

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних
конструкцій на основі IoT технологій

Виконав: студент 4 курсу, групи СІс-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Новак В.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Марценко С.В.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Новаку Віталію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій

Керівник роботи Тиш Євгенія Володимирівна, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «27» січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Схема електрична структурна

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати роботи системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>проф. каф. МТ Пулинець М.І.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання</i>	<i>03.02 – 10.02</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проєктування комп'ютеризованої системи</i>	<i>11.02 – 28.02</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, тестування комп'ютеризованої системи</i>	<i>01.03 – 01.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>02.05 – 11.05</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	<i>12.05 – 08.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>09.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>25.06.2025</i>	

Студент

(підпис)

Новак В.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тили Є.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Новак В.П. Комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій: робота на здобуття освітнього рівня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютеризована система, моніторинг нахилу, гіроскоп, IoT, хмарний сервер, мікроконтролер.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій. У процесі роботи було проаналізовано технічне завдання, сформульовано основні вимоги до системи та проведено огляд існуючих аналогів. Розглянуто сучасні методи та засоби вимірювання кута нахилу, зокрема використання гіроскопів. Обґрунтовано вибір датчиків для реєстрації змін нахилу конструкцій та мікроконтролера для обробки даних.

Розроблено апаратну частину системи, включаючи датчик, мікроконтролерний блок з модулем бездротового зв'язку для передавання даних у хмарний сервіс. Розроблено програмне забезпечення для збору, обробки та зберігання даних у реальному часі. Передбачено систему оповіщення при перевищенні допустимих значень нахилу. Виконано тестування працездатності системи та оцінено її точність і надійність.

ANNOTATION

Novak V.P. Computerized system for monitoring the tilt of building structures based on IoT technologies. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: computerized system, tilt monitoring, gyroscope, IoT, cloud server, microcontroller.

The qualification work is devoted to the development of a computerized system for monitoring the tilt of building structures based on IoT technologies. In the course of the work, the terms of reference were analyzed, the main requirements for the system were formulated, and a review of existing analogues was conducted. Modern methods and means of measuring tilt, including the use of gyroscopes, are considered. The choice of sensors for registering changes in the inclination of structures and a microcontroller for data processing is substantiated.

The hardware of the system, including the sensor, microcontroller unit, and wireless communication module for data transmission to the cloud server, was developed. Software for collecting, processing and storing data in real time was developed. A warning system is provided when the permissible slope values are exceeded. The system was tested and its accuracy and reliability were evaluated.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Аналіз сфер застосування системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій	10
1.2 Аналіз вимог до системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій	11
1.3 Огляд існуючих засобів моніторингу нахилу будівельних конструкцій	13
1.3.1 Електронний кутомір (цифровий інклінометр).....	14
1.3.2 Інклінометр IS60.....	16
1.3.3 Магнітний інклінометр TTL-90S	18
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	20
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	22
2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій.....	22
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи	24
2.2.1 Платформа TTGO ESP32	24
2.2.2 Модуль MPU-6050	26
2.2.3 Давач нахилу SW-520D	29
2.3 Розробка електричної схеми пристрою	32
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	35
3.1 Розробка алгоритму роботи системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій.....	35
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	37
3.2.1 Опис бібліотек	37
3.2.2 Початкове налаштування ключових параметрів і змінних.....	39
3.2.3 Процедура setup.....	41

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Новак В.П.			Комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій				Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевірів		Тиш Є.В.									5	76
Рецензент		Марценко С.В.							ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41			
Н. Контр.		Луцик Н.С.										
Зав. каф.		Осуківська Г.М.										

3.2.4 Процедура loop	44
3.3 Реалізація віддаленого моніторингу нахилу будівельних конструкцій з використанням платформи Thinger.io	46
3.3.1 Особливості платформи Thinger.io	46
3.3.2 Налаштування платформи Thinger.io	47
3.4 Результати тестування системи	48
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Долікарська допомога при переломах	51
4.2 Розробка заходів щодо зниження рівня шуму на робочому місці	54
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

GPIO – General Purpose Input/Output

GSM – Global System for Mobile Communications

HTTPS – HyperText Transfer Protocol Secure

I²C – Inter-Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

REST – Representational State Transfer

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

SPI – Serial Peripheral Interface

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

БК – будівельна конструкція

ХС – хмарний сервер

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Стабільність та безпека будівельних конструкцій є критично важливими факторами в архітектурі та інженерії. Деформація та нахил конструкцій можуть виникати через різні фактори, такі як зміни в ґрунті, сейсмічні впливи, погодні умови та зношення матеріалів. Виявлення таких змін на ранніх стадіях дозволяє запобігти аварійним ситуаціям та підвищити безпеку експлуатації будівель. Тому розробка сучасних систем моніторингу нахилу будівельних конструкцій є актуальною задачею.

Сучасні IoT технології надають можливість створювати автоматизовані системи збору та аналізу даних у реальному часі. Це дозволяє постійно відстежувати стан конструкцій, а також оперативно реагувати на будь-які відхилення від норми. Використання датчиків нахилу, підключених до мережі, забезпечує точність вимірювань та можливість централізованого оброблення даних у хмарних сервісах.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка апаратно-програмного комплексу для моніторингу нахилу будівельних конструкцій, який дозволить у реальному часі отримувати та аналізувати дані, а також надсилати сповіщення при перевищенні допустимих значень.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічні вимоги до системи моніторингу та сформулювати її функціональні можливості;
- зробити огляд існуючих пристроїв для вимірювання нахилу будівельних конструкцій;
- розробити структурну схему комп'ютеризованої системи та обґрунтувати вибір її компонентів;
- реалізувати апаратну частину системи на основі сучасних мікроконтролерів та датчиків нахилу;

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити програмне забезпечення для збору, обробки та передавання даних у хмарний сервіс;
- провести тестування системи для оцінки її точності, надійності та ефективності роботи.

Виконання зазначених завдань дозволить створити ефективну систему для моніторингу нахилу об'єктів, що забезпечуватиме точність вимірювань, можливість віддаленого доступу до даних.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз сфер застосування системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій

Системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій (БК) є важливим інструментом, який дозволяє здійснювати безперервний контроль змін у положенні конструкцій, виявляти деформації на ранніх стадіях і запобігати аварійним ситуаціям.

Однією з основних сфер застосування є цивільне будівництво та експлуатація будівель. Висотні будівлі, мости, стадіони, греблі та інші споруди піддаються динамічним навантаженням, вібраціям, впливу погодних умов та ґрунтових зрушень. Моніторинг нахилу дозволяє вчасно виявити відхилення, що можуть свідчити про осідання фундаменту, нерівномірне навантаження або потенційні конструкційні дефекти.

Важливе значення такі системи мають для промислових об'єктів, зокрема електростанцій, нафто- і газопереробних заводів, шахт, трубопроводів і веж зв'язку. Будь-яке порушення стійкості конструкції в подібних умовах може призвести до масштабних катастроф. Впровадження автоматизованих систем моніторингу дозволяє віддалено контролювати стан споруд і швидко реагувати на небезпечні зміни.

Ще однією важливою сферою є інженерна інфраструктура, яка включає дороги, залізничні колії, тунелі та мости. Нахил цих об'єктів може змінюватися під впливом навантажень, сейсмічної активності або змін ґрунтового середовища. Вчасне виявлення таких змін допомагає запобігти транспортним аваріям і зменшити витрати на ремонтні роботи.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Новак В.П.								
Перевірів		Тиш Є.В.							10	12
Рецензент		Марценко С.В.						ТНТУ, каф. КС, гр. ІІс-41		
Н. Контр.		Луцик Н.С.								
Зав. каф.		Осуківська Г.М.								

Системи контролю нахилу також застосовуються в моніторингу історичних пам'яток і культурної спадщини. Багато старовинних будівель та архітектурних споруд зазнають поступового руйнування через природні фактори, тож їхня консервація та захист вимагають ретельного контролю стану конструкцій.

Не менш актуальним є використання таких систем у геотехнічному моніторингу. Відстеження змін нахилу схилів, дамб та кар'єрів допомагає запобігти зсувам ґрунту, що можуть загрожувати населеним пунктам і виробничим об'єктам.

Отже, комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій має широке застосування у сферах, де важливі точність вимірювань, оперативність контролю та можливість віддаленого моніторингу для запобігання небезпечним ситуаціям.

1.2 Аналіз вимог до системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій

Розробка комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу БК на основі IoT технологій потребує визначення низки вимог, що забезпечать її ефективне функціонування. Першочергово необхідно визначити функціональні вимоги до системи. Вона повинна забезпечувати:

- безперервний моніторинг нахилу конструкцій у реальному часі з передачею даних на віддалений сервер;
- обробку отриманих даних та їх збереження в базі даних для подальшого аналізу;
- оповіщення користувачів при перевищенні допустимих порогових значень нахилу;
- віддалений доступ до інформації через веб-інтерфейс;
- сумісність з різними типами датчиків для можливого розширення функціональності.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Апаратні вимоги включають використання датчиків нахилу з високою чутливістю та точністю. Обробка даних має здійснюватися за допомогою мікроконтролера або одноплатного комп'ютера, що підтримує бездротове з'єднання, наприклад ESP32 або Raspberry Pi. Для забезпечення стабільної передачі даних передбачена підтримка Wi-Fi, LoRa, NB-IoT або Zigbee залежно від умов експлуатації.

Оскільки система може працювати в умовах обмеженого доступу до електромережі, необхідно передбачити автономне живлення за допомогою акумуляторів або сонячних панелей. Також важливо забезпечити захист апаратних компонентів від несприятливих факторів навколишнього середовища, зокрема від вологості, пилу та температурних коливань.

Програмні вимоги передбачають наявність вбудованого програмного забезпечення для збору даних, їхньої попередньої обробки та передачі на сервер. На серверній частині система повинна виконувати аналіз отриманої інформації, формувати базу даних та надавати доступ до результатів через веб-інтерфейс або мобільний додаток. Візуалізація даних має бути зрозумілою та наочною, з можливістю налаштування порогових значень. Крім того, інтеграція з хмарними сервісами дозволить розширити можливості обробки інформації та створити резервні копії даних для підвищення надійності системи.

Експлуатаційні вимоги включають простоту встановлення та налаштування, що дозволить швидко вводити систему в експлуатацію без необхідності глибоких технічних знань у користувачів. Надійність і відмовостійкість мають гарантувати стабільну роботу навіть у складних умовах.

Важливим аспектом є мінімізація енергоспоживання, що забезпечить тривалу автономну роботу без частого технічного обслуговування. Усі ці вимоги спрямовані на створення ефективного рішення для моніторингу нахилу будівельних конструкцій, що сприятиме підвищенню безпеки та своєчасному реагуванню на потенційні ризики.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Огляд існуючих засобів моніторингу нахилу будівельних конструкцій

На ринку представлено широкий спектр засобів для вимірювання та моніторингу нахилу будівельних конструкцій, які відрізняються принципом роботи, рівнем точності, способом передачі даних та можливостями інтеграції в автоматизовані системи. Серед найбільш поширених рішень можна виокремити механічні інклінометри, оптичні прилади, електронні інклінометри, MEMS-давачі та комплексні системи моніторингу, що базуються на IoT-технологіях.

Механічні інклінометри є найпростішими та найдоступнішими пристроями для вимірювання нахилу. Вони використовують маятниковий механізм або рідинний рівень для визначення кута відхилення. Основними перевагами таких приладів є простота конструкції, невисока вартість і незалежність від джерел живлення. Однак їх точність залишається обмеженою, а необхідність ручного зчитування показників робить їх непридатними для безперервного моніторингу та оперативного реагування на зміни.

Оптичні методи, зокрема використання теодолітів та лазерних рівнів, забезпечують вищу точність вимірювань, що робить їх популярними у будівництві та геодезії. Вони дозволяють отримувати точні дані про відхилення конструкцій, проте мають низку обмежень. По-перше, такі прилади вимагають постійної присутності оператора для проведення вимірювань. По-друге, вони не можуть забезпечити моніторинг у реальному часі, оскільки потребують ручної фіксації та подальшої обробки отриманих даних.

Електронні інклінометри, засновані на цифрових акселерометрах і гіроскопах, дозволяють автоматизувати процес вимірювань і підвищити їх точність. Вони широко використовуються в інженерних дослідженнях, будівництві та промисловості. Деякі моделі можуть передавати дані через дротові або бездротові канали зв'язку, що дає змогу інтегрувати їх у загальну систему моніторингу. Проте такі пристрої часто мають обмежену автономність, а їх робота може залежати від зовнішніх факторів, зокрема від впливу температури та вібрацій.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MEMS-інклінометри є сучасними та високоточними давачами, які використовують мікроелектромеханічні системи для визначення нахилу. Вони характеризуються компактними розмірами, низьким енергоспоживанням і можливістю інтеграції в IoT-системи. Проте їх точність може залежати від калібрування та умов експлуатації, зокрема від наявності електромагнітних завад.

Комплексні системи моніторингу, що базуються на IoT-технологіях, є найбільш сучасним та ефективним рішенням. Вони включають давачі нахилу, модулі зв'язку, хмарні сервери (ХС) для зберігання та обробки даних, а також аналітичне програмне забезпечення. Такі системи дозволяють здійснювати безперервний моніторинг, прогнозувати можливі аварійні ситуації та передавати сповіщення у разі перевищення критичних показників. Основним недоліком подібних рішень є їхня висока вартість та складність у налаштуванні й інтеграції.

1.3.1 Електронний кутомір (цифровий інклінометр)

Одним з існуючих технічних рішень для визначення кута нахилу конструкцій є цифровий електронний кутомір (інклінометр) торгової марки DVS, який призначений для вимірювання кутів нахилу у будівництві, монтажних роботах, інженерії та геодезії [1]. Цей пристрій поєднує електронну систему вимірювання з механічною шкалою або бульбашковим рівнем, що дозволяє швидко візуалізувати результат навіть без живлення або в складних умовах освітлення (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Електронний кутомір (цифровий інклінометр)

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Особливістю таких приладів є використання цифрового дисплея, який забезпечує відображення значень кута з точністю до $0,1^\circ$, а також можливість фіксації нульового положення. Деякі моделі мають магнітну основу для кріплення до металевих поверхонь, що підвищує зручність у польових умовах. У багатьох пристроях також передбачено звукове сповіщення при досягненні заданого нахилу або нульової горизонталі, що є важливою функцією для користувача.

