. 2.6). Він забезпечує інтерфейс командного рядка для чисельного вирішення лінійних і нелінійних задач, а також для

виконання чисельних експериментів [28]. GNU Octave є сумісним з MATLAB. Як програмне середовище має досить широкі інструменти для розв'язування типових задач чисельної лінійної алгебри, пошуку коренів нелінійних рівнянь, інтегрування, обробки поліномів тощо.

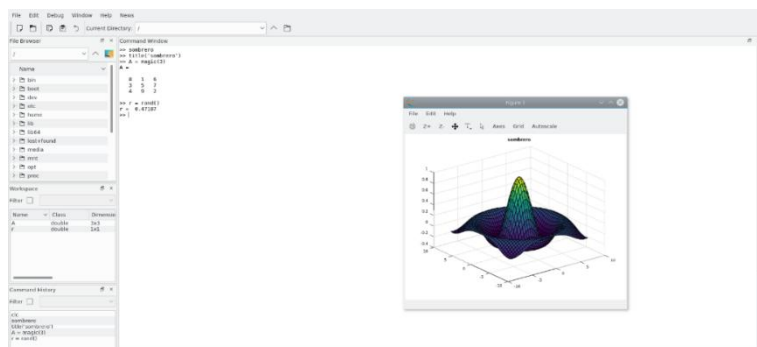


Рисунок 2.6 – Зображення інтерфейсу ПЗ GNU Octave

Є легко розширюваним та дозволяє налаштовувати за допомогою визначених користувачем функцій, написаних на власній мові Octave, або за допомогою динамічно завантажуваних модулів, написаних на C++, C, Fortran.

Одним з найбільш розповсюджених і потужних програмних інструментів математичного моделювання та аналізу є Maple Software. Система комп'ютерної алгебри налічує понад 5'000 функцій, що охоплюють основні напрямки сучасної математики, математичного моделювання та інтерактивної візуалізації. Крім того, вона підтримує власну мову програмування Maple [29].

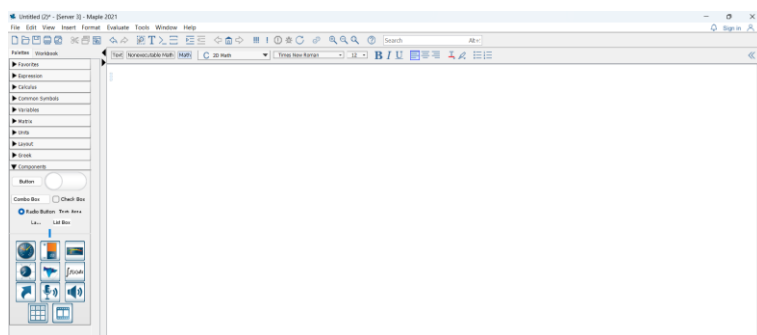


Рисунок 2.7 – Зображення інтерфейсу Maple Software

Дозволяє виконувати комбінацію алгоритмів, результатів обчислень, математичних формул, графіки, діаграм, навіть анімацію зі звуком у електронному документі. Середовище математичного моделювання Maple

Software містить елементи для розробки графічних інтерфейсів, доступ до MapleCloud-сховища для обміну документами. Наявні системи доступу до баз даних, що дозволятиме працювати з великими обсягами даних для виконання високопродуктивних математичних обчислень, статистичного моделювання та візуалізації відповідно до поставлених задач. Для визначення програмного середовища, у якому буде здійснюватися моделювання ТК, було сформовано порівняльну таблицю, що наведено нижче (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Порівняльна характеристика програмних середовищ математичного моделювання

Характеристика	Maple	MATLAB	Simulink	GNU Octave
Мова програмування	Maple, Java, Python, C	MATLAB, C, C++, Java, Python	MATLAB	Octave, C, C++, Python
Кросплатформенність	Windows, macOS, Linux	Windows, macOS, Linux	Windows, macOS, Linux	Windows, macOS, Linux
Підключення до БД	SQLite, SQL, Microsoft SQL Server	MySQL через Database Toolbox	відсутнє	відсутнє
Призначення	математичне моделювання, символьні обчислення, аналіз даних, графіка	математичне моделювання, числові обчислення, аналіз даних	моделювання динамічних систем, симуляції в реальному часі	основне математичне моделювання та аналіз даних
Символьні обчислення	повна підтримка	часткова підтримка через MuPAD	недоступні	Обмежена
Візуалізація	високоякісна візуалізація 2D і 3D графіків	потужні засоби візуалізації даних	інтерактивна графіка для моделювання динамічних процесів	базові можливості візуалізації
Ліцензія	платна, є студентська підписка	платна, є студентська підписка	платна, є студентська підписка	повністю безкоштовна

Серед цих інструментів Maple займає важливе місце завдяки своїм можливостям у математичних розрахунках і візуалізації результатів. Maple Software забезпечує потужну підтримку символьних обчислень та є єдиним

програмним середовищем серед представлених платформ вище, що має пряме підключення до бази даних SQLite через вбудований пакет. Високоякісна візуалізація, гнучка інтеграція з іншими мовами програмування та підтримка багатоплатформенності роблять ПЗ Maple ідеальним вибором для виконання математичного моделювання стаціонарних ТК і виявлених дефектів у них.

2.2 Формування концепції та архітектури ПАП

У попередньому підрозділі було проаналізовано та визначено, що програмно-апаратна система для виявлення та моделювання дефектів у стаціонарних ТК складатиметься з одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 5, двох УЗ-датчиків HC-SR04 для обстеження споруди та збору даних про стан конструкції шляхом вимірювання відстаней до поверхонь. У тому числі, заплановане використання БД SQLite для збереження та структуризації даних, що будуть необхідними для виконання моделювання конструкції в еталонному вигляді та моделювання виявлених дефектів після її обстеження в окремому програмному середовищі математичного моделювання Maple Software. Взаємодію між апаратними та програмними компонентами платформи зображено на рис. 2.8.

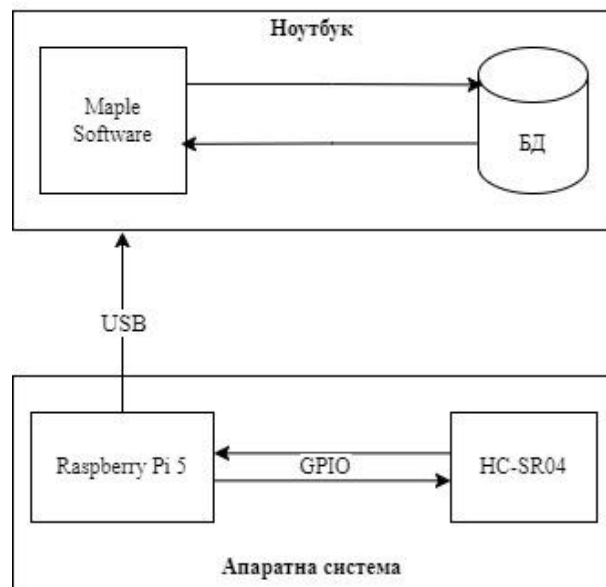


Рисунок 2.8 – Концептуальна схема взаємодії компонентів ПАП

На схемі зображено два основні модулі програмно-апаратної системи: апаратна частина та ноутбук, на якому проходитиме аналіз отриманих даних та моделювання виявлених дефектів у ПЗ Maple Software. Відповідно до концептуальної схеми апаратна частина, після виконання замірів та збереження даних, Raspberry Pi 5 через порт USB підключатиметься до ноутбука, табличні дані зберігатимуться у БД для накопичення, а після цього передаватимуться у Maple для виконання моделювання ТК.

Система працюватиме наступним чином:

- два УЗ-датчики HC-SR04 підключені до одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 5 по GPIO-пінам, датчики збирають дані про відстань до вимірюваних поверхонь у задані проміжки вимірювання (ітерації);
- зібрані дані формуються в єдину таблицю та зберігаються на Raspberry Pi 5;
- на комп'ютері розгорнута локальна БД SQLite для отримання, структуризації та збереження великих об'ємів даних, працює ПЗ Maple Software до якого підключена БД;
- дані передаються до ПЗ від Raspberry Pi 5, що підключається по USB порту, для виконання моделювання ТК за еталонними даними та фактичними даними, що були зібрані в ході вимірювання УЗ-датчиками відстані;
- результати моделювання та порівняння еталонної моделі з фактичною, у якій виявились дефекти, відображаються у ПЗ Maple Software та зберігаються окремо у БД для подальшої передачі спеціалістам для формування звітності.

Для наочного відображення концептуального алгоритму роботи апаратної частини загальної системи, було розроблено блок-схему, що наведена у додатку А.

Робота програмно-апаратної системи поділятиметься на два основних етапи: збір даних, моделювання та виявлення дефектів стаціонарних ТК. Такий поділ є вимушеним, адже збір даних проходитиме з використанням апаратної частини системи, а виконання моделювання для виявлення дефектів

проходитиме на більш потужному комп'ютері аніж одноплатному Raspberry Pi 5, адже програма Maple Software є досить великою та потребує потужних обчислювальних ресурсів. У тому числі, враховуючи, що для коректного розпізнавання дефектів на моделі стаціонарних ТК, програмна платформа повинна мати еталонні дані для відтворення ідеального варіанту конструкції для порівняння з фактичною після збору даних.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено аналіз та визначено компоненти програмно-апаратної системи для збору даних шляхом «обходу» конструкцій з метою виявлення у стаціонарних ТК дефектів та їх моделювання. Також розроблено базову концепцію, описано архітектуру та принцип роботи ПАП.

У якості апаратної платформи для збору даних про відстань від поверхонь, що будуть обстежуватися на наявність дефектів, серед можливих варіантів було обрано доступний і сучасний одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5, що підтримує роботу з УЗ-датчиками, має достатні технічні ресурси для виконання збору та збереження даних. Для виконання роботи з одноплатним комп'ютером і датчиками зі збору даних буде використовуватися мова програмування Python та бібліотека RPi.GPIO для підключення датчиків вимірювання відстані через GPIO-піни. Загалом, для реалізації ПАП відповідно до поставлених задач, обрано технологій взаємодії:

- Python для роботи з одноплатним комп'ютером Raspberry Pi 5 та УЗ-датчиком HC-SR04;
- моделювання ТК та виявлення дефектів у ПЗ Maple Software.

Для СКБД для зберігання великого обсягу даних, керування ними та передачі у Maple буде використана SQLite, адже вона є компактною локальною БД та легко інтегрується у Maple Software.

Підібрані компоненти та розроблена концепція ПАП сформували основу для фактичної реалізації платформи для моделювання та виявлення дефектів у стаціонарних ТК, що розглядатиметься у третьому розділі.

