

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система оцінки ризику зсуву ґрунту
в гірських районах*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Шпак Д.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Приймак М.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Шпаку Дмитру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах

Керівник роботи Приймак Микола Володимирович, д.т.н., проф.

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

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

1. Схема електрична структурна

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)*Шпак Д.С.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Приймак М.В.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шпак Д.С. Комп'ютеризована система оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах: робота на здобуття освітнього рівня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: зсув ґрунту, моніторинг, комп'ютеризована система, аналіз даних, IoT, сенсори.

У кваліфікаційна робота присвячена питанню оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах та можливості його вирішення за допомогою комп'ютеризованих систем збору й аналізу даних. На основі аналізу технічного завдання сформульовано вимоги до системи, зокрема щодо точності вимірювань, автономності роботи та можливостей передачі даних у режимі реального часу.

У межах дослідження проведено огляд існуючих систем моніторингу зсувів ґрунту, проаналізовано їхні переваги та недоліки, що дозволило обґрунтувати доцільність створення власного рішення. Розроблено апаратне забезпечення системи, обрано сенсори та інші компоненти, враховуючи вимоги до їхньої точності, енергоспоживання та стійкості до зовнішніх впливів.

Також розроблено алгоритм збору та аналізу даних, реалізовано програмне забезпечення для обробки вимірювань та візуалізації результатів. Виконано тестування створеної системи для перевірки її працездатності та відповідності поставленим вимогам. Отримані результати підтверджують ефективність розробленого рішення для моніторингу ризику зсувів ґрунту.

ANNOTATION

Shpak D.S. Computerized system for assessing the risk of landslides in mountainous areas. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: landslide, monitoring, computerized system, data analysis, IoT, sensors.

The qualification work is devoted to the issue of assessing the risk of landslides in mountainous areas and the possibility of solving it with the help of computerized data collection and analysis systems. Based on the analysis of the terms of reference, the requirements for the system were formulated, in particular, in terms of measurement accuracy, autonomy of operation, and real-time data transmission capabilities.

The study reviewed existing landslide monitoring systems, analyzed their advantages and disadvantages, which made it possible to justify the feasibility of creating our own solution. The hardware of the system was developed, sensors and other components were selected, taking into account the requirements for their accuracy, power consumption and resistance to external influences.

We also developed an algorithm for data collection and analysis, and implemented software for processing measurements and visualizing the results. The system was tested to verify its performance and compliance with the requirements. The results confirm the effectiveness of the developed solution for monitoring the risk of landslides.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	9
1.1 Огляд сфер застосування комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах	9
1.2 Аналіз вимог до комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту	10
1.3 Огляд існуючих засобів для оцінки ризику зсуву ґрунту	11
1.3.1 Система моніторингу зсувів та небезпечних схилів Leica Geosystems	13
1.3.2 Система моніторингу зсувів на основі бездротових технологій Encardio	14
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	18
2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту	18
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи	20
2.2.1 Платформа Arduino Uno	20
2.2.2 GSM-модуль SIM800L.....	21
2.2.3 Давач вологості ґрунту YL-69	23
2.2.4 Давач вібрації SW-420	26
2.2.5 Акселерометр ADXL345.....	28
2.3 Електрична принципова схема пристрою для оцінки ризику зсуву ґрунту.....	30
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	33
3.1 Розробка алгоритму роботи системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах	33
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	36
3.2.1 Опис бібліотек	36
3.2.2 Опис коду з оголошенням змінних і об'єктів	37

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив	Шпак Д.С.									
Перевірів	Приймак М.В.								5	76
Рецензент								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.	Луцик Н.С.									
Зав. каф.	Осунівська Г.М.									

3.2.3	Опис підпрограми setup	38
3.2.4	Опис підпрограми loop	40
3.2.5	Опис функції sendCommand.....	42
3.3	Реалізація взаємодії з віддаленим сервером.....	43
3.3.1	Обґрунтування вибору платформи ThingSpeak	43
3.3.2	Налаштування платформи ThingSpeak	44
3.3.3	MATLAB-скрипт для обчислення ковзного середнього значення вимірних параметрів	46
3.4	Результати моделювання системи	48
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		50
4.1	Аварії з викидом радіоактивних речовин	50
4.2	Аналіз умов праці за показниками шкідливості та небезпечності чинників виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу	53
ВИСНОВКИ.....		57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		58
Додаток А Технічне завдання		
Додаток Б Перелік елементів		
Додаток В Лістинг програми		

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

GPRS – General Packet Radio Service

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

GSM – Global System for Mobile Communications

I²C – Inter-Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

LoRaWAN – Long Range Wide Area Network

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зсуви ґрунту є однією з найпоширеніших геологічних небезпек у гірських районах, що спричиняють значні економічні збитки, руйнування інфраструктури та загрозу життю людей. Основною причиною зсувних процесів є зміни рівня вологості ґрунту, сейсмічна активність, антропогенний вплив та інші фактори. Вчасне виявлення передумов зсуву є важливим завданням для мінімізації ризиків та запобігання катастрофічним наслідкам.

На сьогодні існують різні методи моніторингу зсувів ґрунту, серед яких супутникові спостереження, геодезичні вимірювання та використання спеціалізованих сенсорних систем. Однак багато з цих методів є дороговартісними або потребують значних людських ресурсів. У зв'язку з розвитком Інтернету речей з'являється можливість створення систем моніторингу, які забезпечують безперервний збір та аналіз даних про стан ґрунту в реальному часі. Саме тому розроблення системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту є актуальною задачею.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованої системи для моніторингу зсувів ґрунту, яка забезпечуватиме безперервний збір, аналіз та візуалізацію даних з метою оцінки ризику виникнення зсувних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати технічне завдання та сформулювати вимоги до проєктованої системи;
- провести огляд існуючих систем моніторингу зсувів ґрунту;
- розробити апаратне забезпечення системи, обґрунтувати вибір давачів та інших електронних компонентів;
- створити алгоритм збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву;
- розробити програмне забезпечення для обробки, збереження та візуалізації отриманих даних;
- виконати моделювання розробленої системи та оцінити її ефективність.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд сфер застосування комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах

Зсуви ґрунту є серйозною природною загрозою, що спричиняє значні економічні, соціальні та екологічні втрати. Їх виникнення може мати катастрофічні наслідки для житлових будівель та інфраструктурних об'єктів. Тому важливо розробляти ефективні засоби та методи прогнозування та оцінки ризику зсувів. Комп'ютеризовані системи збору та аналізу даних можуть забезпечити своєчасне виявлення потенційно небезпечних змін у ґрунті, що дозволить знизити ризики та підвищити безпеку.