До переваг цифрових інклінометрів DVS можна віднести:

- простоту у використанні;
- автономність (живлення від батарейок);
- зручність відображення результатів на вбудованому дисплеї;
- наявність моделей із комбінованими системами (цифрова шкала + бульбашковий рівень);
- доступну вартість, що робить їх придатними для побутового або напівпрофесійного застосування.

Однак у контексті завдань, які ставляться до проєктованої IoT-системи моніторингу нахилу, дані пристрої мають і низку суттєвих обмежень. Зокрема, вони не підтримують передавання даних до хмарних сервісів або через бездротові канали зв'язку (Wi-Fi, GSM), що унеможлиблює віддалений моніторинг. Також відсутня можливість інтеграції з іншими системами або підключення до контролерів без додаткових перетворювачів. Крім того, більшість моделей не дозволяють зберігати або обробляти інформацію у цифровому вигляді для подальшого аналізу чи архівування.

Результат огляду цифрових кутомірів DVS дозволяє сформулювати низку вимог до майбутньої проєктованої системи, зокрема: потребу в автоматичному вимірюванні кута нахилу в реальному часі, локальному виведенні результатів на дисплей, реалізації сигналізації при перевищенні порогового відхилення, а також можливості віддаленого спостереження через IoT-платформу. Крім того, важливим є забезпечення стабільної роботи системи в умовах зовнішнього середовища та можливість автономного живлення.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Загалом, хоча цифрові інклінометри DVS частково реалізують функцію локального вимірювання нахилу, їх відсутність зв'язку з мережею та обмежена функціональність підкреслюють доцільність розробки власної комп'ютеризованої системи з ширшими можливостями і орієнтацією на віддалений моніторинг інженерних об'єктів.

1.3.2 Інклінометр IS60

Ще одним з можливих аналогів для проєктованої комп'ютеризованої системи є промисловий нахиломір (інклінометр) IS60 виробництва Kübler [2]. Це високоточний електронний пристрій, призначений для безперервного контролю нахилу в одній або двох площинах. Його часто використовують у промисловості, машинобудуванні, будівництві та автоматизації, де потрібен надійний моніторинг положення об'єктів у просторі (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Інклінометр IS60

Нахиломір IS60 базується на MEMS-технології та забезпечує вимірювання в діапазоні від $\pm 10^\circ$ до $\pm 60^\circ$ з високою роздільною здатністю та точністю. Пристрій

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має герметичний корпус із ступенем захисту IP67. Передавання даних може здійснюватися через стандартні промислові інтерфейси, такі як CANopen або analog 4–20 мА, що спрощує інтеграцію з контролерами та системами SCADA.

Серед основних переваг інклінометра IS60 можна виділити:

- висока точність та стабільність вимірювання;
- індустріальна надійність, підтверджена сертифікатами відповідності та захистом від зовнішніх впливів;
- зручна інтеграція у промислові системи через стандартні інтерфейси;
- безперервний контроль положення у реальному часі.

Водночас IS60 має і певні недоліки, особливо в контексті проєктованої комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій. По-перше, пристрій орієнтований на інтеграцію в замкнуті індустріальні системи і не підтримує безпосередньо хмарні сервіси, такі як платформи IoT, що обмежує його використання в мобільних або віддалених об'єктах без додаткових шлюзів. По-друге, відсутній локальний дисплей для візуалізації даних, що унеможливорює швидку індикацію без зовнішнього контролера. Крім того, IS60 має досить високу вартість, що може бути критичним фактором у проєктах з обмеженим бюджетом або в навчальних розробках.

Результати аналізу інклінометра IS60 дозволяють визначити основні вимоги до проєктованої системи: забезпечення достатньої точності вимірювання нахилу по трьох осях, локальне відображення даних на дисплеї, передавання інформації до хмарної платформи для віддаленого моніторингу, а також реалізація тривожних повідомлень у разі перевищення допустимого відхилення. Важливими залишаються й вимоги до низької вартості рішення, простоти інтеграції та можливості автономної роботи з використанням бездротового зв'язку.

Функціональність IS60 частково перекриває вимоги до системи, що проєктується, але має обмеження в гнучкості, відкритості платформи та масштабованості, що й обґрунтовує доцільність розробки власного IoT-рішення.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.3 Магнітний інклінометр TTL-90S

Одним із можливих аналогів для майбутньої комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу є магнітний інклінометр TTL-90S [3]. Цей пристрій призначений для вимірювання кутів нахилу по двох осях і широко застосовується у будівництві, монтажних роботах, механіці та деревообробці. Його основними перевагами є компактність, цифровий дисплей, а також магнітна основа, яка забезпечує легке кріплення до металевих конструкцій (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Магнітний інклінометр TTL-90S

TTL-90S оснащено цифровим двовісним інклінометром, що дозволяє з достатньою точністю визначати кути відхилення. Вимірювання відображаються на вбудованому LCD-дисплеї, що спрощує візуальний контроль результатів користувачем. Крім того, цей інклінометр підтримує автоматичне калібрування та перемикання одиниць виміру (градуси, відсотки, мм/м), що є зручним для професійного використання.

Серед основних переваг пристрою TTL-90S слід відзначити:

- наявність вбудованого екрана для відображення значень кута;
- підтримку вимірювання по двох осях (dual-axis);
- магнітну основу для кріплення;

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- автономну роботу від акумулятора;
- зручне перемикання режимів відображення результатів;
- простоту використання без потреби в налаштуванні чи програмуванні.

Разом із тим, в контексті розробки власної системи для віддаленого моніторингу нахилу, TTL-90S має і суттєві обмеження. Насамперед, пристрій не підтримує жодної форми передавання даних у мережу чи хмарні сервіси, що унеможливорює інтеграцію в IoT-інфраструктуру або моніторинг об'єкта на відстані. Крім того, немає можливості зберігати вимірювання у внутрішній пам'яті чи надсилати їх у вигляді повідомлень або сигналів тривоги у разі перевищення граничного кута. Також відсутні функції програмної обробки даних чи гнучкої взаємодії з іншими електронними компонентами.

На основі аналізу характеристик TTL-90S можна зробити висновок, що він підходить для локального та ручного контролю положення об'єкта, але не задовольняє вимог щодо автоматизованого, безперервного, інтегрованого моніторингу. Відповідно, для проєктованої системи стає очевидною потреба реалізації таких функцій, як:

- віддалене зчитування даних через Wi-Fi або GSM;
- локальне та віддалене сповіщення у разі перевищення порогів;
- виведення інформації на дисплей;
- вбудоване живлення з можливістю підключення до зовнішніх джерел;
- інтеграція з хмарними платформами для зберігання та аналізу даних.

Таким чином, TTL-90S є прикладом компактного цифрового пристрою з базовою функціональністю, що дає змогу сформуванню низку вимог до функціоналу майбутньої комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу, яка має забезпечити розширені можливості для промислового або польового застосування.

Аналіз існуючих засобів для моніторингу нахилу будівельних конструкцій демонструє, що традиційні методи мають значні обмеження у точності, зручності використання та можливості автоматизації. Найперспективнішими рішеннями є електронні та MEMS-інклінометри, інтегровані в IoT-системи, які забезпечують безперервний контроль, оперативний аналіз даних і високу точність вимірювань.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Основною метою системи є виявлення змін просторового положення конструкцій або опорних елементів, які можуть свідчити про деформації, зсуви чи інші потенційно небезпечні процеси. Для реалізації такого завдання існує кілька технічних підходів, кожен з яких має свої особливості, переваги та недоліки.

Перший підхід передбачає використання промислових інклінометрів або сенсорів нахилу, таких як IS60 від компанії Kübler. Такі пристрої мають високу точність, ступінь захисту від пилу та вологи, широкий діапазон робочих температур і зручні інтерфейси підключення до систем автоматизації. Проте вони є досить дорогими, що обмежує їх застосування в умовах обмеженого бюджету. Крім того, такі системи, як правило, не мають вбудованих засобів бездротової передачі даних, що вимагає додаткового обладнання для реалізації IoT-функціональності.

Другий підхід полягає у використанні простіших цифрових інклінометрів або ручних електронних кутомірів, які забезпечують базові функції вимірювання та відображення значень кута на вбудованому дисплеї. Прикладами таких рішень є цифровий інклінометр DVS або TTL-90S. Ці пристрої зазвичай не призначені для безперервного моніторингу або автономної роботи в складі розподіленої IoT-системи. Вони зручні для одноразових вимірювань, але не підтримують передавання даних у хмару, віддалене сповіщення користувача чи автоматичну обробку інформації.

Третій підхід, який і буде основою цієї кваліфікаційної роботи, передбачає розробку власної IoT-системи на основі мікроконтролерного модуля TTGO ESP32 з інтегрованим дисплеєм та підтримкою бездротових мереж Wi-Fi. У якості сенсорів нахилу пропонується використовувати цифровий модуль MPU-6050, що містить тривісний акселерометр та гіроскоп, а також додатковий контактний сенсор SW-520D, який дозволяє виявляти вібрації та різкі нахили. Така конфігурація дозволяє отримувати як точні значення кутів нахилу, так і прості сигнали про наявність руху. Перевагою цього підходу є гнучкість, модульність,

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

низька вартість реалізації та можливість інтеграції з хмарними платформами для збору, аналізу та візуалізації даних.

Завдяки аналізу існуючих технічних рішень можна сформулювати вимоги до проєктованої системи: забезпечення точного вимірювання кутів нахилу у двох або трьох площинах; наявність вбудованих механізмів звукового та візуального сповіщення про перевищення порогових значень; можливість автономної роботи від акумулятора; підтримка бездротової передачі даних у хмару; простота монтажу та налаштування. Реалізація системи на базі відкритих апаратних і програмних рішень дає змогу знизити вартість розробки та обслуговування, а також адаптувати пристрій до конкретних умов експлуатації.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій

На рисунку 2.1 представлена структурна схема системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій, яка ілюструє взаємозв'язки між її компонентами.

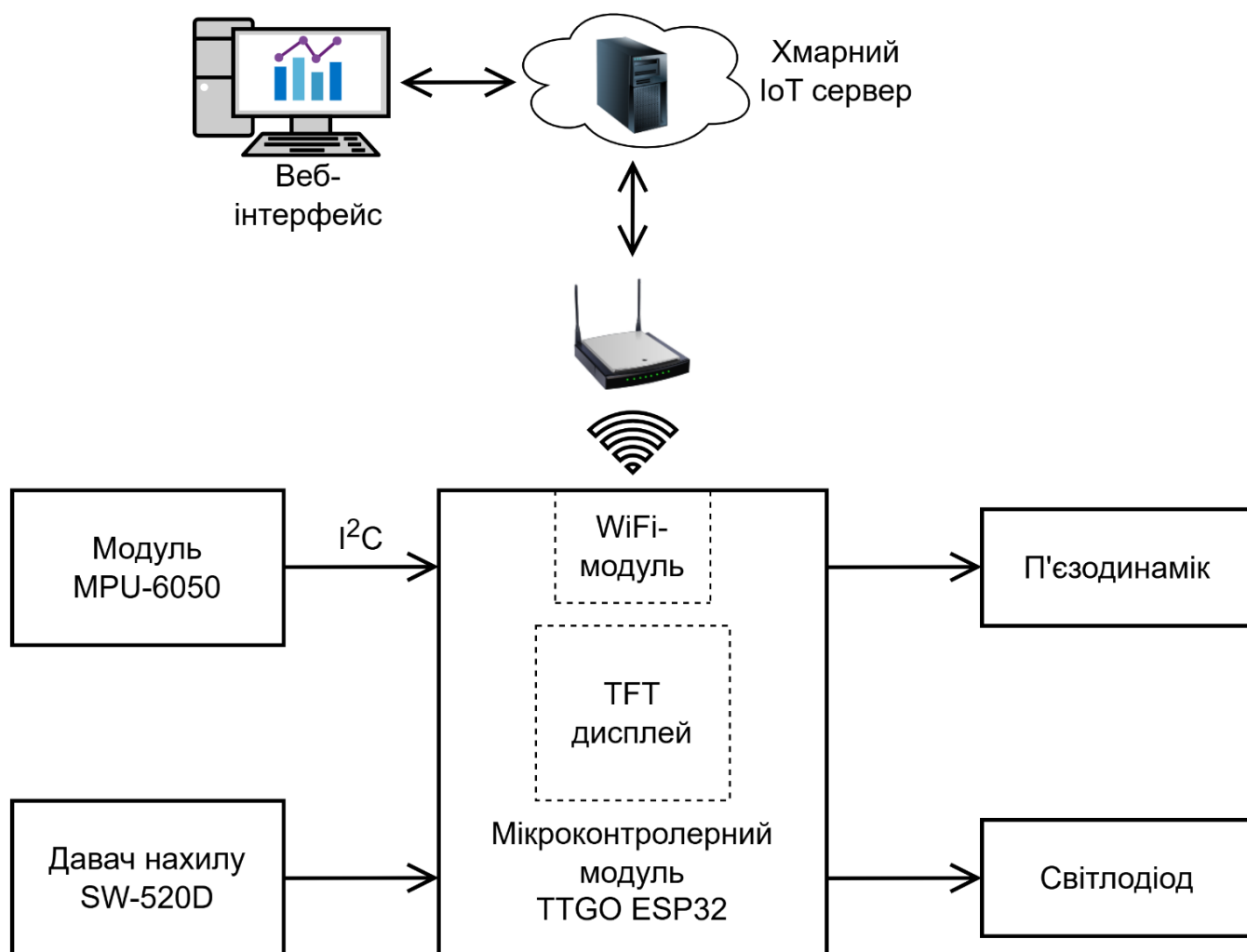


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Новак В.П.				Проектна частина	Літ.	Арк.
Перевірив	Тиш Е.В.						22
Рецензент	Марценко С.В.						13
Н. Контр.	Луцик Н.С.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41	
Зав. каф.	Осуківська Г.М.						