3 СИСТЕМА ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ ПЛАТФОРМИ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Опис апаратної частини платформи

У даній апаратній платформі, фактично центральним компонентом, що забезпечує збір даних, першочергову обробку та збереження, є одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5

Вибір Raspberry Pi 5 в якості основного обчислювального модуля для збору даних, зумовлений його високою обчислювальною потужністю, розширеними комунікаційними можливостями та підтримкою різних типів інтерфейсів підключення. Завдяки підтримці Wi-Fi і широкому програмному забезпеченню, цей мікрокомп'ютер є доцільним вибором для реалізації задач збору та попередньої обробки вимірювальних даних у рамках експериментальних досліджень. У тому числі, наявність вбудованого Wi-Fi модуля в одноплатний комп'ютер, здатна забезпечити можливість організації бездротової передачі зібраної інформації до зовнішніх систем для їх подальшої обробки та аналізу.

Використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 5 для задач контролю сенсорних пристроїв, збору, збереження та первинної обробки даних є технічно обґрунтованим рішенням у контексті побудови апаратно-

програмного комплексу для обстеження технічних конструкцій. Оскільки, одноплатний комп'ютер моделі Raspberry Pi 5 має достатню обчислювальну потужність, що забезпечує стабільну роботу з кількома ультразвуковими датчиками одночасно, дозволяє здійснювати попередню фільтрацію вимірювань та підготовку даних до подальшого аналізу. Також, наявність набору інтерфейсів введення/виведення (GPIO, I2C, UART тощо) дозволяє гнучко інтегрувати різноманітні сенсори, вбудований модуль Wi-Fi відкриває можливості для бездротової передачі інформації на віддалені сервери або локальні обчислювальні системи.

У результаті зібраних вимірювань відстаней до меж контрольованої конструкції, можливим є виявлення змін у геометричній структурі обстежуваного об'єкта, що можуть свідчити про наявність дефектів (наприклад, відхилення, порожнини або загальні деформації, що виникли при механічному впливі зовнішніх чинників). Таким чином, результати попередньої обробки даних з Raspberry Pi 5 можуть бути використані для побудови математичних моделей об'єкта в спеціалізованих програмних середовищах, таких як Maple, що дозволяє здійснювати просторовий аналіз конструкції та виявляти потенційно аварійно-небезпечні ділянки.

3.2 Збір апаратного блоку платформи

Для створення платформи, призначеної для виявлення дефектів ТК, важливим етапом є збірка апаратного блоку, що забезпечить взаємодію всіх компонентів системи. На цьому етапі здійснюється інтеграція обчислювального модуля, датчиків та іншого периферійного обладнання, що необхідні для збору, збереження та обробки даних, зібраних у результаті проведеного обстеження СТК.

3.2.1 Робота з Raspberry Pi

У межах реалізації апаратної частини платформи для моделювання та виявлення дефектів у СТК, одним із ключових елементів є одноплатний

комп'ютер Raspberry Pi 5, що є «ядром» системи та виконує функції керування підключеними УЗ-датчиками, збору, запису та первинної обробки даних (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Підключення Raspberry Pi 5 до ноутбука

Для роботи з одноплатним комп'ютером, у першу чергу необхідно здійснити встановлення операційної системи (ОС) Raspberry Pi OS, що дозволить забезпечити базову функціональність пристрою та підтримку необхідного ПЗ. Встановлення ОС виконується шляхом запису образу системи на карту пам'яті microSD за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення такого, як Raspberry Pi Imager (рис. 3.3).

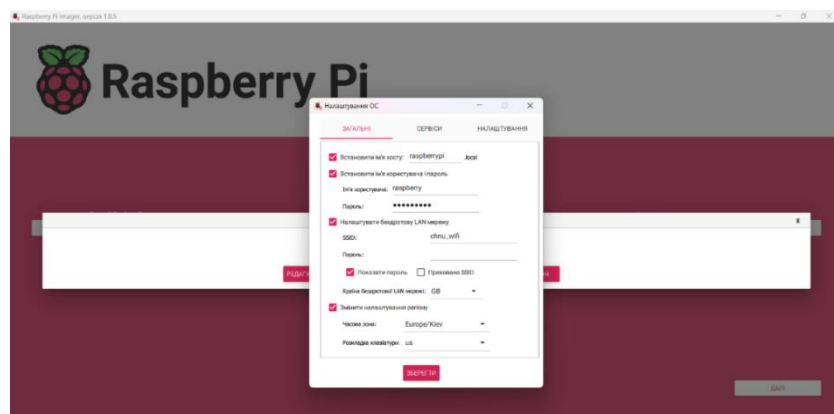


Рисунок 3.3 – Налаштування ОС Raspberry Pi для встановлення її на
одноплатний комп'ютер

Після завершення процесу інсталяції та першого завантаження, виконується початкове налаштування параметрів, зокрема мови, мережевого з'єднання, оновлення пакетів та активації SSH-доступу для віддаленого керування одноплатним комп'ютером (рис. 3.4–3.5).

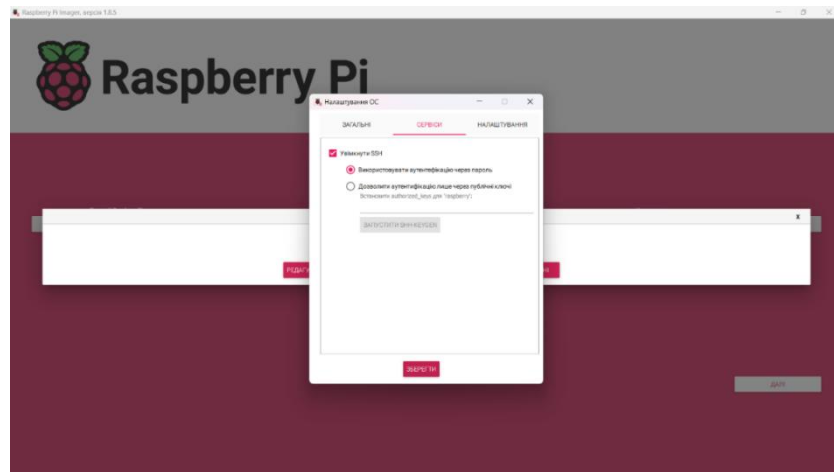


Рисунок 3.4 – Задання параметрів для уможливлення підключення по Wi-Fi

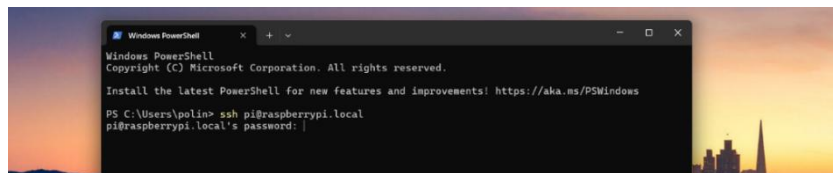


Рисунок 3.5 – Встановлення з'єднання з Raspberry Pi 5 по ssh для бездротової комунікації

Таким чином, після виконання базових налаштувань ОС Raspberry Pi OS забезпечується доступ до функціоналу одноплатного комп'ютера як безпосередньо, так і віддалено по мережі Wi-Fi. Це створить необхідне середовище для подальшої роботи з підключення апаратних компонентів, такі як датчики, плата розширення тощо, виконання збору даних та реалізацію алгоритму запису, попередньої обробки зібраних значень у межах поставленої задачі.

3.2.2 Збір моніторингового блоку апаратної частини

Після завершення налаштування Raspberry Pi 5, як «ядра» апаратної частини платформи, призначеної для обстеження СТК, наступним етапом є

фізичне підключення окремих апаратних компонентів і загальне формування апаратного блоку системи.

У другому розділі було розглянуто різні варіанти компонентів, що можуть бути використані у системі для виконання задачі зі збору даних, шляхом вимірювання відстаней до границь обстежуваної СТК або її окремих елементів. Відповідно, фактично основа апаратної частини включає одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5 з налаштованим SSH для бездротового зв'язку, передачі даних на серверну частину та два УЗ-датчики моделі HC-SR04 для виконання вимірювань. Проте, варто зауважити, що оскільки апаратний блок монтуватиметься на «борт» БПЛА, як рухомої платформи, необхідно забезпечити живлення для одноплатного комп'ютера протягом часу виконання польоту.

Одним з найпоширеніших варіантів забезпечення живлення для Raspberry Pi є використання плати розширення джерела безперебійного живлення, що має шину керування I2C. Такі плати розширення забезпечують вихідну напругу в 5 В, що підходить і для датчиків, що підключаються до одноплатного комп'ютера. У тому числі, плати розширення мають:

- вбудований чіп для заряджання Li-Ion акумуляторів;
- вбудовану мікросхему підвищувального перетворювача для стабільної вихідної напруги;
- вбудований захист від перенавантаження по струму, захист від короткого замикання;
- вбудоване керування MCU для підтримки виявлення підключення живлення та завантаження Raspberry Pi;
- вбудовані світлодіодні індикатори для контролю стану роботи акумулятора та живлення одноплатного комп'ютера.

Конструкція обраної плати розширення UPS HAT повністю сумісна з монтажними отворами плати Raspberry Pi, зв'язок здійснюється через один 40-піновий роз'єм GPIO (рис. 3.6).

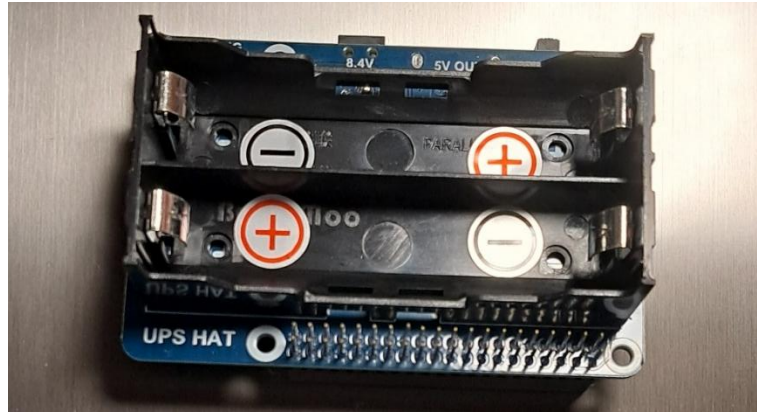


Рисунок 3.6 – Плата розширення UPS HAT

Також, для забезпечення живлення підібрано два Li-Ion акумулятори форм-фактору 18650 ємністю $C = 3500 \text{ мА} \cdot \text{год}$ (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Фото двох акумуляторів, що використовуються

При послідовному з'єднанні Li-Ion акумулятори забезпечать номінальну напругу $U = 7,4 \text{ В}$ та загальну ємність $C = 3500 \text{ мА} \cdot \text{год}$, що еквівалентно енергетичній ємності (3.1):

$$E = U \times C = 7,4 \text{ В} \times 3,5 \text{ А} \cdot \text{год} = 25,9 \text{ Вт} \cdot \text{год} \quad (3.1)$$

З урахуванням середнього споживання електроенергії системи на рівні приблизно $P = 5 \text{ Вт}$, включаючи Raspberry Pi 5, датчики та допоміжні модулі, розрахунковий час автономної роботи становитиме (3.2):

$$T = \frac{E}{P} = \frac{25,9}{5} \text{ год} \quad (3.2)$$

Таким чином, обрана акумуляторна конфігурація дозволить забезпечити приблизно 5,2 години безперервної роботи всієї системи, що є достатнім для проведення обстеження конкретних елементів ТК та збору вимірювальних

даних для подальшого математичного моделювання з метою виявлення дефектів.