До основних сфер застосування комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту можна віднести:

- моніторинг природних ландшафтів;
- будівництво та інфраструктурні проєкти;
- гірничодобувна промисловість;
- сільське господарство;
- запобігання надзвичайним ситуаціям;
- екологічні дослідження.

У гірських регіонах з підвищеною сейсмічною активністю та частими опадками необхідно постійно відстежувати стабільність схилів і зміну характеристик ґрунту.

Система оцінки ризику зсуву ґрунту може використовуватися для оцінки ризиків перед початком будівництва житлових і промислових об'єктів, автомобільних та залізничних доріг.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Шпак Д.С.			Аналіз технічного завдання			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевірів		Приймак М.В.								9	9
Рецензент											
Н. Контр.		Луцик Н.С.									
Зав. каф.		Осуківська Г.М.									
								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			

Оцінка стійкості ґрунту є важливою для безпечної експлуатації кар'єрів і шахт, що знижує ризик обвалів. У регіонах з інтенсивним землеробством необхідний контроль за ерозією ґрунту та його стабільністю. Такі системи можуть використовуватися рятувальними службами для оцінки загроз уразливим районам та організації заходів із мінімізації збитків. Аналіз змін у геологічних процесах допомагає розробляти заходи зі збереження довкілля.

Отже, розробка та впровадження комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту є важливою задачею для підвищення безпеки людей, захисту інфраструктури та природного середовища. Інтеграція таких систем у різні сфери діяльності дозволяє суттєво зменшити ризики та запобігти катастрофічним наслідкам природних явищ.

1.2 Аналіз вимог до комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту

Розробка комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту вимагає чіткого визначення вимог до її функціональних характеристик. Визначення цих вимог є важливим етапом, оскільки вони безпосередньо впливають на вибір апаратного та ПЗ, а також на загальну ефективність системи.

До функціональних вимог системи належать основні можливості, які вона повинна забезпечувати. Перш за все, система має здійснювати безперервний моніторинг параметрів ґрунту, що впливають на виникнення зсувних процесів. Це включає збір даних про вологість, нахил поверхні, вібраційні коливання та інші ключові показники. Зібрані дані повинні передаватися в реальному часі на сервер або хмарне сховище для подальшого аналізу. Важливим аспектом є можливість попередження про критичні зміни параметрів, що можуть свідчити про високий ризик зсуву. Це передбачає реалізацію алгоритму обробки даних, який аналізує тенденції змін показників і генерує відповідні повідомлення або сигнали тривоги.

Інші вимоги визначають додаткові характеристики, які впливають на продуктивність, надійність та зручність використання системи. Однією з ключових

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимог є енергоефективність, оскільки система працюватиме у віддалених гірських районах, де доступ до електромережі може бути обмеженим. Тому вона повинна мати можливість автономної роботи протягом тривалого часу, використовуючи акумуляторні батареї. Також важливою є надійність роботи у складних умовах, зокрема, стійкість до змін температури, вологості та механічних навантажень. Всі компоненти повинні відповідати вимогам захисту від пилу та вологи відповідно до стандарту IP65 або вище.

Окрему увагу слід приділити питанням зв'язку. Оскільки система розгортається у важкодоступних місцевостях, необхідно передбачити різні варіанти передачі даних, зокрема через GSM/4G, LoRaWAN або супутниковий зв'язок. Вибір каналу комунікації повинен враховувати особливості регіону розташування системи. Важливим аспектом є також масштабованість рішення, що дозволить інтегрувати додаткові сенсори або розширювати мережу точок моніторингу при необхідності.

Користувацький інтерфейс для доступу до даних повинен бути зручним і надавати візуалізацію інформації у вигляді графіків, що спрощує аналіз зібраних даних. Для цього можна використати веб-платформу або мобільний застосунок. Також необхідно передбачити можливість експорту даних у різних форматах для подальшої обробки спеціалізованими програмами.

Загалом, проведений аналіз вимог дозволяє визначити етапи проєктування комп'ютеризованої системи та забезпечити її ефективність і надійність у реальних умовах експлуатації.

1.3 Огляд існуючих засобів для оцінки ризику зсуву ґрунту

На сучасному ринку існує багато рішень для оцінки ризику зсуву ґрунту, які базуються на різних технологіях і методах збору та аналізу даних. Серед найпоширеніших систем можна виділити геодезичні, геотехнічні та дистанційні методи моніторингу. Хоча ці системи мають свої переваги, вони також мають обмеження, які впливають на їхню ефективність.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з найпоширеніших категорій є геодезичні системи, які включають GNSS-станції (наприклад, Leica, Trimble) та тахеометричні спостереження. Вони дозволяють з високою точністю відстежувати зміщення контрольних точок на схилах. Проте основний недолік таких систем полягає у необхідності регулярного ручного обслуговування, що ускладнює їх використання у важкодоступних гірських районах. Крім того, геодезичні методи не дозволяють аналізувати внутрішні процеси в ґрунті, що є критично важливим для прогнозування зсувних явищ.