Проектована система повинна реалізовувати безперервний моніторинг просторового положення конструктивних елементів споруди, а також забезпечувати виявлення критичних відхилень від горизонту. Тому у структурі комп'ютеризованої системи забезпечено взаємодію трьох основних апаратних компонентів. Центральним елементом є мікроконтролерний модуль TTGO ESP32, який виконує функції збирання, обробки, виведення даних та передачі їх на хмарну IoT-платформу. До модуля TTGO підключено два сенсорні пристрої: модуль MPU-6050 та модуль давача нахилу SW-520D.

Модуль MPU-6050 є шестивісним інерційним сенсором, який об'єднує у собі тривісний гіроскоп і тривісний акселерометр. Завдяки цьому модуль дозволяє вимірювати кути нахилу по трьох осях — roll, pitch і yaw, що дає змогу точно визначити просторове положення об'єкта. Цей модуль підключається до ESP32 через інтерфейс I²C.

Другим сенсорним компонентом є модуль давача нахилу SW-520D, що реалізує простий механічний принцип: при нахилі понад певний кут усередині модуля відбувається замикання контактів, що фіксується мікроконтролером як спрацювання. Цей модуль підключається до цифрового входу ESP32.

Крім сенсорних пристроїв, у структурі передбачено п'єзодинамік і світлодіод, які виконують роль засобів сигналізації. Вони активуються у разі, коли значення кута нахилу перевищує встановлені порогові значення або коли спрацьовує SW-520D. Це дозволяє реалізувати функцію аварійного попередження в реальному часу.

Мікроконтролер TTGO ESP32 через Wi-Fi-з'єднання підключається до хмарної платформи, де організовано збирання, зберігання, візуалізацію та аналіз отриманих даних. На платформі можна переглядати графіки зміни кутів, фіксувати аварійні спрацювання та налаштовувати інтерфейс взаємодії з користувачем.

Структурна схема дозволяє забезпечити повну автономність пристрою, а також гнучке розгортання у різних точках контролю без потреби в додатковій проводці чи централізованому зборі даних. Такий підхід значно спрощує масштабування системи та її інтеграцію в існуючі об'єкти.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи

2.2.1 Платформа TTGO ESP32

Мікроконтролерний модуль TTGO T-Display ESP32 є сучасною платформою для створення IoT-рішень, яка поєднує в собі потужний обчислювальний модуль, бездротові комунікації та вбудований дисплей [4]. Цей модуль ідеально підходить для розробки комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій, оскільки він забезпечує як обробку даних від сенсорів, так і зручне локальне відображення інформації без необхідності зовнішніх пристроїв (рис. 2.2).

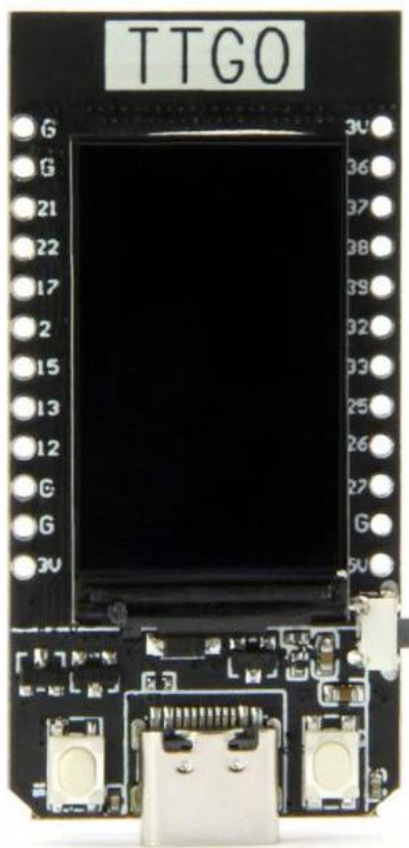


Рисунок 2.2 – Платформа TTGO ESP32

Основою пристрою є мікроконтролер ESP32. Він підтримує два типи бездротових з'єднань: Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) та Bluetooth (версії 4.2), що дозволяє інтегрувати пристрій у локальну мережу або підключати до нього інші сумісні пристрої. Це відкриває широкі можливості для передачі даних у реальному

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

часі на ХС або мобільний додаток. Характеристики платформи TTGO ESP32 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики TTGO ESP32

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ESP32 (Xtensa LX6, 2 ядра, до 240 МГц)
Оперативна пам'ять (SRAM)	520 КБ
Flash-пам'ять	4 МБ
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n
Bluetooth	Версія 4.2 BR/EDR та BLE
Дисплей	1.14" TFT, 135x240, ST7789
Інтерфейси	GPIO, I2C, SPI, UART
Живлення	USB-C (5В), підтримка акумулятора
Розміри	~51 × 25 мм
Підтримка середовища розробки ПЗ	Arduino IDE, PlatformIO
Робоча температура	-40°C ... +85°C

Однією з ключових переваг TTGO T-Display є вбудований кольоровий TFT-дисплей діагоналлю 1.14 дюйма, який базується на контролері ST7789. Завдяки цьому дисплею користувач може безпосередньо переглядати поточні значення нахилу або повідомлення про аварійний стан конструкції без потреби зовнішнього монітора. Це особливо корисно для швидкого локального моніторингу.

Модуль має компактні розміри, що спрощує його інтеграцію у кінцевий пристрій. Він також оснащений роз'ємами для підключення різноманітних сенсорів, зокрема через інтерфейси GPIO, I²C, SPI та UART. Живлення здійснюється через порт USB-C, а також передбачена можливість живлення від акумулятора з вбудованою схемою заряджання, що підвищує автономність пристрою.

Вибір TTGO T-Display ESP32 обґрунтовується його функціональністю, високою продуктивністю, наявністю вбудованого дисплею, підтримкою

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

бездротового зв'язку та простотою програмування в середовищі Arduino IDE. Ці особливості роблять його оптимальним вибором для реалізації комп'ютеризованої IoT-системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій, де важлива як автономність, так і можливість оперативного інформування користувача про стан об'єкта. На рисунку 2.3 зображена схема розміщення виводів TTGO ESP32.

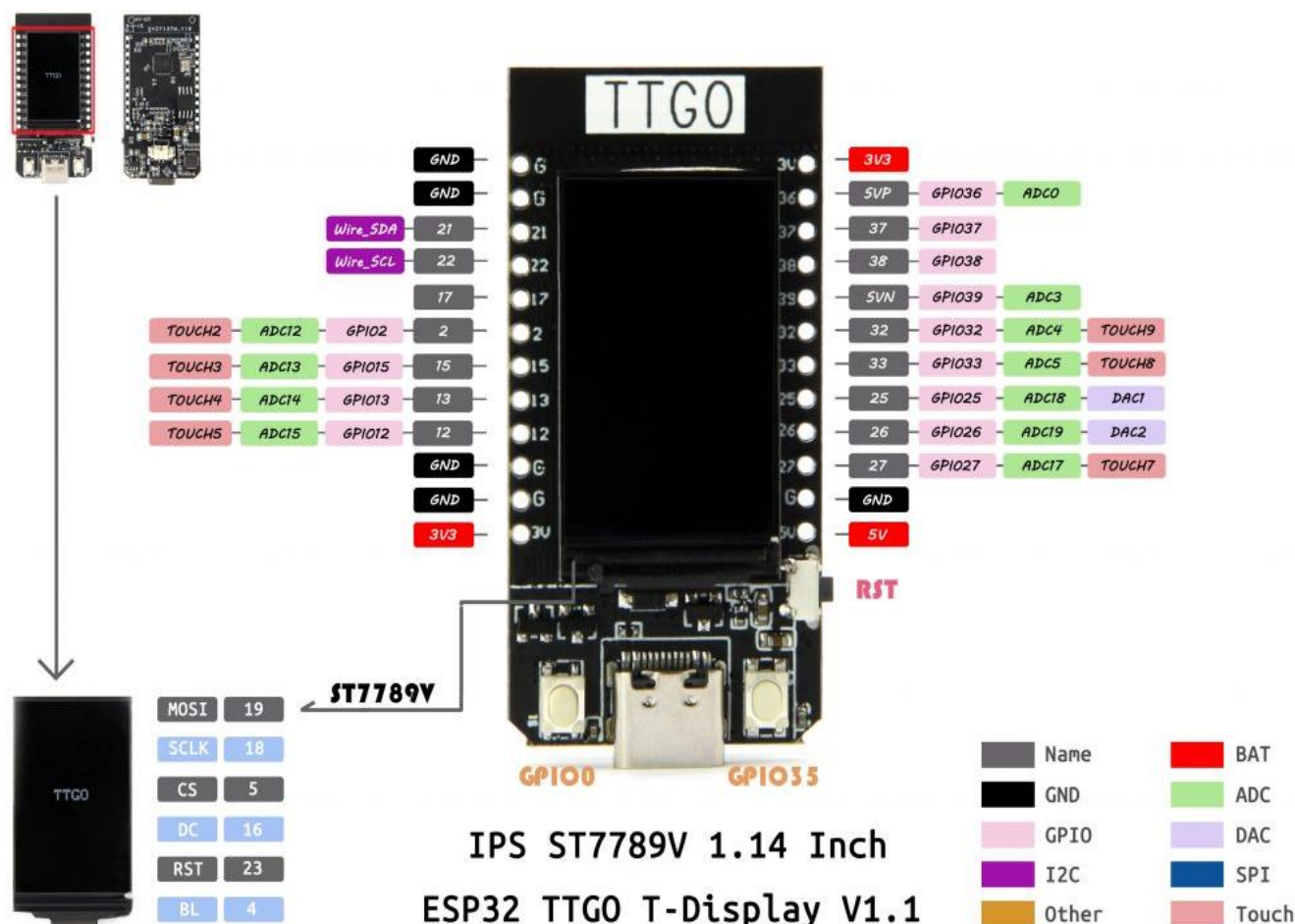


Рисунок 2.3 – Розміщення виводів TTGO ESP32

Завдяки таким характеристикам TTGO T-Display ESP32 забезпечує ефективну платформу для побудови надійної, компактної та функціональної системи моніторингу з підтримкою IoT-технологій.

2.2.2 Модуль MPU-6050

MPU-6050 – це інтегрований модуль, що поєднує в собі тривісний акселерометр і тривісний гіроскоп, що робить його оптимальним вибором для

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Модуль MPU-6050 складається з двох основних сенсорів: акселерометра та гіроскопа. Акселерометр вимірює лінійне прискорення за трьома осями (X, Y, Z) і дозволяє визначати положення об'єкта в просторі, використовуючи силу тяжіння. Це означає, що навіть у стані спокою акселерометр може визначати орієнтацію пристрою відносно горизонту.

Комбінація цих двох сенсорів дозволяє отримати стабільні та точні дані про нахил об'єкта. Електрична схема модуля MPU-6050 зображена на рисунку 2.5.

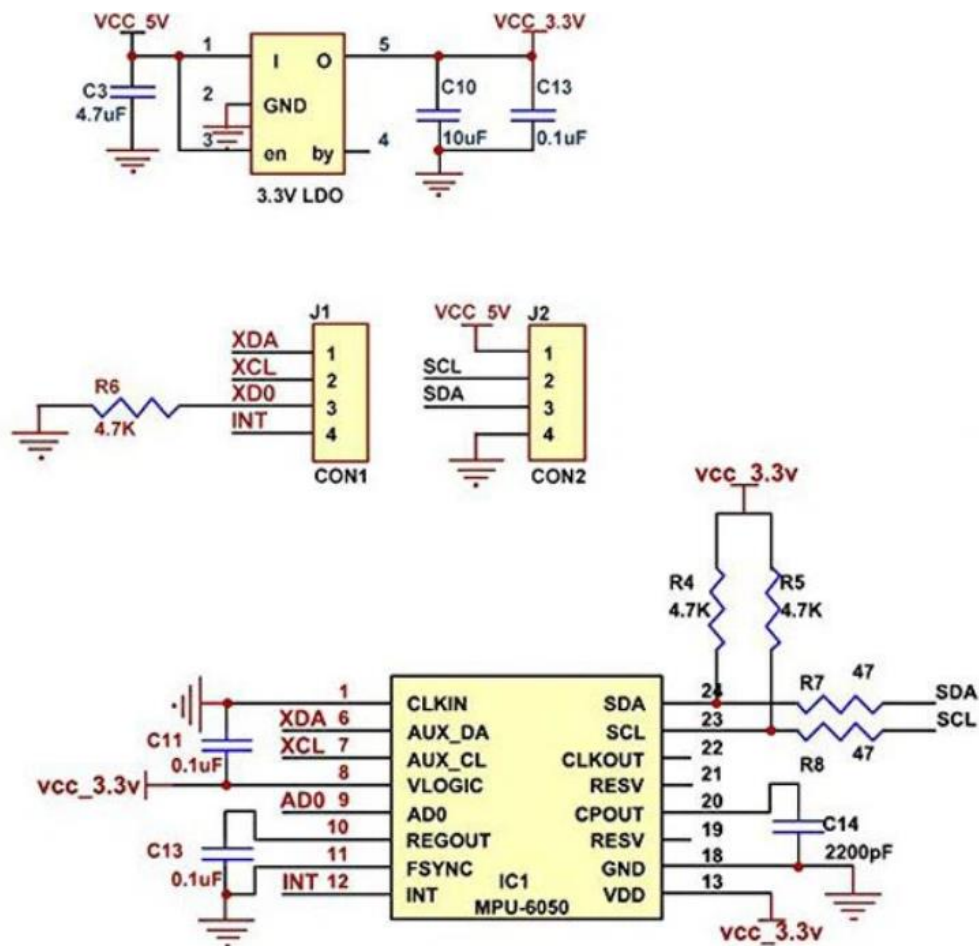


Рисунок 2.5 – Електрична схема модуля MPU-6050

Для зменшення похибок MPU-6050 має вбудований цифровий блок Motion Processing Unit, який може виконувати попередню обробку даних та інтегрувати їх у більш стійкі показники кута нахилу. В таблиці 2.2 приведені параметри модуля MPU-6050.

