

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система дистанційного виявлення сейсмічної
активності з використанням IoT технологій

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Борщ О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Небесний Р.М.

(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

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Борищу Олегу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT технологій

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент

(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 17.06.2025 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. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання 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 Пилипець 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, проектування комп'ютеризованої системи</i>	<i>11.02 – 28.02</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютерної 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>24.06.2025</i>	

Студент

(підпис)

Борщ О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Борщ О.С. Комп'ютерна система дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT технологій: робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютеризована система, виявлення землетрусів, IoT, акселерометр, гіроскоп, сейсмічна активність, хмарні технології.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT технологій. Основна ідея полягає у створенні сенсорного пристрою, здатного фіксувати сейсмічну активність та передавати дані для подальшого аналізу.

В рамках дослідження проаналізовано технічне завдання та сформульовано основні вимоги до системи. Проведено огляд існуючих аналогічних рішень, визначено їхні переваги та недоліки. Розроблено апаратне забезпечення системи, включно з вибором та обґрунтуванням елементної бази, до складу якої входять акселерометри та/або гіроскопи для реєстрації коливань. Розроблено алгоритм обробки отриманих даних і написано програмне забезпечення для збору, фільтрації та передачі інформації на хмарну платформу.

Описано процес тестування розробленої системи та проаналізовано отримані результати. Запропоновано можливі напрями вдосконалення, що включають підвищення точності вимірювань та масштабованість мережі сенсорів для покращення моніторингу сейсмічної активності.

ANNOTATION

Borshch O.S. Computerized system for remote detection of seismic activity using IoT technologies. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: computerized system, earthquake detection, IoT, accelerometer, gyroscope, seismic activity, cloud technologies.

The qualification work is devoted to the development of a computerized system for remote earthquake detection using IoT technologies. The main idea is to create a sensor device capable of recording seismic activity and transmitting data for further analysis.

The study analyzes the terms of reference and formulates the main requirements for the system. A review of existing similar solutions was conducted, and their advantages and disadvantages were identified. The hardware of the system was developed, including the selection and justification of the element base, which includes accelerometers and/or gyroscopes for recording vibrations. An algorithm for processing the received data was developed and software for collecting, filtering and transmitting information to the cloud platform was written.

The process of testing the developed system is described and the results are analyzed. Possible areas of improvement are proposed, including increasing the measurement accuracy and scalability of the sensor network to improve the monitoring of seismic activity.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд сфер застосування комп'ютерної системи виявлення сейсмічної активності.....	10
1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності	11
1.3 Класифікація засобів для виявлення сейсмічної активності	13
1.4 Огляд існуючих засобів для виявлення сейсмічної активності.....	14
1.4.1 Сейсмометр Trillium Compact	14
1.4.2 Сейсмограф Raspberry Shake.....	15
1.4.3 Сейсмічна станція ShakeAlert	16
1.5 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Розробка структури системи виявлення сейсмічної активності	19
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютерної системи виявлення сейсмічної активності	21
2.2.1 Мікрокомп'ютер Raspberry Pi.....	21
2.2.2 Модуль зв'язку SIM7000E.....	24
2.2.3 Геофон SM-24	26
2.2.4 Модуль АЦП ADS1115.....	28
2.2.5 Модуль акселерометра ADXL345	31
2.2.6 Модуль магнітометра QMC5883L	33
2.3 Розробка електричної схеми пристрою	36
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	38

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Борщ О.С.			Комп'ютеризована система дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT технологій			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевірів		Осуківська Г.М.								5	76	
Рецензент		Небесний Р.М.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41				
Н. Контр.		Луцук Н.С.										
Зав. каф.		Осуківська Г.М.										

3.1 Розроблення алгоритму роботи системи дистанційного виявлення сейсмічної активності	38
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	41
3.3 Реалізація передачі даних на платформу Ubidots	47
3.4 Моделювання роботи системи.....	49
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Стихійні лиха та їх класифікація	52
4.2 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону.....	55
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

IoT – Internet of Things;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ВЗ – виявлення землетрусів;

КС – комп'ютеризована система;

МК – мікроконтролер;

ПЗ – програмне забезпечення;

СА – сейсмічна активність;

ХТ – хмарні технології.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сейсмічна активність є загрозою для багатьох регіонів світу, зокрема для тих, що розташовані в зонах підвищеної тектонічної активності. Землетруси можуть спричиняти значні руйнування інфраструктури, людські жертви та економічні втрати. Своєчасне виявлення сейсмічних коливань та їх аналіз є критично важливими для запобігання катастрофічним наслідкам. Традиційні методи моніторингу землетрусів, що базуються на централізованих сейсмічних станціях, мають певні обмеження, зокрема високу вартість розгортання та недостатню оперативність у виявленні слабких поштовхів на локальному рівні.

Розвиток IoT технологій відкриває нові можливості для моніторингу сейсмічної активності. Завдяки використанню недорогих сенсорних пристроїв, об'єднаних у безпроводну мережу, можна значно підвищити швидкість і точність виявлення сейсмічних поштовхів. Така система здатна збирати дані з великої кількості точок у реальному часі, передавати їх на хмарну платформу для аналізу та прогнозування, що дозволяє реагувати на загрози. Саме тому розробка комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності на основі IoT є актуальним завданням.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT технологій, яка дозволяє фіксувати землетруси, передавати отримані дані для подальшого аналізу та забезпечувати можливість прогнозування сейсмічної активності.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та сформулювати функціональні й технічні вимоги до системи для виявлення сейсмічної активності;
- провести огляд існуючих рішень для виявлення землетрусів, оцінити їхні переваги та недоліки;
- розробити апаратну частину системи, обґрунтувати вибір мікрокомп'ютера, сенсорів і допоміжних модулів;

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- створити алгоритм функціонування системи та розробити програмне забезпечення для зчитування, обробки, аналізу й передавання даних;
- реалізувати передачу інформації на хмарну платформу для зберігання, візуалізації та моніторингу параметрів у реальному часі;
- провести моделювання та тестування роботи системи з метою перевірки її функціональності, точності та готовності до практичного застосування.

Запропонована система може бути використана для локального моніторингу сейсмічної активності, що сприятиме підвищенню рівня безпеки в сейсмонебезпечних регіонах.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд сфер застосування комп'ютерної системи виявлення сейсмічної активності

Системи дистанційного виявлення сейсмічної активності на основі IoT-технологій широко застосовуються у різних галузях. Їх використання дозволяє суттєво покращити моніторинг сейсмічної активності, мінімізувати ризики для населення та інфраструктури, а також підвищити ефективність досліджень у галузі геофізики.

Однією з ключових сфер застосування є сейсмологія та наукові дослідження. Використання розподілених мереж сенсорів, що збирають дані з акселерометрів та гіроскопів, дозволяє детальніше аналізувати підземні коливання. Такі системи можуть допомагати у прогнозуванні землетрусів, моделюванні поширення сейсмічних хвиль і визначенні точок максимального ризику. Крім того, вони можуть використовуватися для перевірки існуючих моделей руху тектонічних плит.

Не менш важливою сферою є цивільна оборона та система попередження катастроф. Завдяки можливості швидкого збору та аналізу даних такі системи можуть оперативно сповіщати екстрені служби та населення про загрозу землетрусу, що дозволяє своєчасно вживати заходів безпеки. Комп'ютеризована система виявлення сейсмічної активності може інтегруватися з державними системами оповіщення, а також з мобільними додатками, що повідомлятимуть користувачів про наближення небезпеки.

У галузі будівництва та інженерної інфраструктури такі системи можуть використовуватися для моніторингу стійкості будівель, мостів, тунелів та інших інженерних споруд. Сейсмодавачі, розташовані на критично важливих об'єктах,

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Борщ О.С.			Аналіз технічного завдання	Літ.		Арк.	Акрушів
Перевірів		Осухівська Г.М.						10	9
Рецензент		Небесний Р.М.				ТНТУ, каф. КС, гр. ІІс-41			
Н. Контр.		Луцик Н.С.							
Зав. каф.		Осухівська Г.М.							

допоможуть виявляти небезпечні коливання та попереджати про можливе пошкодження конструкцій. Це особливо актуально для регіонів з підвищеною сейсмічною активністю, де контроль за станом споруд відіграє важливу роль у запобіганні катастрофам.

Ще однією перспективною сферою є нафто- та газовидобувна промисловість. Під час буріння свердловин та видобутку природних ресурсів важливо контролювати сейсмічну активність, щоб уникнути провокації підземних поштовхів. Впровадження IoT-систем для моніторингу може зменшити ризики техногенних землетрусів та забезпечити більш екологічно безпечне видобування корисних копалин.

Комп'ютеризовані системи сейсмічного моніторингу також можуть застосовуватися у розумних містах та системах управління транспортом. Дані, отримані від сенсорів, можуть допомагати у розробці міцніших дорожніх покриттів, плануванні безпечних маршрутів евакуації та мінімізації впливу землетрусів на міську інфраструктуру.

Отже, запропонована комп'ютеризована система дистанційного виявлення сейсмічної активності може бути ефективно використана у наукових, промислових та державних сферах, забезпечуючи раннє попередження про сейсмічну активність та зменшуючи потенційні ризики для населення та інфраструктури.

1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності

Основною метою системи є виявлення ознак сейсмічних коливань на локальному рівні та передача відповідної інформації до хмарного середовища для збереження, обробки і візуалізації. У першу чергу, система повинна бути здатною фіксувати механічні коливання ґрунту в реальному часі з високою чутливістю. Для цього необхідна наявність відповідних датчиків, які зможуть фіксувати навіть незначні зміни прискорення, вібрацій або магнітного поля, що можуть свідчити

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

про сейсмічну активність. До таких вимог належать точність вимірювання, стабільність даних, низький рівень шуму, а також можливість роботи в широкому діапазоні температур і в умовах зовнішнього середовища.

З боку обчислювальних ресурсів, обрана апаратна платформа повинна підтримувати одночасну роботу з кількома сенсорними модулями, мати достатньо обчислювальної потужності для обробки даних та зберігати історію спостережень. Крім того, передбачена інтеграція з модулем зв'язку, тому система повинна мати відповідні інтерфейси та драйвери.

До функціональних вимог належить можливість встановлення порогових значень, перевищення яких сигналізує про потенційну сейсмічну подію. При спрацюванні такого тригера система повинна фіксувати покази всіх сенсорів, зберігати інформацію з точним часом події, а також передавати її до хмарної платформи для подальшої обробки або сповіщення відповідальних осіб.

Щодо програмного забезпечення, важливою вимогою є використання відкритих бібліотек, зручність налаштування системи під конкретні умови розгортання, а також можливість гнучкого масштабування. Передбачено ведення журналу подій, створення візуалізацій на основі актуальних та історичних даних, а також реалізацію в майбутньому механізмів аналітики або прогнозування на основі накопичених вимірювань.

Інформаційні вимоги передбачають фіксацію таких параметрів як рівень вібрації (у вольтах), модуль прискорення за трьома осями, магнітне поле, а також часову мітку кожного вимірювання. Ці дані повинні бути представлені як у вигляді числових значень, так і у формі графіків з можливістю віддаленого доступу через вебінтерфейс.

Сформульовані вимоги визначають ключові напрями розробки комп'ютерної системи для дистанційного виявлення сейсмічної активності: точність та чутливість апаратної частини, надійність та автономність функціонування, можливість інтеграції з хмарними сервісами, зручна візуалізація результатів і забезпечення віддаленого моніторингу.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Класифікація засобів для виявлення сейсмічної активності

Засоби для виявлення сейсмічної активності поділяються на різні класи залежно від принципу дії, конструктивних особливостей та способу обробки отриманих даних. Класифікація таких засобів є важливим етапом аналізу, оскільки дозволяє обрати оптимальний підхід для розробки системи дистанційного виявлення сейсмічної активності із використанням IoT технологій.

За принципом дії засоби для реєстрації сейсмічних явищ поділяються на:

- механічні;
- електромеханічні;
- цифрові.

Механічні сейсмографи – це одні з перших пристроїв, які використовували маятникові системи для запису коливань ґрунту на паперових носіях. Вони забезпечували базову реєстрацію землетрусів, але мали низьку точність і значну інерційність. Електромеханічні сейсмометри працюють за тим же принципом, але використовують електромагнітні перетворювачі для передачі сигналу, що дозволяє отримувати більш точні результати. Цифрові сейсмометри – це сучасні високочутливі пристрої, що застосовують тензодатчики, акселерометри та гіроскопи для точного вимірювання параметрів руху ґрунту з подальшою цифровою обробкою даних.

За конструктивними особливостями засоби виявлення сейсмічної активності поділяються на стаціонарні та мобільні. Стаціонарні сейсмічні станції розміщуються в спеціально обладнаних пунктах спостереження та забезпечують точний моніторинг коливань земної поверхні. Вони можуть працювати в складі глобальних або регіональних сейсмологічних мереж. Мобільні сейсмометри, у свою чергу, використовуються для експедиційних досліджень або тимчасового розгортання в місцях підвищеного ризику землетрусів.

За способом обробки даних засоби поділяються на автономні та мережеві. Автономні пристрої зберігають дані локально та можуть передавати їх лише після

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закінчення запису. Мережеві системи працюють у реальному часі, передаючи інформацію на сервери або хмарні платформи для оперативного аналізу. Використання IoT технологій дозволяє інтегрувати окремі сенсори в масштабовані мережі, що значно покращує швидкість обробки та точність прогнозування землетрусів.

Сучасні засоби для виявлення сейсмічної активності значно відрізняються за своїми характеристиками та можливостями. Для побудови ефективної IoT системи дистанційного моніторингу доцільно використовувати цифрові мережеві пристрої на базі акселерометрів, гіроскопів та геофонів, що дозволяють здійснювати безперервний збір та аналіз даних у реальному часі.

1.4 Огляд існуючих засобів для виявлення сейсмічної активності

На сучасному ринку представлено широкий спектр засобів для виявлення сейсмічної активності, які відрізняються за чутливістю, принципом роботи, вартістю та можливостями інтеграції з іншими системами. Основними видами таких засобів є професійні сейсмографи, регіональні сейсмічні станції, комерційні акселерометри та аматорські IoT-рішення.

1.4.1 Сейсмометр Trillium Compact

Професійні сейсмографи, такі як Trillium від Nanometrics [1], забезпечують високу точність вимірювань та використовуються у складі глобальних сейсмологічних мереж. Вони здатні фіксувати навіть слабкі сейсмічні хвилі завдяки низькому рівню шумів і широкому діапазону частот (рис. 1.1).

Проте ці пристрої мають високу вартість. До того ж вони вимагають спеціальних умов експлуатації, зокрема ізоляції від зовнішніх вібрацій, що обмежує їхнє використання у міських умовах.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Сейсмометр Trillium Compact

1.4.2 Сейсмограф Raspberry Shake

Комерційні сейсмографи, такі як Raspberry Shake [2], пропонують доступне рішення для локального моніторингу сейсмічної активності (рис. 1.2).

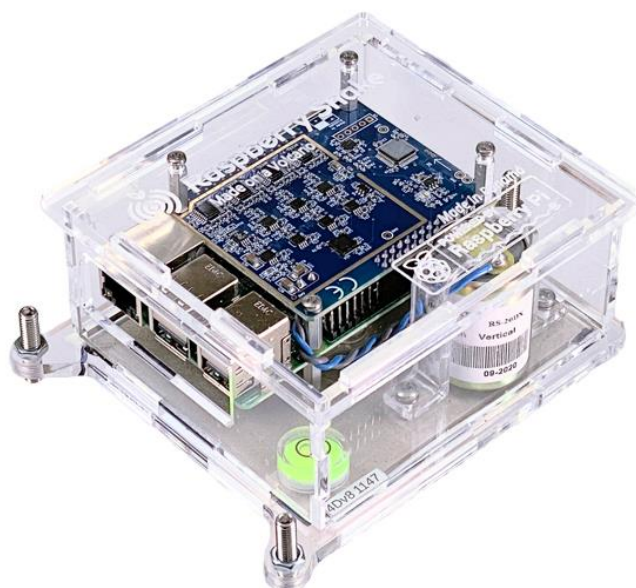


Рисунок 1.2 – Сейсмограф Raspberry Shake

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вони оснащені сучасними давачами, підключаються до хмарних платформ та дозволяють створювати невеликі мережі для моніторингу. Проте їхня точність поступається професійним сейсмографам, а залежність від інтернет-з'єднання може впливати на стабільність роботи.