Геотехнічні системи, представлені такими виробниками, як Geosense та RST Instruments, використовують тензометричні датчики, інклінометри, п'єзометри та інші сенсори, що забезпечують детальний аналіз фізичних характеристик ґрунту. Ці системи дозволяють отримувати дані про вологість, температуру, тиск і деформаційні процеси у ґрунтових масах. Вони є більш точними у прогнозуванні ризику зсуву, однак їхні основні недоліки пов'язані з високою вартістю обладнання, необхідністю складного монтажу та потребою в стаціонарному живленні, що обмежує їхню автономність.

Сучасні дистанційні методи, такі як супутниковий моніторинг (Sentinel-1, TerraSAR-X) та аерофотозйомка за допомогою дронів (DJI Matrice, senseFly eBee), дають можливість відстежувати масштабні зміни рельєфу та виявляти потенційно небезпечні ділянки. Основний недолік супутникових рішень – їхня залежність від погодних умов та обмежена частота оновлення даних. Дронові рішення забезпечують вищу деталізацію, однак їх використання потребує значних людських ресурсів, регулярного обслуговування та відповідних погодних умов.

Ще одним напрямком є інтелектуальні системи, що поєднують IoT-технології та хмарні обчислення для моніторингу зсувних процесів у реальному часі. Наприклад, система SmartLandGuard пропонує бездротову мережу сенсорів, що передають дані через LoRaWAN або 4G, забезпечуючи високу автономність. Однак такі системи часто є комерційними, що обмежує можливості їх адаптації під конкретні потреби регіону. Крім того, вони можуть мати проблеми зі стабільністю зв'язку в складних гірських умовах.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.1 Система моніторингу зсувів та небезпечних схилів Leica Geosystems

Одним із сучасних технічних рішень, яке можна розглядати як потенційний аналог проєктованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах, є комплексна система моніторингу зсувів та небезпечних схилів, розроблена компанією Leica Geosystems [1]. Ця система орієнтована на професійний геодезичний та інженерний моніторинг, зокрема у складних природних умовах, де існує ризик зсувів, осідань та інших геодинамічних процесів (рис. 1.1).

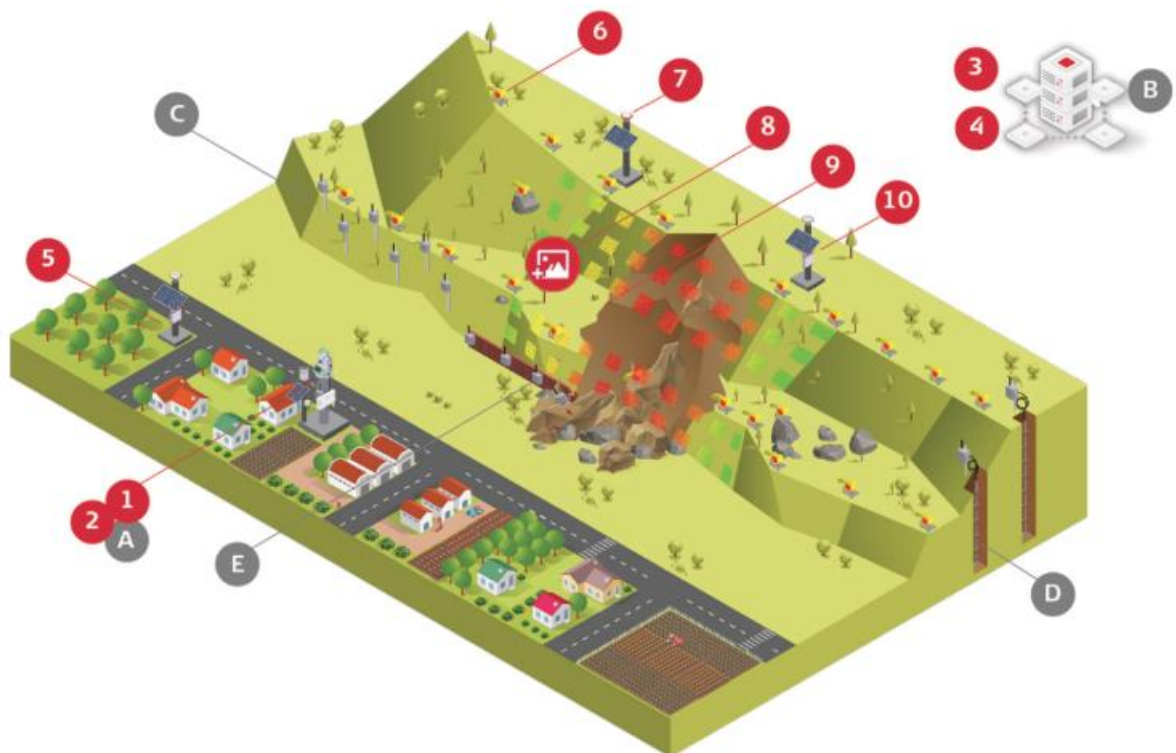


Рисунок 1.1 – Система моніторингу зсувів та небезпечних схилів Leica Geosystems

До основних особливостей системи Leica можна віднести використання високоточної геодезичної апаратури, включаючи роботизовані тахеометри, GNSS-приймачі, радарні сенсори та інші інструменти для постійного дистанційного спостереження за рухом ґрунту чи конструкцій. Дані з усіх сенсорів інтегруються у програмне середовище Leica GeoMoS, яке забезпечує аналітику в реальному часі, автоматичне формування звітів, тривожні сповіщення та можливість побудови складних моделей поведінки схилів.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безперечною перевагою цієї системи є її масштабованість, висока точність вимірювань, довготривала автономна робота, надійність та орієнтованість на вирішення задач в межах великих інфраструктурних або природоохоронних проєктів. Також варто відзначити можливість роботи у важкодоступних регіонах та складних кліматичних умовах, а також сумісність з іншими професійними геоінформаційними системами.