Таблиця 2.2 – Параметри модуля MPU-6050

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання акселерометра	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
Діапазон вимірювання гіроскопа	$\pm 250^\circ/c, \pm 500^\circ/c, \pm 1000^\circ/c, \pm 2000^\circ/c$
Розрядність вбудованого АЦП	16-біт
Напруга живлення	3,3В або 5В
Інтерфейс зв'язку	I ² C (швидкість до 400 кГц)
Споживана потужність	≈ 3.9 мА (у робочому режимі)

Призначення виводів модуля MPU-6050 зображене на рисунку 2.6.

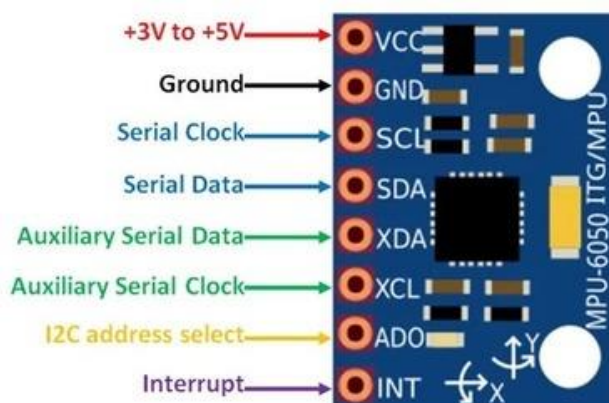


Рисунок 2.6 – Призначення виводів модуля MPU-6050

Вибір MPU-6050 для реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання нахилу обумовлений кількома ключовими факторами. Поєднання акселерометра та гіроскопа дозволяє отримати більш точні та стабільні результати, ніж використання лише одного типу сенсора. Інтерфейс I²C забезпечує простоту інтеграції модуля з мікроконтролерами, що мінімізує використання виводів мікроконтролера.

Наявність внутрішнього блоку обробки дозволяє зменшити навантаження на процесор, виконуючи попередню фільтрацію даних. Широкий діапазон вимірювань дає змогу адаптувати пристрій для різних умов експлуатації. Компактні розміри та низьке енергоспоживання роблять модуль придатним для мобільних і вбудованих систем.

З огляду на ці переваги, використання MPU-6050 у проєктованій комп'ютеризованій системі є доцільним вибором для отримання точних даних про нахил відносно горизонту, їх подальшої обробки та передачі на хмарну платформу.

2.2.3 Давач нахилу SW-520D

Модуль давача нахилу SW-520D є простим та надійним пристроєм, призначеним для визначення змін положення об'єкта у просторі, зокрема його

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

нахилу або механічних вібрацій [6]. Завдяки своїй компактній будові та низькому енергоспоживанню, цей модуль часто використовується в IoT-системах, системах сигналізації, робототехніці та побутовій електроніці. У межах комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій SW-520D може ефективно використовуватися як елемент виявлення аномальних змін положення конструктивних елементів будівлі, що свідчать про потенційну деформацію або руйнування (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Давач нахилу SW-520D

Модуль складається з самого герконового давача SW-520D, змонтованого на платі, до якої також інтегровано компаратор LM393, набір резисторів, індикаторний світлодіод і потенціометр для налаштування чутливості.

У середині металевого циліндричного корпуса давача знаходиться рухливий контакт (металева кулька), який замикає або розмикає коло при зміні положення модуля. Принцип дії базується на механічному замиканні контактів при нахилі або вібрації — це призводить до зміни логічного сигналу на виході. В таблиці 2.3 наведені параметри давача нахилу SW-520D.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Параметри давача нахилу SW-520D

Параметр	Значення
Напруга живлення	3.3–5 В
Тип сигналу на виході	Цифровий (лог. 0 або 1)
Робочий струм	< 10 мА
Діапазон виявлення	~15–45° нахилу
Компаратор	LM393
Індикатор	Світлодіод (LED)
Налаштування чутливості	Так (потенціометр)
Розміри модуля	32 × 14 × 8 мм

Підключення модуля до мікроконтролера є досить простим: він має три виходи — живлення (VCC), земля (GND) та цифровий сигнал (DO). Після налаштування рівня чутливості за допомогою потенціометра, модуль генерує логічну «0» на виході при спрацьовуванні давача (тобто при нахилі або вібрації).

Використання SW-520D у системі моніторингу нахилу будівельних конструкцій обґрунтовано його дешевизною, простотою інтеграції, достатньою чутливістю для фіксації значних змін положення та сумісністю з більшістю сучасних мікроконтролерів. Попри те, що він не надає точних числових значень кута нахилу, він може бути використаний як тригер для увімкнення більш точного вимірювального модуля або для подачі тривожного сигналу у разі перевищення допустимого рівня зміщення. Електрична схема модуля SW-520D представлена на рисунку 2.8.

З огляду на свою функціональність та технічні параметри, модуль SW-520D найкраще підходить для систем початкового рівня моніторингу, де потрібно фіксувати сам факт зміни положення або вібрації, а не отримувати точні числові значення кута. Його доцільно застосовувати у якості додаткового або сигнального компонента в системах раннього виявлення потенційних проблем із конструкціями.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

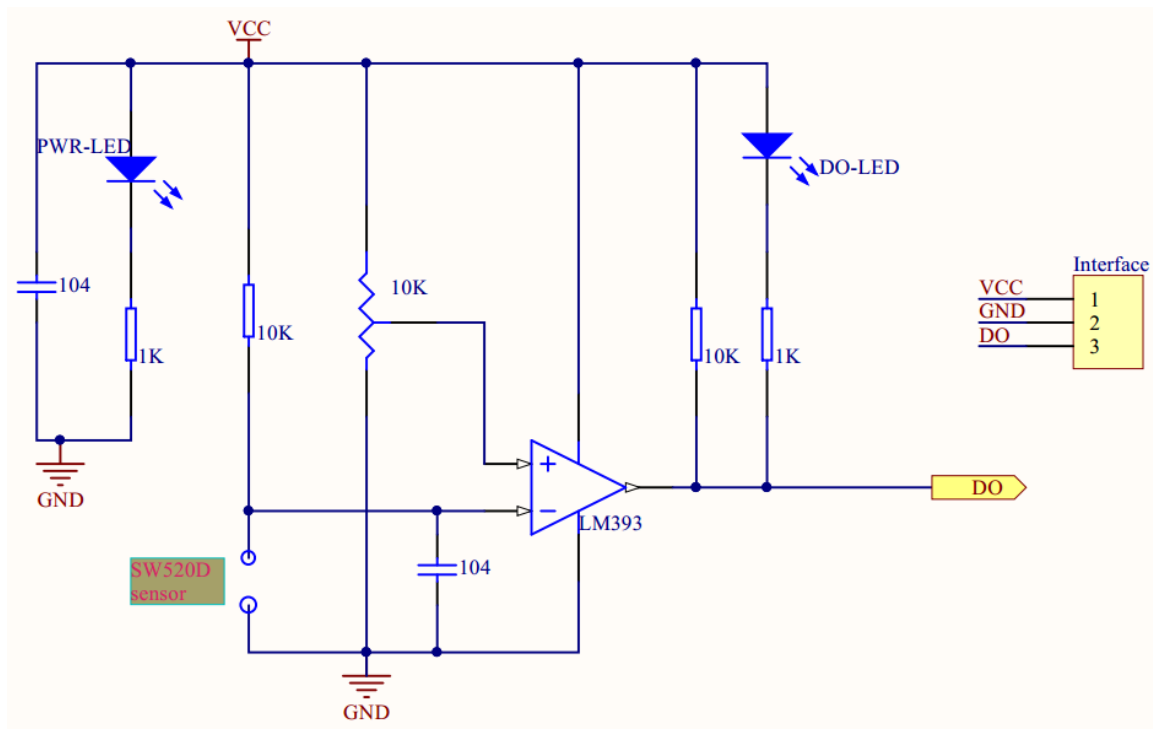


Рисунок 2.8 – Електрична схема модуля SW-520D

2.3 Розробка електричної схеми пристрою

Електрична принципова схема розробленого пристрою для моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT-технологій побудована з урахуванням вимог до надійності, енергоефективності та можливості безперервної передачі даних у хмарне середовище (рис. 2.9).

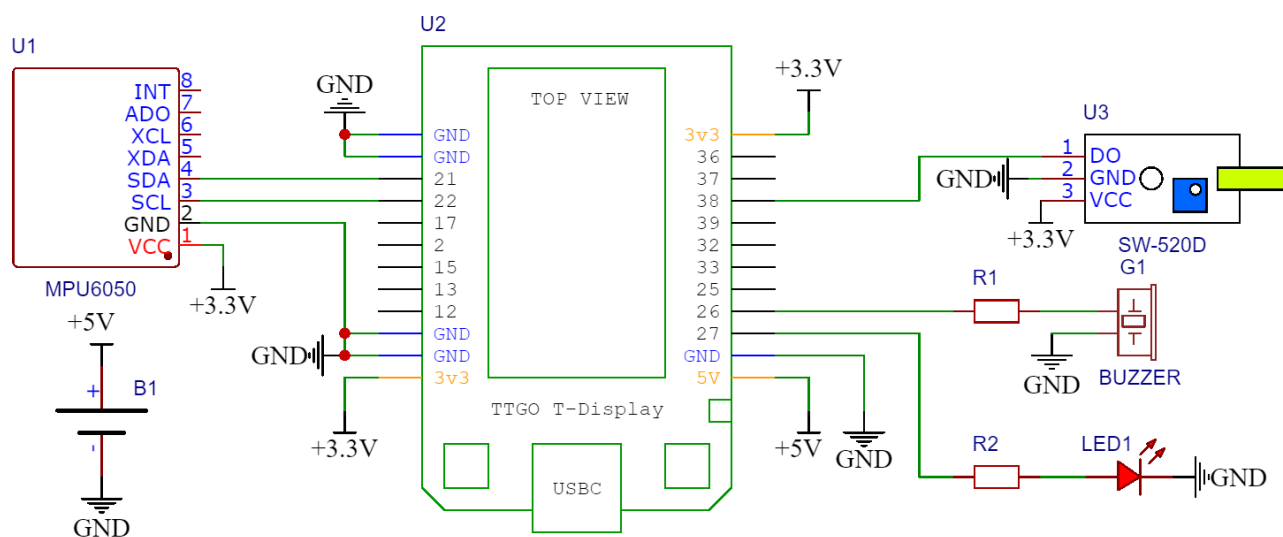


Рисунок 2.9 – Електрична принципова схема пристрою

Система спроектована на базі мікроконтролерного модуля TTGO T-Display ESP32 (U2), який виступає центральним обчислювальним елементом, забезпечуючи зчитування, обробку, виведення та передавання даних сенсорів.

До модуля U2 по шині I²C підключено сенсорний модуль MPU-6050 (U1), який поєднує в собі тривісний акселерометр та гіроскоп. Передача даних між MPU-6050 та TTGO ESP32 здійснюється через лінії SDA та SCL, які відповідно з'єднуються з GPIO21 та GPIO22 мікроконтролера. Живлення MPU-6050 здійснюється від стабілізованої лінії 3,3 В, яку забезпечує модуль U2. Для правильної роботи модуля необхідно також з'єднати загальні «землі» (GND) обох компонентів.

Для візуального сигналу спрацювання в системі передбачено світлодіод (LED1), який підключається до виводу GPIO37 через обмежувальний резистор R1 (номіналом 220 Ом). Світлодіод вмикається у випадку перевищення граничного кута нахилу, сигналізуючи локально про аварійну ситуацію.

Окремо реалізовано функцію виявлення різких механічних коливань за допомогою контактного сенсора нахилу SW-520D (U3), який з'єднується з виводом GPIO38. Цей модуль формує цифровий сигнал, що змінюється при відхиленні сенсора від горизонтального положення або при вібрації.

Для звукової індикації використовується п'єзодинамік (G1), підключений до виводу GPIO39. При перевищенні порогового кута або спрацюванні давача SW-520D п'єзодинамік видає короткі періодичні сигнали, які дублюють світлову індикацію.

Живлення всієї системи здійснюється через вбудований у модуль U2 стабілізатор напруги, який забезпечує перетворення вхідної напруги 5 В (від стандартного USB-джерела живлення). Крім того живлення може здійснюватися від акумуляторної батареї (B1), яка підключається до передбачених на платі TTGO роз'ємів для живлення та заряджання. TTGO T-Display має вбудований зарядний контролер, який дозволяє підключати літій-полімерний (Li-Po) або літій-іонний (Li-Ion) акумулятор. Рекомендована ємність батареї залежить від режиму роботи пристрою та потреб автономності.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Уся електрична схема забезпечує живлення, управління та взаємодію між сенсорами, індикаторами та мікроконтролером. Такий підхід дозволяє створити компактну, енергоефективну систему для надійного моніторингу нахилу будівельних конструкцій з можливістю розширення та інтеграції в хмарні сервіси для віддаленого спостереження.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій

Система моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій повинна забезпечити своєчасне виявлення відхилень конструкцій від вертикального положення, а також фіксувати зміни у динаміці, що дозволяє попередити потенційно небезпечні деформації.

Алгоритм роботи комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій побудований таким чином, щоб забезпечити безперервне спостереження за станом конструкцій у реальному часі, оперативне реагування на критичні зміни та передавання відповідної інформації на віддалений сервер для подальшого аналізу або інформування відповідальних осіб. Система функціонує автономно, використовуючи мікроконтролерний модуль TTGO ESP32, сенсорний модуль MPU-6050 для вимірювання кутів нахилу по трьох осях, контактний датчик SW-520D для фіксації різких змін положення, а також модулі сигналізації і засоби бездротового зв'язку.

Після ввімкнення живлення система переходить у режим ініціалізації. На цьому етапі здійснюється запуск серійного порту, ініціалізація шини I²C для зв'язку з MPU-6050, а також калібрування гіроскопа і акселерометра для усунення початкових похибок. Далі налаштовуються вхідні та вихідні порти мікроконтролера, зокрема конфігурується вхід для сенсора SW-520D, а також виходи для керування п'єзодинаміком і світлодіодом. Після цього встановлюється з'єднання з локальною Wi-Fi мережею та підключення до облікового запису користувача на хмарній платформі Thinger.io.