1.4.3 Сейсмічна станція ShakeAlert

Регіональні сейсмічні станції, наприклад, система ShakeAlert у США [3], використовують розгалужену мережу високочутливих датчиків для оперативного виявлення сейсмічної активності і надсилання попереджень (рис. 1.3).

Основний недолік таких систем полягає в їхній централізованій структурі: затримки в передачі даних та обробці можуть впливати на швидкість сповіщення. Крім того, такі системи розгортаються на рівні державних або наукових організацій, що ускладнює їхню інтеграцію в незалежні моніторингові рішення.

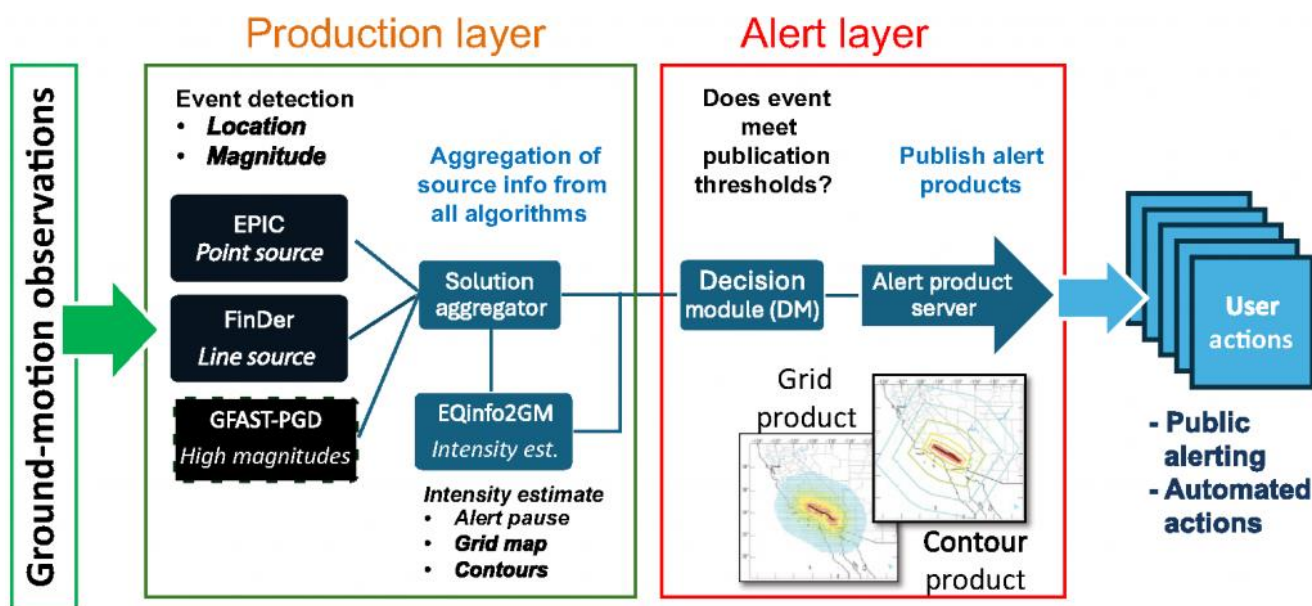


Рисунок 1.3 – Сейсмічна станція ShakeAlert

Отже, існуючі рішення мають обмеження, пов'язані з високою вартістю, складністю експлуатації або недостатньою точністю. Це обґрунтовує необхідність розробки доступної, масштабованої та енергоефективної IoT-системи для дистанційного моніторингу сейсмічної активності.

1.5 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Під час виконання кваліфікаційної роботи було проаналізовано низку можливих технічних рішень, спрямованих на реалізацію комп'ютерної системи моніторингу сейсмічної активності з передачею даних у хмарне середовище. Метою цього етапу є визначення оптимальних компонентів апаратного та програмного забезпечення, які забезпечують високу надійність зчитування даних, точність вимірювання та можливість їхньої подальшої візуалізації і аналізу.

Серед апаратних засобів для фіксації коливань були розглянуті як спеціалізовані сейсмометри, так і більш доступні елементи, що використовуються в аматорських проєктах. Зважаючи на обмежений бюджет та вимоги до компактності, було прийнято рішення використати в якості сенсорних елементів комбінацію геофона, цифрового акселерометра ADXL345 та цифрового магнітометра QMC5883L. Геофон надає аналоговий сигнал, що чутливий до низькочастотних механічних коливань ґрунту, тому його було підключено до високоточного аналогово-цифрового перетворювача ADS1115, який забезпечує достатню роздільну здатність для вимірювання малих коливань напрути.

Для цифрової обробки сигналів та взаємодії з сенсорами були розглянуті варіанти мікроконтролерів ESP32, Raspberry Pi та Arduino. Через потребу у одночасній обробці даних з кількох джерел, організації логування, побудови графіків у реальному часі та передачі даних через інтернет, було обрано платформу Raspberry Pi. Цей мікрокомп'ютер підтримує операційну систему, багатозадачність та має необхідні інтерфейси для підключення усіх використовуваних компонентів — I²C для ADXL345, QMC5883L та ADS1115.

Для передачі даних у хмару розглядалися платформи Blynk, ThingSpeak, Firebase та Ubidots. Вибір зупинився на сервісі Ubidots, оскільки він забезпечує зручну інтеграцію з Python API, підтримку IoT-пристроїв, побудову графіків, зберігання історичних даних та візуалізацію на інформаційних панелях (дашбордах) без потреби у складній серверній інфраструктурі.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обране рішення на основі Raspberry Pi та сенсорів ADXL345, QMC5883L, геофона і ADS1115 є технічно доцільним і забезпечує баланс між точністю вимірювань, гнучкістю програмної обробки та можливістю масштабування функціоналу системи. Візуалізація результатів за допомогою інструментів бібліотеки Matplotlib та хмарного сервісу Ubidots дозволяє не лише моніторити сейсмічну активність у реальному часі, а й накопичувати дані для подальшого аналізу.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури системи виявлення сейсмічної активності

На рис. 2.1 представлено структурну схему запропонованої комп'ютеризованої системи.

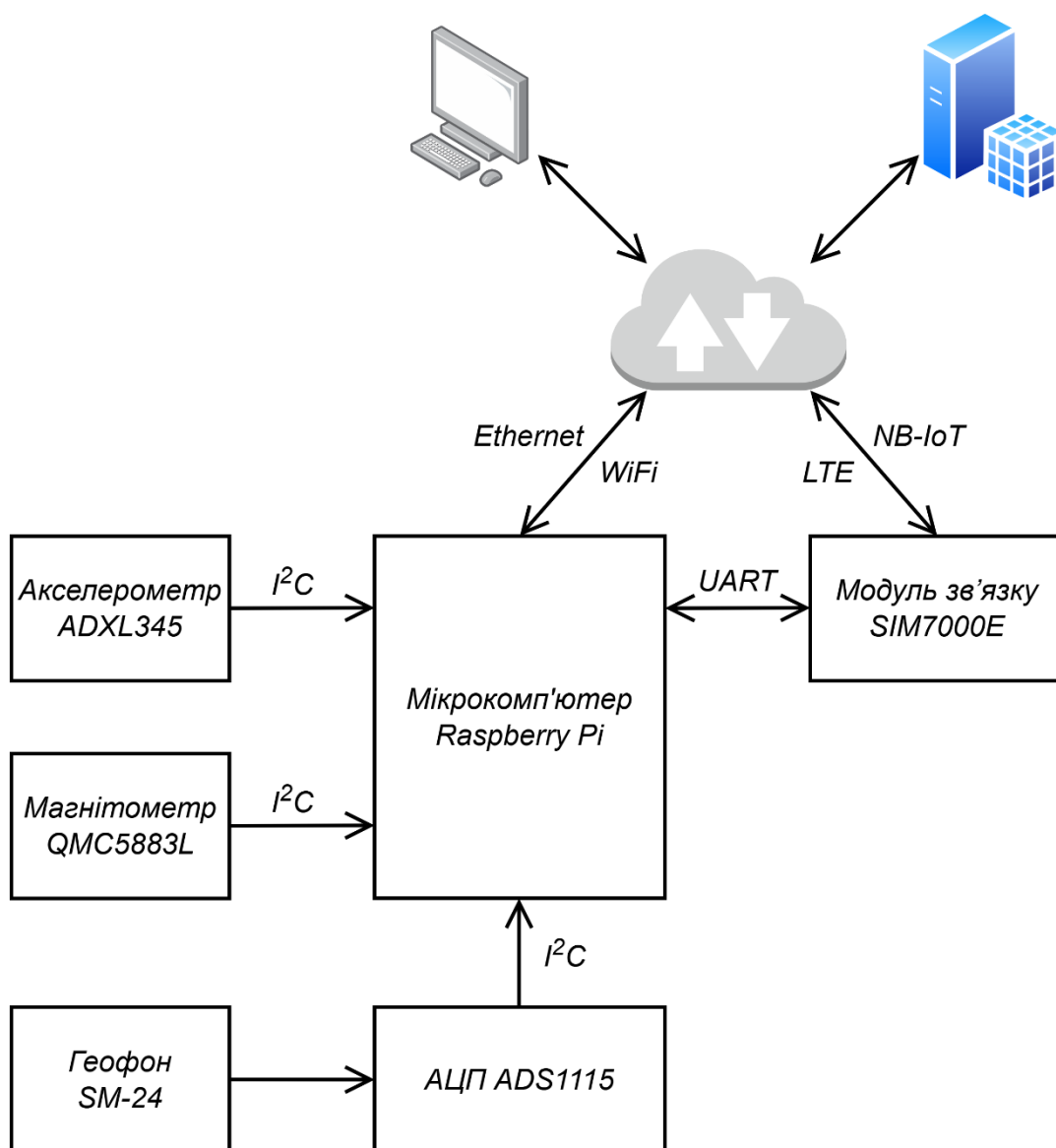


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп'ютеризованої системи виявлення сейсмічної активності

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектна частина		
Розробив	Борщ О.С.						
Перевірів	Осуківська Г.М.						
Рецензент	Небесний Р.М.						
Н. Контр.	Луцик Н.С.						
Зав. каф.	Осуківська Г.М.						
					Літ.	Арк.	Акрюшив
						19	19
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		

Проектована система дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT технологій складається з декількох основних компонентів, які забезпечують збір, обробку, передавання та аналіз сейсмічних даних. Основним завданням структури системи є організація взаємодії між сенсорними модулями, обчислювальними пристроями та хмарною платформою для забезпечення ефективного моніторингу сейсмічної активності. Центральним елементом системи виступає одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi, який виконує роль головного обчислювального та керуючого вузла. Саме він забезпечує збір даних із сенсорних модулів, їхню попередню обробку, а також передачу інформації до хмарної IoT-платформи через мережу.

Для реєстрації сейсмічних коливань використовується аналоговий геофон SM-24, який підключено до Raspberry Pi через 16-бітний АЦП ADS1115. Геофон генерує дуже низькочастотні сигнали в аналоговій формі, які ADS1115 перетворює на цифровий вигляд із високою розрядністю, що є важливим для точного аналізу слабких коливань ґрунту.

Крім геофона, для фіксації прискорень у трьох просторових осях застосовано цифровий акселерометр ADXL345, який підключається до Raspberry Pi за інтерфейсом I²C. Цей модуль забезпечує додаткову інформацію про коливання, що дозволяє покращити точність визначення джерел або характеру сейсмічної активності. Його використання також виправдане при реєстрації короткочасних імпульсів або вібрацій.

Для підвищення точності просторової орієнтації та виявлення змін магнітного поля в системі інтегровано 3-осьовий магнітометр QMC5883L. Він також використовує інтерфейс I²C для обміну даними з Raspberry Pi. У контексті даної системи магнітометр може допомогти у точній фіксації магнітних збурень. Це дозволить виявляти підземні коливання або зміну магнітного поля, які можуть бути пов'язані з сейсмічною активністю.

Передача даних у хмару реалізована через NB-IoT модем SIM7000E, що підключається до Raspberry Pi по UART. Цей модем забезпечує енергоефективний обмін даними з інтернетом навіть у віддалених районах із нестабільним зв'язком,

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що є критично важливим для системи, яка може бути розгорнута у сейсмонебезпечних або слабо урбанізованих зонах.

Ця структурна схема демонструє злагоджену роботу низькорівневих сенсорів, проміжного перетворювача сигналів, обчислювального вузла Raspberry Pi та каналу зв'язку NB-IoT із хмарною платформою.

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютерної системи виявлення сейсмічної активності

2.2.1 Мікрокомп'ютер Raspberry Pi

Raspberry Pi [4] – це одноплатний комп'ютер, який поєднує високу обчислювальну потужність, компактні розміри та широкий набір інтерфейсів для підключення периферійних пристроїв (рис. 2.2). Завдяки своїй функціональності, він широко використовується у вбудованих системах, зокрема для збору, обробки та передавання даних в IoT-рішеннях.

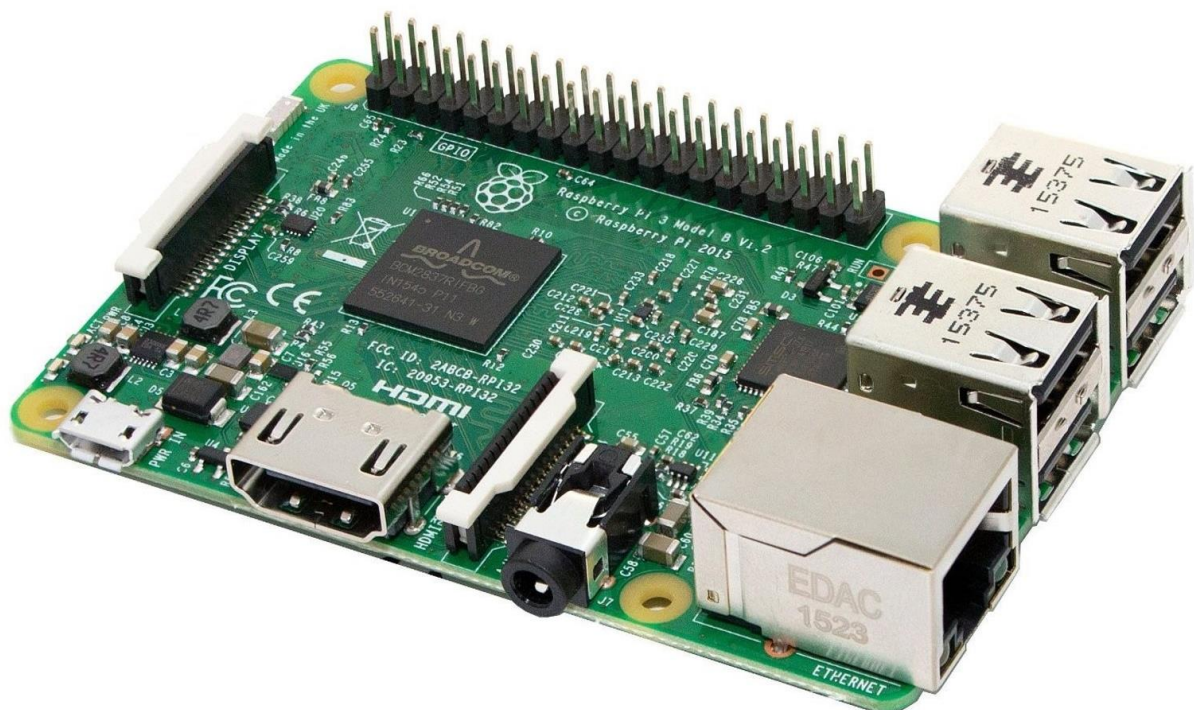


Рисунок 2.2 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Raspberry Pi містить на одній платі всі основні компоненти, необхідні для повноцінної роботи комп'ютера. Raspberry Pi оснащений багатоядерним ARM-процесором та оперативною пам'яттю обсягом від 1 ГБ LPDDR4. Графічний прискорювач GPU VideoCore дозволяє працювати з графікою, що корисно для візуалізації даних. Raspberry Pi містить 40 GPIO-пінів для підключення зовнішніх давачів та модулів (рис. 2.3).