Однак порівняно з проєктованою системою, дане рішення має і низку суттєвих недоліків, зокрема — високу вартість впровадження, складність обслуговування та потребу у кваліфікованому персоналі для налаштування й інтерпретації результатів. Крім того, система Leica розрахована на глобальне чи регіональне застосування і не є доступною для реалізації на рівні окремих малих громад або в межах локального спостереження у сільських чи віддалених гірських районах. Також вона, як правило, не використовує дешеві сенсори навколишнього середовища (наприклад, вологоміри чи давачі вібрацій), які могли б надати попередню інформацію про зміну умов на місцевості.

Під час розробки проєктованої системи доцільно враховувати досвід компанії Leica Geosystems у побудові надійних систем моніторингу, зокрема — принципи мультисенсорного підходу, централізованого збору даних, можливість аналізу в реальному часі та реалізацію механізмів тривожного сповіщення. Водночас, сформовані вимоги до нової системи передбачають її низьку вартість, енергоефективність, простоту обслуговування, здатність працювати автономно, а також інтеграцію з доступними платформами для збору та візуалізації даних. Це дозволить зробити проєктовану систему придатною для використання в межах бюджетних проєктів з моніторингу природних небезпек на локальному рівні.

1.3.2 Система моніторингу зсувів на основі бездротових технологій Encardio

Ще одним прикладом сучасного технічного рішення, яке може бути розглянуте як потенційний аналог проєктованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту, є система моніторингу зсувів на основі бездротових технологій [2], запропонована компанією Encardio-Rite (рис. 1.2).

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

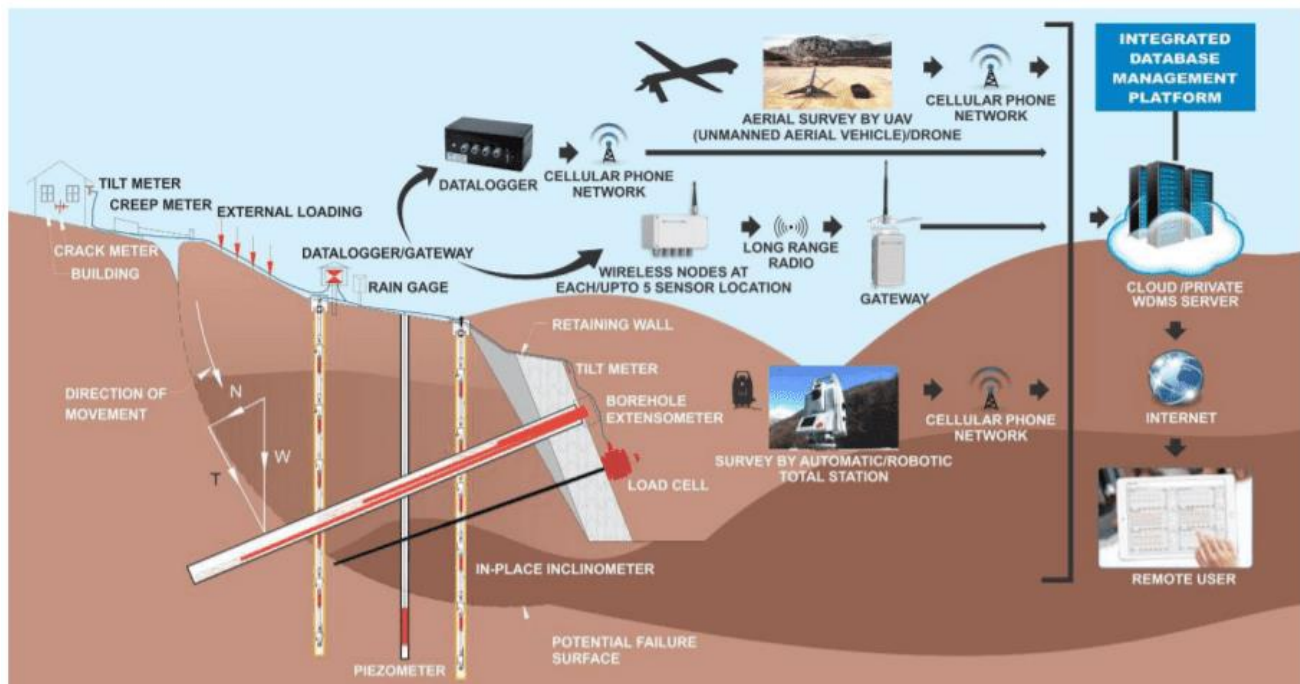


Рисунок 1.2 – Система моніторингу зсувів на основі бездротових технологій Encardio

Система Encardio базується на використанні бездротових датчиків (інклінометрів, п'єзометрів, датчиків переміщення тощо), які передають дані на центральний приймальний вузол за допомогою GSM, LoRa або Wi-Fi. Основна мета такого підходу — забезпечити безперервний моніторинг руху ґрунтових мас, змін вологості, тиску води та інших критичних параметрів, які можуть свідчити про початок зсувного процесу. Всі дані зберігаються та обробляються у віддаленій базі, після чого система автоматично аналізує інформацію та, у разі виявлення аномалій, надсилає сповіщення відповідальним службам.

Серед ключових переваг цієї системи можна виокремити: зменшення потреби у дротовій інфраструктурі, що дозволяє швидше встановлювати обладнання у важкодоступних районах; гнучкість у розміщенні сенсорів, а також можливість дистанційного збору та обробки даних у реальному часі. Крім того, система підтримує можливість живлення від сонячних панелей або акумуляторів, що є важливою вимогою для використання в польових умовах.

Разом з тим, у порівнянні з проєктованою системою, рішення Encardio має деякі недоліки, зокрема високу вартість, що робить його менш доступним для

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

проектів з невеликим б'юджетом. Ще одним обмеженням є залежність від наявності мобільного зв'язку або інфраструктури для побудови мережі LoRa, що не завжди можливо у віддалених гірських регіонах. Також варто зазначити, що система орієнтована на використання спеціалізованих промислових сенсорів, що потребують точного калібрування та фахового обслуговування.