Основний цикл роботи пристрою реалізується у безперервному циклі loop(), блок-схема алгоритму якого наведена на рисунку 3.1.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Новак В.П.			Практична частина	Літ.	Арк.
Перевірив		Тиш Є.В.					35
Рецензент		Марценко С.В.				Акрушів	
Н. Контр.		Луцик Н.С.				17	
Зав. каф.		Осуківська Г.М.				ТНТУ, каф. КС, гр. ІІс-41	

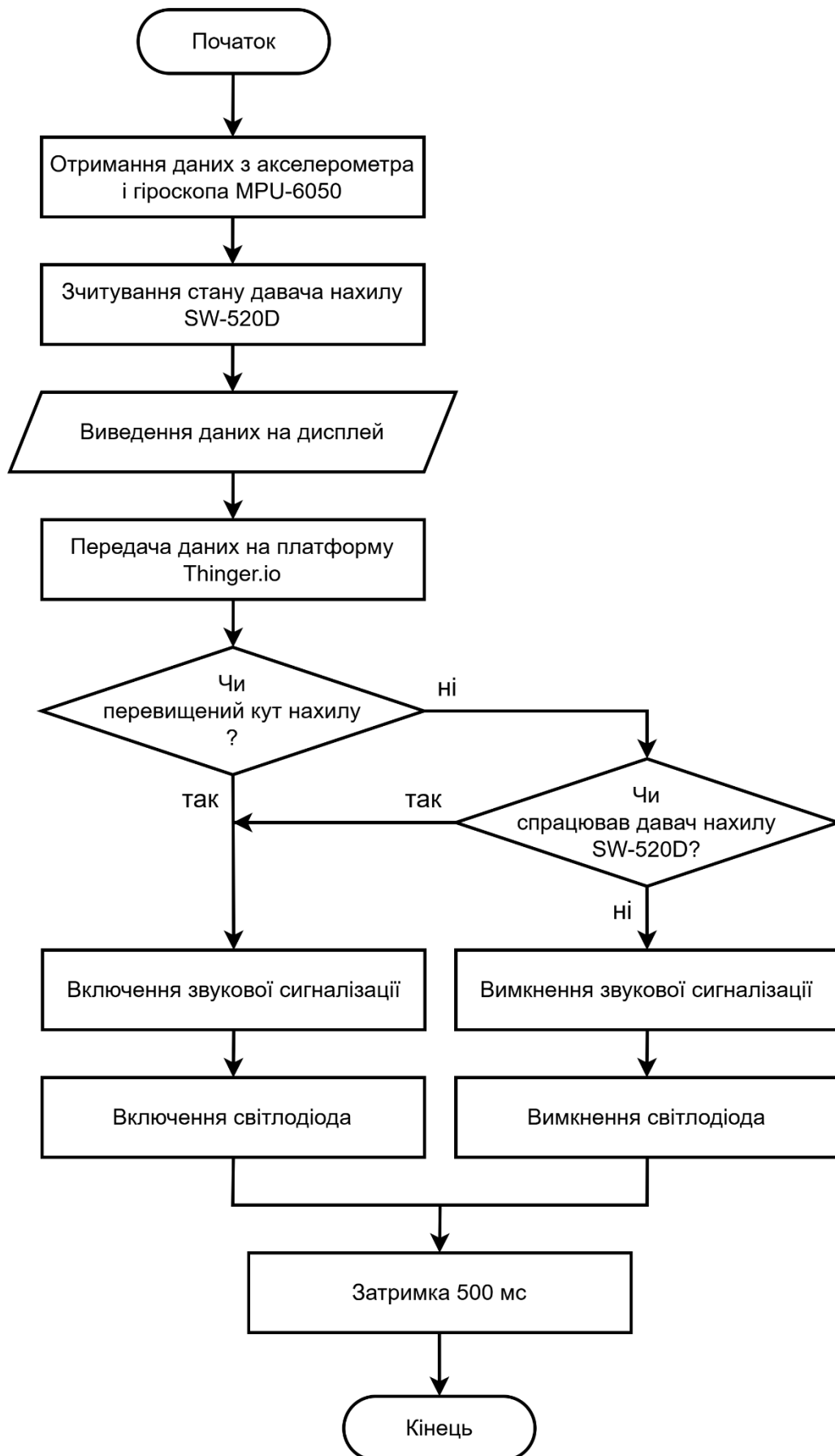


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи циклічної підпрограми loop() системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій

У кожній ітерації циклу виконується оновлення даних з MPU-6050 та обчислення поточних значень кутів нахилу по осях X (roll), Y (pitch) та Z (yaw). Одночасно здійснюється зчитування логічного стану сенсора SW-520D для виявлення наявності вібрацій або різких змін положення конструкції. Усі ці параметри відображаються на вбудованому дисплеї TTGO T-Display у зрозумілому для оператора вигляді.

Далі відбувається порівняння обчислених значень з наперед заданими пороговими значеннями. Якщо виявлено, що відхилення кута по одній із осей перевищує допустиме значення або якщо спрацював давач SW-520D, система переходить у режим тривоги. У цьому режимі активується звукова сигналізація через п'єзодинамік та візуальна сигналізація за допомогою світлодіода. Система періодично видає короткі звукові імпульси, що дозволяє привернути увагу персоналу до потенційної небезпеки.

У будь-якому з режимів — як при нормальному функціонуванні, так і при спрацюванні тривоги — система надсилає актуальні значення всіх параметрів на хмарну платформу Thingier.io. Там ці дані можуть бути представлені у вигляді графіків, таблиць або панелей моніторингу, доступних для користувача з будь-якого пристрою через вебінтерфейс. Такий підхід забезпечує не лише локальну індикацію стану конструкції, але й дистанційний контроль з можливістю довгострокового аналізу зібраної інформації.

Запропонований алгоритм поєднує апаратне вимірювання, візуалізацію результатів, контроль порогових значень і передачу даних у мережу, створюючи ефективну і доступну систему для моніторингу нахилу будівельних конструкцій у режимі реального часу.

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Опис бібліотек

У програмному забезпеченні мікроконтролера TTGO T-Display ESP32, що реалізує комп'ютеризовану систему моніторингу нахилу будівельних конструкцій

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на основі IoT технологій, використовується кілька ключових бібліотек, кожна з яких забезпечує реалізацію певної функціональності системи. Включення цих бібліотек у програму здійснюється через директиви препроцесора `#include` (рис. 3.2).

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <ThingrESP32.h>
#include "secrets.h"
#include <TFT_eSPI.h>
#include <SPI.h>
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду з підключенням бібліотек

Бібліотека `Wire.h` є стандартною для платформи Arduino і використовується для організації обміну даними через інтерфейс I²C. Саме через цю шину реалізується передача даних між мікроконтролером TTGO ESP32 та датчиком нахилу MPU6050. Завдяки цій бібліотеці забезпечується ініціалізація та конфігурація I²C, а також обробка запитів до периферійних пристроїв.

Бібліотека `Adafruit_Sensor.h` слугує універсальним інтерфейсом, який забезпечує узгоджений підхід до роботи з різними типами сенсорів. Вона надає стандартні типи даних для подій (event) сенсорів, що дозволяє зручно обробляти значення прискорення, кутової швидкості та температури, які надходять від MPU6050.

Бібліотека `Adafruit_MPU6050.h` є офіційною бібліотекою від Adafruit для роботи з модулем MPU6050. Вона забезпечує простий і надійний доступ до функціоналу сенсора, включаючи зчитування даних акселерометра та гіроскопа, встановлення діапазонів вимірювання, а також фільтрацію сигналу. Вона значно спрощує розробку програмного коду, абстрагуючи складні процедури низькорівневого обміну даними.

Бібліотека `ThingrESP32.h` є основною для інтеграції з хмарною IoT платформою Thingr.io. Вона дозволяє встановити з'єднання між ESP32 і сервером платформи через Wi-Fi, а також описати ресурси (вхідні й вихідні параметри), які

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

будуть передаватись для візуалізації та зберігання. Завдяки цій бібліотеці реалізується моніторинг даних у режимі реального часу через браузер.

Файл "secrets.h" містить конфіденційні дані, необхідні для авторизації пристрою у Wi-Fi мережі та на платформі Thingier.io. У ньому зберігаються змінні з іменем користувача, ідентифікатором пристрою, токеном доступу, а також назвою мережі й паролем до неї. Це дозволяє відокремити чутливі налаштування від основного коду програми.

Бібліотека TFT_eSPI.h використовується для роботи з вбудованим TFT-дисплеєм модуля TTGO T-Display. Вона підтримує вивід графіки, тексту, різних шрифтів та кольорів, а також ефективно оновлення екрану. Вона оптимізована для роботи з ESP32 і дозволяє максимально швидко реалізувати функцію локального відображення даних.

Нарешті, бібліотека SPI.h забезпечує функціонування апаратної шини SPI, яка використовується для зв'язку з дисплеєм. Вона необхідна для ініціалізації SPI-інтерфейсу, налаштування швидкості передачі даних та обміну між мікроконтролером і TFT-модулем.

Сукупне використання цих бібліотек дозволило створити стабільну й функціональну систему моніторингу з інтеграцією сенсорів, дисплея та хмарного сервісу.

3.2.2 Початкове налаштування ключових параметрів і змінних

Після підключення бібліотек реалізовано початкове налаштування ключових параметрів і змінних, необхідних для функціонування комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій. Зокрема, він включає визначення облікових даних для підключення до платформи Thingier.io, параметрів підключення до Wi-Fi, конфігурацію апаратних виводів мікроконтролера, а також ініціалізацію об'єктів бібліотек і змінних, що використовуються у подальшому в програмі.

У частині програмного коду, який зображений на рисунку 3.3, здійснюється оголошення та ініціалізація ключових констант, змінних і об'єктів, необхідних для

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коректної роботи комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій.

```
// TFT дисплей
#define TFT_BL          4    // Підсвітка екрана
#define REPORTING_PERIOD_MS 1000

// Піни для тривоги та сенсора нахилу
#define BUZZER_PIN      39
#define LED_PIN         37
#define SW520D_PIN      38

float roll = 0.0, pitch = 0.0, yaw = 0.0;
bool sw520_triggered = false;
const float threshold_angle = 10.0; // Пороговий кут у градусах

uint32_t tsLastReport = 0;
TFT_eSPI display = TFT_eSPI(135, 240);
Adafruit_MPU6050 mpu;
ThingyESP32 thingy(USER_NAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);
```

Рисунок 3.3 – Лістинг коду з визначенням констант, змінних та створенням об'єктів

Насамперед задається константа TFT_BL, яка відповідає за керування підсвіткою екрана. Підключення цього виводу дозволяє програмно вмикати або вимикати підсвітку TFT-дисплея, що є особливо важливим для зменшення енергоспоживання або роботи в умовах змінного освітлення. Значення REPORTING_PERIOD_MS встановлює інтервал у мілісекундах, через який система надсилатиме оновлені дані на хмарну платформу Thingy.io. У даному випадку інтервал дорівнює 1000 мс, тобто дані передаються раз на секунду.

Далі визначаються піни для роботи зі звуковим сигналізатором (BUZZER_PIN), світлодіодом індикації тривоги (LED_PIN) та сенсором нахилу SW-520D (SW520D_PIN). Ці пін-коди відповідають фізичному з'єднанню відповідних компонентів з мікроконтролером TTGO ESP32.

Оголошення змінних roll, pitch, yaw дозволяє зберігати значення обчислених кутів нахилу по трьох осях (X, Y, Z) на основі даних з гіроскопа та акселерометра

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модуля MPU6050. Ці значення використовуються як для локального відображення на дисплеї, так і для передавання в хмару. Логічна змінна `sw520_triggered` зберігає стан сенсора SW-520D, зокрема фіксує факт різкого нахилу або вібрації, що може свідчити про потенційну загрозу або зміну положення конструкції.

Константа `threshold_angle` визначає допустимий поріг кута нахилу в градусах, за перевищення якого система активує тривожну сигналізацію — увімкнення світлодіода та звукового сигналу. Це дозволяє негайно привернути увагу до змін, які можуть бути ознакою порушення стійкості конструкцій.

Змінна `tsLastReport` використовується для збереження часу останньої передачі даних на платформу Thingier.io. Вона необхідна для реалізації механізму періодичної відправки значень без надмірного перевантаження мережі або сервера.

Об'єкт `display` створюється з використанням бібліотеки `TFT_eSPI` і ініціалізується для дисплея розміром 135×240 пікселів, що є стандартним для TTGO T-Display ESP32. Він слугує для виведення текстової та графічної інформації, що дозволяє користувачу локально контролювати стан системи.

Оголошення об'єкта `mpu` виконується за допомогою бібліотеки `Adafruit_MPU6050`, яка забезпечує зручний інтерфейс для роботи з сенсором MPU6050, включаючи ініціалізацію, зчитування даних та обчислення кутів.

Нарешті, об'єкт `thing` використовується для зв'язку з платформою Thingier.io. Він ініціалізується з використанням унікального імені користувача, ідентифікатора пристрою та секретного токена автентифікації, які задаються в окремому файлі конфігурації `secrets.h`. Завдяки цьому об'єкту система отримує змогу передавати дані в хмару та забезпечувати інтерактивний моніторинг нахилу в реальному часі.