Крім цього, для забезпечення температурної стабільності одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 5 під час інтенсивної роботи використовується активне охолодження у вигляді вентилятора MX-3010S 5 В (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Вентилятор охолодження MX-3010S

Вентилятор сприяє відведенню тепла від центрального процесора та інших компонентів, запобігаючи перегріванню, що може призводити до нестабільної роботи системи. Таким чином, його застосування є необхідним для підтримання надійної та стабільної роботи платформи в умовах тривалого навантаження.

Таким чином, загальний апаратний комплекс моніторингового блоку включає в себе ряд основних компонентів: плата Raspberry Pi 5, УЗ-датчики HC-SR04 та плата розширення UPS HAT (рис. 3.9).

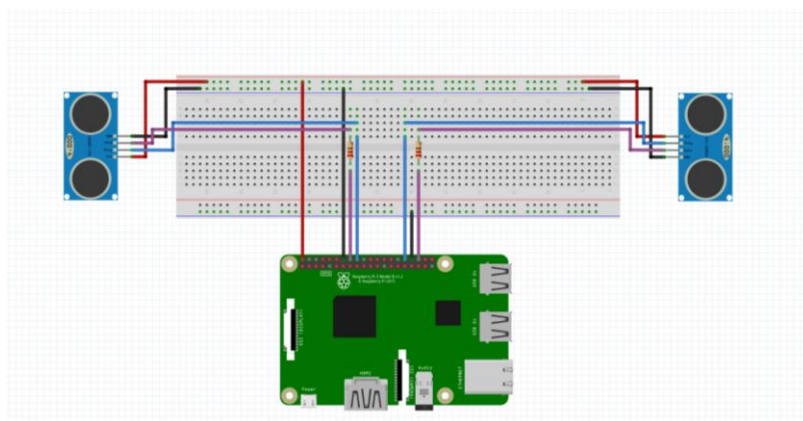


Рисунок 3.9 – Схема підключення пристроїв

Після того, як було складено схему підключення, наступним етапом є безпосередньо робота з компонентами, виконання збірки моніторингового блоку (рис. 3.10–3.12).

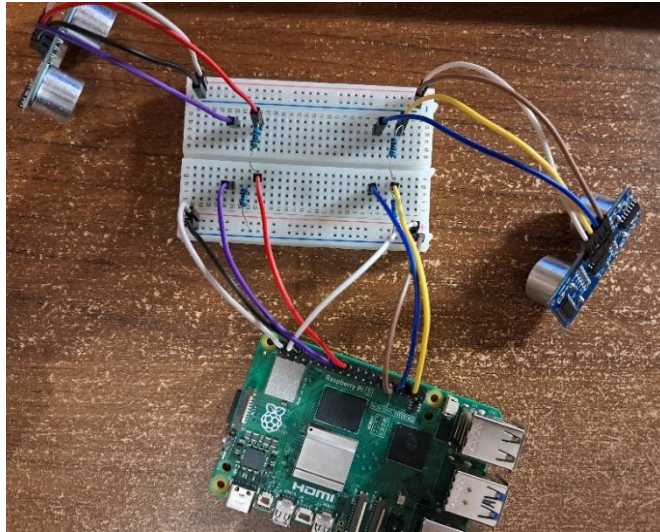


Рисунок 3.10 – Перший варіант збірки схеми з УЗ-датчиками

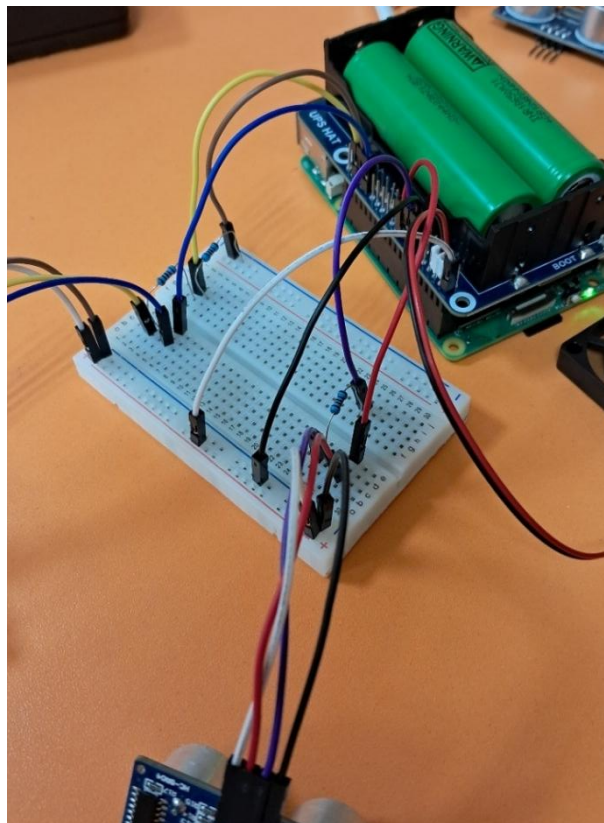


Рисунок 3.11 – Збірка компонентів, включаючи плату розширення

У першу чергу збірка компонентів здійснювалася з підключенням УЗ-датчиків для перевірки відпрацювання двох датчиків одночасно.

Після цього було використано плату розширення UPS HAT та два акумулятори форм-фактору 18650 для забезпечення автономного живлення протягом визначеного часу. Враховуючи, що при роботі одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 5 досить швидко нагрівається вище 65 °С, що не дозволяло продовжувати роботу, було прийнято рішення додати до апаратного блоку – вентилятор, що дозволив підтримувати загальну температуру у активному робочому стані Raspberry Pi 5 не вище 50 °С.

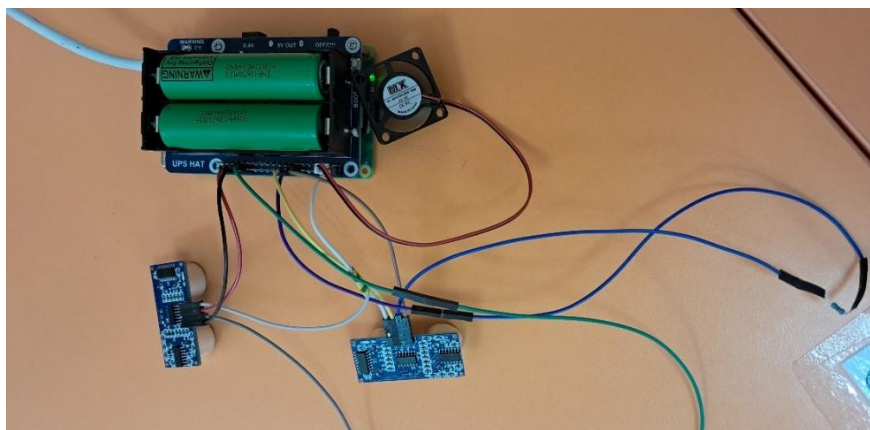


Рисунок 3.12 – Фінальний варіант збірки компонентів

Таким чином, апаратна частина системи була зібрана відповідно до попередньо розробленої структурної схеми, що забезпечує узгоджену взаємодію між усіма апаратними компонентами.

3.2.3 Моделювання корпусу моніторингового блоку

Для забезпечення надійного розміщення та захисту від зовнішнього механічного впливу зібраної апаратної частини системи, необхідним етапом є моделювання корпусу моніторингового блоку. Корпус виконує функцію шасі, на якому фіксуються всі основні компоненти, зокрема одноплатний комп'ютер, модулі ультразвукових датчиків, елементи живлення, система охолодження тощо. Проектування виконувалося з урахуванням ергономічних і конструктивних вимог, що дозволило забезпечити умови функціонування пристрою в умовах реального використання.

Першочергово було розглянуто варіант моделювання цілісного корпусу, що зможе вмістити всі апаратні компоненти, такі як одноплатний комп'ютер, датчики збору даних, з'єднувачі. Цілісний корпус був запропонований в вигляді літери «П», таким чином щоб його можна було закріпити на поверхні БПЛА DJI Phantom 4, забезпечити закріплення датчиків з лівої та правої сторін (рис. 3.13).

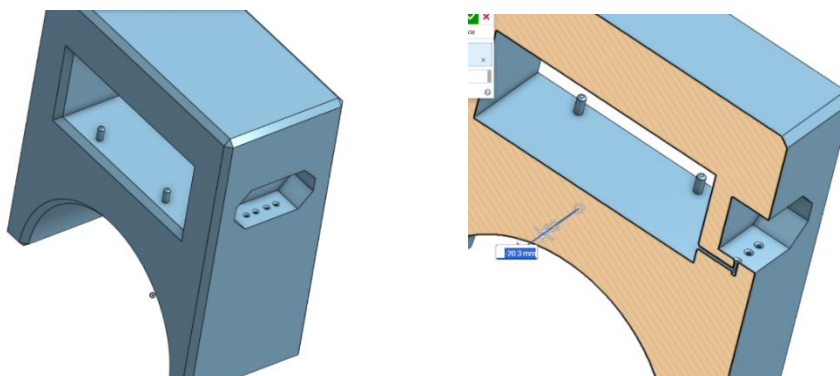


Рисунок 3.13 – Моделювання суцільного корпусу

Однак, у ході аналізу конструкції БПЛА, було виявлено, що форма та матеріали не дозволять виконати надійне прикріплення запропонованого варіанту змодельованого корпусу. У тому числі, потенційна вага самого корпусу може призвести до перевищення можливого вагового ліміту підняття вантажу БПЛА, включаючи апаратні компоненти, що власне забезпечують загальну роботу системи та виконують необхідну задачу зі збору т первинної обробки даних. Відповідно, необхідно виконати побудову корпусу іншого формату для можливості монтування апаратних пристроїв на «борт» дрону, як рухомої апаратної платформи.

Для створення та 3D-друку окремих модульних елементів кріплення для кожного з компонентів системи було використано готові рішення, що дозволило суттєво зменшити загальну масу конструкції, забезпечити гнучкість у контексті адаптації апаратної частини до різних задач з вимірювання. У тому числі, пришвидшити процес встановлення та демонтажу обладнання на рухомій платформі.

Модульність кріплень також дозволяє оперативно змінювати висоту та розташування вимірювальних датчиків відповідно до специфіки обстежуваного коридору технічної споруди.

У рамках реалізації такого рішення було використано готові моделі компонентів та здійснено їх 3D-друк на принтері моделі Creality. А саме виконано друк двох бічних кріплень для УЗ-сенсорів HC-SR04, а також корпусний елемент для встановлення та фіксації одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 5 внизу БПЛА моделі DJI Phantom 4 (рис. 3.14, 3.15).