На основі аналізу цього рішення можна зробити висновок, що при проектуванні власної системи доцільно врахувати переваги бездротового зв'язку, а також можливість енергонезалежної автономної роботи в польових умовах. При цьому важливо зберегти доступність і простоту використання, зробити акцент на недорогих сенсорах, таких як давачі вібрацій, вологості та акселерометри, а також передбачити механізми тривожного сповіщення користувача. Таке поєднання дозволить створити ефективну, економічно доцільну та масштабовану систему для локального моніторингу зсувонебезпечних ділянок.

Аналіз існуючих засобів показує, що жодна з наявних систем не є універсальною. Більшість рішень або вимагають значних фінансових вкладень, або обмежені у своїх можливостях через технічні особливості. Це вказує на необхідність розробки системи, яка поєднуватиме переваги сучасних технологій моніторингу, забезпечуватиме автономну роботу, ефективний аналіз даних і можливість попередження про небезпечні зміни в ґрунті.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Під час аналізу поставленого завдання з розробки комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах важливо врахувати специфіку природних умов, обмеженість ресурсів у віддалених місцевостях, потребу в автономності та своєчасному попередженні про загрозу. Завдання полягає у створенні недорогої, надійної та енергоефективної системи, здатної виявляти потенційно небезпечні зміни параметрів довкілля й оперативно повідомляти про можливість зсуву.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує кілька підходів до розв’язання цього завдання. Один з них передбачає використання складних геодезичних або георадарних систем з високоточними інклінометрами, тензодавачами, п’єзометрами та лазерними далекомірами. Такі рішення, як-от системи Leica GeoMoS чи Encardio, забезпечують високу точність і надійність вимірювання, однак є надто вартісними й складними для застосування у локальних або навчальних проєктах. Крім того, вони потребують професійного обслуговування та постійної присутності спеціалістів.

Інший підхід базується на використанні доступних мікроконтролерних платформ (Arduino, ESP32 тощо) та недорогих аналогових або цифрових сенсорів, зокрема давачів вібрації, вологості ґрунту, акселерометрів, які можуть бути встановлені безпосередньо в зсувонебезпечних ділянках. Така система може працювати автономно, живитись від акумуляторної батареї або сонячної панелі, передавати дані за допомогою GSM-зв’язку або Wi-Fi, та генерувати тривожні сигнали при виявленні небезпечних змін. Попри нижчу точність, ці рішення забезпечують баланс між функціональністю, вартістю та можливістю масштабування.

Особливу увагу також слід приділити вибору методів обробки та аналізу даних. Можна застосувати прості алгоритми порівняння поточних значень з пороговими, або ж реалізувати обчислення ковзних середніх значень і визначення динамічних трендів. Такі підходи дозволяють відсіяти випадкові коливання та зосередитись на стійких ознаках небезпеки. У поєднанні з можливістю передавати дані на хмарну платформу це відкриває перспективи для віддаленого моніторингу та візуалізації результатів.

Отже, найдоцільнішим шляхом розв’язання поставленого завдання є створення малогабаритної, доступної та енергонезалежної системи, побудованої на основі мікроконтролера Arduino Uno, GSM-модуля для передачі даних, та сенсорів, що реєструють ключові параметри (вібрації, вологість, прискорення). Такий підхід дозволить забезпечити базовий рівень раннього виявлення зсувів у локальних масштабах з мінімальними витратами, а також слугуватиме фундаментом для подальшої модернізації й удосконалення системи.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту

Для забезпечення ефективного моніторингу ризику зсуву ґрунту в гірських районах розроблено структуру комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних (рис. 2.1), яка відображає взаємодію основних компонентів.