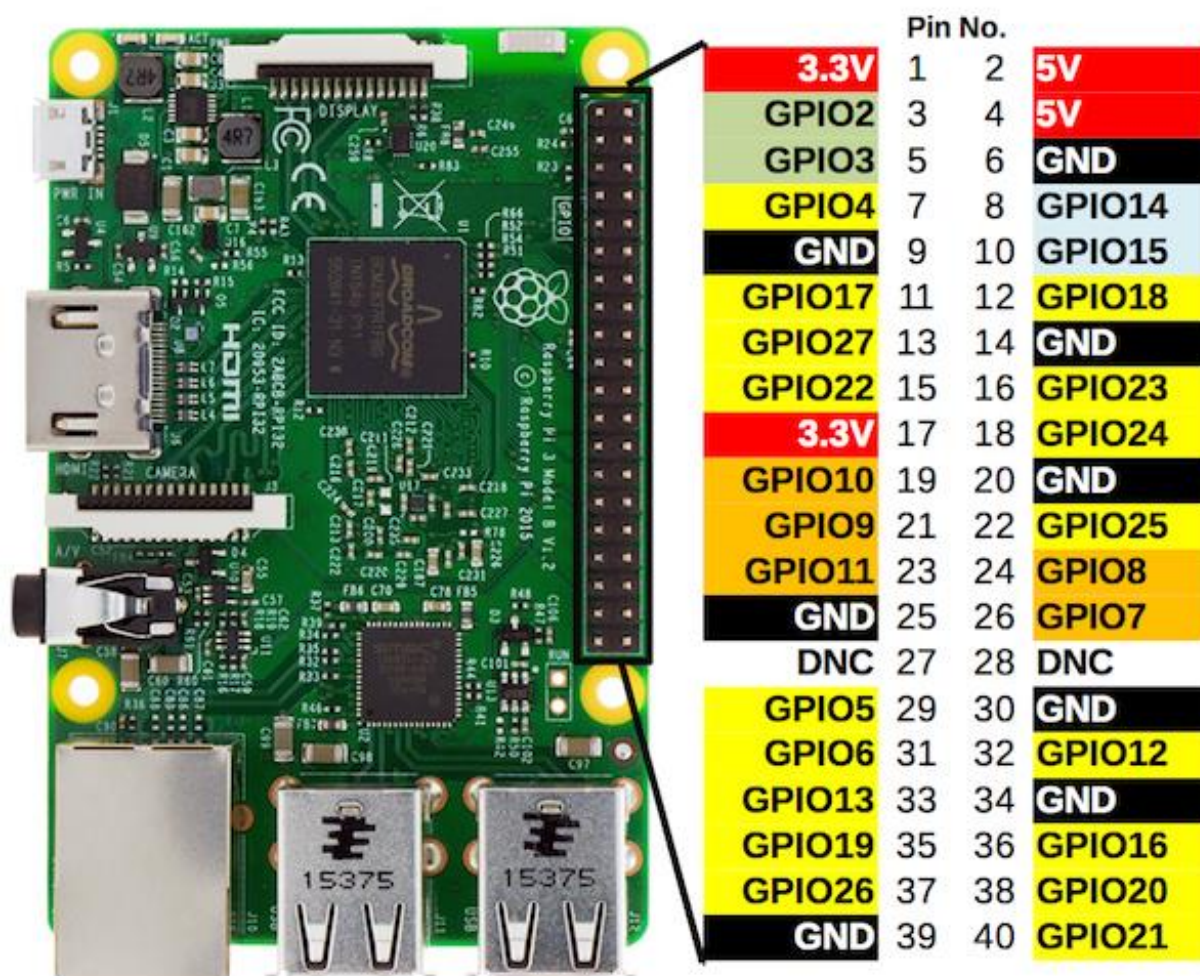


Рисунок 2.3 – GPIO-піни Raspberry Pi 3

Наявність Ethernet, Wi-Fi та Bluetooth дозволяє використовувати Raspberry Pi як мережевий вузол у розподілених IoT-системах. Використання microSD-карти для операційної системи та зберігання даних забезпечує гнучкість конфігурації. Можливість з'єднання з акселерометрами, магнітометрами та іншими сенсорами через GPIO або I²C забезпечує гнучкість у підключенні периферійних пристроїв.

Підтримка Ethernet, Wi-Fi та Bluetooth дозволяє легко інтегрувати пристрій у систему збору та передавання даних у хмару. Параметри мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3 наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри Raspberry Pi 3

Характеристика	Значення
Процесор	Broadcom BCM2837B0 64bit ARM Cortex-A53 Quad Core SoC
Робоча частота процесора	1,4 ГГц
Оперативна пам'ять	1 Гб
Пам'ять програм і даних	MicroSD
Порти USB	4 x USB 2.0 порти з виходом до 1,2 А
Мережевий інтерфейс	Gigabit Ethernet
Бездротовий інтерфейс	Wi-Fi IEEE 802.11 ac (2.4ГГц / 5 ГГц) і Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy
Інтерфейс монітора	HDMI
Роз'єм живлення	MicroUSB
Напруга живлення	5 В
Максимальний струм	2,5 А

Висока обчислювальна потужність Raspberry Pi дозволяє обробляти великі обсяги даних, що є критично важливим для аналізу сейсмічної активності. Raspberry Pi може виконувати роль локального вузла збору даних, обробляючи інформацію перед її передаванням до центрального сервера.

Отже, використання Raspberry Pi у проєктованій системі забезпечує ефективний баланс між продуктивністю, енергоспоживанням та комунікаційними можливостями, що робить його оптимальним рішенням для завдань виявлення та аналізу сейсмічної активності.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2.2.2 Модуль зв'язку SIM7000E

Модуль SIM7000E – це багатофункціональний пристрій для бездротового передавання даних, що підтримує NB-IoT, LTE Cat-M, EDGE, GPRS і GPS [5]. Завдяки широким можливостям підключення він підходить для систем моніторингу та IoT-рішень, де необхідне енергоефективне передавання даних у мобільні мережі. Використання цього модуля у системі дистанційного виявлення сейсмічної активності дозволяє надійно передавати дані навіть у віддалених місцевостях, де відсутнє покриття Wi-Fi або дротового зв'язку (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Модуль зв'язку SIM7000E

Ключовим компонентом модуля SIM7000E є чіп, який підтримує стандарти зв'язку NB-IoT (Narrowband IoT), LTE Cat-M (LTE-M), EDGE та GPRS. Це дозволяє використовувати різні режими передачі даних залежно від умов мережевого покриття. Слот для SIM-карти забезпечує зв'язок з оператором мобільної мережі. Антени для GSM і GPS покращують якість прийому сигналу та забезпечують стабільний зв'язок. UART (через GPIO) є основним інтерфейсом для обміну даними між модулем і Raspberry Pi. Модуль SIM7000E працює від напруги 5 В, споживаючи мінімальну енергію в режимі очікування.

Принцип роботи модуля полягає у встановленні зв'язку з мережею оператора за допомогою SIM-карти, передаванні даних через мобільний інтернет та можливості визначення місцеположення за допомогою GPS. Комунікація з

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Raspberry Pi здійснюється через UART або GPIO, що дозволяє отримувати дані з сенсорів і передавати їх у хмарне сховище або сервер. В табл. 2.2 представлені характеристики модуля SIM7000E.

Таблиця 2.2 – Характеристики модуля SIM7000E

Характеристика	Значення
Підтримувані мережі	NB-IoT (B1/B3/B5/B8), LTE Cat-M (B1/B3/B5/B8), EDGE, GPRS
Швидкість передачі даних	до 375 Кбіт/с (LTE Cat-M), до 85,6 Кбіт/с (GPRS)
Навігаційна система	GPS, BeiDou
Напруга живлення	5 В
Споживана потужність	1,3 мА (режим сну), до 500 мА (активний зв'язок)
Інтерфейси	UART, GPIO, I ² C, SPI
Діапазон робочих температур	-40°C...+85°C

Модуль SIM7000E є оптимальним рішенням для системи дистанційного виявлення сейсмічної активності завдяки його широким функціональним можливостям. Зокрема, підтримка NB-IoT та LTE Cat-M дозволяє передавати дані з низьким енергоспоживанням та високою стійкістю до втрати зв'язку, що критично для автономних IoT-систем у віддалених регіонах. Наявність GPS забезпечує точну прив'язку сенсорів до географічних координат, що важливо для картографування зон сейсмічної активності. Модуль може функціонувати в складних умовах, включаючи місця з екстремальними кліматичними умовами.

Завдяки UART-з'єднанню пристрій легко інтегрується у систему на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi, що спрощує розробку програмного забезпечення для передачі даних у хмару або на сервер. Мінімальне споживання енергії дозволяє розгорнути систему на базі автономного живлення, що особливо важливо для IoT-мереж.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Отже, використання модуля SIM7000E забезпечує стабільний зв'язок для системи виявлення землетрусів, дозволяючи вчасно передавати критично важливі дані та забезпечувати ефективний моніторинг сейсмічної активності навіть у важкодоступних регіонах.

2.2.3 Геофон SM-24

Геофон SM-24 — це високочутливий давач сейсмічної активності, розроблений для перетворення механічних коливань ґрунту у електричні сигнали [6]. Він є одним з найпоширеніших типів пасивних сейсмодавачів, що широко застосовуються у геофізичних дослідженнях, гідророзвідці, вивченні землетрусів і моніторингу сейсмічної активності. Завдяки своїй надійній конструкції, чутливості та стабільним характеристикам, геофон SM-24 доцільно використовувати у складі комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності на базі IoT-технологій (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Геофон SM-24

Конструктивно геофон SM-24 є циліндричним металевим корпусом, всередині якого розміщена пружинна система з котушкою, підвішеною над

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

постійним магнітом. Коли поверхня землі коливається внаслідок сейсмічної активності, котушка переміщується відносно магнітного поля, що індукуює електричний струм згідно з законом Фарадея. Таким чином, геофон перетворює кінетичну енергію механічних коливань у пропорційний електричний сигнал.

Геофон SM-24 призначений для вимірювання вертикальної складової коливань (але може бути змонтований і під іншим кутом у разі потреби). Висока добротність і резонансна частота дозволяють точно фіксувати навіть слабкі сейсмічні коливання, а компактний розмір та стійкість до механічних впливів забезпечують його надійну роботу у різних умовах. Основні параметри геофона SM-24 наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри геофона SM-24

Параметр	Значення
Тип	Вертикальний сейсмодавач
Резонансна частота	10 Гц
Чутливість	28.8 В/м/с $\pm 5\%$
Опір обмотки	375 Ом $\pm 5\%$
Спрямованість	Вертикальна
Діапазон частот	10–240 Гц
Демпфування	0.60 $\pm 5\%$
Маса	Приблизно 0,27 кг
Робочий температурний діапазон	$-40^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$

Геофон SM-24 обраний для реалізації комп'ютеризованої системи з кількох важливих причин. По-перше, його висока чутливість дозволяє фіксувати дуже слабкі коливання земної поверхні, що є критичним для раннього виявлення сейсмічних подій. Це забезпечує надійність при моніторингу як природних, так і антропогенних джерел вібрацій.

По-друге, SM-24 — пасивний елемент, який не потребує живлення, що дозволяє зменшити енергоспоживання всієї системи. Це особливо важливо для

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віддалених IoT-вузлів, які можуть працювати на автономному живленні. По-третє, геофон має надійну та герметичну конструкцію, що забезпечує стабільну роботу навіть у складних погодних умовах чи агресивному середовищі. Крім того, простий аналоговий вихід у вигляді змінної напруги дає змогу легко підключати SM-24 до високоточних АЦП, зокрема ADS1115, для подальшої обробки сигналу в системі.

Геофон SM-24 є технічно обґрунтованим вибором для реалізації функціонального вузла первинного збору даних у системі дистанційного виявлення сейсмічної активності. Його характеристики дозволяють ефективно інтегрувати цей давач у сучасну IoT-архітектуру з метою оперативного аналізу та передачі інформації про сейсмічні події.

2.2.4 Модуль АЦП ADS1115

Модуль ADS1115 — це 16-бітний АЦП, який використовує інтерфейс I²C для комунікації з мікроконтролерами [7]. Цей пристрій є надзвичайно корисним у проєктах, де потрібно здійснювати точні вимірювання аналогових сигналів, зокрема у системах моніторингу фізичних параметрів. Завдяки своїй високій роздільній здатності, вбудованому програмованому підсилювачу та компактній формі, ADS1115 ідеально підходить для вбудованих систем з обмеженими ресурсами, зокрема для реалізації комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності (рис. 2.6).

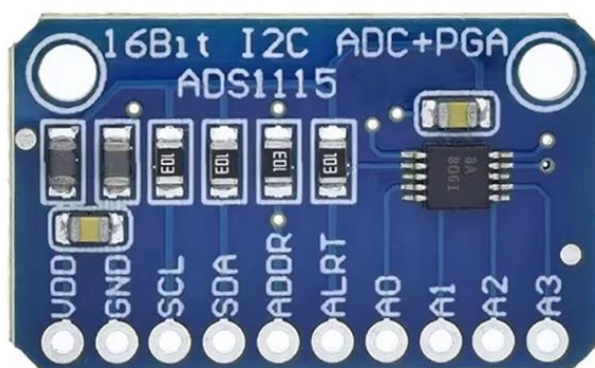


Рисунок 2.6 – Модуль АЦП ADS1115

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Модуль побудований на базі мікросхеми ADS1115 від компанії Texas Instruments. Він має чотири аналогові входи, які можуть працювати як в одноканальному (single-ended), так і в диференційному режимі. В основі принципу роботи лежить послідовне перетворення аналогових сигналів у цифрову форму з 16-бітною роздільною здатністю, що дозволяє точно фіксувати навіть найменші зміни вхідного сигналу. Перетворення виконується за допомогою дельта-сигма модуляції, що забезпечує високу точність і низький рівень шуму.

ADS1115 також оснащений вбудованим PGA (програмованим підсилювачем), який дозволяє збільшувати вхідну напругу у кілька разів перед її перетворенням. Це дає змогу коректно вимірювати дуже малі сигнали, що важливо у випадках, коли сенсор видає низьковольтний аналоговий сигнал (наприклад, від сейсмічного сенсора). Електрична схема модуля АЦП ADS1115 зображена на рис. 2.7.

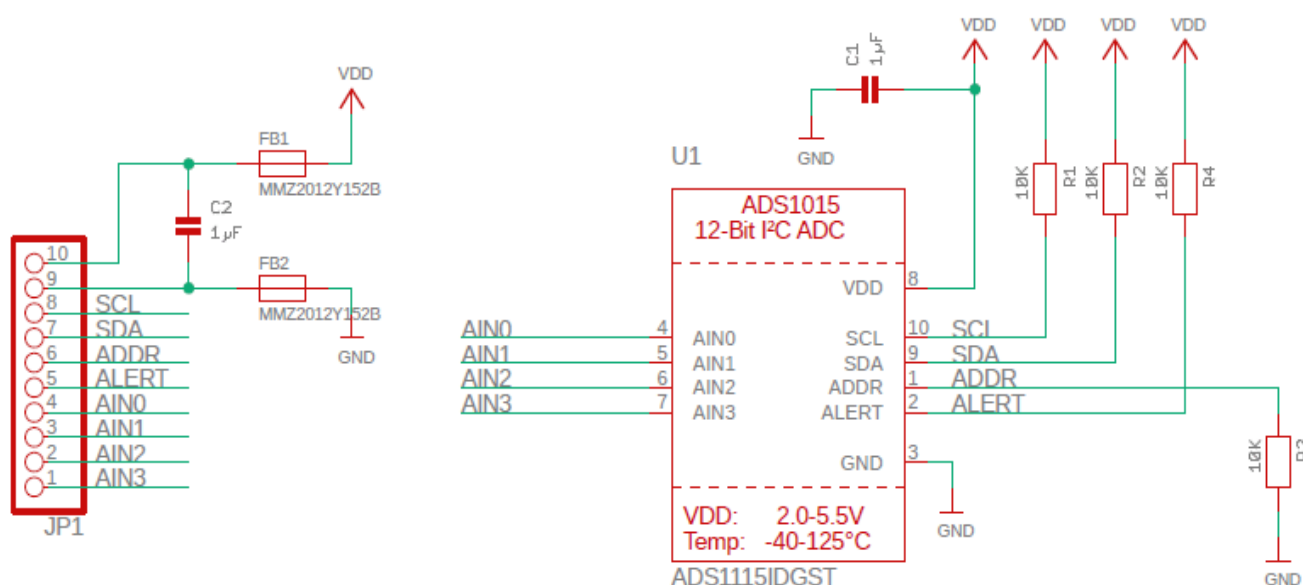


Рисунок 2.7 – Електрична схема модуля АЦП ADS1115

Завдяки інтерфейсу I²C, модуль легко інтегрується з популярними мікроконтролерами, такими як ESP32, Arduino або Raspberry Pi. Крім того, можливість задання адреси дозволяє використовувати кілька ADS1115 на одній шині I²C. Основні параметри модуля ADXL345 наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри модуля АЦП ADS1115

Параметр	Значення
Роздільна здатність АЦП	16 біт
Кількість каналів	4 одноканальні або 2 диференційні
Тип входу	Single-ended або Differential
Інтерфейс зв'язку	I ² C (до 860 SPS)
Напруга живлення	2,0 – 5,5 В
Вхідна напруга	±6,144 В (залежить від PGA)
Програмований коефіцієнт підсилення	±6,144 В; ±4,096 В; ±2,048 В; ±1,024 В; ±0,512 В; ±0,256 В
Частота дискретизації	До 860 вибірок/секунда
Споживана потужність	< 150 μА у режимі вибірки
Робочий температурний діапазон	–40°C до +125°C

ADS1115 є оптимальним вибором для використання у комп'ютеризованій системі виявлення сейсмічної активності з кількох причин. Висока розрядність дозволяє вловлювати дрібні зміни аналогових сигналів, що критично важливо для точного аналізу вібрацій або змін у магнітному полі. Підтримка кількох каналів дає змогу підключати до одного модуля декілька аналогових сенсорів без потреби в додаткових перетворювачах.