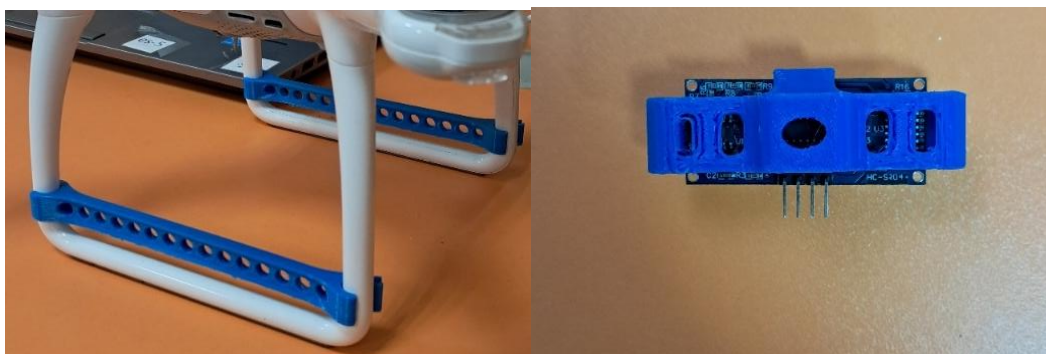


Рисунок 3.14 – Надруковані елементи: шасі та кріплення УЗ-датчиків

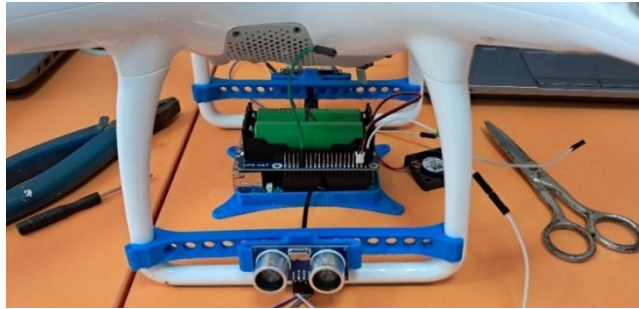


Рисунок 3.15 – Надрукований елемент основи для одноплатного комп'ютера

Друк елементів виконувався з використанням філаменту типу PLA, однією з характеристик якого є низька температура плавлення (180–220 °C), що дозволяє використовувати його при друці на будь-якому 3D-принтері.

Таким чином, після виконання етапів підбору апаратних компонентів, організації системи автономного живлення та виготовлення модульних 3D-

елементів в якості корпусної частини, було зібрано загальний апаратний комплекс, загальний вигляд якого представлений на рис. 3.16.



а)



б)

Рисунок 3.16 – Монтування апаратної частини на рухому платформу:

а) процес монтування компонентів на шасі; б) кінцевий результат
здійсненого монтування на БПЛА

Усі складові системи були об'єднані у функціональну конструкцію, що є придатною для встановлення на БПЛА, як рухомій платформі, та подальшого виконання задач із обстеження СТК.

3.3 Програмна реалізація платформи

Після того, як було виконано збірку моніторингового блоку необхідно забезпечити його функціональність шляхом програмного керування. Програмне керування апаратною частиною включає реалізацію програми на Python для роботи з УЗ-датчиками, збору даних та їх запису в необхідному

табличному форматі. Друга частина програмної реалізації включає роботу з мову програмування Maple для роботи з даними, а саме їх обробкою та візуалізацією з метою моделювання структури обстежуваної ТК та виявлення у ній можливих дефектів.

3.3.1 Збір та керування даними УЗ-датчиками

Для керування та роботи з одноплатним комп'ютером Raspberry Pi 5, у тому числі з метою управління УЗ-датчиками моделі HC-SR04 було обрано мову програмування Python для реалізації скрипта, що відповідатиме поставленій задачі даної роботи: здійснити отримання даних з датчиків, виконати попередню обробку та запис для подальшого використання у середовищі комп'ютерного математичного моделювання.

Загальна логіка програмного коду полягає у наступному. Програмний код реалізує процес зчитування даних з двох підключених до одноплатного комп'ютера УЗ-датчиків з метою вимірювання відстаней до границь ТК та виявлення порушень в таких, шляхом порівняння вимірюваних (фактичних) результатів із зразковими (еталонними) значеннями.

У першу чергу, виконується ініціалізація програми. Для цього використовується спеціальна бібліотека RPi.GPIO, що передбачає роботу з портами вводу/виведення на одноплатному комп'ютері у режимі Body Control Module (BCM). У тому числі, на початку задаються чотири змінні для пінів (*TRIG_1*, *TRIG_2*, *ECHO_1*, *ECHO_2*), через які проходитиме взаємодія та підключатимуться датчики (рис. 3.17).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import csv

TRIG_1 = 24
ECHO_1 = 23
TRIG_2 = 16
ECHO_2 = 12

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(TRIG_1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO_1, GPIO.IN)
GPIO.setup(TRIG_2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO_2, GPIO.IN)
```

Рисунок 3.17 – Фрагмент програмного коду підключення датчиків

Наступним кроком є зчитування файлу у форматі CSV, що містить зразкові (еталонні) значення вимірювань певного об'єкта, а саме значення відстаней до лівої (*XL*) та правої (*XR*) меж ТК або її окремого елемента. Власне, реалізованою функцією *measure_distance()* здійснюється імпульсне зондування від УЗ-датчиків і обчислення часу проходження сигналу, що відбивається. Таким чином, з урахуванням швидкості звуку, обчислюється відстань до границь по обидві сторони у міліметрах (рис. 3.18).

```
input_csv = "input_table.csv"
output_csv = "output_results.csv"

def measure_distance(trig, echo, timeout=0.01):
    GPIO.output(trig, True)
    time.sleep(0.001)
    GPIO.output(trig, False)

    start_time = time.time()
    timeout_time = start_time + timeout

    while GPIO.input(echo) == 0:
        start_time = time.time()
        if time.time() > timeout_time:
            return "Error"

    end_time = time.time()
    timeout_time = end_time + timeout

    while GPIO.input(echo) == 1:
        end_time = time.time()
        if time.time() > timeout_time:
            return "Error"

    duration = end_time - start_time
    distance_mm = (duration * 34300 / 2) * 10
    return round(distance_mm, 2) if distance_mm > 20 else "Error"
```

Рисунок 3.18 – Фрагмент програмного коду обробки
вхідних сигналів з УЗ-датчиків

Також, варто виокремити, що для кожного запису обчислюється відсоткове відхилення фактичної відстані від зразкового значення. Відповідно, саме при виконанні такого обчислення, здійснюється класифікація відхилень за певними рівнями, а саме:

- *Green* – норма (97–101 %);
- *Blue* – наявність відхилення вглиб стіни (70–96 %);
- *Red* – наявність відхилення ззовні стіни, виступ (102–149 %);
- *Gray* – надмірне перевищення значень вглиб стіни, наскрізний отвір (≤ 150 %);
- *Error* – помилка вимірювання, неможливість зняти значення.

Відповідно, отримані результати вимірювання та класифікації записуються та зберігаються у структурованій таблиці формату CSV, що

дозволяє передавати у програму комп'ютерного моделювання, вилучати конкретні дані та здійснювати їх обробку для виконання візуалізації в математичному середовищі Maple Software. Програмний код для керування УЗ-датчиками та процесу запису вимірювань наведений у додатку Б.

3.3.2 Моделювання виявлених дефектів ТК у Maple Software

Для виконання задачі з моделювання та виявлення дефектів у ТК, що обстежуються рухомою апаратною платформою, використовується ПЗ Maple Software для здійснення комп'ютерного математичного моделювання.

У першу чергу, для роботи з даним середовищем, необхідно забезпечити відкритий доступ до даних, що будуть збиратися в ході моніторингу та передаватися безпосередньо на серверну частину, у даному випадку – ноутбук відповідно до сформованої концепції. Для забезпечення доступу до даних, у Maple Software є можливість підключення та взаємодії з простою СКБД sqlite3, що дозволить у подальшому керувати більшою кількістю даних, зберігати та передавати у ПЗ при кожному оновленні для їх обробки. Підключення до sqlite3 в середовищі Maple, здійснюється шляхом взаємодії з Python (рис. 3.19) та виклику інстальованої локально СКБД sqlite 3 (рис. 3.20).

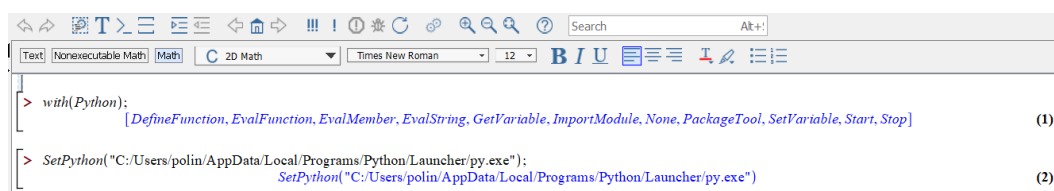


Рисунок 3.19 – Підключення мови програмування Python до Maple Software