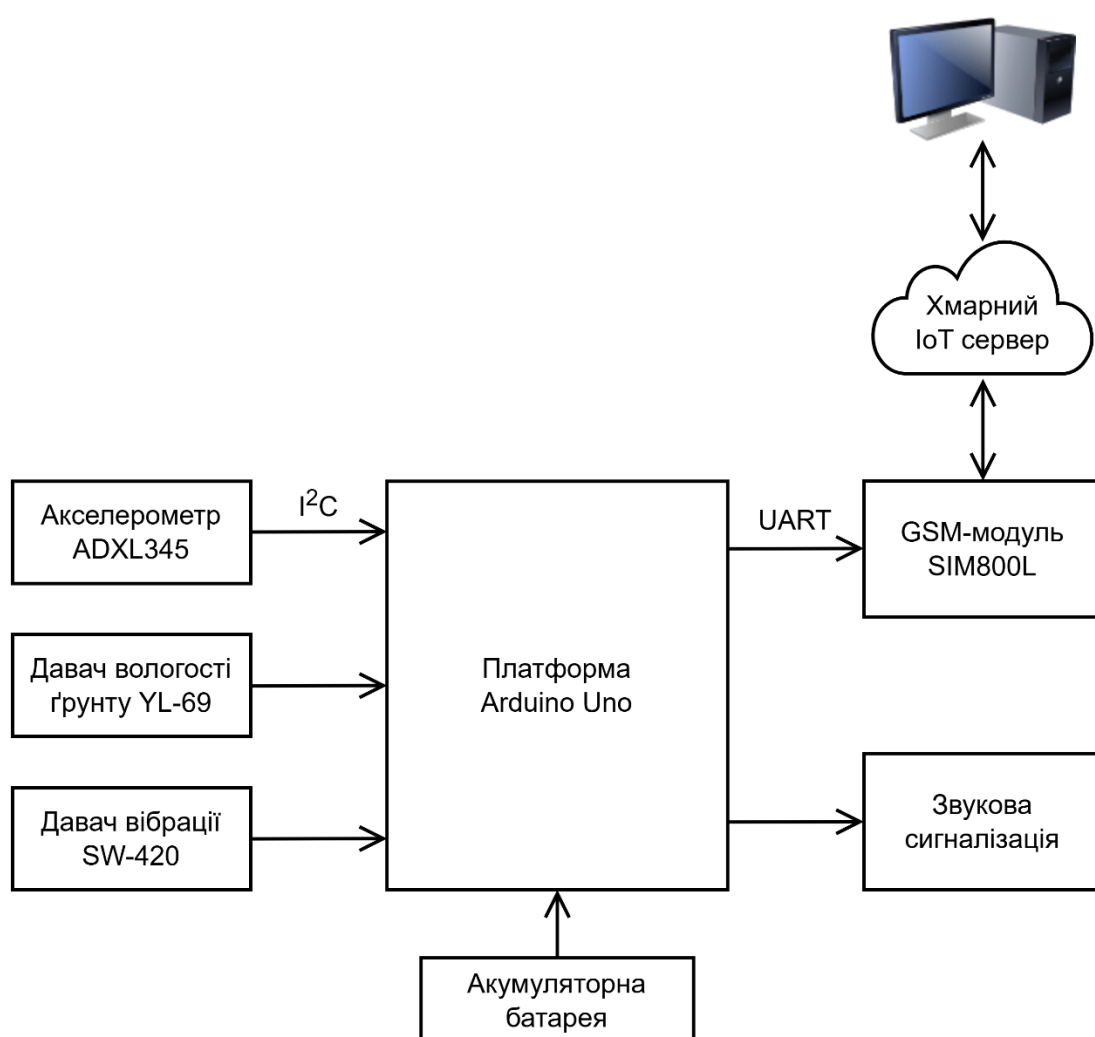


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Шпак Д.С.			Проектна частина		
Перевірів		Приймак М.В.					
Рецензент							
Н. Контр.		Луцик Н.С.					
Зав. каф.		Осуківська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Акресив
						18	15
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

Центральною частиною системи є мікроконтролерна плата Arduino Uno, яка забезпечує обробку даних, отриманих з підключених сенсорів, а також керування модулем зв'язку та сигналізацією. Arduino Uno має достатню кількість виводів для реалізації підключення необхідних компонентів, а також підтримує роботу з інтерфейсом I²C, що є важливим для взаємодії з деякими сенсорами.

Для моніторингу фізичних параметрів середовища до мікроконтролера підключено три сенсорні модулі. Давач вологості ґрунту YL-69 підключається до аналогового входу Arduino Uno та дозволяє вимірювати рівень вологи у ґрунті, що є критичним індикатором для прогнозування зсувних процесів.

Давач вібрації SW-420 є цифровим сенсором, який реагує на фізичні коливання ґрунту або конструкцій та сигналізує про потенційні зрушення. Акселерометр ADXL345 використовується для виявлення змін у прискоренні по трьох осях, що дозволяє виявити навіть незначні зміщення чи нахили поверхні. Цей сенсор підключається до Arduino Uno через інтерфейс I²C.

Для зв'язку з мережею Інтернет і передавання зібраних даних на віддалену IoT платформу використовується GSM-модуль SIM800L. Він підключений до Arduino Uno через програмну реалізацію послідовного порту і забезпечує надсилання даних за допомогою мобільного зв'язку. Це дозволяє встановлювати систему у віддалених районах, де відсутнє Wi-Fi покриття.

Для локального звукового сповіщення про виявлення небезпечних змін у параметрах середовища використовується п'єзодинамік, який підключений до одного з цифрових виходів Arduino Uno. При перевищенні заданих порогових значень вологості, вібрації або прискорення відбувається генерація сигналу тривоги. Живлення всієї системи здійснюється від акумуляторної батареї, що забезпечує автономну роботу пристрою в польових умовах.

Розроблена структурна схема системи передбачає комплексний підхід до моніторингу стану ґрунту та довкілля в реальному часі. Вона поєднує сенсори, засоби обробки та передавання даних, елементи сигналізації та автономного живлення, що робить її ефективним інструментом для раннього виявлення потенційно небезпечних геологічних процесів.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи

2.2.1 Платформа Arduino Uno

Arduino Uno — це одна з найпопулярніших платформ для розробки вбудованих систем, що забезпечує зручне середовище для програмування, підключення сенсорів і керування периферією [3]. Завдяки своїй простоті, відкритому коду, широкій підтримці спільноти та сумісності з численними модулями, плата Arduino Uno активно використовується як в освітніх проєктах, так і в прототипуванні реальних систем моніторингу. У контексті комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах Arduino Uno виконує роль центрального обчислювального елементу — збирає дані з датчиків, попередньо їх обробляє та передає далі для аналізу (рис. 2.2).

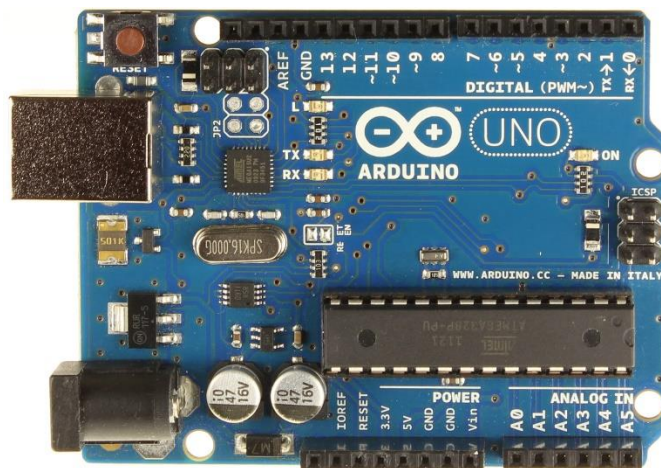


Рисунок 2.2 – Платформа Arduino Uno

Arduino Uno побудований на основі мікроконтролера ATmega328P. Він містить необхідний набір апаратних засобів для зчитування аналогових та цифрових сигналів, генерації ШІМ-сигналів, зв'язку з іншими пристроями через послідовні інтерфейси, а також виконання логічних та математичних операцій. Плата оснащена USB-портом, через який здійснюється як живлення, так і програмування пристрою. Крім того, вона має стандартний роз'єм живлення, кварцовий резонатор, кнопки скидання та ряд світлодіодів для індикації.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Arduino Uno був обраний для реалізації системи через його:

- простоту використання та програмування;
- велику кількість доступних бібліотек для підключення різноманітних давачів;
- достатню кількість входів/виходів для підключення декількох сенсорів одночасно;
- сумісність з популярними модулями та давачами;
- низьке енергоспоживання, що дозволяє працювати від автономних джерел живлення;
- відкриту екосистему та доступну вартість.