По-третє, наявність програмованого підсилювача дозволяє адаптувати модуль до широкого спектру сенсорів, зокрема тих, що мають малий вихідний сигнал. І, нарешті, простота інтеграції з платформами на базі Raspberry Pi дозволяє зменшити часові витрати на розробку програмної частини системи. Завдяки низькому енергоспоживанню модуль підходить і для автономних систем, які живляться від акумулятора.

Загалом, модуль ADS1115 забезпечує поєднання точності, гнучкості та енергоефективності, що робить його важливим компонентом у реалізації надійної IoT-системи моніторингу сейсмічної активності.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.5 Модуль акселерометра ADXL345

Акселерометр ADXL345 — це малогабаритний цифровий давач [8], що здатний вимірювати прискорення у трьох просторових осях (X, Y, Z). Його основою є мікросхема ADXL345, яка широко застосовується у портативній електроніці, медичних приладах, системах навігації, мобільних пристроях і, зокрема, в комп'ютеризованих системах моніторингу руху або вібрацій, включно з сейсмічними системами (рис. 2.8).

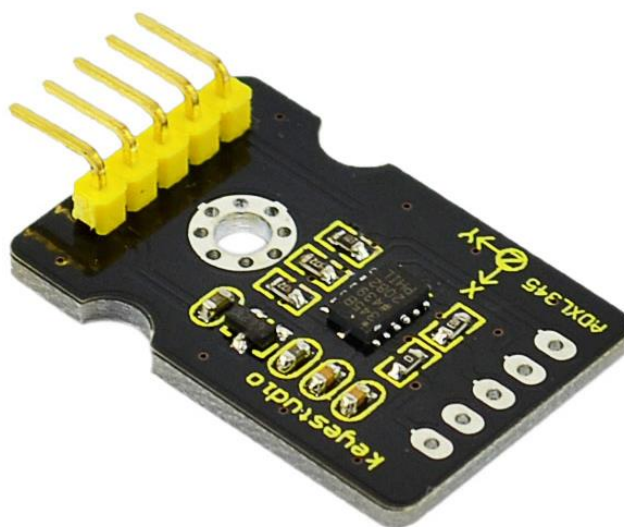


Рисунок 2.8 – Модуль акселерометра ADXL345

Давач змонтований на компактній друкованій платі, яка включає мікросхему ADXL345, обв'язку пасивних компонентів (фільтри, резистори), роз'єм для підключення живлення і шин зв'язку, а також виводи з логічними рівнями 3,3 В і 5 В, що сумісно з більшістю мікроконтролерів та мікрокомп'ютерів (рис. 2.9). Передбачена можливість підключення по I²C або SPI, що забезпечує гнучкість при проектуванні IoT-рішень.

Принцип роботи акселерометра базується на вимірюванні ємності між фіксованими та рухомими елементами всередині мікросхеми, які зміщуються під дією інерційних сил. Це дозволяє точно визначати прискорення, яке діє на давач, а також нахил чи вібрацію. ADXL345 може працювати в режимі вимірювання як статичних, так і динамічних навантажень.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

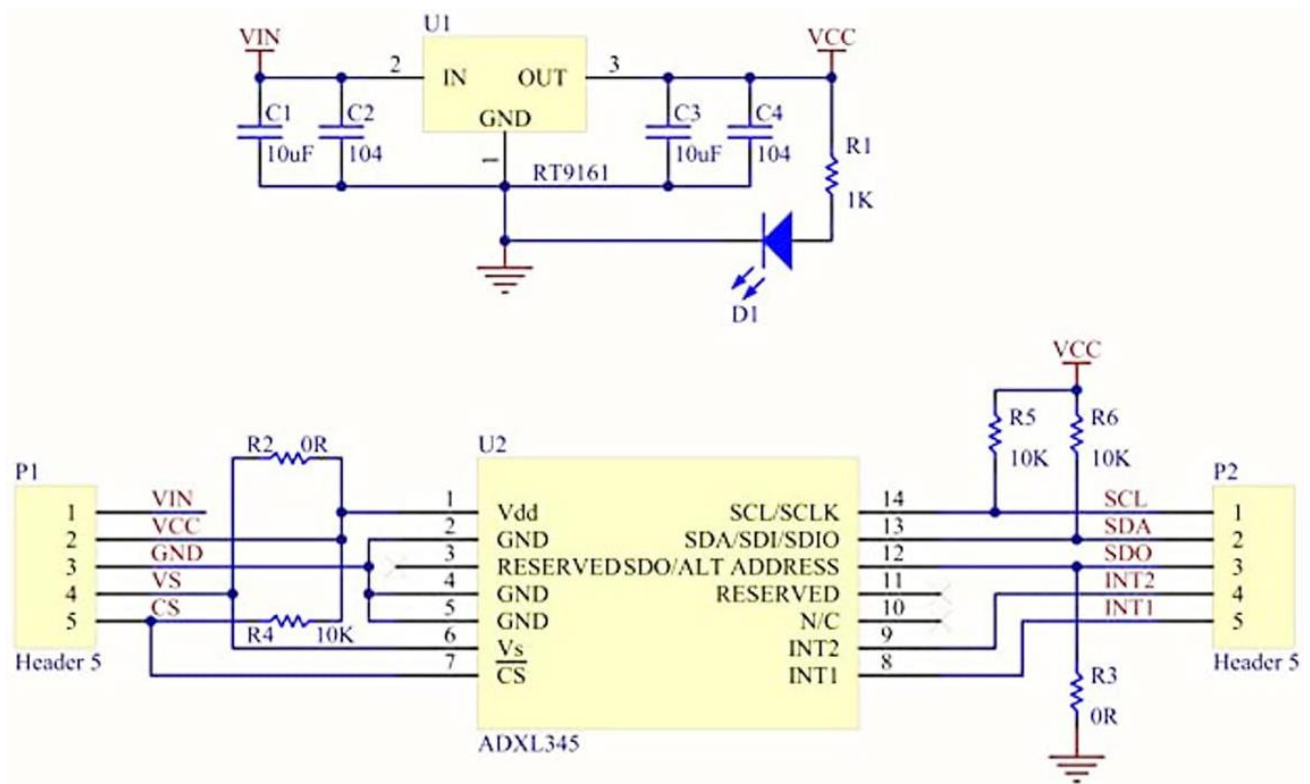


Рисунок 2.9 – Електрична схема модуля акселерометра ADXL345

Основні параметри модуля ADXL345 наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри модуля ADXL345

Параметр	Значення
Кількість осей	3 (X, Y, Z)
Тип інтерфейсу	I ² C (до 400 кГц) / SPI (до 5 МГц)
Напруга живлення	2,0–3,6 В (на платі 3,3/5 В)
Робочий діапазон прискорень	±2g, ±4g, ±8g, ±16g
Роздільна здатність	До 13 біт
Частота вибірки	До 3200 Гц
Споживання струму	~40–145 мкА

Використання ADXL345 у комп'ютерній системі дистанційного виявлення сейсмічної активності є обґрунтованим через кілька важливих факторів. Насамперед, його висока чутливість та багатофункціональність дозволяють

фіксувати як незначні коливання, пов'язані з мікросейсмічними процесами, так і більш інтенсивні рухи, спричинені сейсмічною активністю. Це робить його надійним джерелом даних для аналізу вібраційних змін.

Важливою перевагою є також висока частота вибірки до 3200 Гц, яка забезпечує точне відстеження швидкоплинних змін у русі. Завдяки малому енергоспоживанню давач ідеально підходить для використання в IoT-системах з автономним живленням. Гнучкість підключення через SPI або I²C дозволяє легко інтегрувати його з мікроконтролерами або мікрокомп'ютерами.

Крім того, акселерометр має вбудовані режими енергозбереження, інтелектуальні можливості обробки сигналу, як-от детекція падіння чи руху, що відкриває перспективи для майбутньої модернізації системи. Також важливо, що ADXL345 має стабільні параметри у широкому температурному діапазоні, що дозволяє використовувати його в зовнішніх або складних кліматичних умовах.

З огляду на це, акселерометр ADXL345 є технічно доцільним, доступним і ефективним рішенням для інтеграції у систему дистанційного моніторингу сейсмічної активності. Його використання дозволяє підвищити точність збору даних і забезпечити оперативну передачу інформації до хмарної платформи в рамках IoT-архітектури.

2.2.6 Модуль магнітометра QMC5883L

Модуль QMC5883L – це цифровий тривимірний магнітометр [9], який широко застосовується в різноманітних електронних проєктах для орієнтації в просторі, визначення напрямку на магнітний північ, побудови цифрових компасів, а також для вимірювання слабких змін магнітного поля. Завдяки високій чутливості, малій вартості, сумісності з мікрокомп'ютерами та простоті інтеграції цей модуль є оптимальним рішенням для використання в комп'ютерній системі дистанційного виявлення сейсмічної активності (рис. 2.10).

Будова модуля QMC5883L GY-273 включає в себе сам магнітометр QMC5883L, стабілізатор напруги, фільтри шумів, а також I²C-шину для обміну даними з мікроконтролером. Основна мікросхема QMC5883L розміщена на платі

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з роз'ємами стандартного формату, що дозволяє легко підключати модуль до мікроконтролера чи мікрокомп'ютера.

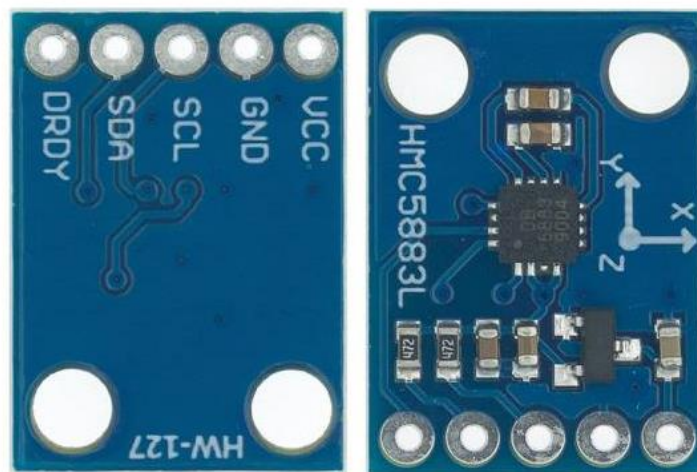


Рисунок 2.10 – Модуль магнітометра QMC5883L

Завдяки інтегрованим схемам обробки сигналів, QMC5883L забезпечує цифровий вихід у вигляді значень сили магнітного поля по трьох просторових осях (X, Y, Z), що спрощує його використання в системах реального часу. Основні технічні характеристики магнітометра QMC5883L зведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристики магнітометра QMC5883L

Параметр	Значення
Напруга живлення	3,3–5 В
Робочий інтерфейс	I ² C
Вимірювані осі	X, Y, Z (3-осьова система)
Діапазон вимірювання	$\pm 1.3 \dots 8$ Гс
Роздільна здатність	12 біт
Частота вимірювань	10–200 Гц
Температурний діапазон	від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$
Споживання струму	близько 100–200 мкА

Принцип роботи цього сенсора базується на ефекті Холла. Коли магнітне поле проходить через давач, воно викликає зміну напруги, яка вимірюється та перетворюється в цифрове значення внутрішнім АЦП. Давач здійснює вимірювання в трьох осях, що дозволяє точно фіксувати зміну орієнтації або магнітних збурень у середовищі. Це робить його корисним при створенні систем, здатних виявляти підземні коливання або зміну магнітного поля, які можуть бути пов'язані з сейсмічною активністю. Електрична схема модуля магнітометра QMC5883L наведена на рис. 2.11.

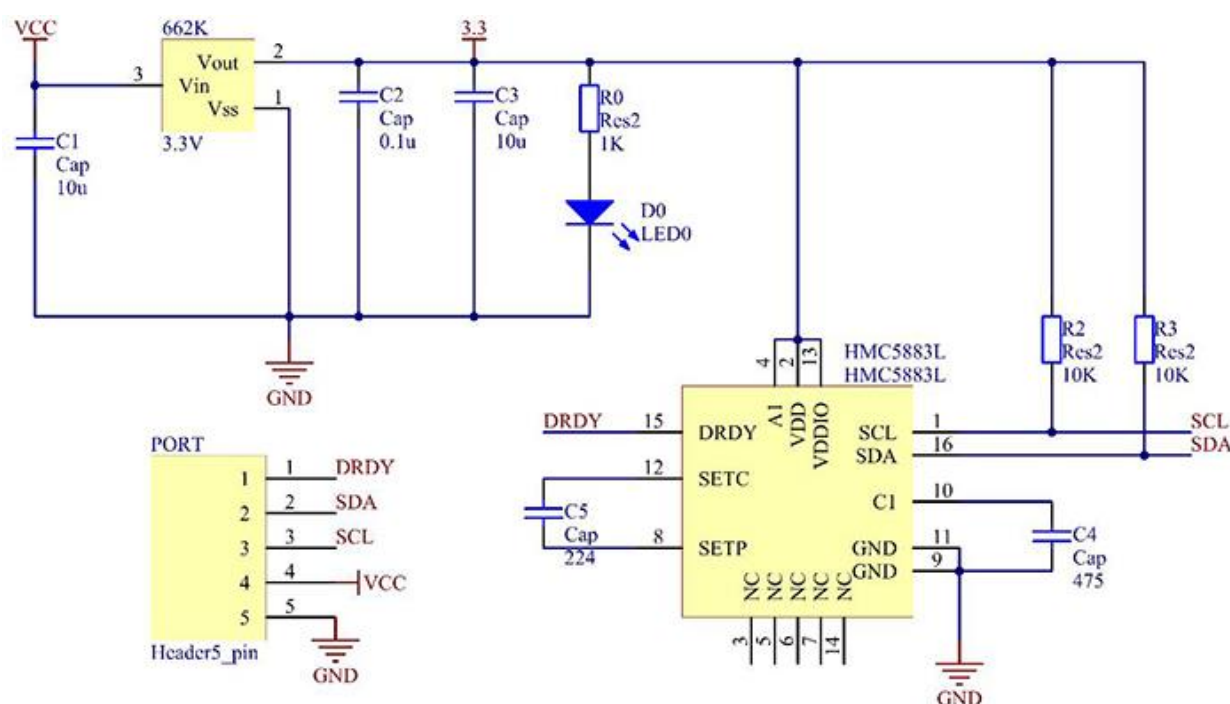


Рисунок 2.11 – Електрична схема модуля магнітометра QMC5883L

Вибір QMC5883L для проєктованої системи обґрунтовується його компактністю, низьким енергоспоживанням, простотою інтеграції, високою точністю, стабільністю вимірювань, а також широким температурним діапазоном експлуатації. Його I²C-інтерфейс дозволяє легко об'єднати декілька таких модулів у одну мережу з мікрокомп'ютером Raspberry Pi. У контексті дистанційного моніторингу сейсмічної активності, можливість точно фіксувати зміни в

магнітному полі є надзвичайно корисною, адже деякі коливання в надрах Землі можуть супроводжуватись такими змінами.

Отже, використання модуля QMC5883L у складі комп'ютеризованої IoT-системи для виявлення сейсмічної активності дозволяє підвищити точність фіксації слабких змін у середовищі, що може бути критично важливим для раннього виявлення потенційних землетрусів.