3.2.3 Процедура `setup`

У процедурі `setup()` здійснюється початкова ініціалізація апаратних компонентів комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій. Основною метою цієї процедури є підготовка мікроконтролера до основного циклу роботи, налаштування сенсорів,

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дисплея, вихідних пристроїв сигналізації та встановлення з'єднання з хмарною платформою Thingier.io (рис. 3.4).

```
void setup() {
    Serial.begin(115200);

    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(SW520D_PIN, INPUT);

    display.init();
    display.fillScreen(TFT_BLACK);
    display.setRotation(3);
    display.setTextColor(TFT_BLUE);
    display.drawString("Tilt Monitor System", 10, 50, 4);

    thing.add_wifi(SSID, SSID_PASSWORD);

    // Додати ресурси до Thingier.io
    thing["tilt_data"] >> [](pson &out){
        out["roll"] = roll;
        out["pitch"] = pitch;
        out["yaw"] = yaw;
        out["sw520"] = sw520_triggered;
    };

    // Ініціалізація MPU6050
    if (!mpu.begin()) {
        Serial.println("Не знайдено MPU6050!");
        while (1);
    }
    Serial.println("MPU6050 ініціалізовано!");

    mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_8_G);
    mpu.setGyroRange(MPU6050_RANGE_500_DEG);
    mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_5_HZ);
}
```

Рисунок 3.4 – Лістинг коду процедури setup()

На початку викликається команда Serial.begin, яка активує послідовний порт для виведення діагностичної інформації на монітор порту. Це дозволяє спостерігати за ходом виконання програми та виводити відлагоджувальні повідомлення, зокрема про стан ініціалізації пристроїв.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі відбувається конфігурування пінів, до яких підключені виконавчі пристрої. За допомогою функції `pinMode()` встановлюється режим роботи для п'єзодинаміка і світлодіода як вихідний, а для сенсора нахилу SW-520D – як вхідний. Це забезпечує правильну взаємодію мікроконтролера з фізичними компонентами системи.

Після цього ініціалізується дисплей за допомогою методу `display.init()`, очищується екран, задається орієнтація дисплея та встановлюється колір тексту. Виводиться стартове повідомлення "Tilt Monitor System", яке підтверджує запуск пристрою та справність екрану. Це створює візуальний інтерфейс для локального моніторингу стану системи.

Наступним кроком є підключення мікроконтролера до Wi-Fi-мережі за допомогою методу `thing.add_wifi()`, де використовуються ідентифікатори мережі (SSID) та пароль, що зберігаються у зовнішньому файлі `secrets.h`. Це підключення необхідне для взаємодії з платформою Thingier.io.

У наступному фрагменті коду створюється ресурс `tilt_data`, який дозволяє передавати дані про кути нахилу (roll, pitch, yaw) та стан сенсора SW-520D до хмари. Об'єкт `rson` використовується для серіалізації даних, які згодом можна переглядати у веб-інтерфейсі користувача на платформі Thingier.io. Це є основою для реалізації функціоналу IoT-моніторингу.

Нарешті, виконується ініціалізація сенсора MPU6050. Якщо пристрій не виявлено, виводиться повідомлення про помилку і програма зупиняється. У разі успішного виявлення, виконується налаштування параметрів роботи сенсора: діапазон акселерометра, діапазон гіроскопа, ширина фільтру низьких частот. Це дозволяє досягнути компромісу між точністю та стабільністю вимірювань, зменшуючи вплив випадкових вібрацій.

Загалом, процедура `setup()` забезпечує повну підготовку системи до роботи: ініціалізуються всі периферійні пристрої, налаштовуються мережеві з'єднання та виконується тестування готовності сенсорів до вимірювання параметрів нахилу.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початку виконується зчитування даних з інерційного модуля MPU6050 за допомогою функції `mpu.getEvent()`, яка повертає значення прискорення по трьох осях (X, Y, Z), значення кутових швидкостей та температури. На основі прискорень розраховується кут нахилу `roll` як арктангенс відношення осей Y і Z, та `pitch` як арктангенс відношення осі X до кореня квадратного суми квадратів осей Y і Z. Значення `yaw` (азимут) базується на даних з гіроскопа по осі Z, однак оскільки сенсор не має магнітометра, значення `yaw` умовне й не є абсолютним.

Після цього зчитується стан давача нахилу SW-520D. Якщо внутрішній металевий ролик замикає контакт (нахил зафіксовано), логічне значення `sw520_triggered` стає `true`. Це дозволяє визначити події механічного зсуву або коливань.

У наступному блоці коду оновлюється інформація на TFT-дисплеї. Очищається екран, задається колір і розмір тексту, а потім виводяться обчислені значення кутів нахилу `roll`, `pitch`, `yaw`, а також стан сенсора SW-520D. Такий інтерфейс дозволяє оперативно візуалізувати поточний стан конструкції на місці розміщення пристрою.

Далі система виконує перевірку умов тривоги. Якщо хоча б один з кутів `roll` або `pitch` перевищує порогове значення `threshold_angle`, або якщо спрацював давач SW-520D, тоді активується аварійний режим: засвічується світлодіод, а на п'єзодинамік подається тоновий сигнал частотою 1000 Гц на 200 мс. Якщо жодна з умов тривоги не виконується, сигналізація вимикається.

Для забезпечення надсилання даних на хмарну платформу `Thingier.io` реалізовано перевірку на перевищення інтервалу оновлення. Якщо пройшов заданий проміжок часу, викликається функція `thing.handle()`, яка ініціює обмін даними з сервером. Це дозволяє віддаленому користувачу отримувати актуальну інформацію про стан об'єкта моніторингу в режимі реального часу.

Завершується цикл затримкою в 500 мс, яка стабілізує частоту оновлення даних та дозволяє уникнути надмірного навантаження на дисплей і модуль передавання даних. Таким чином, процедура `loop()` забезпечує безперервне виконання функцій моніторингу, сигналізації та IoT-взаємодії у реальному часі.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Реалізація віддаленого моніторингу нахилу будівельних конструкцій з використанням платформи Thinger.io

3.3.1 Особливості платформи Thinger.io

Хмарна IoT-платформа Thinger.io є зручним і функціональним рішенням для збирання, зберігання, візуалізації та аналізу даних з пристроїв, підключених до Інтернету речей. У межах реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT-технологій ця платформа відіграє ключову роль як центральний елемент обробки та управління даними. Вона забезпечує хмарну інфраструктуру, яка дозволяє підключати пристрої, такі як TTGO T-Display ESP32, без необхідності самостійного налаштування серверів чи баз даних.

Головною перевагою платформи Thinger є простота інтеграції з мікроконтролерами завдяки офіційній бібліотеці для Arduino IDE. Всього кілька рядків коду дозволяють налагодити з'єднання з платформою, передавати дані з сенсорів, наприклад, значення кута нахилу, і виводити їх у вигляді графіків, таблиць або сигналів тривоги в інтерфейсі користувача.

Ще однією важливою особливістю є підтримка MQTT, HTTPS та WebSocket, що забезпечує безпечну і гнучку передачу даних. В умовах моніторингу критичних конструкцій, де надійність передачі інформації є важливою вимогою, використання Thinger.io дозволяє гарантувати цілісність даних і оперативне реагування на зміни. Інтерфейс платформи дає змогу створювати дашборди з віджетами, що візуалізують інформацію у реальному часі. Це дозволяє інженерам, технічному персоналу або службам моніторингу швидко отримувати необхідну інформацію про стан будівельних конструкцій з будь-якої точки світу.

Серед інших переваг Thinger.io — можливість створення користувацьких REST API, керування доступом до пристроїв, зберігання історичних даних у хмарі та автоматизація дій у разі настання певних подій. Наприклад, якщо кут нахилу перевищує граничне значення, система може автоматично надіслати сповіщення або активувати сигналізацію.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір платформи Thingier.io для цієї комп'ютеризованої системи є обґрунтованим через її зручність, гнучкість, безпечність та безкоштовний базовий тариф, що дозволяє реалізувати прототип системи без фінансових витрат. Крім того, вона підтримує масштабування, що дозволяє надалі розширити проєкт до багатьох точок моніторингу без зміни архітектури рішення.

3.3.2 Налаштування платформи Thingier.io

У процесі реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT-технологій було здійснено налаштування хмарної платформи Thingier.io, яка стала основною для збирання, обробки та візуалізації даних з сенсорів. Налаштування виконувалося у кілька етапів, кожен з яких забезпечував повноцінну інтеграцію пристрою з хмарним сервісом та подальшу роботу з інформацією у реальному часі.

На першому етапі було створено обліковий запис на офіційному сайті Thingier.io. Після реєстрації в особистому кабінеті було додано новий пристрій, якому присвоєно унікальне ім'я, а також автоматично згенерували облікові дані (Device ID, Device Credentials), необхідні для встановлення з'єднання між платформою та мікроконтролером TTGO T-Display ESP32 (рис. 3.6).

Рисунок 3.6 – Додавання нового пристрою в Thingier.io

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Наступним кроком стало налаштування середовища розробки Arduino IDE. Було встановлено офіційну бібліотеку Thingier.io через менеджер бібліотек Arduino, а також додано бібліотеки для роботи з Wi-Fi та ESP32. У програмному коді мікроконтролера були вказані реквізити Wi-Fi мережі та облікові дані пристрою, після чого була прописана логіка надсилення даних з модуля нахилу SW-520D на платформу Thingier.io у вигляді змінної-ресурсу.

Після прошивки мікроконтролера і запуску пристрою було підтверджено встановлення з'єднання з платформою. У веб-інтерфейсі Thingier.io з'явився активний статус пристрою, а дані з давача почали надходити у реальному часі. Це дало змогу перейти до налаштування дашборду — візуального інтерфейсу для спостереження за значеннями нахилу. Було створено панель моніторингу з графіком, числовим індикатором.

Окрім цього, було налаштовано давачі стану для зберігання історичних даних і подальшого аналізу. Система дозволила автоматично фіксувати зміни положення будівельних конструкцій та зберігати ці значення з часовими мітками.

Отже, процес налаштування платформи Thingier.io завершився успішно і забезпечив безперервне збирання, збереження та візуалізацію інформації з польового модуля, що дозволяє ефективно виконувати моніторинг нахилу конструкцій у режимі реального часу.

3.4 Результати тестування системи

Процес тестування розробленої комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій був здійснений з метою перевірки її функціональності, стабільності роботи та відповідності вимогам технічного завдання. Тестування проводилось поетапно у лабораторних умовах з використанням еталонних змін нахилу, імітації тривожних ситуацій та контролю точності вимірювань.

На першому етапі перевірялась коректність ініціалізації та роботи основних апаратних компонентів системи. Зокрема, було протестовано стабільність

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

живлення мікроконтролерного модуля TTGO ESP32, правильність з'єднання з давачем MPU-6050 та модулем SW-520D. При включенні системи перевірялось, чи ініціалізується дисплей, чи успішно встановлюється з'єднання з Wi-Fi мережею та чи передаються дані на платформу Thinger.io (рис. 3.7).

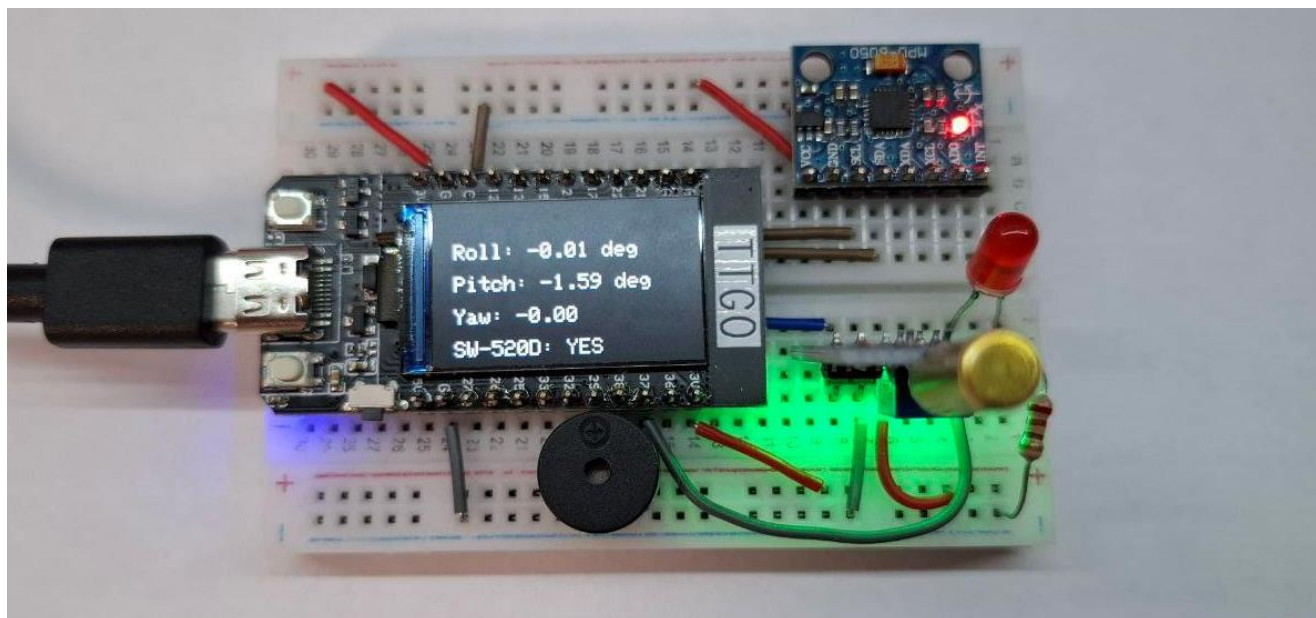


Рисунок 3.7 – Прототип пристрою для тестування системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій

На другому етапі виконувалось функціональне тестування сенсорної частини. Для цього пристрій встановлювався на різні поверхні з відомими кутами нахилу, і зчитані значення кутів roll та pitch, що виводились на екран та надсилались у хмару, порівнювались з очікуваними. Також перевірялась чутливість і стабільність роботи давача нахилу SW-520D: при незначному нахилі пристрою вмикався контакт, що успішно фіксувалось системою.

Окремо проводилось тестування тривожного режиму. Було встановлено граничне значення кута відхилення в 10° . При перевищенні цього порогу або спрацюванні модуля SW-520D активувалась тривожна сигналізація: засвічувався світлодіод і подавався звуковий сигнал на п'єзодинамік. Система успішно реагувала як на короточасні, так і на тривалі зміни положення пристрою.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На завершальному етапі перевірялась інтеграція з хмарною платформою. Дані з сенсорів передавались на платформу Thingier.io з періодичністю, заданою в програмному коді. У вебінтерфейсі було реалізовано візуальне представлення параметрів нахилу у вигляді графіків і цифрових значень. Було зафіксовано, що під час роботи пристрою дані регулярно оновлювались, відображаючи поточний стан об'єкта моніторингу. Затримка в передачі даних була мінімальною, а підключення залишалось стабільним протягом усього періоду спостережень (рис. 3.8).