Arduino Uno є надійною, гнучкою та ефективною платформою, що ідеально підходить для реалізації системи збору та попередньої обробки даних у складі комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсувів ґрунту.

2.2.2 GSM-модуль SIM800L

GSM-модуль SIM800L – це компактний і недорогий засіб для бездротової передачі даних у мобільних мережах стандарту GSM/GPRS [4]. Він дозволяє здійснювати голосові дзвінки, надсилати SMS, а також передавати дані через інтернет, що робить його незамінним елементом у системах моніторингу, які потребують віддаленої передачі інформації (рис. 2.3).

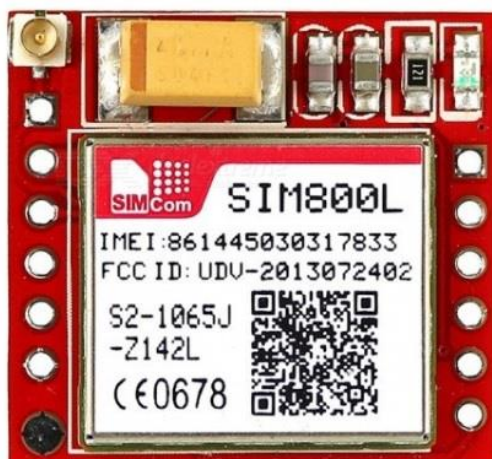


Рисунок 2.3 – GSM-модуль SIM800L

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У контексті комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах модуль SIM800L забезпечує канал зв'язку між сенсорним вузлом та центральним сервером або оператором, передаючи критичні дані або сигнали тривоги у реальному часі.

Оснoву модуля становить мікросхема SIM800L, яка інтегрує функції GSM-модему. Модуль підтримує частоти 850/900/1800/1900 МГц, що дозволяє йому працювати у більшості мобільних мереж світу. Пристрій має інтерфейс UART для обміну даними з мікроконтролером, а також контакти для підключення живлення, SIM-карти та зовнішньої антени. У деяких варіантах модуль обладнаний мікрофоном і динаміком для голосового зв'язку.

Принцип роботи модуля полягає у взаємодії з мікроконтролером через послідовний порт. Програмно він керується за допомогою AT-команд, які дозволяють виконувати функції виклику, надсилання SMS, підключення до інтернету через GPRS тощо. Після виявлення критичних змін у середовищі, модуль може, наприклад, передати пакет даних на сервер. В таблиці 2.1 приведені характеристики SIM800L.

Таблиця 2.1 – Характеристики SIM800L

Характеристика	Значення
Робоча напруга	3,4 – 4,4 В (рекомендовано 4,0 В)
Споживання струму	до 2 А під час передачі
Частоти роботи	GSM 850/900/1800/1900 МГц
Підтримка SIM	SIM-карта формату mini (2G)
Інтерфейс зв'язку	UART (TX, RX)
Швидкість передавання даних	до 85.6 Кбіт/с (GPRS)
Підтримка AT-команд	Так
Формати повідомлень	SMS, PDU, текстовий режим
Можливість дзвінків	Так (голосовий канал)

Вибір SIM800L як засобу зв'язку для цієї системи продиктований його широкими функціональними можливостями, низькою вартістю, енергоефективністю, компактними розмірами та стабільною роботою в умовах слабого покриття. Це особливо важливо для гірських районів, де часто відсутнє покриття Wi-Fi або інших бездротових мереж, але доступна мобільна мережа 2G.

SIM800L ідеально підходить для автономних систем моніторингу, які повинні працювати без постійного нагляду і передавати інформацію на великі відстані. Його можливості ефективно доповнюють функціональність сенсорної системи та підвищують рівень автоматизації й оперативного реагування на загрози зсувів.

2.2.3 Давач вологості ґрунту YL-69

Давач вологості ґрунту (гігрометр) є простим і водночас ефективним пристроєм, призначеним для визначення рівня вологості ґрунту [5]. Цей сенсор ідеально підходить для систем автоматизованого моніторингу довкілля, зокрема для оцінки ризику зсувів у гірських районах, оскільки підвищення вологості є одним із ключових індикаторів ймовірності зсуву (рис. 2.4).

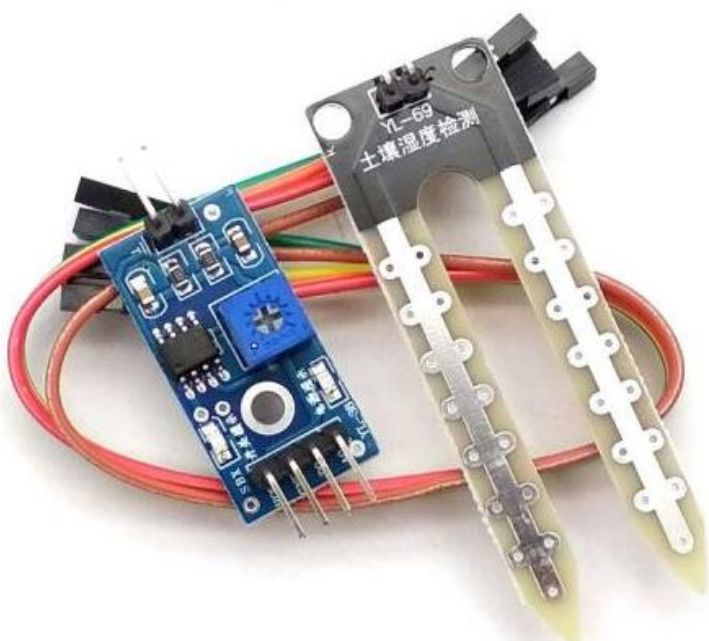


Рисунок 2.4 – Давач вологості ґрунту YL-69

Конструктивно давач YL-69 складається з двох металевих штирів (зондів), які заглиблюються в ґрунт і утворюють електричне поле між собою. Залежно від вологості ґрунту, змінюється його електропровідність: чим вищий рівень вологи, тим менший електричний опір. Таким чином, давач вимірює струм, що проходить між зондами, і передає його у вигляді аналогового або цифрового сигналу на мікроконтролер. Електрична схема давача YL-69 зображена на рисунку 2.5.