```
> Eval("
import sqlite3
import pandas as pd

conn = sqlite3.connect('yourdata.db')
df = pd.read_sql_query('SELECT * FROM tablename', conn)
print(df)
")
```

Рисунок 3.20 – Підключення СКБД sqlite3 до Maple Software

Таким чином, здійснивши підключення, наступним етапом є взаємодія між даними та реалізованим скриптом для обробки та візуалізації. Програмний скрипт реалізує математичну модель профілю «коридору» ТК, тобто такий

шлях, що пройдений уздовж певної траєкторії, зібраного за допомогою БПЛА, що рухається по центру, вимірюючи відстані до лівої та правої границь конструкції. Візуалізація базується на геометричному моделюванні відхилень результату вимірювань від еталонних значень.

Загалом типом математичної моделі, що використовується, є геометрична інтерпретація, що в свою чергу:

- використовує геометричну реконструкцію на основі зібраних вимірів;
- включає порогову модель дефектів;
- реалізується у форматі послідовних лінійних відрізків.

Такий підхід дозволяє відображати структуру коридору з урахуванням локальних відхилень і змін, що фіксуються вимірюваннями. Враховуючи розбиття простору на окремі сегменти та застосування кольорового кодування, відповідно до відсоткових порогів, модель дає змогу ідентифікувати зони з потенційними пошкодженнями у ТК.

Реалізований скрипт у Maple Software призначений для моделювання двовимірної профілю «коридору» ТК на основі даних вимірювань відстаней до лівої та правої границь, що отримані УЗ-сенсорами. Вхідні дані представляють собою набір точок із координатами та відповідними значеннями відстаней до меж і відсотковими відхиленнями від ідеальної ширини коридору (рис. 3.21).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Record_num	Starting point	Reference values of XL	XL (mm)	%	Security level	Reference values of XR	XR (mm)	%	Security level
2	1	0	1314	1300,89	99,00	Green	1314	1312,43	99,881	Blue
3	2	0	1314	1300,89	99,00	Green	1314	1312,43	99,881	Blue
4	3	0	1314	1300,89	99,00	Green	1314	1315,94	100,15	Blue
5	4	0	1314	1314,98	100,07	Green	1314	1315,94	100,15	Blue
6	5	0	1314	1314,98	100,07	Green	1314	1315,94	100,15	Blue
7	6	0	1314	1314,98	100,07	Green	1314	1315,94	100,15	Blue
8	7	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1315,94	100,15	Blue
9	8	0	1361	1349	99,12	Green	1314	1313,43	99,957	Blue
10	9	0	1361	1349	99,12	Green	1314	1313,43	99,957	Blue
11	10	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
12	11	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
13	12	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
14	13	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
15	14	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
16	15	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
17	16	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
18	17	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1313	99,924	Blue
19	18	0	1361	1350	99,19	Green	1314	1314,43	100,03	Blue
20	19	0	1361	1350,89	99,26	Green	1314	1314,43	100,03	Blue
21	20	0	1361	1350,89	99,26	Green	1314	1313,53	99,964	Blue
22	21	0	1361	1350,89	99,26	Green	1314	1313,53	99,964	Blue
23	22	0	1361	1350,89	99,26	Green	1314	1313,53	99,964	Blue
24	23	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,53	99,964	Blue
25	24	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,37	99,952	Blue
26	25	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,24	99,942	Blue
27	26	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,24	99,942	Blue
28	27	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,24	99,942	Blue
29	28	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,24	99,942	Blue
30	29	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,53	99,964	Blue
31	30	0	1361	1347	98,97	Green	1314	1313,53	99,964	Blue

Рисунок 3.21 – Вигляд вхідних даних

Для кожної точки виділяються координати уздовж осі руху, відстані до лівої стіни та відстані до правої границь. Відсоткові відхилення використовуються для класифікації стану коридору за категоріями, кожній з яких відповідає певний колір:

- зелений – нормальний стан;
- синій – наявність дефекту у вигляді отвору;
- червоний – виступ у стіні;
- сірий –наскрізний отвір у стіні.

За допомогою алгоритму формуються посегментні лінії, що з'єднують сусідні точки вимірювань та забарвлюються у відповідний колір залежно від відсоткового відхилення у кінцевій точці сегмента.

Паралельно формується графік центральної осі коридору. Для покращення сприйняття результатів створюється легенда з позначеннями кольорів і відповідними описами категорій стану. У підсумку всі елементи – лінії лівої та правої границь, центральна вісь і легенда – об'єднуються у загальну візуалізацію, що демонструє профіль коридору із зазначенням ділянок нормальної геометрії та можливих дефектів. Програмний код для відтворення геометричної структури коридору наведений у додатку В.

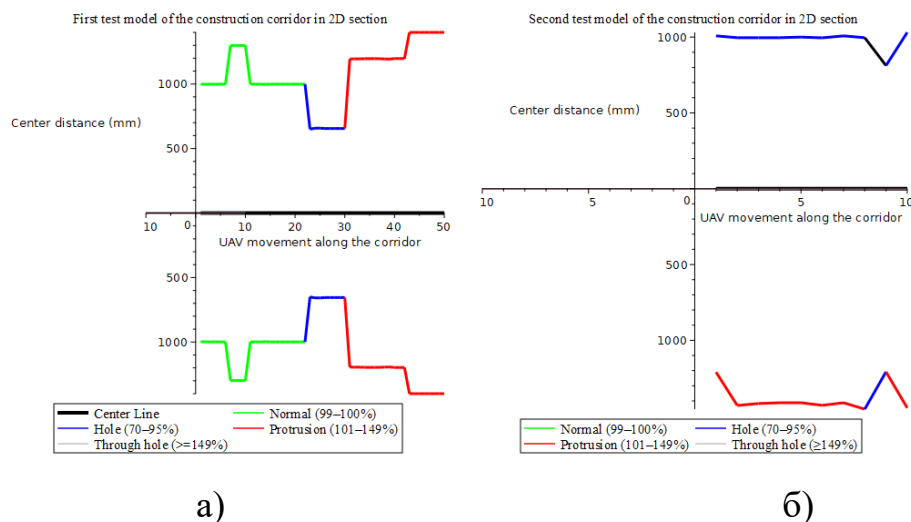


Рисунок 3.22 – Результати моделювання з використанням тестових даних:

- а) моделювання з усіма типами виявлених порушень; б) моделювання з малою кількістю вибірки даних

Результат візуалізації дозволяє наочно оцінити стан коридору, визначити проблемні зони та використати отримані дані для подальшого аналізу.

3.4 Експериментальні дослідження та тестування платформи

З метою перевірки працездатності реалізованої ПАП, необхідно здійснити тестування у визначеному середовищі, у якому можна виконати обхід за певною траєкторією та порівняти фактично отримані дані в результаті вимірювань з еталонними значеннями.

3.4.1 Проведення експериментів зі збору даних та моделювання

Для виконання тестування створеної платформи було обрано споруду Чорноморського національного університету ім. Петра Могили. А саме виконання моніторингового обстеження внутрішнього коридору закладу вищої освіти на третьому та п'ятому поверхах другого корпусу. Варто зазначити, що обрано такі поверхи з метою виконання різнопланових замірів, оскільки обстежувані зони відрізняються: протяжністю, наявністю/відсутністю зовнішніх об'єктів, наявністю/відсутністю та висотою розміщення вікон, кількістю дверних прорізів тощо.

Проведення першого тестування виконувалося на п'ятому поверсі будівлі. Було здійснено обстеження коридору, на якому розташовані навчальні лабораторії, протяжністю у 35,5 м, без виходу на сходовий майданчик. Загальний план об'єкта обстеження наведений на рис. 3.23–3.24.

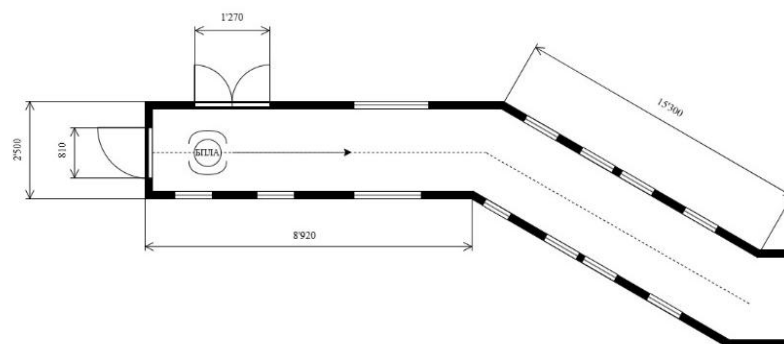


Рисунок 3.23 – План частини коридору третього поверху

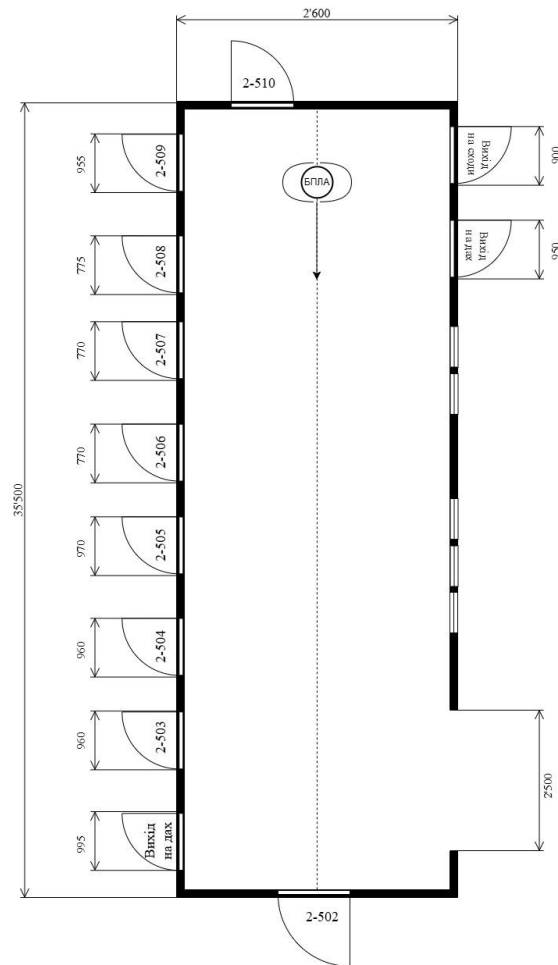


Рисунок 3.24 – План частини коридору п'ятого поверху

Перед виконанням обстеження безпосередньо із використанням розробленої ПАП для моделювання та виявлення дефектів у СТК, було здійснено мануальний збір даних, шляхом вимірювання відстаней до правої та лівої сторін від центру коридору, з метою формування набору даних еталонних значень, за якими можна порівнювати отримані результати з датчиками.

Для збору даних було використано далекомір моделі LOMVUM LV66u. Вимірювання виконувалися шляхом обходу коридору удзовж, виконуючи фіксування відстані від центру по обидві сторони – праву та ліву границь. У тому числі, виконання замірів здійснювалися поетапно з урахуванням підняття на кожні 40 сантиметрів уверх задля врахування просторових змін, таких як наявність об'єктів у коридорі, різниця відстаней між дверима, наявність електротехнічних ящиків, батарей тощо (рис. 3.25). Відповідно, якщо висота

стелі коридору проходження становила 3'000 мм, загальною довжиною 35'500 мм, то кількість записів у наборі даних з підняттям на кожні 400 мм може включати: 7 таблиць по 3'500 рядків записів.



Рисунок 3.25 – Замір в коридорі

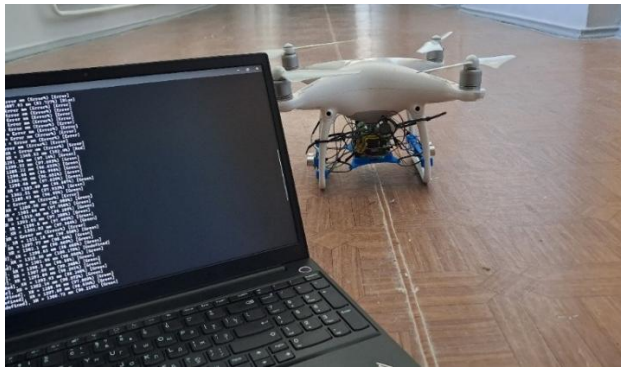
У результаті, зібрані дані було оформлено до структурованого набору даних (рис. 3.26). Даний набір даних використовується для моделювання в якості «еталонних» даних і містить 5 таблиць по 3'500 рядків [6].

	A	B	C	D	E	F
1	Record No.	Starting point (center)	XL	XR		
2	(every 1 cm)		mm	mm		
3	1	0	1314	1314		
4	2	0	1314	1314		
5	3	0	1314	1314		
6	4	0	1314	1314		
7	5	0	1314	1314		
8	6	0	1314	1314		
9	7	0	1314	1314		
10	8	0	1314	1314		
11	9	0	1314	1314		
12	10	0	1314	1314		
13	11	0	1314	1314		
14	12	0	1314	1314		
15	13	0	1314	1314		
16	14	0	1314	1314		
17	15	0	1314	1314		
18	16	0	1314	1314		
19	17	0	1314	1314		
20	18	0	1314	1314		
21	19	0	1314	1314		
22	20	0	1314	1314		
23	21	0	1361	1314		
24	22	0	1361	1314		
25	23	0	1361	1314		
26	24	0	1361	1314		
27	25	0	1361	1314		
28	26	0	1361	1314		
29	27	0	1361	1314		
30	28	0	1361	1314		

Рисунок 3.26 – Структуризація зібраних даних у табличному форматі

Таким чином, було завершено підготовчий етап перед виконанням збору даних з використанням реалізованої ПАП. Другим етапом є проведення

вимірювань шляхом виконання обльоту коридору рухомою апаратною платформою, на яку змонтований моніторинговий блок (рис. 3.27).