2.3 Розробка електричної схеми пристрою

Електрична схема пристрою для дистанційного виявлення сейсмічної активності представлена на рис. 2.12.

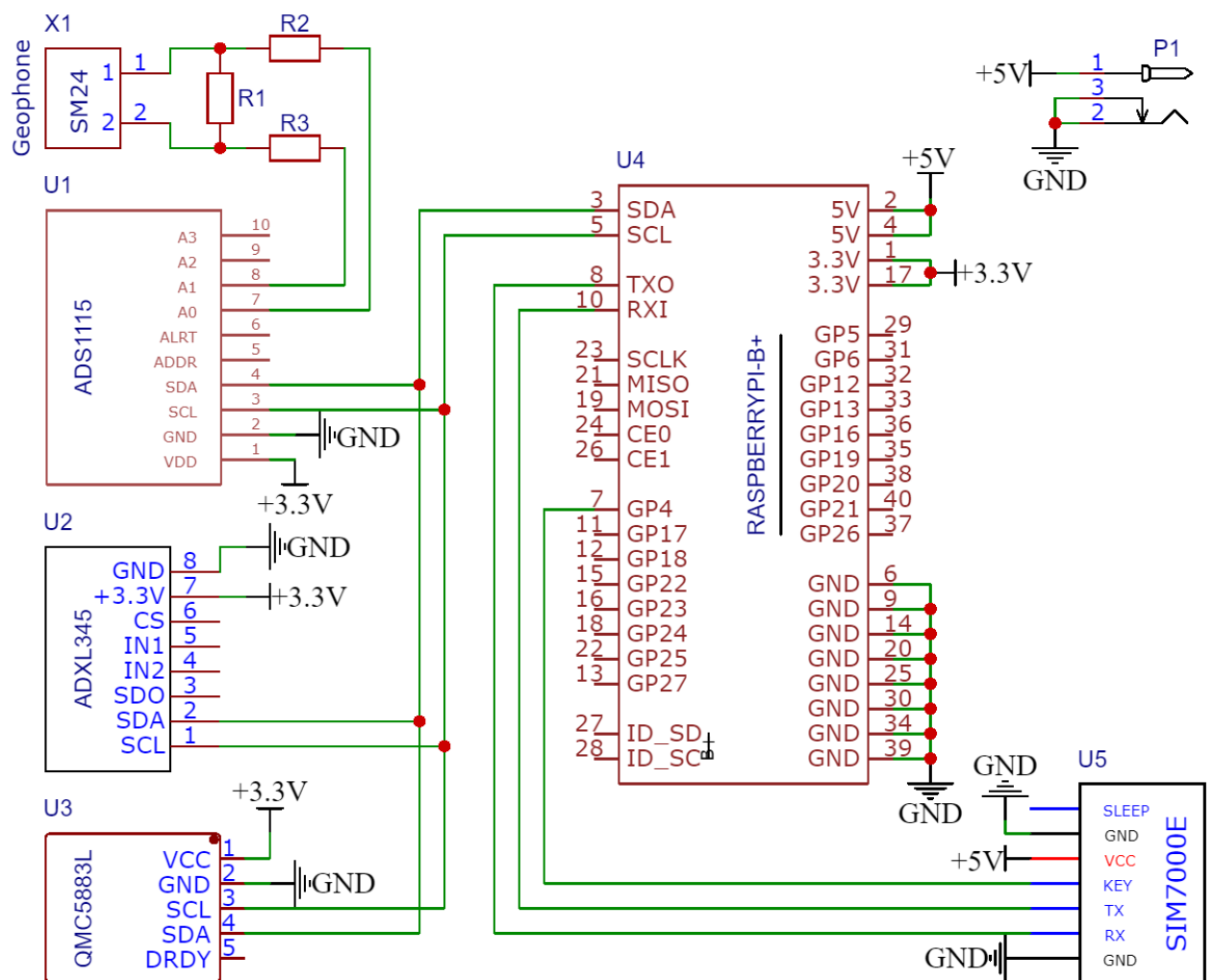


Рисунок 2.12 – Електрична схема пристрою для дистанційного виявлення сейсмічної активності

Центральним елементом електричної схеми є мікрокомп'ютер Raspberry Pi (U4), який виконує роль керуючого пристрою та хоста для всіх периферійних модулів. Саме Raspberry Pi відповідає за ініціалізацію, обробку сигналів, зберігання даних і комунікацію з хмарною платформою. До його GPIO-портів та інтерфейсів підключені основні сенсорні компоненти системи.

Для зчитування аналогових сигналів від геофона SM-24 (X1) використано модуль ADS1115 (U1), який є 16-бітовим АЦП з інтерфейсом I²C. Геофон під'єднано до аналогових входів ADS1115 (A0 і A1) через резистори R2 і R3. Живлення модуля ADS1115 здійснюється від лінії 3,3 В Raspberry Pi, що дозволяє уникнути проблем з рівнями логіки.

Окремо підключається акселерометр ADXL345 (U2), який також використовує інтерфейс I²C. Виводи SDA та SCL цього модуля з'єднуються відповідно з GPIO2 (SDA) і GPIO3 (SCL) Raspberry Pi. ADXL345 живиться від 3,3 В, що відповідає логічному рівню Raspberry Pi.

Також до цієї ж шини I²C підключено магнітометр QMC5883L (U3), який працює з тими ж виводами SDA/SCL. Завдяки унікальній адресації модулів на шині I²C (різні адреси у ADS1115, ADXL345 і QMC5883L), забезпечується коректна взаємодія між усіма компонентами.

Для забезпечення бездротової передачі даних використовується NB-IoT модуль SIM7000E (U5), який підключено до Raspberry Pi через UART-інтерфейс. Живлення модуля зв'язку здійснюється від зовнішнього джерела на 5 В. Усі елементи схеми мають спільну землю (GND), що забезпечує коректну роботу інтерфейсів.

Загалом, електрична принципова схема пристрою об'єднує всі компоненти в єдину цілісну систему, де Raspberry Pi виступає як центральний контролер, що забезпечує взаємодію сенсорів, АЦП та модуля зв'язку. Всі з'єднання та сигнальні лінії виконані з урахуванням вимог до живлення, рівнів логіки та електричної сумісності, що гарантує надійність та стабільність роботи пристрою в польових умовах.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розроблення алгоритму роботи системи дистанційного виявлення сейсмічної активності

Алгоритм роботи системи дистанційного виявлення сейсмічної активності визначає порядок взаємодії між усіма апаратними й програмними компонентами системи, забезпечує логіку збору, обробки, передачі та зберігання даних, а також реалізує можливість оперативного виявлення змін у сейсмічній активності.

На першому етапі алгоритму відбувається ініціалізація обладнання: операційна система Raspberry Pi завантажується та автоматично запускає скрипт, написаний мовою Python. Скрипт виконує перевірку підключення всіх давачів: геофона SM-24 через АЦП ADS1115, акселерометра ADXL345 та магнітометра QMC5883L по інтерфейсу I²C.

Якщо якийсь із підключень не пройшло перевірку, в лог-файл записується повідомлення про помилку, а система переходить у режим очікування або перезавантаження з метою спроби повторної ініціалізації.

Після успішної ініціалізації виконується перехід до основного циклу збору та обробки даних (рис. 3.1). Сигнали з геофона надходять на аналоговий вхід ADS1115, де відбувається їх дискретизація з роздільною здатністю 16 біт. Цифрові значення напруги передаються на Raspberry Pi з частотою, визначеною в налаштуваннях. Паралельно з цим акселерометр та магнітометр передають у трьохвимірному просторі значення прискорень та магнітного поля відповідно. Усі зібрані дані синхронізуються в єдиний часовий ряд для подальшого об'єднаного аналізу.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Борщ О.С.			Практична частина	Літ.	Арк.
Перевірив		Осухівська Г.М.					Аркушів
Рецензент		Небесний Р.М.					38
Н. Контр.		Луцик Н.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41	
Зав. каф.		Осухівська Г.М.					

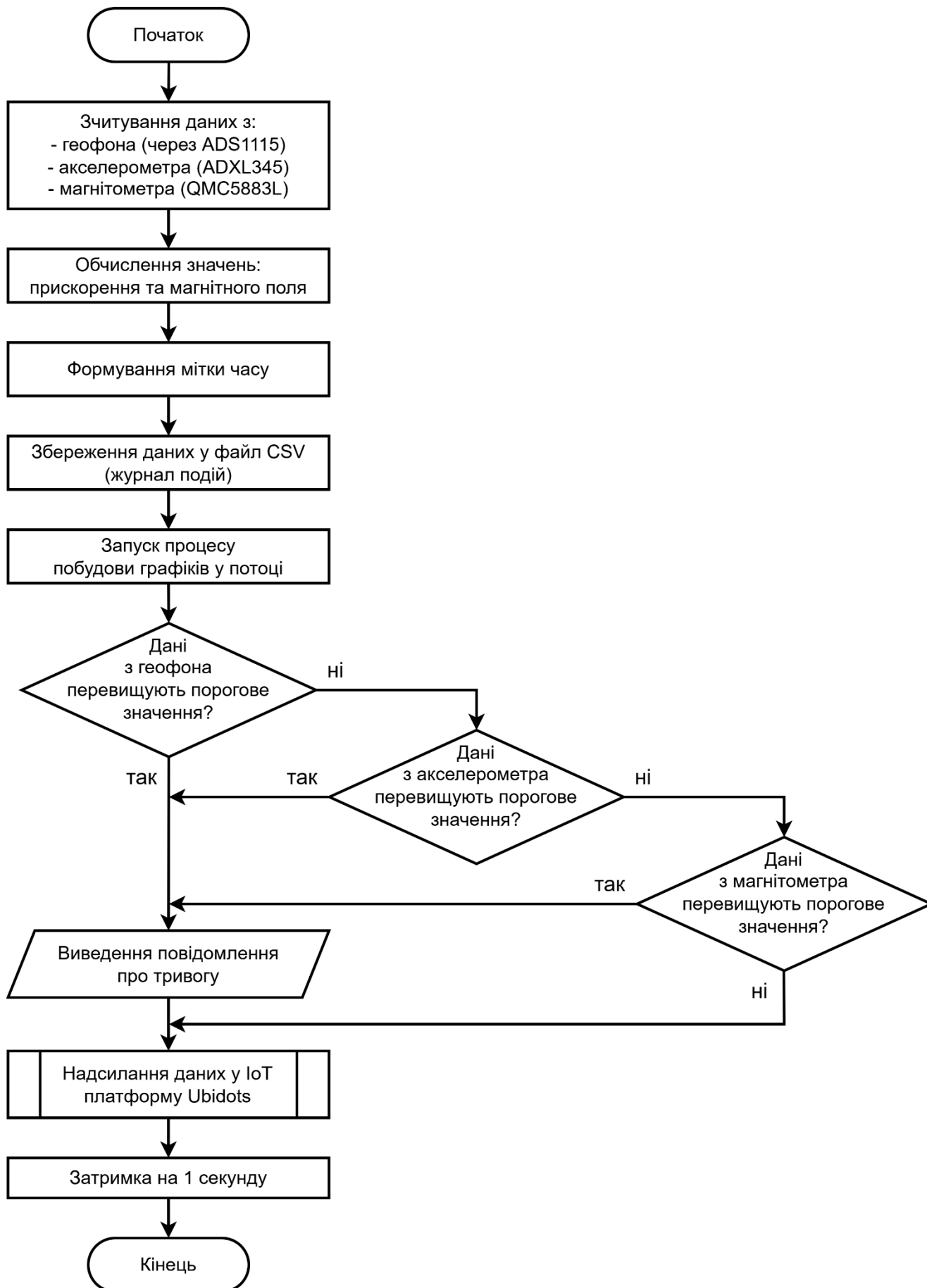


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму основного циклу системи дистанційного виявлення сейсмічної активності

Наступним етапом є попередня обробка даних на боці Raspberry Pi. Застосовуються фільтри згладжування сигналу та алгоритми виявлення пікових значень. Особливу увагу приділяють перевищенню встановлених порогів, які відповідають початковим ознакам сейсмічної активності. У випадку виявлення різких змін або комплексних аномалій (одночасні сигнали з геофона і акселерометра), дані позначаються як потенційно небезпечні.

Після фільтрації виконується формування структурованого пакета даних, що містить значення з усіх сенсорів, часову мітку, унікальний ідентифікатор пристрою, а також позначення про характер події (звичайне спостереження або сигнал тривоги). Цей пакет передається через WiFi, Ethernet або модем SIM7000E з використанням NB-IoT протоколу до хмарної платформи. Перевагою використання цього типу зв'язку є енергоефективність і можливість передачі даних на великі відстані навіть у місцевості зі слабким покриттям.

На платформі Ubidots дані приймаються через API, зберігаються у вигляді змінних та відображаються в реальному часі у вигляді графіків. Крім того, при надходженні тривожного сигналу система може автоматично активувати відповідні сценарії: надсилання email, push-повідомлення або HTTP-запиту на зовнішні сервіси. Це дозволяє швидко реагувати на загрози, навіть у віддалених регіонах.

Важливо, що алгоритм реалізовано у вигляді модульної програми з можливістю розширення: при необхідності можуть бути додані нові давачі, розширено обробку даних або змінено логіку фільтрації без суттєвої переробки основної структури коду. Це робить систему гнучкою та придатною до масштабування.

Отже, розроблений алгоритм забезпечує надійний, адаптивний і функціонально завершений механізм збору, обробки та передачі сейсмічних даних із застосуванням технологій IoT. Його реалізація сприяє підвищенню рівня моніторингу сейсмічної активності в реальному часі та є основою для створення ширшої мережі спостереження у сейсмонебезпечних регіонах.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програмного забезпечення

У процесі розробки ПЗ для комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням IoT-технологій було використано низку бібліотек мови Python, які забезпечили зручний інтерфейс для роботи з апаратними компонентами системи, а також дозволили реалізувати графічне відображення даних та взаємодію з хмарною платформою (рис. 3.2).

```
import time
import math
import serial
import smbus2
import threading
import Adafruit_ADS1x15
from ubidots import ApiClient
import matplotlib.pyplot as plt
from collections import deque
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду з підключенням бібліотек

Бібліотека `time` забезпечує функціональність для роботи з часом. Вона використовується для затримок між циклами зчитування даних, форматування мітки часу під час логування, а також синхронізації роботи окремих частин програми.

Бібліотека `math` використовується для виконання математичних обчислень, зокрема — для обчислення модуля вектора прискорення та магнітного поля за допомогою формули кореня квадратного з суми квадратів координат.

Бібліотека `serial` призначена для роботи з послідовним портом Raspberry Pi. У цьому проєкті вона використовується для обміну даними з модулем стільникового зв'язку SIM7000E, якщо передбачено передавання даних через мережу NB-IoT або LTE Cat-M1.

Бібліотека `smbus2` забезпечує доступ до шини I²C, яка використовується для зчитування даних з цифрових датчиків, таких як акселерометр ADXL345 та магнітометр QMC5883L. `smbus2` є розширеною та більш стабільною версією

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стандартної бібліотеки `smbus`, що дозволяє більш гнучко керувати пристроями, підключеними до шини.

Бібліотека `threading` дає змогу запускати окремі частини програми паралельно, у фоновому режимі. Це дозволяє реалізувати побудову графіків у реальному часі без зупинки основного циклу збору та надсилання даних.

Бібліотека `Adafruit_ADS1x15` забезпечує доступ до функціоналу АЦП `ADS1115`, що використовується для зчитування аналогових сигналів із геофона `SM-24`. Вона надає простий інтерфейс для ініціалізації пристрою, вибору коефіцієнта підсилення та зчитування значень з окремих каналів.

Бібліотека `ubidots` (зокрема модуль `ApiClient`) використовується для взаємодії з хмарною IoT-платформою `Ubidots`. Вона забезпечує автентифікацію за токеном доступу, створення або отримання пристроїв, а також надсилання зібраних сенсорних даних до відповідних змінних у хмарному середовищі.

Бібліотека `matplotlib.pyplot` використовується для побудови графіків показників сенсорів у реальному часі безпосередньо на дисплеї, підключеному до `Raspberry Pi`. Вона дозволяє візуалізувати поточні зміни сигналів з геофона, акселерометра та магнітометра у вигляді оновлюваних лінійних графіків.

Нарешті, модуль `deque` з бібліотеки `collections` застосовується для зберігання обмеженої кількості останніх значень показників сенсорів у вигляді кільцевого буфера. Це дає змогу побудувати графік на основі останніх 100 вимірювань без накопичення надлишкових даних у пам'яті.

В основній частині програми реалізовано функції ініціалізації та зчитування даних із сенсорів, а також запис отриманих даних до лог-файлу та побудову графіків у реальному часі. Ці функції забезпечують безперебійну взаємодію з апаратною частиною системи та її візуалізаційною складовою.

Першими визначено функції для роботи з тривісним акселерометром `ADXL345` (рис. 3.3). Функція `init_adxl345()` активує сенсор шляхом запису значення `0x08` до регістру живлення `0x2D`, що вмикає режим вимірювання. Функція `read_adxl345()` зчитує шість байтів даних із регістру `0x32`, у яких

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зберігаються значення прискорення по осях X, Y та Z. Дані обробляються з урахуванням формату додаткового коду, для чого використовується допоміжна функція `twos_complement()`, що виконує перетворення 16-бітового значення з доповненням до двійки у десятковий формат.