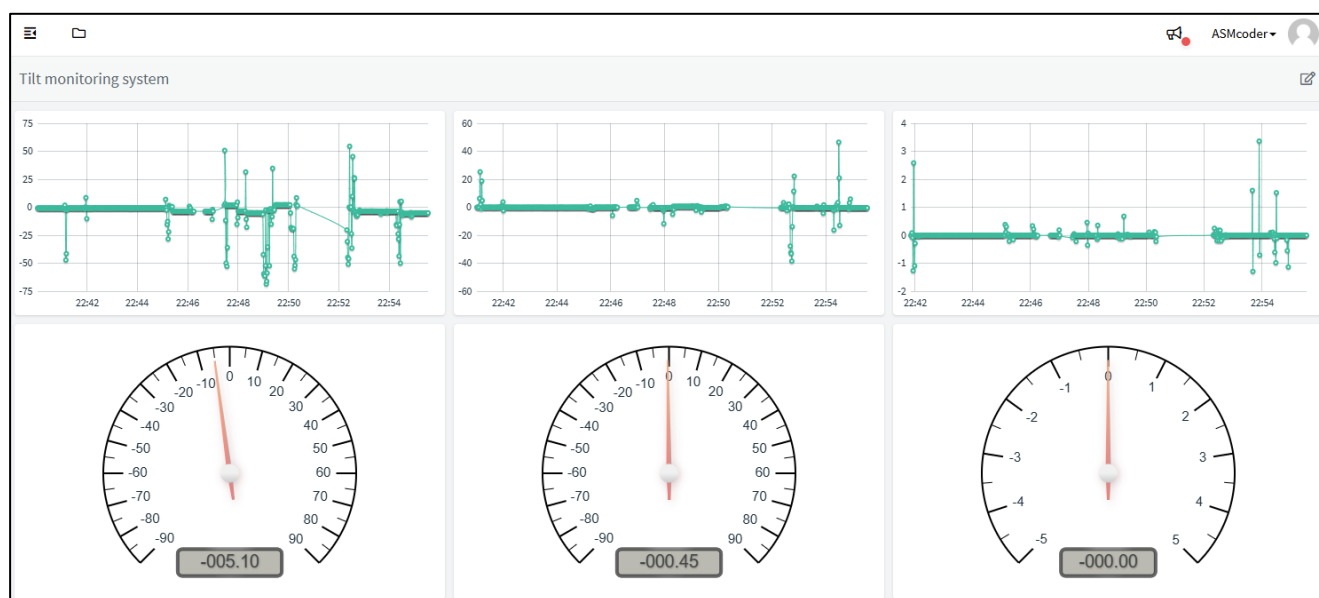


Рисунок 3.8 – Візуальне представлення параметрів нахилу у вигляді графіків і цифрових значень у веб-інтерфейсі IoT платформи Thingier.io

У процесі тестування було підтверджено правильність реалізації всіх заявлених функцій системи, її надійність, точність вимірювань та можливість подальшого практичного застосування в умовах, де необхідний моніторинг нахилу будівельних конструкцій у режимі реального часу.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при переломах

Перелом — це порушення цілісності кістки. Розрізняють закриті переломи, коли не відбувається пошкодження шкіри, та відкриті, коли зламана кістка виходить назовні.

Ознаками перелому є біль постійний чи такий, що виникає в разі навантаження на ушкоджену кінцівку або при обмацуванні місця перелому, неможливість рухів в ушкодженій ділянці, зміна форми частини тіла (кінцівки) в ділянці перелому, крововиливи, ненормальна рухомість кістки в місці перелому.

Загальний стан потерпілого залежить від характеру перелому і може бути досить важким (особливо в разі переломів кісток черепа, таза, стегна), часто підвищується температура тіла.

Ознаки перелому можуть бути відсутні. Коли є підозра на перелом, пошкодження слід розцінювати як перелом і надавати потерпілому відповідну допомогу.

Допомога полягає в забезпеченні повного спокою пошкодженої частини тіла (кінцівки) та усуненні рухомості уламків кісток у місці перелому. Для цього потрібно іммобілізувати пошкоджену частину тіла, тобто зробити її нерухомою. Це досягається накладанням утримуючої пов'язки або ще краще — транспортної шини. Стандартні готові шини бувають металеві (дротяні чи з сітки) та дерев'яні. Для транспортної іммобілізації найкраще користуватися готовими стандартними шинами, в разі їх відсутності шини виготовляють самі, їх можна зробити з будь-яких матеріалів або предметів, які можна знайти на місці нещасного випадку — палиці, дошки, дранки, кори дерева, очерету. Головна вимога — достатня довжина та міцність шини.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Новак В.П.								
Перевірів		Тиш Є.В.							51	7
Консульт.		Пилипець М.І.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
Н. Контр.		Луцик Н.С.								
Зав. каф.		Осуківська Г.М.								

Шини найкраще накладати на оголене тіло, але якщо зняття одягу завдає біль чи створює інші проблеми, можна накласти шину поверх одягу. У випадку накладання на оголену частину тіла шину потрібно обгорнути ватою чи тканиною, особливо там, де вона прилягає до виступів кісток. Шина повинна щільно прилягати до пошкодженої частини тіла.

Основне правило іммобілізації більшості переломів — накладена шина повинна одночасно охоплювати не менше ніж два суглоби — вище та нижче від місця перелому. У разі відкритого перелому місце навколо рани змазують йодом, на рану накладають стерильну пов'язку і потім накладають шину. Тільки після накладання транспортної шини потерпілого з переломом кісток можна перевозити в медичний заклад [24].

Переломи деяких кісток вимагають особливого підходу до надання першої допомоги. Переломи ключиці виникають від удару, а також від падіння вперед чи на витягнуту руку. Ознаками перелому ключиці є: біль у місці перелому, ключиця стає мовби коротшою, плече і вся рука приспущені донизу, рухи руки обмежені. Для надання долікарської допомоги при переломі ключиці в пахвову ямку кладуть великий жмут щільно скрученої вати, руку згинають у лікті під прямим кутом і щільно прибинтовують до тулуба, передпліччя підвішують на косинці до шиї.

Переломи ребер виникають в результаті ударів чи в разі здавлювання грудної клітини. Одночасно можливе пошкодження внутрішніх органів. Ознаками переломів ребер є: різко виражений біль у місці перелому, що посилюється під час вдихання повітря, кашлю, рухах грудної клітини. Коли одночасно пошкоджена плевра та легені, під шкірою скупчується повітря (підшкірна емфізема). В таких випадках під час прощупування під шкірою відчувається потріскування бульбашок повітря. Інколи спостерігається відхаркування крові [24].

Для надання долікарської допомоги при переломі ребра слід накласти тугу пов'язку навколо нижньої частини грудної клітини з метою обмеження її рухливості під час дихання. Для зменшення болю можна дати потерпілому знеболювальну таблетку. Перевозити потерпілого необхідно сидячи.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переломи хребта надзвичайно небезпечні, особливо в тих випадках, коли пошкоджується спинний мозок. Такі переломи можливі в результаті падіння з висоти чи притискання важким предметом. Ознаками перелому хребта є: різкий біль в ділянці виступаючих позаду відростків, неможливість рухів в ділянці хребта. Коли внаслідок перелому пошкоджено спинний мозок, то спостерігається параліч кінцівок, втрата чутливості тіла нижче місця перелому, розлад функцій тазових органів (затримка сечі та калу).

Для надання долікарської допомоги при переломі хребта потерпілого необхідно дуже обережно піднімати та переносити. Не допускати згинання хребта, тому що в цьому випадку можна пошкодити спинний мозок. Найважливіше — забезпечити нерухомість хребта. Для цього потерпілого кладуть на носі з жорсткою поверхнею в положенні на животі; під плечі та голову підкладають валик. Для того щоб покласти потерпілого на носі, спершу потрібно обережно повернути його вниз животом, а потім двоє-троє людей одночасно піднімають його і кладуть на носі, не допускаючи при цьому згинання хребта. Можна перед тим, як піднімати потерпілого, підкласти під нього дошку.

При переломі шийної частини хребта голову у потерпілого, який лежить долі, фіксують ватною пов'язкою у вигляді нашійника або великої підкови довкола голови, а потім кладуть його на носі.

Переломи кісток тазу виникають від сильного стискання тазу, наприклад, між стіною та транспортним засобом, що рухається, а також під час падіння з висоти. Переломи нерідко супроводжуються пошкодженням тазових органів (сечового міхура, прямої кишки та інших). Ознаками перелому кісток тазу є те, що потерпілий не може стояти, ходити, а лежачи — не може підняти витягнуту ногу; в місці перелому з'являється припухлість, сильні болі, крововиливи в пахову ділянку та порожнину. Як правило, потерпілий лежить в позі «жабки», на спині з розведеними напівзігнутими ногами. Такі переломи здатні викликати дуже тяжкий загальний стан (шок) [25].

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для надання долікарської допомоги при переломі кісток тазу потерпілого потрібно покласти на жорсткі ноші обличчям догори, його ногам надати положення «жабки», для чого під коліна підкласти товсті валики. Широким рушником чи простирадлом стягнути таз та верхні частини стегон і терміново доставити потерпілого в медичний заклад.

Перелом кісток черепа, як правило, супроводжується пошкодженням м'яких тканин голови та головного мозку. Для надання долікарської допомоги потерпілого з будь-якою травмою черепа, яка супроводжується загальним розладом, необхідно обережно доставити в медичний заклад. Непритомність потерпілого не є перешкодою для транспортування.

4.2 Розробка заходів щодо зниження рівня шуму на робочому місці

Шум – будь-який несприятливий звук, який діє на людину. Це сполучення звуків різної частоти та інтенсивності. З фізичної точки зору звук являє собою механічне хвильове коливання пружного середовища, яке супроводжується виникненням надлишкового тиснення, яке сприймається людиною через слуховий орган у діапазоні частот (16 – 20) кГц.

За своїм походженням шум поділяється на [26]:

- механічний;
- аерогідродинамічний (виникає в наслідок нестаціонарних процесів в рідинах або газах);
- електромагнітний (в наслідок дії змінних електромагнітних сил, які призводять до коливань деяких вузлів та елементів машин та механізмів).

Основними фізичними характеристиками шуму є звуковий тиск (P), інтенсивність звуку (I) та частота (f). Орган слуху здатний сприймати звуки з інтенсивністю 10-12 – 102 Вт/м² (при частоті f = 1000 Гц). Ці значення є порогові (щодо звукового тиснення), але вони залежать від частоти звуку і від індивідуальних особливостей людини.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шум – загально біологічний подразник (в деяких умовах може впливати на всі органи та системи людини). Шум має вплив на різні відділи головного мозку, порушуючи нормальні процеси нервової діяльності. Характерне: стомлювання, апатія, роздратованість, погіршення пам'яті, слабкість).

Шум великої інтенсивності призводить до змін у серцево-судинній системі, що супроводжуються порушеннями тонуусу та ритму серцевих скорочень, та до змін артеріального кров'яного тиску.

Під впливом шуму порушується нормальне функціонування шлунка (зменшується кількість шлункового соку, змінюється кислотність, виникає гастрит та язва шлунку).

В останні роки було встановлено вплив шуму на орган зору (зменшується стійкість ясного бачення та гострота зору, погіршується кольоросприймання). Шум призводить до порушення процесів обміну [26].

Переривчастий та імпульсний шум порушують точність виконання операцій, погіршують процес сприймання та засвоєння інформації. Найбільш чутливими до шуму є такі операції: складання та збір інформації, мислення.

Під дією шуму відбувається зменшення продуктивності праці на підприємстві, збільшення кількості браку, створення небезпечності. Тому заходи по боротьбі з шумом мають велике економічне та оздоровче значення.

Шкідливість шуму як фактору виробничого середовища і середовища життєдіяльності людини приводить до необхідності обмежувати його рівні. Санітарно-гігієнічне нормування шумів здійснюється згідно (ДСН 3.3.6.037-99), в основному, двома способами – методом граничних спектрів (ГС) і методом рівня звуку [27].

Метод граничних спектрів, який застосовують для нормування постійного шуму, передбачає обмеження рівнів звукового тиску в октавних смугах із середніми геометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 і 8000 Гц. Сукупність цих граничних октавних рівнів називають граничним спектром. Позначають той чи інший граничний спектр рівнем його звукового

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тиску на частоті 1000 Гц. Метод рівнів звуку застосовують для орієнтовній гігієнічній оцінки постійного шуму та визначення непостійного шуму, наприклад, зовнішнього шуму транспортних засобів, міського шуму. Вимірюють рівень звуку в децибелах А (дБА) шумоміром із стандартною коректованою частотною характеристикою, в якому за допомогою відповідних фільтрів знижена чутливість на низьких та високих частотах.

Захист від шуму досягається шумобезпечною технікою, застосуванням:

- засобів та методів колективного захисту;
- засобів індивідуального захисту;
- будівельно-акустичними методами.

Для створення шумобезпечної техніки на стадії її проєктування використовуються методи, які знижують шум в самому джерелі. Їх підрозділяють на методи:

- що знижують збудження шуму;
- що знижують звуковипромінюючу здатність джерела.

Зниження аеродинамічного шуму досягається покращенням аеродинамічних характеристик конструктивних елементів, наприклад – плазмотрона.

Зниження електромагнітного шуму досягається вибором оптимальних розмірів, технологій і якості виготовлення магнітопроводів, підбором значень магнітної індукції.

Для зниження звуковипромінюючої здатності джерела, його поверхню покривають демпфіруючими матеріалами, які мають велике внутрішнє тертя. Найбільш розповсюджені жорсткі покриття з пружних в'язких матеріалів (лінолеума, мастик).

До числа архітектурно-плануючих засобів із зниження шуму в цехах належать: раціональне планування територій підприємства (при яких об'єкти, які потребують захисту від шуму – лабораторії, КБ, ВЦ – максимально віддалені від шумових устаткувань і приміщень), раціональне по поверхове планування

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

будинків і розміщення устаткування, що генерує шум, розміщення робочих місць і організація транспортних потоків, створення шумозахисних зон [26].