а)



б)

Рисунок 3.27 – Виконання тестової перевірки зібраної ПАП:

а) тестовий обхід для виконання замірів у коридорі 5-го поверху; б) проведення тестового обходу для виконання замірів у коридорі 3-го поверху

Усі дані, що надходять від УЗ-датчиків, одразу фіксуються та записуються до таблиці формату CSV з метою їх структуризації та можливості роботи з ними в інших середовищах, виконувати обробку та вилучення необхідних, наприклад, відсоткове співвідношення або виключно результати вимірювань до лівої границі коридору. Такий набір даних і використовується для здійснення моделювання у середовищі Maple Software (рис. 3.28).

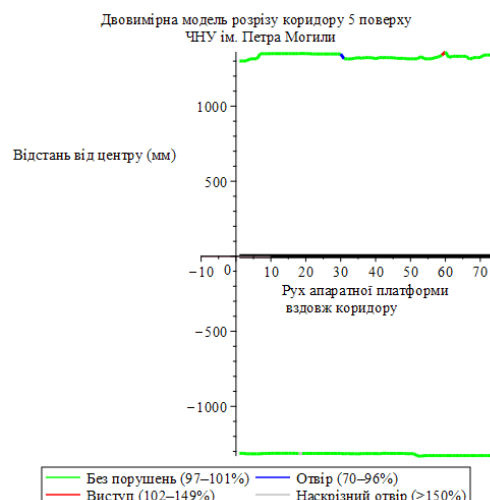


Рисунок 3.28 – Моделювання п'ятого поверху за фактичними результатами вимірювання

Варто зазначити, що результати фактичних вимірювань можуть мати незначні похибки, оскільки УЗ-датчики є чутливими до зовнішніх звуків, матеріалу відбиття хвилі звуку, швидкості проходження по заданій траєкторії об'єкта обстеження тощо. Проте, на загальний результат візуалізації не впливає критично.

У подальшому з метою покращення ПАП та отримання більш точних результатів вимірювань для застосування у моделюванні, можна впровадити застосування різних типів сенсорів в одному моніторинговому блоці (ІЧ-датчики, LiDAR тощо). Також перспективним напрямом покращення платформи є впровадження алгоритмів машинного навчання, зокрема глибокого навчання (CNN, Transformer) для підвищення точності, здійснення автоматизованої класифікації дефектів. У тому числі, використання методів машинного навчання може дозволити автоматично визначати закономірності та спільні ознаки у ході виконання обстеження ТК або її окремих елементів. Відповідно, це зменшить необхідність мануального збору, контролю та попередньої обробки даних, внесення еталонних значень для кожного нового об'єкта моніторингу.

Крім цього, треба відзначити напрямом удосконалення у контексті обробки великих наборів даних. У першу чергу, покращення в даному напрямку стосуватимуться саме архітектури зберігання даних. Використання сучасних форматів для структурованих великих обсягів, наприклад, Parquet, Avro або HDF5, дозволять значно зменшити розмір даних і прискорити їх обробку. Замість традиційного зберігання у форматі CSV, можна застосовувати колонкові формати, що забезпечать ефективний доступ до вибірок даних. Для фізичного зберігання великих масивів даних доцільно буде використовувати хмарні рішення (Amazon S3, Azure Blob Storage), що легко масштабуються. Крім цього, для потокового надходження даних від сенсорів можна розглянути інтеграцію систем обміну Apache Kafka або MQTT, що забезпечать надійний збір і попередню агрегацію даних у реальному часі.

Таким чином, комплексне покращення ПАП може забезпечити надійну, масштабовану та більш точну систему моделювання і виявлення дефектів ТК.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 було розглянуто програмно-апаратне забезпечення розробленої системи для моделювання та виявлення дефектів у СТК, проведено тестування розробленої системи у приміщенні вищого навчального закладу.

У першу чергу, було виконано опис апаратної частини, що базується на одноплатному комп'ютері Raspberry Pi 5, який виконує функцію «ядра» системи у контексті керування УЗ-датчиками для збору даних, запис і збереження їх. Наступним етапом був розгляд процесу збірки апаратного блоку платформи. Окремо розглянуто роботу з одноплатним комп'ютером, його налаштування та базова конфігурація для можливості роботи віддалено. Описано процес збору моніторингового блоку: схема підключення компонентів, етапи збірки комплексу, підготовка елементів кріплення на «борт» БПЛА та результат. Описано роботу програмної частини керування датчиками для збору та попередньої обробки даних вимірювання в ході обстеження певного об'єкта. Наведено програмний скрипт, що забезпечує виконання завдання з моделювання геометричного представлення розрізу коридору об'єкта моніторингу у двовимірному вигляді та виявлення дефектів, шляхом класифікації за відсотковим співвідношенням до еталонних значень.

Після розгляду реалізації апаратної та програмної частин платформи, наведено результати проведення тестування розробленої системи у ході виконання обстеження двох різних поверхів у Чорноморському національному університеті ім. Петра Могили. Окреслено потенційні методи покращення розробленої платформи для виявлення дефектів.

Таким чином, у 3 розділі було комплексно розглянуто всі складові ПАП, проведено перевірку працездатності та тестування, визначено потенційні шляхи вдосконалення даної системи у подальшому.

ВИСНОВКИ

Порівнюючи з існуючими засобами обстеження та моніторингу стану СТК з метою своєчасного виявлення порушень в них, запропоноване програмно-апаратне рішення має низку переваг. Зокрема, до них належать: низька собівартість реалізації, можливість доступу до важкодоступних ділянок об'єктів ТК, гнучкість у масштабуванні системи, адаптивність до різноманітних умов проведення обстеження.

Практичне значення результатів даної роботи полягає у тому, що дане рішення програмно-апаратного комплексу, дозволяє розроблювати економічно вигідні системи моніторингу стану СТК різних типів (вежі, мости, будівлі, теплові мережі тощо), виявлення порушень у конструкціях, використовуючи лише наявний моніторинговий блок без застосування додаткових датчиків, що нагромаджують систему.

Основні результати виконання кваліфікаційної роботи повністю є відповідними до сформованих завдань:

- проаналізовано сучасні методи та засоби діагностики стану ТК;
- досліджено підходи до моделювання об'єктів на основі даних, отриманих із датчиків;
- здійснено аналіз та підбір апаратних і програмних компонентів;
- розроблено апаратну частину платформи для збору інформації про об'єкти;
- реалізовано математичну модель для побудови конструкції та виявлення дефектів на основі підібраних програмних засобів;
- здійснено експериментальну перевірку розробленої системи;
- визначено напрями подальшого вдосконалення комплексу.

У подальшому розвиток предмету дослідження може полягати в інтеграції методів машинного навчання, зокрема алгоритмів глибокого машинного навчання, для підвищення точності та ефективності обробки даних, що надходять з УЗ-датчиків.

Після проведення багатоетапного тестування розробленої платформи, у майбутньому запропоноване рішення можна впроваджувати у сферах цивільного будівництва та відновлення, енергетики, транспорту, телекомунікацій, а також у системах міської інфраструктури, для здійснення своєчасного та регулярного моніторингу стану СТК, контролю та виявлення порушень різних типів та різних ступенів. Варто виокремити, що розроблене рішення з метою масштабування та можливості впровадження у визначені сфери, необхідно буде забезпечити технологіями обробки та навчання великих обсягів даних, інтегрувати використання хмарних обчислювальних сервісів для уможливлення роботи в реальному часі та моделювання структури обстежуваної ТК відповідно. Це дозволить підвищити ефективність, точність і масштабованість системи моніторингу на рівні сучасних вимог до безпеки та надійності інженерної інфраструктури.

Результати кваліфікаційної роботи було представлено на XXVII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Могилянські читання – 2024 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти» (м. Миколаїв, 6–10 листопада 2024 р.) [1]; XXV Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 17–18 квітня 2025 р.) [2]; XXI Міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум – 2025: стратегії країн причорноморського регіону в геополітичному просторі» [3]. Також опубліковано датасет у міжнародному відкритому репозиторії Mendeley Data [6].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. З 6 по 8 листопада 2024 року науковці факультету комп'ютерних наук ЧНУ імені Петра Могили взяли участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції «Могилянські читання – 2024». *Facebook*. URL: <https://www.facebook.com/share/p/1671LdoRnE/> (дата звернення: 10.05.2025).

2. Програма XXV Всеукраїнської науково – технічної конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій – 2025». *ontu.edu.ua*. URL: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2025/Conference_Program-IT-2025.pdf (дата звернення: 10.05.2025).

3. Кравченко П., Нікольський В., Журавська І. Апаратно-програмний комплекс для виявлення та моделювання порушень у технічних конструкціях. *Ольвійський форум – 2025 : стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі* : тези доп. XXII Міжнар. наук. конф., Миколаїв, 16–21 черв. 2025 р. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2025 (подано до друку).