```
# --- Ініціалізація давачів ---
def init_adxl345():
    bus.write_byte_data(ADXL345_ADDR, 0x2D, 0x08)

def read_adxl345():
    data = bus.read_i2c_block_data(ADXL345_ADDR, 0x32, 6)
    x = twos_complement(data[1] << 8 | data[0], 16)
    y = twos_complement(data[3] << 8 | data[2], 16)
    z = twos_complement(data[5] << 8 | data[4], 16)
    return x, y, z
```

Рисунок 3.3 – Лістинг функцій для роботи з акселерометром ADXL345

Аналогічна логіка застосована до цифрового магнітометра QMC5883L. Функція `init_qmc5883l()` налаштовує сенсор через запис значень до регістрів керування — активує режим вимірювання та задає конфігурацію. Функція `read_qmc5883l()` зчитує шість байтів з осей X, Y та Z і так само використовує функцію `twos_complement()` для коректного відображення результатів. Завдяки цим функціям система отримує інформацію про зміну магнітного поля навколо пристрою, що може бути ознакою сейсмічного впливу (рис. 3.4).

```
def init_qmc5883l():
    bus.write_byte_data(QMC5883L_ADDR, 0x0B, 0x01)
    bus.write_byte_data(QMC5883L_ADDR, 0x09, 0x1D)

def read_qmc5883l():
    data = bus.read_i2c_block_data(QMC5883L_ADDR, 0x00, 6)
    x = twos_complement(data[1] << 8 | data[0], 16)
    y = twos_complement(data[3] << 8 | data[2], 16)
    z = twos_complement(data[5] << 8 | data[4], 16)
    return x, y, z

def twos_complement(val, bits):
    if val & (1 << (bits - 1)):
        val -= (1 << bits)
    return val
```

Рисунок 3.4 – Лістинг функцій для роботи з магнітометром QMC5883L

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо реалізована функція `init_sim7000e()`, яка забезпечує ініціалізацію стільникового модему SIM7000E через послідовний порт `/dev/serial0`. Ця частина коду є опціональною, але корисною для систем, які потребують автономної передачі даних через мобільний інтернет. Команди AT надсилаються до модему для встановлення з'єднання з мережею: активується підключення до GPRS, скидається попередня сесія, і модем готується до роботи з TCP/IP (рис. 3.5).

```
# --- Ініціалізація модему (опціонально) ---
def init_sim7000e():
    sim = serial.Serial("/dev/serial0", baudrate=9600, timeout=1)
    sim.write(b'AT\r')
    time.sleep(1)
    sim.write(b'AT+CGATT=1\r')
    time.sleep(1)
    sim.write(b'AT+CIPSHUT\r')
    time.sleep(1)
    return sim
```

Рисунок 3.5 – Лістинг функції `init_sim7000e()`

Функція `log_data()` відповідає за збереження сенсорних даних у CSV-файл на пристрої. До файлу `sensor_log.csv` у кожному рядку додається мітка часу разом із поточними значеннями геофона, акселерометра та магнітометра. Це дозволяє зберігати повну історію подій для подальшого аналізу чи відлагодження роботи системи.

Функція `plot_live()` забезпечує локальну візуалізацію даних у реальному часі безпосередньо на екрані Raspberry Pi (рис. 3.6). Для цього використовується бібліотека `matplotlib` у інтерактивному режимі. Побудовано три підграфіки: для сигналів геофона, акселерометра та магнітометра. Кожен графік автоматично оновлюється в циклі, що дозволяє користувачу миттєво спостерігати за змінами, зокрема за потенційними поштовхами або коливаннями, візуально, без необхідності додаткових аналітичних інструментів. Такий підхід значно підвищує оперативність реагування на події.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

```

# --- Побудова графіків у реальному часі ---
def plot_live():
    plt.ion()
    fig, ax = plt.subplots(3, 1, figsize=(10, 8))

    while True:
        ax[0].cla()
        ax[1].cla()
        ax[2].cla()

        ax[0].plot(list(geo_data), label="Geophone (V)", color='red')
        ax[1].plot(list(accel_data), label="Accel", color='green')
        ax[2].plot(list(mag_data), label="Magnetic", color='blue')

        for a in ax:
            a.legend()
            a.grid()

        plt.tight_layout()
        plt.pause(0.1)

```

Рисунок 3.6 – Лістинг функції init_sim7000e()

Основна функція main() координує всі ключові процеси: ініціалізацію сенсорів, збір та обробку даних, візуалізацію, логування, виявлення тривожних подій та передачу даних на віддалений сервер. Цей цикл безперервно виконується після запуску програми, забезпечуючи роботу сейсмічного детектора в реальному часі (рис. 3.7).

На початку функції виконується ініціалізація акселерометра ADXL345 та магнітометра QMC5883L за допомогою відповідних функцій init_adxl345() та init_qmc5883l(). За потреби можна активувати також модем SIM7000E, закоментований у коді. Після цього у фоновому потоці запускається функція plot_live(), яка відповідає за побудову графіків у реальному часі. Завдяки використанню модуля threading графіки працюють паралельно з основним циклом збору даних, не блокуючи його.

Основний цикл while True безперервно виконує зчитування даних із геофона (через АЦП), акселерометра та магнітометра. Значення з геофона отримуються з першого каналу АЦП і перетворюються у вольти. Потім обчислюється загальна величина прискорення за трьома осями (модуль вектора) на основі даних з

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ADXL345, а також загальна індукція магнітного поля — з даних QMC5883L.

Поточний час фіксується у форматі дати та часу.

```
# --- Основна функція ---
def main():
    print("Ініціалізація...")
    init_adxl345()
    init_qmc5883l()
    # sim = init_sim7000e() # Якщо потрібно

    threading.Thread(target=plot_live, daemon=True).start()
    print("Система працює.")