Акустичні засоби – це засоби захисту від шуму на шляху його розповсюдження. До них у першу чергу відносяться звукоізоляція і звукопоглинання. Метод звукоізоляції засновано на відбитті звукової хвилі, яка падає на огорожу (стіни, кожухи, екрани).

Цікавим та принципово новим методом зниження шуму є метод активного шумопригнічення. Він базується на створенні “антизвуку” тобто рівного за рівнем і протилежного по фазі звуку. В наслідок інтерференції основного звуку та антизвуку, в деяких місцях приміщення можливо створити зони тиші. Цей метод є ефективним для пригнічення тональних шумів.

В місці, де треба зменшити шум, встановлюють мікрофон, сигнал від якого перетворюється в електричний, надходить на фазоінвертор і далі на підсилювач та динаміки, що встановлюють визначеним чином.

Для захисту працівників від шуму також використовуються засоби індивідуального захисту, які дозволяють знизити рівень сприймання звуку на 10–45 дБ, причому найбільш значні глушіння спостерігаються в області високих частот.

Засоби індивідуального захисту поділяють на:

- протишумові укладки (закривають вушну раковину зовні);
- протишумові навушники (перекривають слуховий прохід);
- протишумові каски і шоломи (закривають всю голову і застосовуються у сполученні з навушниками і протишумовими костюмами).

Під час створення системи моніторингу нахилу конструкцій було забезпечено дотримання заходів щодо зниження рівня шуму на робочому місці.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій. В результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступне:

1) Проаналізовано технічне завдання, визначено актуальність і доцільність створення системи моніторингу нахилу на основі сучасних технологій.

2) Проведено огляд сфер застосування подібних систем, а також розглянуто існуючі засоби та пристрої, що можуть виконувати аналогічні функції. Виявлено їх переваги та недоліки, що дозволило сформулювати вимоги до власної системи.

3) Запропоновано структуру проєктованої комп'ютеризованої системи, обґрунтовано вибір її основних апаратних компонентів, зокрема модуля TTGO ESP32, датчика MPU-6050 та сенсора нахилу SW-520D.

4) Розроблено алгоритм роботи системи, який включає зчитування показників сенсорів, обробку отриманих даних, визначення граничного відхилення, активацію сигналізації при перевищенні порогових значень та надсилання даних у хмару.

5) Реалізовано програмне забезпечення для мікроконтролера, яке забезпечує інтеграцію з хмарною платформою Thinger.io, візуалізацію даних на вбудованому дисплеї та активацію засобів сигналізації.

6) Виконано моделювання та практичне тестування розробленої системи в лабораторних умовах, перевірено точність вимірювань, коректність реакції на тривожні події та стабільність передачі даних до хмарного сервісу.

Розроблена система може бути використана для попередження аварійних ситуацій, пов'язаних із порушенням стійкості або деформацією будівельних конструкцій, а її функціональні можливості відповідають поставленим вимогам.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кутоміри для вимірювання кутів, кутомір цифровий електронний інклінометр. URL: <https://devos-store.com.ua/ua/p2587532251-uglomery-dlya-izmereniya.html> (дата звернення: 08.03.2025).
2. Kuebler. Система вимірювання кутів нахилу. URL: <https://kuebler.com.ua/?inc=inc/inclinometer> (дата звернення: 10.03.2025).
3. TTL-90S Magnetic Inclinometer Dual-Axis Angle Protractor Angle Finder Tool. URL: <https://www.ebay.com/itm/296628604846> (дата звернення: 11.03.2025).
4. LILYGO TTGO T-Display ESP32 WiFi i Bluetooth модуль з дисплеєм. URL: <https://arduino.ua/prod4360-ttgo-t-display-esp32-wifi-e-bluetooth-module-development-board> (дата звернення: 20.03.2025).
5. Акселерометр і гіроскоп MPU-6050 GY-521 модуль 6DOF. URL: <https://arduino.ua/prod512-akselerometr-i-giroskop-mpu-6050-modyl-6dof> (дата звернення: 25.03.2025).
6. Модуль давача нахилу та вібрації SW-520D. URL: <https://arduino.ua/prod2542-modyl-datchika-naklona-i-vibracii-sw-520d> (дата звернення: 26.03.2025).
7. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
8. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
9. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 1. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 256 с.
10. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Тиш Є.В. Узагальнений алгоритм синтезу компонентів комп'ютерних систем на основі мікропрограмних автоматів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 36 (75), № 1, 2025. С. 247-253.

12. Tysh Ie. Approach and method of evaluation of the general reliability indicator of computer systems. International scientific journal "Computer systems and information technologies", 3 (5). Khmelnytskyi National University. 2021. P.74-80.

13. Тиш Є.В., Шалапай Р.І. Типи вимог до комп'ютерних систем і методи їх виявлення. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 437.

14. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

15. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

16. Погребенник В. Д., Клим Г. І., Бордун І. М., Пташник В. В., Паламар А. М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

17. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Vasylykivskiy I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.

19. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

20. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

21. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

22. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

23. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172. 31. Бедрій І.Я., Нечай В.Я. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. – Львів: Манголія 2006, 2007. 499 с.

24. Бедрій І.Я., Нечай В.Я. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. – Львів: Манголія 2006, 2007. 499 с.

25. Ярошевська В.М. Безпека життєдіяльності. Підручник. – 2-е вид. К.: ВД „Професіонал”, 2006. 560 с.

26. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Основа, 2016. 267 с.

27. ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

					КС КРБ 123.260.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедрою КС

_____ Осухівська Г.М.

“ _____ ” _____ 2025 р.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАХИЛУ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н. Тиш Є.В.

“ _____ ” _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІс-41

_____ Новак В.П.

“ _____ ” _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.260.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІс-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Новак Віталій Петрович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/7-53 від «27» січня 2025 року.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 25.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки комп'ютеризованої системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій на основі IoT технологій. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ДЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Система призначена для збору, аналізу та передачі даних у режимі реального часу про нахил будівельних конструкцій, таких як мости, багатоповерхові будівлі, башти та інші об'єкти, де важливо відстежувати зміну їх положення для забезпечення безпеки.

2.2 Мета створення системи

Основною метою є створення автоматизованої IoT-системи, яка дозволить безперервно контролювати нахил конструкцій, зберігати історичні дані та генерувати попередження при досягненні критичних значень.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктами моніторингу є будівельні конструкції, які можуть піддаватися деформаціям через різні чинники, такі як ґрунтові зсуви, сейсмічна активність, зміни температурного режиму тощо.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система моніторингу нахилу будівельних конструкцій повинна забезпечувати безперервне вимірювання кутів нахилу будівельних елементів, оперативне передавання даних у хмарне сховище або локальний сервер та надання доступу до інформації користувачам через веб-інтерфейс або мобільний додаток. Система повинна працювати в автономному режимі з мінімальним технічним обслуговуванням та забезпечувати високу точність вимірювань. Основними критеріями ефективності є низьке енергоспоживання, стабільність роботи в різних умовах експлуатації та можливість інтеграції з іншими системами моніторингу.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структура системи повинна включати вимірювальні модулі на базі MEMS-датчиків, центральний обчислювальний модуль для обробки даних, модуль зв'язку для передавання інформації, серверну частину для зберігання та аналізу даних, а також користувацький інтерфейс для візуалізації отриманих результатів. Система повинна функціонувати в реальному часі, виконуючи вимірювання та передавання даних з певною періодичністю, що задається параметрами конфігурації. В разі виявлення критичних змін нахилу система

повинна автоматично надсилати попереджувальні сповіщення відповідальним особам.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Передавання даних між компонентами системи повинно здійснюватися за допомогою бездротових технологій зв'язку, таких як Wi-Fi, LoRaWAN або мобільні мережі (LTE). Вимірювальні модулі повинні мати можливість безперервного зв'язку із сервером та передавати дані з низькою затримкою. Для підвищення надійності зв'язку необхідно передбачити використання резервного каналу передавання даних, наприклад, дублювання інформації через альтернативний протокол зв'язку.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати три основні режими роботи: стандартний режим моніторингу, в якому дані надсилаються через певні інтервали часу, режим підвищеної чутливості, що активується при фіксації нестандартних змін нахилу, та енергозберігаючий режим, в якому знижується частота вимірювань для зменшення споживання енергії.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Система моніторингу нахилу будівельних конструкцій повинна мати модульну структуру, що дозволить розширювати її функціонал шляхом додавання нових сенсорів, покращення алгоритмів обробки даних та інтеграції з іншими системами управління будівлями. У перспективі можливе використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування деформацій конструкцій та впровадження енергоефективних технологій для продовження автономної роботи вимірювальних модулів.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати високу точність вимірювань (з похибкою не більше 0,1 градуса) та безперебійну роботу в складних експлуатаційних умовах. Компоненти системи повинні бути захищені від впливу вологи, пилу та механічних пошкоджень відповідно до стандартів IP65 або вище. Система повинна мати механізми самодіагностики та автоматичного перезапуску у разі збоїв у роботі програмного або апаратного забезпечення.

Показники надійності системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функції та задачі, які повинна виконувати система, передбачають:

- безперервне вимірювання нахилу будівельних конструкцій;
- передавання даних на сервер із заданим інтервалом часу;
- аналіз змін у положенні конструкцій та виявлення аномалій;
- генерація попереджувальних повідомлень у разі перевищення критичних значень нахилу;
- збереження історії вимірювань та надання доступу до даних через веб-інтерфейс або мобільний додаток.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратна частина системи повинна включати MEMS гіроскопи (наприклад, MPU-6050 або аналогічні), мікроконтролер ESP32 для обробки даних і передавання інформації, модулі бездротового зв'язку Wi-Fi або LoRaWAN, а також автономне джерело живлення (акумулятор або сонячні панелі). Серверна частина повинна мати достатню обчислювальну потужність

для зберігання та обробки великих обсягів даних, а також підтримувати хмарні технології для віддаленого доступу до інформації.

Вимоги до елементної бази системи:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;
- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;
- елементна база по можливості має бути широкоживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

Вимоги до мікроконтролера:

- мікроконтролер має підтримувати RISC архітектуру команд;
- мікроконтролер повинен містити необхідний набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.) та потрібну кількість керованих портів введення /виведення.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. структурна схема системи;
 2. схема електрична принципова;
 3. схема електрична з'єднань;
 4. блок-схема алгоритму роботи програми.

*Примітка: В комплект конструкторської документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	27.01.2025 – 02.02.2025
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02.2025 – 10.02.2025
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютеризованої системи	11.02.2025 – 28.02.2025
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, тестування комп'ютеризованої системи	01.03.2025 – 01.05.2025
5.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	02.05.2025 – 11.05.2025
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	12.05.2025 – 08.06.2025
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	09.06.2025 – 15.06.2025
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025 – 22.06.2025
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06.2025

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Перелік елементів

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера ESP32 для реалізації системи моніторингу нахилу будівельних конструкцій.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <ThingyESP32.h>
#include "secrets.h"
#include <TFT_eSPI.h>
#include <SPI.h>

// TFT дисплей
#define TFT_BL          4    // Підсвітка екрана
#define REPORTING_PERIOD_MS 1000

// Піни для тривоги та сенсора нахилу
#define BUZZER_PIN      26
#define LED_PIN          27
#define SW520D_PIN      38

float roll = 0.0, pitch = 0.0, yaw = 0.0;
bool sw520_triggered = false;
const float threshold_angle = 10.0; // Пороговий кут у градусах

uint32_t tsLastReport = 0;
TFT_eSPI display = TFT_eSPI(135, 240);
Adafruit_MPU6050 mpu;
ThingyESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(SW520D_PIN, INPUT);

    display.init();
    display.fillScreen(TFT_BLACK);
    display.setRotation(3);
```

```

display.setTextColor(TFT_BLUE);
display.drawString("Tilt Monitor System", 10, 50, 4);

thing.add_wifi(SSID, SSID_PASSWORD);

// Додати ресурси до Thinger.io
thing["tilt_data"] >> [](pson &out){
    out["roll"] = roll;
    out["pitch"] = pitch;
    out["yaw"] = yaw;
    out["sw520"] = sw520_triggered;
};

// Ініціалізація MPU6050
if (!mpu.begin()) {
    Serial.println("Не знайдено MPU6050!");
    while (1);
}
Serial.println("MPU6050 ініціалізовано!");

mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_8_G);
mpu.setGyroRange(MPU6050_RANGE_500_DEG);
mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_5_HZ);
}

void loop() {
    sensors_event_t a, g, temp;
    mpu.getEvent(&a, &g, &temp);

    // Розрахунок нахилу
    roll = atan2(a.acceleration.y, a.acceleration.z) * 180.0 / PI;
    pitch = atan2(-a.acceleration.x, sqrt(a.acceleration.y *
a.acceleration.y + a.acceleration.z * a.acceleration.z)) * 180.0 /
PI;
    yaw = g.gyro.z; // умовно - не точний абсолютний азимут

    sw520_triggered = digitalRead(SW520D_PIN) == LOW;

    // Вивід на дисплей
    display.fillScreen(TFT_BLACK);
    display.setCursor(0, 10);
    display.setTextColor(TFT_WHITE);
    display.setTextSize(2);
    display.drawString("Roll: " + String(roll, 2) + " deg", 10, 30);
    display.drawString("Pitch: " + String(pitch, 2) + " deg", 10, 60);

```

```

    display.drawString("Yaw: " + String(yaw, 2), 10, 90);
    display.drawString("SW-520D: " + String(sw520_triggered ? "YES" :
"NO"), 10, 120);

    // Тривожна умова
    bool alert = abs(roll) > threshold_angle || abs(pitch) >
threshold_angle || sw520_triggered;

    if (alert) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
        tone(BUZZER_PIN, 1000, 200);
    } else {
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        noTone(BUZZER_PIN);
    }

    // Відправка на Thingier.io
    if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
        thing.handle();
        tsLastReport = millis();
    }

    delay(500);
}

```