4. Журавська І. М., Кравченко П. К. Планування траєкторій руху БПЛА з використанням нейронної мережі на Raspberry Pi. *Могилянські читання – 2024* : тези доп. XXVII Всеукр. наук.-практ. конф. Миколаїв, 6–10 листоп. 2024 р. Миколаїв : Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили, 2024. С. 115–118.

5. Кравченко П., Обухова К. Апаратно-програмні засоби для моделювання та виявлення дефектів у технічних конструкціях. *Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій* : матер. конф. XXV Всеукр. наук.-техн. конф. мол. вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 17–18 квіт. 2025 р. Одеса : Одеський нац. технол. ун-т, 2025. С. 119–121.

6. 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. DOI: 10.17632/6zj7tj6xtn.1.

7. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Чинний від 2014-06-04. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3192355188719486804?doc_type=2 (дата звернення: 12.12.2024).

8. ДБН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва. Чинний від 2008-02-05. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2008. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074132130146550876?doc_type=2 (дата звернення: 12.12.2024).

9. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. На заміну ДБН В.3.1-1-2002 ; чинний від 2016-06-24. Вид. офіц. Київ : Держ. НДІ буд. конструкцій, 2016. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66126 (дата звернення: 12.12.2024).

10. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. На заміну ДБН 362-92 ; чинний від 2016-06-24. Вид. офіц. Київ : Укр. н.-д. та проект. ін-т стал. конструкцій ім. В. М. Шиман., 2016. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64361 (дата звернення: 12.12.2024).

11. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 ; чинний від 2024-01-09. Вид. офіц. Київ : Техн. ком. стандартизації «Будтехнології», 2024. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106902 (дата звернення: 12.12.2024).

12. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів : наказ Мінрозвитку України від 06.08.2022 № 144 : станом на 6 серп. 2022 р.

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#n13>. (дата звернення: 12.12.2024).

13. Umanets I., Basarab V. Monitoring of the technical condition of buildings and structures under operational conditions. *Ways to Improve Construction Efficiency*. 2023. Vol. 1, no. 51. P. 194–205. DOI: 10.32347/2707-501x.2023.51(1).

14. Використання системи моніторингу для оцінки технічного стану будівельних конструкцій. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2018. Вип. № 3. С. 1–7. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/7137/1/Otrosh_318.pdf (дата звернення: 10.12.2024).

15. Руйнування в цифрах: скільки Росія знищила об'єктів та скільки виділили на відбудову. *LIGA*. URL: <https://www.liga.net/ua/infographic-of-the-day/articles/ruinuvannia-v-tsyfrakh-skilky-rosiia-znyshchyla-obiektiv-ta-skilky-vidilyly-na-vidbudovu> (дата звернення: 19.12.2024).

16. Hutsul T., Zhezhera I., Tkach V. Features of UAV classification and selection methods. *Technical Sciences and Technologies*. 2022. No. 4(30). P. 201–212. DOI: 10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212.

17. Ciconia | DeViro. *DeViro*. URL: <https://deviro.ua/ukr/ciconiavtol> (Last accessed: 25.12.2025).

18. Mapping and 3D modelling using quadrotor drone and GIS software / W. Budiharto et al. *Journal of Big Data*. 2021. Vol. 8, no. 1. DOI: 10.1186/s40537-021-00436-8.

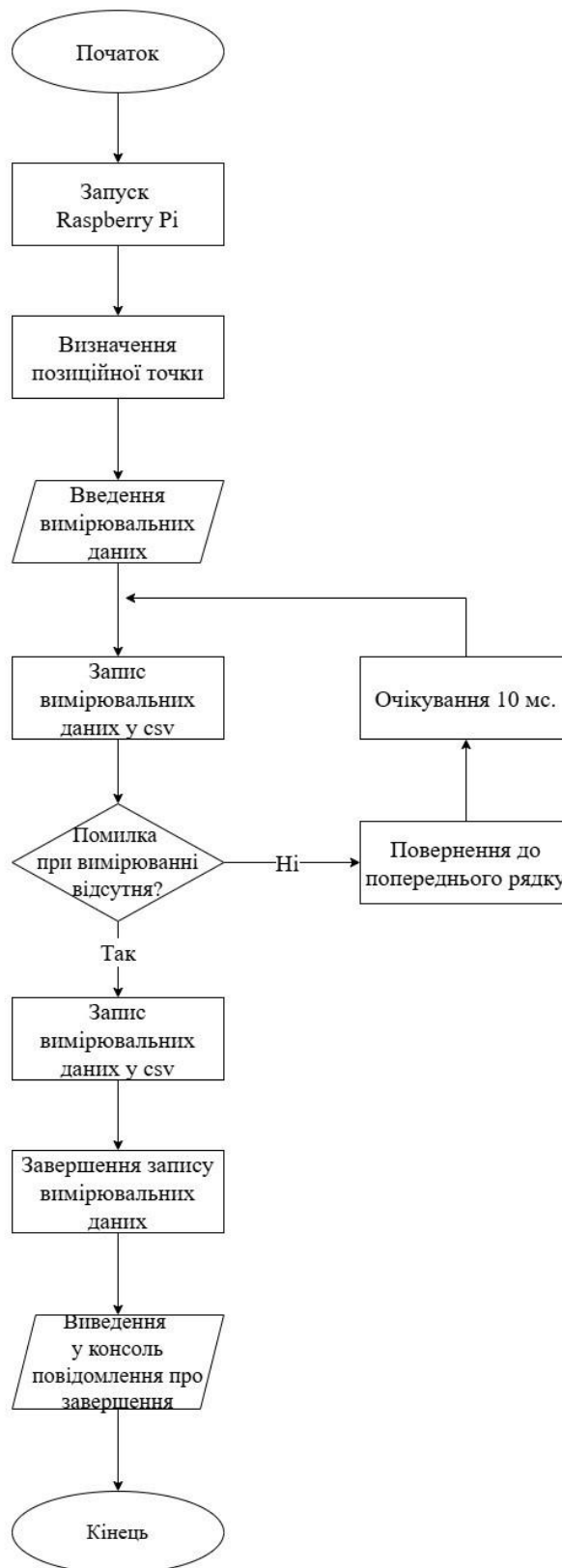
19. Comprehensive Guide to Building Inspections Using Drones. *Owner Inspections*. URL: <https://ownerinspections.com.au/comprehensive-guide-to-building-inspections-using-drones/> (Last accessed: 26.12.2024).

20. Raspberry Pi product series explained. www.raspberrypi.com. URL: <https://www.raspberrypi.com/news/raspberry-pi-product-series-explained/> (Last accessed: 03.01.2025).

21. Abuqasmieh I., Alqudah A. Triad System for object's 3D localization using Low-Resolution 2D ultrasonic sensor array. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. Jul., 2020. P. 115–122. DOI: 10.1556/1848.2020.20010.
22. Distance measuring sensor. *Sharp Datasheet*. URL: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a02yk_e.pdf (Last accessed: 05.01.2025).
23. Kaartinen E., Dunphy K., Sadhu A. LiDAR-Based Structural Health Monitoring : Applications in Civil Infrastructure Systems. *Sensors*. 2022. P. 1–32. DOI: 10.3390/s22124610.
24. Waveshare Датчик відстані лазерний TF-Luna Lidar Ranging Sensor. *evo.net.ua*. URL: <https://evo.net.ua/waveshare-datchyk-vidstani-lazernyi-tf-luna-lidar-ranging-sensor-8m-24893/> (дата звернення: 07.01.2025).
25. SQLite (.db) File Format. *www.maplesoft.com*. URL: <https://www.maplesoft.com/support/help/maple/view.aspx?path=Formats%2FSQLite> (Last accessed: 15.01.2025).
26. Danfeng L. Application of Mathematical Modeling Based on MATLAB in Experimental Data Analysis. *Procedia Computer Science*. 2024. P. 86–92. DOI: 10.1016/j.procs.2024.10.011.
27. Xue D., Pan F. Modeling and Simulation with Simulink. *In book: MATLAB and Simulink in Action*. 2024. P. 387–419. DOI: 10.1007/978-981-99-1176-9_13.
28. Pajankar A., Chandu S. GNU Octave by Example : A Fast and Practical Approach to Learning GNU Octave. 2020. ISBN: 978-1-4842-6085-2. DOI: 10.1007/978-1-4842-6086-9.
29. Дворник О. В., Чуйко Г. П., Дарнапук Є. С., Бойко А. П. Цифрова обробка сигналів з практикумом в Maple 2021 : навч. посіб. Миколаїв : вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. 256 с.

ДОДАТОК А

Блок-схема алгоритму роботи апаратної частини



ДОДАТОК Б

Код програми збору даних

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import csv

TRIG_1 = 24
ECHO_1 = 23
TRIG_2 = 16
ECHO_2 = 12

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(TRIG_1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO_1, GPIO.IN)
GPIO.setup(TRIG_2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO_2, GPIO.IN)

input_csv = "input_table.csv"
output_csv = "output_results.csv"

def measure_distance(trig, echo, timeout=0.01):
    GPIO.output(trig, True)
    time.sleep(0.001)
    GPIO.output(trig, False)

    start_time = time.time()
    timeout_time = start_time + timeout

    while GPIO.input(echo) == 0:
        start_time = time.time()
        if time.time() > timeout_time:
            return "Error"

    end_time = time.time()
    timeout_time = end_time + timeout

    while GPIO.input(echo) == 1:
        end_time = time.time()
        if time.time() > timeout_time:
            return "Error"

    duration = end_time - start_time
    distance_mm = (duration * 34300 / 2) * 10
    return round(distance_mm, 2) if distance_mm > 20 else "Error"

def get_security_level(ratio):
    if isinstance(ratio, str):
        return "Error"
    elif ratio >= 149:
        return "Gray"
    elif ratio >= 101:
        return "Red"
    elif 70 <= ratio <= 95:
        return "Blue"
    elif 96 <= ratio <= 100:
        return "Green"
    else:
        return "Undefined"
```

```
rows = []
with open(input_csv, mode="r") as infile:
    reader = csv.DictReader(infile)
    reader.fieldnames = [name.strip() if name else "" for name in reader.fieldnames]
    for row in reader:
        cleaned_row = { (k.strip() if k else ""): (v.strip() if v else "") for k, v
in row.items() }
        rows.append(cleaned_row)

for row in rows:
    try:
        ref_xl = float(row.get("Reference values of XL", 1))
        ref_xr = float(row.get("Reference values of XR", 1))
    except ValueError:
        ref_xl = ref_xr = 1

    dist_xl = measure_distance(TRIG_1, ECHO_1)
    dist_xr = measure_distance(TRIG_2, ECHO_2)

    if isinstance(dist_xl, float) and ref_xl != 0:
        ratio_xl = round((dist_xl / ref_xl) * 100, 3)
    else:
        ratio_xl = "Error"

    if isinstance(dist_xr, float) and ref_xr != 0:
        ratio_xr = round((dist_xr / ref_xr) * 100, 3)
    else:
        ratio_xr = "Error"

    level_xl = get_security_level(ratio_xl)
    level_xr = get_security_level(ratio_xr)

    row["XL (mm)"] = dist_xl
    row["%"] = ratio_xl
    row["Security level"] = level_xl
    row["XR (mm)"] = dist_xr
    row["%.1"] = ratio_xr
    row["Security level.1"] = level_xr

    print(f"[{row.get('Record_num', '?')}] XL = {dist_xl} mm ({ratio_xl}%)
[{'level_xl'}], "
        f"XR = {dist_xr} mm ({ratio_xr}%) [{'level_xr'}]")

    time.sleep(1)

fieldnames = [
    "Record_num", "Starting point",
    "Reference values of XL", "XL (mm)", "%", "Security level",
    "Reference values of XR", "XR (mm)", "%.1", "Security level.1"
]

with open(output_csv, mode="w", newline="") as outfile:
    writer = csv.DictWriter(outfile, fieldnames=fieldnames)
    writer.writeheader()
    for row in rows:
        writer.writerow(row)

GPIO.cleanup()
print("Measurement process is ended. All data were written in:", output_csv)
```