    while True:
        try:
            geophone_voltage = adc.read_adc(0, gain=GAIN) * 0.1875 / 1000
            ax, ay, az = read_adxl345()
            accel_mag = math.sqrt(ax**2 + ay**2 + az**2)
            mx, my, mz = read_qmc5883l()
            mag_mag = math.sqrt(mx**2 + my**2 + mz**2)
            timestamp = time.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
            # Логування
            log_data(timestamp, geophone_voltage, accel_mag, mag_mag)
            # Збереження в буфер для графіків
            geo_data.append(geophone_voltage)
            accel_data.append(accel_mag)
            mag_data.append(mag_mag)
            # Тривога
            if geophone_voltage > GEO_THRESHOLD:
                print(f"[ТРИВОГА] Висока вібрація геофона: {geophone_voltage:.3f} V")
            if accel_mag > ACCEL_THRESHOLD:
                print(f"[ТРИВОГА] Високе прискорення: {accel_mag:.2f}")
            # Відправлення даних в Ubidots
            device.save_collection([
                {"variable": "geophone", "value": geophone_voltage},
                {"variable": "acceleration", "value": accel_mag},
                {"variable": "magnetic_field", "value": mag_mag}
            ])
            time.sleep(2)
```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду функції main()

Зібрані дані одразу записуються у лог-файл через функцію log_data(), а також зберігаються в буферах geo_data, accel_data і mag_data для подальшого використання у графічному інтерфейсі. Таким чином, кожна ітерація циклу не лише фіксує події, а й оновлює дані, які бачить користувач на графіках.

Ключовим елементом системи є механізм виявлення тривожних подій. Якщо напруга на геофоні перевищує визначене порогове значення (GEO_THRESHOLD),

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виводиться повідомлення про високу вібрацію. Аналогічно, якщо модуль прискорення перевищує встановлений поріг (ACCEL_THRESHOLD), повідомляється про аномально велике прискорення. Це дозволяє системі оперативно реагувати на потенційні сейсмічні чи механічні впливи.

У завершальній частині кожної ітерації виконуються дії з надсилення даних на платформу Ubidots за допомогою методу save_collection() об'єкта device. Надсилаються три змінні: геофон, прискорення та магнітне поле. Це дозволяє зберігати інформацію на сервері, що корисно для централізованого моніторингу та аналізу.

У випадку будь-якої помилки в процесі виконання (наприклад, втрати з'єднання або збою зчитування) спрацьовує блок ексерпт, який виводить повідомлення про помилку та чекає кілька секунд перед повторною спробою, забезпечуючи стабільність і живучість системи.

Отже, функція main() виконує роль центрального керуючого модуля, що забезпечує взаємодію між сенсорами, обробку даних, локальне логування, онлайн-візуалізацію та відправку інформації до хмарного сервісу.

3.3 Реалізація передачі даних на платформу Ubidots

Для реалізації комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення сейсмічної активності доцільним є використання хмарної IoT-платформи Ubidots, яка забезпечує надійне збирання, візуалізацію та аналіз даних з давачів. Ця платформа орієнтована на розробників, дослідників і освітні проєкти, надаючи доступ до широкого функціоналу для створення повноцінних IoT-рішень із мінімальними витратами на розгортання та обслуговування інфраструктури.

У процесі реалізації комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності було проведено налаштування хмарної IoT-платформи Ubidots STEM, яка забезпечує гнучку інтеграцію з одноплатними комп'ютерами, зокрема Raspberry Pi, і дозволяє зберігати, візуалізувати та аналізувати

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

телеметричні дані в реальному часі. Уся конфігурація платформи виконувалася поетапно й адаптована до особливостей роботи саме з Raspberry Pi як основного вузла збору та передавання даних.

На першому етапі в інтерфейсі платформи було створено новий віртуальний пристрій (device), що ідентифікував комп'ютер Raspberry Pi у системі. У межах цього пристрою було створено набір змінних (variables), які відповідали параметрам, що зчитувалися з датчиків — зокрема, даним від геофона, акселерометра та магнітометра (рис. 3.8).

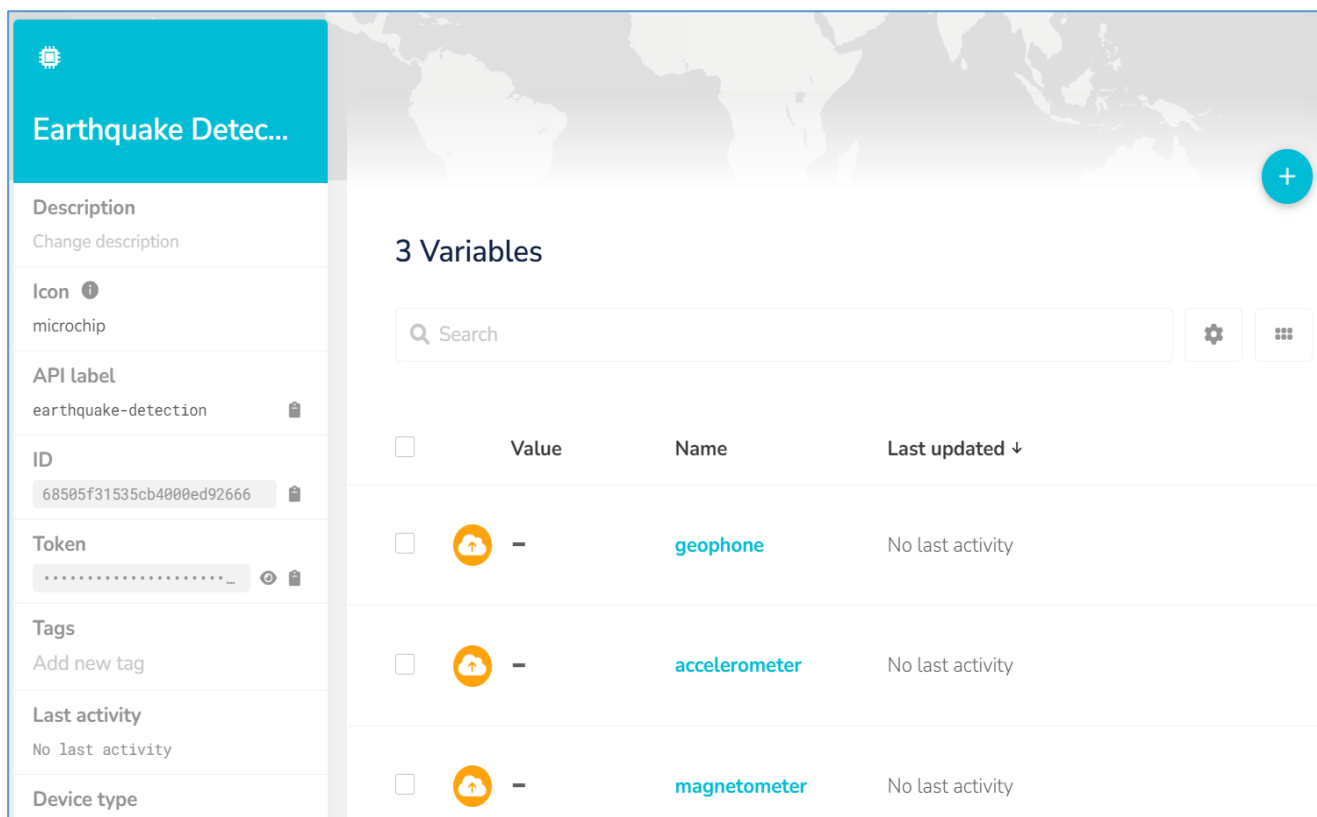


Рисунок 3.8 – Створення змінних на платформі Ubidots

На наступному етапі було налаштовано саму Raspberry Pi для взаємодії з Ubidots. Було встановлено операційну систему Raspberry Pi OS, а також необхідні модулі Python, зокрема requests — бібліотека, що дозволяє реалізувати HTTP-запити. У середовищі Python було запущено програмний скрипт, який обробляв сигнали від сенсорів, виконував попередню фільтрацію й обчислення, а далі формував та надсилав дані на Ubidots у форматі JSON через протокол HTTP POST.

Для аутентифікації в кожному запиті використовувався персональний токен доступу (API token), згенерований у профілі користувача Ubidots. Передавання даних відбувалося через запити типу POST на визначену адресу API. Дані надсилалися з частотою 1 раз на секунду.

Після успішного надсилання перших даних було створено дашборд — візуальну панель моніторингу стану системи. На дашборд було винесено графіки значень сейсмічної активності, векторного прискорення та змін магнітного поля.

Окремо було реалізовано функцію сповіщень: у платформі налаштовано тригери (events), які активуються у випадку перевищення порогових значень сейсмічної активності. У разі спрацювання тригера користувачу надсилається email або HTTP-запит до сторонньої системи (наприклад, для логування або аварійної реакції).

Завершальним етапом налаштування була перевірка коректності обробки та візуалізації даних, а також тестування стабільності підключення Raspberry Pi до хмарної платформи через Wi-Fi та Ethernet. Усі функції працювали стабільно, із мінімальними затримками, що підтвердило ефективність обраної архітектури.

Хмарна платформа Ubidots була успішно інтегрована з Raspberry Pi, що дозволило реалізувати надійне, масштабоване рішення для дистанційного моніторингу сейсмічної активності в реальному часі.

3.4 Моделювання роботи системи

Під час розробки комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності було проведено моделювання її роботи з використанням онлайн-середовища Cirkuit Designer, яке дозволяє створювати структурні та принципові електричні схеми, тестувати з'єднання між елементами, а також візуалізувати логіку їх взаємодії. Метою даного етапу стало підтвердження працездатності запропонованої архітектури системи до виготовлення фізичного прототипу.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У середовищі було побудовано функціональну модель апаратної частини системи, яка включає мікрокомп'ютер Raspberry Pi, модуль АЦП ADS1115, сенсор вібрацій (емульований як аналоговий вхід, що імітує геофон), акселерометр ADXL345 та магнітометр QMC5883L, які з'єднані через інтерфейс I²C. Для моделювання подачі аналогового сигналу на вхід АЦП використовувалися змінні резистори, що імітують зміну рівня вібрації в середовищі (рис. 3.9). Це дозволило перевірити реакцію системи на зміни вхідного сигналу, а також коректність логіки визначення порогових значень.

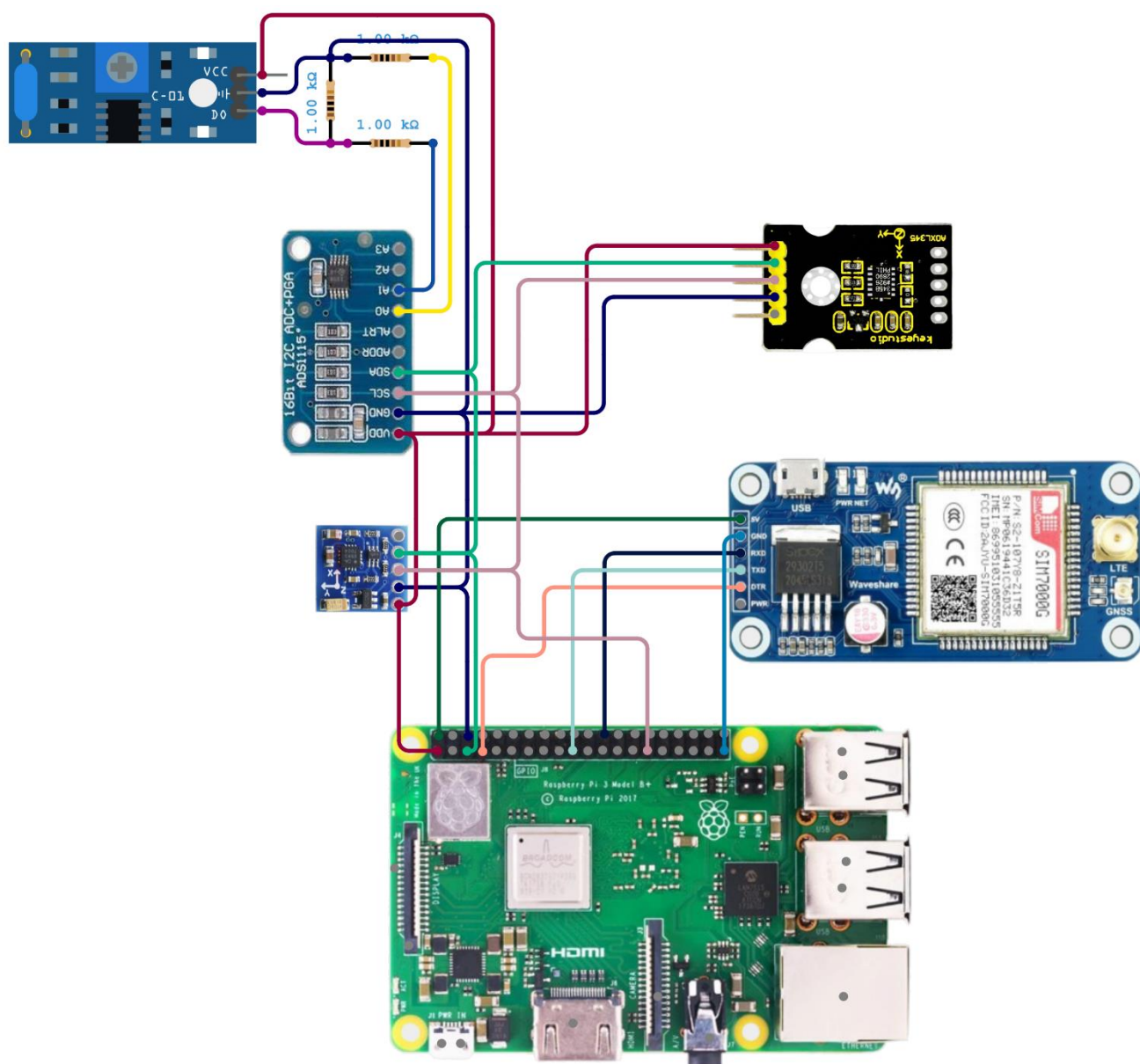


Рисунок 3.9 – Модель комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Особливу увагу під час моделювання було приділено перевірці узгодженості напруг живлення між компонентами, правильності з'єднання шин SDA та SCL для І²C-пристроїв, а також відповідності логіки отримання цифрових даних на основі аналогових вимірів. Умовно було реалізовано цикл обробки даних, в рамках якого віртуальні значення з сенсорів аналізувались програмним кодом, і за їх значенням система активувала умовні сигнали тривоги. Крім цього, перевірялося зчитування даних з усіх підключених давачів у послідовності, яка відповідає реальному робочому циклу.

Під час візуалізації схеми в Cirket Designer використовувалися позначення та компоненти, наближені до реальних, що сприяло наочному представленню архітектури пристрою. Умовно було показано, як дані передаються на віртуальну хмарну платформу після перевірки порогових значень, а також як вони могли б зберігатися в локальному лог-файлі.

Отже, моделювання в Cirket Designer дозволило перевірити працездатність логіки побудованої системи, перевірити правильність структурного підключення компонентів, а також підготувати платформу для подальшої фізичної реалізації. Це дозволило мінімізувати можливі помилки ще на етапі проектування та забезпечити більшу впевненість у коректності майбутнього функціонального прототипу.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Стихійні лиха та їх класифікація

Стихійні дії сил природи, поки що не повною мірою підвладні людині та щорічно завдають державі і населенню величезних збитків. Стихійні лиха – це такі явища природи, що викликають екстремальні ситуації, порушують нормальну життєдіяльність населення, роботу безлічі об'єктів. Стихійні лиха є трагедією для будь-якої держави. Через стихійні лиха страждає економіка країни, бо при цьому руйнуються виробничі підприємства, знищуються матеріальні цінності, гинуть люди.

Стихійні лиха – небезпечні природні явища раптового походження, хоча іноді і прогнозовані за допомогою метеорології, але на інтенсивність яких люди впливати не можуть. Їх можна класифікувати: за швидкістю переміщення – землетруси, зсуви, цунамі, снігопади, ожеледі – швидкі; підвищення рівня води в ріках через інтенсивні опади або танення снігу, льоду (повені), звільнення внутрішньої енергії Землі, виверження вулканів – повільні. Часто виникають потужні, високошвидкісні потоки повітря через швидкий перепад значень атмосферного тиску (урагани, смерчі, циклони). Стихійні лиха речовинного характеру можуть ініціювати виникнення різноманітних полів, які негативно впливають на здоров'я, самопочуття людини.

Стихійні явища часто виникають в комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища визначаються трьома основними групами процесів – ендогенні, екзогенні та гідрометеорологічні. Стихійні лиха, які характерні для України, за структурою можна поділити на прості, що включають один елемент – наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус та складні. Вони складаються з декількох процесів однієї групи або кількох груп. Найбільші збитки спричиняють повені – 40 %, на другому місці – циклони (20 %), на третьому –

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Борщ О.С.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
Перевірив		Осухівська Г.М.					
Консульт.		Пилипець М.І.					
Н. Контр.		Луцик Н.С.					
Зав. каф.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						52	7
					ТНТУ, каф. КС, гр. ІІс-41		

посухи та землетруси (15 %). Деякі стихійні лиха (пожежі, обвали, зсуви і навіть землетруси) можуть виникати в результаті дій самих людей, тобто мають антропогенне походження, але наслідки їх завжди є діями сил природи. Для кожного стихійного лиха характерна наявність властивих йому вражаючих чинників, що несприятливо впливають на стан здоров'я, життя людини [33].

Причинами стихійних лих можуть бути:

- швидке переміщення речовини (землетрусу, зсуви);
- вивільнення внутрішньоземної енергії (вулканічна діяльність, землетруси);
- підвищення рівня вод річок, ставків і морів (повені, цунамі);
- вплив надзвичайно сильного вітру (урагани, торнадо, циклони).

Важливо своєчасно провести роботи, спрямовані на локалізацію природного лиха, щоб зменшити зони руйнувань, звести до мінімуму кількість загиблих та постраждалих.

В Україні найчастіше спостерігаються такі надзвичайні ситуації природного характеру:

- небезпечні геологічні явища (зсуви, обвали, осипки, просадки земної поверхні);
- небезпечні метеорологічні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь);
- небезпечні гідрологічні явища (повені, паводки);
- природні пожежі лісових та торф'яних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин, рослин.

В останні роки кількість стихійних лих в Україні та в світі в цілому значно збільшилася. Найчастіше в Україні виникають такі природні катастрофи як землетруси, повені, посухи (на Півдні України), лісові пожежі в літню пору року, снігові замети, зсуви поверхні.

Землетрус — це сильні коливання земної кори, викликані тектонічними причинами, які призводять до руйнування споруд, пожеж та людських жертв. Коливання земної кори передається сейсмічними хвилями. Найсильніші вони в

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гіпоцентрі. З віддаленням від нього хвилі слабшають. Гіпоцентр, або осередок землетрусу, — місце в глибинах Землі, де зсуваються земні (гірські) породи. Епіцентр — точка на поверхні землі, що знаходиться прямо над гіпоцентром.

Основними характеристиками землетрусів є: глибина осередку, магнітуда та інтенсивність енергії на поверхні землі. Глибина осередку землетрусу зазвичай перебуває в межах від 10 до 30 км, в деяких випадках вона може бути значно більша. Магнітуда характеризує загальну енергію землетрусу і є логарифмом максимальної амплітуди зміщення ґрунту в мікронах, яка вимірюється за сейсмограмою на відстані 100 км від епіцентру. Магнітуда за Ріхтером вимірюється від 0 до 9 (найсильніший землетрус). Інтенсивність — це показник наслідків землетрусів, який характеризує розмір збитків, кількість жертв та характер сприйняття людьми психогенного впливу.

Є серйозні підстави вважати, що масштабність впливу лиха й катастроф на соціальні, економічні, політичні та інші процеси сучасного суспільства та їх драматизм вже перевищили такий рівень, який дозволяв ставитися до них як до локальних збоїв у функціонуванні державних та громадських структур [33].

Перед людиною та громадськістю в ХХІ столітті вимальовується нова мета — глобальна безпека. Досягти цього можна, в першу чергу, за допомогою зміни світогляду людини, а також покращення системи профілактичних заходів у боротьбі зі стихійними лихами, а саме: вдосконалення рятувальних служб та рятувальної техніки, проведення попереджувальних заходів та пропагандистської роботи з громадянами щодо правил поведінки та дій під час стихійних лих. Це допоможе в майбутньому зменшити кількість загиблих та постраждалих від природних катастроф, а також зменшить матеріальні збитки, що були завдані стихійним лихом.

Природні лиха з часом нікуди не зникнуть. Будуть виникати землетруси в геологічно активних районах, будуть виникати повені, а штормові припливи стануть, раз у раз затопляти морські узбережжя, не обійдеться і без пожеж. Людина безсила запобігти природним процесам, але тільки в наших силах зменшити кількість жертв і матеріальних втрат.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону

Оптичний діапазон охоплює область електромагнітного випромінювання, до складу якої входять інфрачервоні (ІЧ), видимі (ВВ) та ультрафіолетові (УФ) випромінювання. За довжиною хвилі ці випромінювання розподіляються наступним чином: ІЧ – 540 мкм...760 нм, ВВ – 760...400 нм, УФ – 400...10 нм. Зі сторони інфрачервоних випромінювань оптичний діапазон межує з радіочастотним, а зі сторони ультрафіолетових – з іонізуючим випромінюванням.

Інфрачервоні випромінювання здійснюють на організм людини, в основному, теплову дію. Тому джерелом ІЧ-випромінювань є будь-яке нагріте тіло, причому його температура й визначає інтенсивність теплового випромінювання E (Вт/м²) [34].

Залежно від довжини хвилі ІЧ-випромінювання поділяються на короткохвильові з довжиною хвилі від 0,76 до 1,4 мкм та довгохвильові – більше 1,4 мкм. Саме довжина хвилі значною мірою обумовлює проникну здатність ІЧ-випромінювань. Найбільшу проникну здатність мають короткохвильові ІЧ-випромінювання, які впливають на органи та тканини організму людини, що знаходяться на глибині кількох сантиметрів від поверхні тіла. ІЧ промені довгохвильового діапазону затримуються поверхневим шаром шкіри. Спектр ІЧ-випромінювань (довгохвильових чи коротко- хвильових), в основному, залежить від температури джерела променів: при температурі до 100 °С випромінюються довгохвильові промені, а при температурі більшій ніж 100 °С – короткохвильові.

Вплив ІЧ-випромінювань на людину може бути загальним та локальним і призводить він, зазвичай, до підвищення температури. При довгохвильових випромінюваннях підвищується температура поверхні тіла, а при короткохвильових – органів та тканин організму, до яких здатні проникнути ІЧ промені. Більшу небезпеку являють собою короткохвильові випромінювання, які можуть здійснювати безпосередній вплив на оболонки та тканини мозку і тим самим призвести до виникнення, так званого, теплового удару. Людина при цьому відчуває запаморочення, біль голови, порушується координація рухів, настає

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втрата свідомості. Можливим наслідком впливу короткохвильових ІЧ-випромінювань на очі є поява катаракти. Досить часто таке професійне захворювання зустрічається у складувів.

При тривалому перебуванні людини в зоні теплового променевого потоку, як і при систематичному впливі високих температур, відбувається різке порушення теплового балансу в організмі. При цьому порушується робота терморегулювального апарату, посилюється діяльність серцево-судинної та дихальної систем, відбувається значне потовиділення, яке призводить до втрати потрібних для організму солей. Інтенсивність теплового опромінення обумовлює також появу певних нервових розладів: дратівливість, часті болі голови, безсоння. Серед працівників «гарячих» цехів (прокатників, ливарників та ін.) відзначається значний відсоток осіб, які страждають невротенією.

ІЧ-випромінювання впливають на організм людини, порушують його нормальну діяльність та функціонування органів і систем організму, що може призвести до появи професійних та професійно зумовлених захворювань.

Ступінь впливу ІЧ-випромінювань залежить від низки чинників: спектра та інтенсивності випромінювання; площі поверхні, яка випромінює ІЧ промені; розмірів ділянок тіла людини, що опромінюються; тривалості впливу; кута падіння ІЧ променів.

У промисловості джерелами інтенсивного випромінювання хвиль інфрачервоного спектра є: нагріті поверхні стін, печей та їх відкриті отвори, ливарні та прокатні стани, струмені розплавленого металу, нагріті деталі та заготовки, різні види зварювання та плазмового оброблення.

У виробничих приміщеннях, в яких на робочих місцях неможливо встановити регламентовані інтенсивності теплового опромінення працюючих через технологічні вимоги, технічну недосяжність або економічно обґрунтовану недоцільність, використовують обдування, повітряне та водоповітряне душення. При інтенсивності теплового опромінення понад 350 Вт/м² та опроміненні понад 25 % поверхні тіла тривалість неперервної роботи і регламентованих перерв встановлюються у відповідності з даними з довідників.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтенсивність інфрачервоного теплового випромінювання вимірюється актинометрами, а спектральна інтенсивність випромінювання — інфрачервоними спектрографами та радіометром ІЧ-випромінювання РАТ-2П.

До основних заходів та засобів щодо зниження небезпечної та шкідливої дії ІЧ-випромінювання належать [34]:

- зниження інтенсивності випромінювання джерел шляхом вдосконалення технологічних процесів та устаткування;
- раціональне розташування устаткування, що є джерелом ІЧ-випромінювання;
- автоматизація та дистанційне керування технологічними процесами;
- використання повітряних та водоповітряних душів у «гарячих» цехах;
- застосування теплоізоляції устаткування та захисних екранів;
- раціоналізація режимів праці та відпочинку;
- проведення попереднього та періодичних медоглядів;
- використання засобів індивідуального захисту.

Ультрафіолетові (УФ) випромінювання належать до оптичного діапазону електромагнітних хвиль і знаходяться між тепловими та іонізуючими (рентгенівськими) випромінюваннями, тому мають властивості як перших, так і других. За способом генерації вони наближаються до теплового діапазону випромінювань (температурні випромінювачі починають генерувати УФ промені при температурі понад 1200 °С), а за біологічною дією — до іонізуючого випромінювання. Незважаючи на схожість біологічної дії на організм людини негативні наслідки від ультрафіолетового опромінення значно менші ніж від іонізуючого. Це обумовлено більшою довжиною його хвилі, а відтак і меншою енергією кванта УФ променів.

Спектр УФ-випромінювань поділяється на три області: УФА — довгохвильова з довжиною хвилі від 400 до 320 нм; УФВ — середньохвильова — від 320 до 280 нм; УФС — короткохвильова — від 280 до 10 нм. Ультрафіолетові випромінювання області УФА відзначаються слабкою біологічною дією. Середньо- та короткохвильові УФ промені, в основному, впливають на шкіру та

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

очі людини. Значні дози опромінення можуть спричинити професійні захворювання шкіри (дерматити) та очей (електроофтальмію).

УФ-випромінювання впливають також на центральну нервову систему, що проявляється у вигляді болі голови, підвищення температури тіла, відчуття розбитості, передчасного втомлення, нервового збудження. Крім того, несприятлива дія УФ променів може посилюватись завдяки ефектам, що властиві для цього виду випромінювань, а саме іонізації повітря та утворенні озону.

УФ-випромінювання характеризується двоюкою дією на організм людини: з одного боку, небезпекою переопромінення, а з іншого – його необхідністю для нормального функціонування організму, оскільки УФ промені є важливим стимулятором основних біологічних процесів. Природне освітлення, особливо сонячні промені, є достатнім для організму людини джерелом УФ-випромінювань, тому його відсутність або ж недостатність може створити певну небезпеку. З метою профілактики ультрафіолетової недостатності для працівників, на робочих місцях яких відсутнє природне освітлення, наприклад шахтарів, необхідно до складу приміщень охорони здоров'я включати фітарії. Захист від інтенсивного опромінення ультрафіолетовими променями досягається [35]:

- раціональним розташуванням робочих місць;
- «захистом відстанню»;
- екрануванням джерел випромінювання;
- екрануванням робочих місць;
- засобами індивідуального захисту.

Найбільш раціональним методом захисту вважається екранування (укриття) джерел УФ-випромінювань. Як матеріали для екранів застосовують, зазвичай, непрозорі металеві листи або світлофільтри. До засобів індивідуального захисту належить спецодяг (костюми, куртки, халати), засоби для захисту рук (тканинні рукавички), обличчя (захисні щитки) та очей (окуляри зі світлофільтрами).

Система дистанційного виявлення сейсмічної активності розроблялася з урахуванням заходів захисту від випромінювань оптичного діапазону.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступне:

1) Проведено аналіз технічного завдання та сформульовано функціональні та технічні вимоги до комп'ютеризованої системи. Визначено основні параметри, які необхідно контролювати для виявлення сейсмічної активності.

2) Здійснено огляд існуючих рішень для виявлення землетрусів, зокрема на базі геофонів, акселерометрів і гібридних систем. Проаналізовано їх переваги та обмеження щодо точності, складності реалізації, витрат та енергоефективності.

3) Розроблено апаратну частину системи. До її складу увійшли: Raspberry Pi як обчислювальний вузол, геофон SM-24 як основний сенсор вібрацій, модуль ADS1115 для точного аналого-цифрового перетворення, тривісний акселерометр ADXL345, магнітометр QMC5883L, а також модуль зв'язку SIM7000E. Обґрунтовано вибір кожного компонента з урахуванням технічних характеристик та зручності інтеграції.

4) Розроблено алгоритм роботи системи та створено ПЗ на мові Python, яка реалізує: ініціалізацію та зчитування даних з датчиків, обчислення прискорення і магнітного поля, перевірку порогових значень для виявлення тривожних ситуацій, збереження логів, оновлення графіків у реальному часі та відправлення даних до хмарної платформи.

5) Здійснено інтеграцію з хмарною IoT платформою Ubidots STEM, яка використовується для віддаленого моніторингу, зберігання та візуалізації даних.

6) Проведено моделювання роботи системи. Перевірено коректність обробки даних з сенсорів, передачу даних до хмарної платформи, що підтвердило функціональну готовність системи до подальшого розгортання в реальних умовах.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ширококутовий сейсмометр Trillium Compact. URL: <https://norma-c.com/seismo/nanometrics/sensors> (дата звернення: 09.03.2025).
2. Professional grade seismographs and infrasound monitor Raspberry Shake. URL: <https://raspberrysshake.org/> (дата звернення: 10.03.2025).
3. ShakeAlert System Algorithms. URL: <https://www.shakealert.org/system-information/shakealert-system-algorithms/> (дата звернення: 11.03.2025).
4. Raspberry Pi 3 Model B+. URL: <https://minicomp.com.ua/ua/raspberry-pi/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (дата звернення: 12.03.2025).
5. Модуль зв'язку NB-IoT/Cat-M/EDGE/GPRS/GNSS на SIM7000E до Raspberry Pi. URL: <https://arduino.ua/prod3019-modul-svyazi-nb-iotemtcedgegprsgnss-na-sim7000e-dlya-raspberry-pi> (дата звернення: 25.03.2025).
6. Geophone SM-24. URL: <https://www.sparkfun.com/geophone-sm-24-with-insulating-disc.html> (дата звернення: 26.03.2025).
7. Модуль ADC 16-bit I2C ADS1115 (PGA) для Arduino. URL: <https://arduino.ua/prod7231-modul-adc-16-bit-i2c-ads1115-pga-dlya-arduino> (дата звернення: 26.03.2025).
8. Keystudio ADXL345 Three Axis Acceleration Module. URL: https://wiki.keyestudio.com/Ks0012_keyestudio_ADXL345_Three_Axis_Acceleration_Module (дата звернення: 26.03.2025).
9. Цифровий магнітометр QMC5883L I2C GY-273. URL: <https://arduino.ua/prod2692-cifrovoi-kompas-qmc5883l-i2c-gy-273> (дата звернення: 27.03.2025).
10. 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.
11. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 1. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 256 с.

13. Vasylykivskyi 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.

14. 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.

15. Palamar A., Karpinsky M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

16. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

17. Palamar A., Karpinsky M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

18. 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.

19. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

20. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія.
Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

21. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

29. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851. P. 6-16.

30. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

31. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

32. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol 117, No 1, P. 54–61.

33. Яким Р.С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. Львів: Бекиб Біг, 2005.

34. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

35. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці. К.: Каравела, 2007. 408 с.

					КС КРБ 123.256.00.00 ПЗ	Арк.
						63
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'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ
СЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на ____ 9 ____ листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н. Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІс-41

_____ Борщ О.С.

“ ____ ” _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютерна система дистанційного виявлення сейсмічної активності з використанням ІоТ технологій».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.256.00.00.

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, Борщ Олег Сергійович.

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 – 24.06.2025 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 дистанційного виявлення сейсмічної активності. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO та ЄСКД, 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 безперервного моніторингу сейсмічної активності, оперативного виявлення потенційних землетрусів та попередження відповідних служб про можливу загрозу.

2.2 Мета створення системи

Метою є розробка ефективної, енергоефективної та автономної комп'ютеризованої системи, що дозволяє з високою точністю реєструвати та аналізувати параметри сейсмічної активності на великих територіях.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом моніторингу є геофізичні зміни земної кори, що супроводжуються вібраціями, котрі можуть свідчити про наближення землетрусу. Дані отримуються від мережі сенсорних пристроїв, розташованих у потенційно небезпечних зонах.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютерна система дистанційного виявлення сейсмічної активності повинна забезпечувати безперервний моніторинг сейсмічних коливань на визначеній території. Система має складатися з множини вимірювальних модулів, що включають давачі прискорення та кутових швидкостей, контролер обробки даних та модулі зв'язку для передачі інформації на центральний сервер або хмарну платформу. Основними критеріями ефективності є швидкість обробки даних, точність виявлення сейсмічних подій, енергоефективність та здатність до масштабування.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система повинна мати модульну структуру, що дозволяє легко розширювати її шляхом додавання нових сенсорних вузлів. Основними компонентами є:

- вимірювальні модулі (акселерометри та гіроскопи), які реєструють коливання ґрунту;
- обчислювальні модулі (мікрокомп'ютери або мікроконтролери), що аналізують дані та формують повідомлення про події;

- комунікаційні модулі, що передають зібрані дані через бездротові канали;
- центральний сервер або хмарна платформа, яка здійснює глибокий аналіз, зберігання та візуалізацію інформації;
- користувацький інтерфейс, який дозволяє переглядати дані, налаштовувати систему та отримувати повідомлення про небезпечні події.

В загальному випадку, структура системи повинна реалізовувати функції дистанційного виявлення сейсмічної активності. Основні функціональні вимоги характеризуються наступними критеріями:

- надійність;
- чутливість та швидкість реакції;
- автоматизація;
- сумісність.

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

Комунікація між вимірювальними модулями та сервером має здійснюватися через стійкі бездротові протоколи, такі як NB-IoT, LTE Cat-M або Wi-Fi, залежно від доступної інфраструктури. Передача даних повинна бути зашифрованою та мінімізувати затримки для своєчасного оповіщення. У разі втрати зв'язку система повинна мати механізм кешування даних для їх подальшої відправки.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Вимоги до режимів функціонування визначаються для забезпечення зручного та ефективного використання системи дистанційного виявлення сейсмічної активності з урахуванням потреб користувача. Система повинна підтримувати наступні режими роботи:

- нормальний режим – безперервний моніторинг та передача даних у реальному часі;
- аварійний режим – при виявленні сильних сейсмічних коливань пріоритет надається передачі критичних повідомлень;
- режим енергозбереження – у періоди низької активності система повинна зменшувати частоту вимірювань та передачі даних.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Передбачена можливість розширення мережі сенсорів, інтеграції з іншими моніторинговими системами (наприклад, метеорологічними станціями), а також покращення алгоритмів аналізу для більш точної ідентифікації сейсмічних подій. Модернізація також може включати впровадження штучного інтелекту для прогнозування землетрусів.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна працювати безперервно та мати механізми резервування даних, щоб уникнути втрати інформації при збоях зв'язку. Сенсори та комунікаційні модулі повинні працювати в широкому діапазоні температур та витримувати механічні навантаження, характерні для екстремальних умов.

Показники надійності системи дистанційного виявлення сейсмічної активності 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

Система повинна виконувати такі основні функції::

- збір та попередня обробка даних з сенсорів;
- фільтрація шумів та визначення підозрілих сейсмічних подій;

- передача даних на центральний сервер або хмару;
- аналіз отриманих даних для визначення потенційної небезпеки;
- сповіщення користувачів про загрозу землетрусу через мобільні додатки або повідомлення.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратна частина системи повинна включати:

- сенсори руху (акселерометри та гіроскопи) високої точності;
- обчислювальний модуль – мікроконтролер або мікрокомп'ютер з достатньою потужністю;
- модулі зв'язку для бездротової передачі даних, такі як SIM7000E;
- джерела живлення з можливістю автономної роботи;
- захищений корпус для розміщення обладнання в польових умовах.

Вимоги до елементної бази розробки:

- 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).

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. блок-схема алгоритму роботи програми;
4. результати моделювання системи.

*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'ютерної системи	11.02.2025 – 28.02.2025
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, тестування комп'ютерної 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	24.06.2025

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 на мові Python для мікрокопм'ютера Raspberry Pi, що реалізує основні функції комп'ютерної системи дистанційного виявлення сейсмічної активності.