ДОДАТОК В

Програмний скрипт моделювання

```
with(plottools);
with(plots);

data := [(sqlite.db "./output_table.csv")];

n := nops(data);

x_vals := [seq(data[i][1], i = 1 .. n)];
left_wall := [seq(data[i][4], i = 1 .. n)];
right_wall := [seq(-data[i][7], i = 1 .. n)];
left_percent := [seq(data[i][5], i = 1 .. n)];
right_percent := [seq(data[i][8], i = 1 .. n)];

get_color := proc(p::numeric)

if 99 <= p and p < 101 then return green;
elif 70 <= p and p <= 95 then return blue;
elif 101 <= p and p < 149 then return red;
elif 149 <= p then return grey;
else return green; end if; end proc;

create_segments := proc(vals, percents)
local i, segments, prev, col, plots_list;
plots_list := [];
prev := vals[1];

for i from 2 to n do col := get_color(percents[i]);

plots_list := [op(plots_list), plot([[x_vals[i - 1], prev], [x_vals[i], vals[i]]],
color = col, thickness = 3)];
prev := vals[i];
end do;
return display(plots_list);
end proc;

left_plot := create_segments(left_wall, left_percent);

right_plot := create_segments(right_wall, right_percent);

center_line := plot([[x_vals[1], 0], [x_vals[-1], 0]], color = black, thickness = 4);

legend_plots := [plot(0, color = green, style = line, legend = "Без порушень
(97&ndash;100%)"),
plot(0, color = blue, style = line, legend = "Отвір (70&ndash;96%)"),
plot(0, color = red, style = line, legend = "Виступ (101&ndash;149%)"),
plot(0, color = grey, style = line, legend = "Наскрізний отвір (&ge;150%)")];

display(left_plot, right_plot, center_line, op(legend_plots),
title = "Двовимірна модель розрізу коридору 5 поверху \n ЧНУ ім. Петра Могили",
labels = ["Рух апаратної платформи \n вздовж коридору", "Відстань від центру (мм)"],
labelfont = [TIMES, ROMAN, 12],
axesfont = [TIMES, ROMAN, 12]);
```

ДОДАТОК Г

Матеріали апробації роботи

Г.1 XXVII Всеукраїнська науково-практична конференція «Могилянські читання – 2024»

Міністерство освіти і науки України
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»
Південний науковий центр НАН та МОН
Інститут української археографії та джерелознавства
імені М. С. Грушевського НАН України
Первинна профспілкова організація ЧНУ ім. Петра Могили



«МОГИЛЯНСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024:
досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні:
глобальний, національний та регіональний аспекти»

XXVII Всеукраїнська науково-практична конференція

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Миколаїв, 6–10 листопада 2024 року

Миколаїв – 2024

<i>Федас Ю. М., Боровльова С. Ю.</i> Оптимізація з'єднання в WebRTC..	88
<i>Фісун М. Т., Ажицев В. Ф.</i> Моделювання 3-рівневої системи планування суднобудівного виробництва за методологією IDEF0.....	91
<i>Чернигін Г. Л., Горбань Г. В.</i> Система аналізу настроїв тексту на основі тематичного моделювання.....	94
<i>Шумаков М. В., Швед А. В.</i> Розпізнавання жестової мови на основі алгоритмів машинного навчання	97

Підсекція:

➤ КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>Баклан А. О., Салтовський Б. Г.</i> Створення портативного детектора блискавок на основі датчика AS3935	101
<i>Басистий В. А., Чешун О. В., Чешун В. М.</i> Комплекс моніторингу і аналізу мережевого трафіку IoT на одноплатних мікрокомп'ютерах	103
<i>Дарнапук Є. С., Гуляєв І. С.</i> Комплекс дистанційного спостереження на базі колісної робоплатформи та ESP32-CAM	108
<i>Крайник Я. М., Доценко Д. В.</i> Реалізація комбінованого методу стиснення проміжних кадрів відео на платформі STM32F746G Discovery.....	112
<i>Журавська І. М., Кравченко П. К.</i> Планування траєкторій руху БПЛА з використанням нейронної мережі на Raspberry Pi	115
<i>Пузирьов С. В., Кисельов Д. М.</i> Розподілена система health-моніторингу теплиць	118
<i>Наливайко Т. Т., Наливайко Т. А.</i> Геоінформаційні технології для кібербезпеки організації.....	121
<i>Семенов В. В.</i> Altium Designer – інструмент для втілення електронних ідей в реальність	125
<i>Онацький В. В., Савінов В. Ю.</i> Вдосконалення ERC20: розробка смарт-контракту для інтеграції додаткових функцій	128
<i>Ситніков Т. В., Молочков В. М., Войтович В. М., Ситніков В. С.</i> Фазовий коректор як компонент тракту обробки сигналів датчиків у мобільній платформі.....	131

**Г.2 XXVII Всеукраїнська науково-практична конференція
«Могилянські читання – 2024»**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський національний технологічний університет
ННІ Комп'ютерної інженерії, автоматизації робототехніки та
програмування ім. П.М.Платонова
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Університет Інформатики і прикладних знань м. Лодзь, Польща**

**XXV Всеукраїнська науково-технічна конференція
молодих вчених, аспірантів та студентів**

**«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І
ТЕХНОЛОГІЙ»**

Матеріали конференції



Одеса

17-18 квітня 2025 р.

Матеріали конференції «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій»

18. ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ В ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ РЕЗЮМЕ Ковальський В., Романюк О. (Вінницький національний технічний університет)	116
19. ІНТЕРНЕТ МАГАЗИН ЦИФРОВИХ ІГРОВИХ ТОВАРІВ. Корешков О. (Одеський національний технологічний університет)	118
20. АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЯХ. Кравченко П., Обухова К. (Чорноморський національний університет ім. Петра Могили)	119
21. ІНФОРМАЦІЙНА УПРАВЛЯЮЧА СИСТЕМА ПО ДОГЛЯДУ ЗА ДОМАШНІМИ ТВАРИНАМИ Крупіца Я., Селіванова А. (Одеський національний технологічний університет)	122
22. ІНФОРМАЦІЙНА УПРАВЛЯЮЧА СИСТЕМА СТУДЕНТСЬКОГО КЛУБУ Куріс М., Селіванова А. (Одеський національний технологічний університет)	124
23. ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВЕТЕРИНАРНОЮ КЛІНІКОЮ Магтоян А. (Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)	127
24. ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА МАСШТАБОВАНOSTІ LARAVEL-ЗАСТОСУНКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ SWOOLE ТА DOCKER Макар М. (Західноукраїнський національний університет)	128
25. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ЩОДО ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПОБУТОВИХ КЛІЄНТІВ Мальцев А., Снігур Т. (Одеський національний технологічний університет)	130
26. PUTHON-TELEGRAM-BOT VS. AIOGRAM: ЯКА БІБЛІОТЕКА КРАЩА ДЛЯ НАПИСАННЯ ТЕЛЕГРАМ БОТІВ Мартіросян Р., Братерська Н. (Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова)	132
27. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПРИЙНЯТТЯ ЗАМОВЛЕНЬ У СФЕРІ ГРОМАДСЬКОГО ХАРЧУВАННЯ Матвеев К., Котлик С. (Одеський національний технологічний університет)	134
28. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЧАТ-БОТА КОНСУЛЬТАНТА З ПРОДАЖУ ТЕКСТИЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ Могілей О., Ломовцев П. (Одеський національний технологічний університет)	137
29. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ СЕМАНТИЧНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ЗАПИСІВ ЗА АТРИБУТАМИ. Паламарчук М., Ковалюк Т. (Київський національний університет імені Тараса Шевченка)	139
30. ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТУ SOURCE GENERATORS У ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ ЗАСТОСУНКІВ НА ПЛАТФОРМІ .NET. Позур М., Войтко В. (Вінницький національний технічний університет).	142
31. АУДІОБРЕНДІНГ ЯК ЕЛЕМЕНТ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ: ВПЛИВ НА ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕРАКТИВНИХ РІШЕНЬ Плотніков В., Бодюл О. (Одеський національний технологічний університет)	144
32. ОПТИМІЗАЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОБІЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ МЕДІАКОНТЕНТУ Прус Б. (Вінницький національний технічний університет)	146

Г.3 XXII Міжнародна наукова конференція «Ольвійський форум – 2025»

XXII МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ «ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2024: СТРАТЕГІЇ КРАЇН ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРІ» з 16 по 21 червня 2025 року

ПІДСЕКЦІЯ: Комп'ютерна інженерія

Дата, час та посилання: 16.06.2025 о 10:30

Google Meet: <https://meet.google.com/uzr-aaae-yvw>

Керівник підсекції: **Пузирьов С. В.** – кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії
Секретар підсекції: **Чернявський Р. А.** – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії

Мета проведення: Обмін міжнародним досвідом країн Причорноморського регіону щодо окреслення оптимальних шляхів, напрямів та характеру теоретичних, практичних і освітнянських реформ, адаптованих до європейських стандартів з проблем державного управління, права, енергетики, радіаційної і техногенно-екологічної безпеки людини та довкілля, екології, історії, інформаційних технологій, філософії, політології, соціології, психології та мовної культури в сучасних умовах глобальної фінансової і соціально-економічної трансформацій, висвітлення актуальних проблем медицини та фізичного розвитку, зміцнення здоров'я та формування здорового способу життя.

Перелік доповідей:

1. **Бойко А. П.** (доцент каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Застосування тривимірного моделювання в інженерії.
2. **Бондар В. Р.** (магістрант, Національний університет "Одеська політехніка"), **Бадерко І. В.** (ст. викл. кафедри комп'ютерних систем, Національний університет "Одеська політехніка"), **Ситніков В. С.** (зав. каф. комп'ютерних систем, Національний університет "Одеська політехніка"). Використання технічного зору та комп'ютерної системи для прицільного пожежогасіння.
3. **Бондаренко І. Ю.** (бакалаврант каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили), **Обухова К. О.** (ст. викл. каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Реалізація каналу зв'язку між Raspberry Pi та Android для детектування об'єктів у реальному часі
4. **Гацуліч С. О.** (бакалаврант каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили), **Салтовський Б. Г.** (ст. викл. каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Розробка мультимедійної клавіатури на базі датчика RAJ7620.
5. **Гончаров Д. С.** (викл. каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Модельно-орієнтований підхід до розробки спеціалізованих систем моніторингу здоров'я.
6. **Гюльмамедов Н. М.** (бакалаврант каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили), **Бурлаченко І. С.** (ст. викл. каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Особливості мультиагентних роботизованих систем.
7. **Дарнапук Є. С.** (ст. викл. каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Використання можливостей бібліотек pandas, numpy та rupture для обробки та аналізу масивів даних амбулаторного добового моніторингу тиску крові.
8. **Кравченко П. К.** (бакалаврантка каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили), **Нікольський В. В.** (проф. каф. технічної експлуатації флоту Національного університету "Одеська морська академія"), **Журавська І. М.** (зав. каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Апаратно-програмний комплекс для виявлення та моделювання порушень у технічних конструкціях.
9. **Онацький В. В.** (аспірант каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили), **Савінов В. Ю.** (доцент каф. комп'ютерної інженерії, Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили). Intelligent traffic management and resource allocation in next-generation network infrastructures.

2025 p.

Кравченко Поліна