```
import time
import math
import serial
import smbus2
import threading
import Adafruit_ADS1x15
from ubidots import ApiClient
import matplotlib.pyplot as plt
from collections import deque

# --- Налаштування ---
UBIDOTS_TOKEN = "Token-xxxxxxxxxx"
DEVICE_LABEL = "seismic-detector"
LOG_FILE = "sensor_log.csv"
ACCEL_THRESHOLD = 3000      # Порогове значення для акселерометра
GEO_THRESHOLD = 0.5        # Порогове значення для геофона у вольтах

# --- Ubidots ---
api = ApiClient(token=UBIDOTS_TOKEN)
device = api.get_device(DEVICE_LABEL)

# --- ADC ---
adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115()
GAIN = 1

# --- I2C ---
bus = smbus2.SMBus(1)
ADXL345_ADDR = 0x53
QMC5883L_ADDR = 0x0D

# --- Буфери для графіків ---
BUFFER_SIZE = 100
geo_data = deque(maxlen=BUFFER_SIZE)
accel_data = deque(maxlen=BUFFER_SIZE)
mag_data = deque(maxlen=BUFFER_SIZE)

# --- Ініціалізація датчиків ---
def init_adxl345():
    bus.write_byte_data(ADXL345_ADDR, 0x2D, 0x08)

def read_adxl345():
```

```

    data = bus.read_i2c_block_data(ADXL345_ADDR, 0x32, 6)
    x = twos_complement(data[1] << 8 | data[0], 16)
    y = twos_complement(data[3] << 8 | data[2], 16)
    z = twos_complement(data[5] << 8 | data[4], 16)
    return x, y, z

def init_qmc5883l():
    bus.write_byte_data(QMC5883L_ADDR, 0x0B, 0x01)
    bus.write_byte_data(QMC5883L_ADDR, 0x09, 0x1D)

def read_qmc5883l():
    data = bus.read_i2c_block_data(QMC5883L_ADDR, 0x00, 6)
    x = twos_complement(data[1] << 8 | data[0], 16)
    y = twos_complement(data[3] << 8 | data[2], 16)
    z = twos_complement(data[5] << 8 | data[4], 16)
    return x, y, z

def twos_complement(val, bits):
    if val & (1 << (bits - 1)):
        val -= (1 << bits)
    return val

# --- Ініціалізація модему (опціонально) ---
def init_sim7000e():
    sim = serial.Serial("/dev/serial0", baudrate=9600, timeout=1)
    sim.write(b'AT\r')
    time.sleep(1)
    sim.write(b'AT+CGATT=1\r')
    time.sleep(1)
    sim.write(b'AT+CIPSHUT\r')
    time.sleep(1)
    return sim

# --- Запис в лог ---
def log_data(timestamp, geophone, accel, magnetic):
    with open(LOG_FILE, "a") as f:

f.write(f"{timestamp},{geophone:.3f},{accel:.2f},{magnetic:.2f}\n")

# --- Побудова графіків у реальному часі ---
def plot_live():
    plt.ion()
    fig, ax = plt.subplots(3, 1, figsize=(10, 8))

    while True:
        ax[0].cla()
        ax[1].cla()
        ax[2].cla()

        ax[0].plot(list(geo_data), label="Geophone (V)",
color='red')
        ax[1].plot(list(accel_data), label="Accel", color='green')
        ax[2].plot(list(mag_data), label="Magnetic", color='blue')

```

```

        for a in ax:
            a.legend()
            a.grid()

        plt.tight_layout()
        plt.pause(0.1)

# --- Основна функція ---
def main():
    print("Ініціалізація...")
    init_adxl345()
    init_qmc5883l()
    # sim = init_sim7000e() # Якщо потрібно

    threading.Thread(target=plot_live, daemon=True).start()
    print("Система працює.")

    while True:
        try:
            geophone_voltage = adc.read_adc(0, gain=GAIN) * 0.1875 /
1000
            ax, ay, az = read_adxl345()
            accel_mag = math.sqrt(ax**2 + ay**2 + az**2)
            mx, my, mz = read_qmc5883l()
            mag_mag = math.sqrt(mx**2 + my**2 + mz**2)
            timestamp = time.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
            # Логування
            log_data(timestamp, geophone_voltage, accel_mag,
mag_mag)

            # Збереження в буфер для графіків
            geo_data.append(geophone_voltage)
            accel_data.append(accel_mag)
            mag_data.append(mag_mag)
            # Тривога
            if geophone_voltage > GEO_THRESHOLD:
                print(f"[ТРИВОГА] Висока вібрація геофона:
{geophone_voltage:.3f} V")
            if accel_mag > ACCEL_THRESHOLD:
                print(f"[ТРИВОГА] Високе прискорення:
{accel_mag:.2f}")
            # Відправлення даних в Ubidots
            device.save_collection([
                {"variable": "geophone", "value": geophone_voltage},
                {"variable": "acceleration", "value": accel_mag},
                {"variable": "magnetic_field", "value": mag_mag}
            ])
            time.sleep(1)
        except Exception as e:
            print("Помилка:", e)
            time.sleep(5)

if __name__ == "__main__":
    main()

```