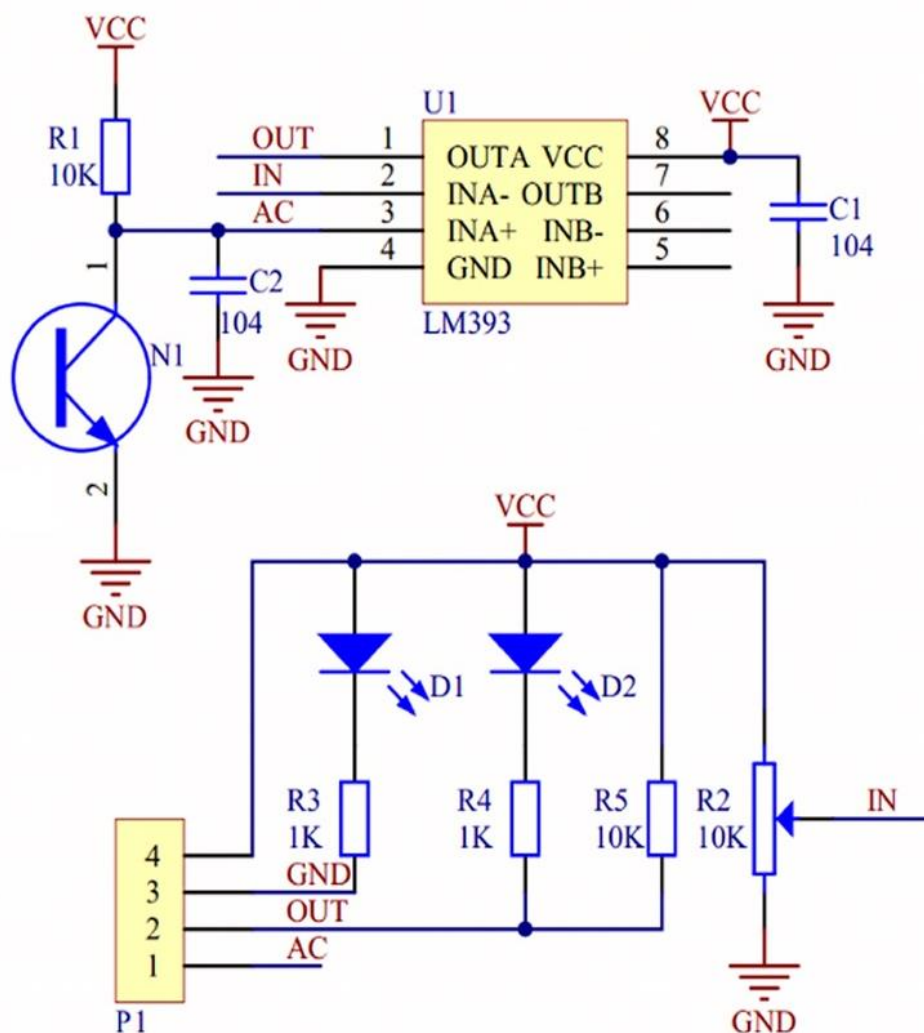


Рисунок 2.5 – Електрична схема давача YL-69

Давач має плату, що містить компаратор, потенціометр для налаштування порогового рівня, а також індикаційні світлодіоди. Аналоговий вихід дозволяє отримати градацію вологості, а цифровий — сигнал про досягнення встановленого порогу.

Завдяки простоті конструкції та невеликій вартості, гігрометр є одним із найпопулярніших датчиків у проєктах на базі Arduino та інших мікроконтролерів. Технічні параметри датчика YL-69 наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри датчика YL-69

Параметр	Значення
Тип виходу	Аналоговий / цифровий
Живлення	3,3–5 В
Робочий струм	< 20 мА
Довжина зондових ніжок	60 мм
Матеріал зондових ніжок	Нержавіюча сталь
Робоча температура	10–30 °С
Наявність компаратора	Так (на базі LM393)
Налаштування порогу спрацювання	Через потенціометр
Індикатори стану	LED (вологість, живлення)
Розміри плати	~30 × 15 мм

Вибір саме цього датчика зумовлений його доступністю, простотою інтеграції, достатньою точністю для цілей моніторингу стану ґрунту та можливістю роботи в реальному часі.

У контексті проєктованої системи оцінки ризику зсувів, постійне відстеження рівня вологості дозволяє виявляти критичні зміни в параметрах ґрунту до виникнення надзвичайної ситуації. Крім того, модуль легко під'єднується до мікроконтролерів, що спрощує розробку апаратної частини системи.

Отже, датчик YL-69 забезпечує функціональність, необхідну для реалізації ефективної системи моніторингу вологості ґрунту в гірських умовах, що є ключовим елементом в оцінці ризику зсуву.

2.2.4 Давач вібрації SW-420

Давач вібрації SW-420 – це недорогий, простий у використанні сенсор, призначений для виявлення механічних коливань та поштовхів [6]. Його часто застосовують у системах безпеки, контролю навколишнього середовища, а також у різноманітних проєктах моніторингу, де потрібно фіксувати рух або вібрацію (рис. 2.6).

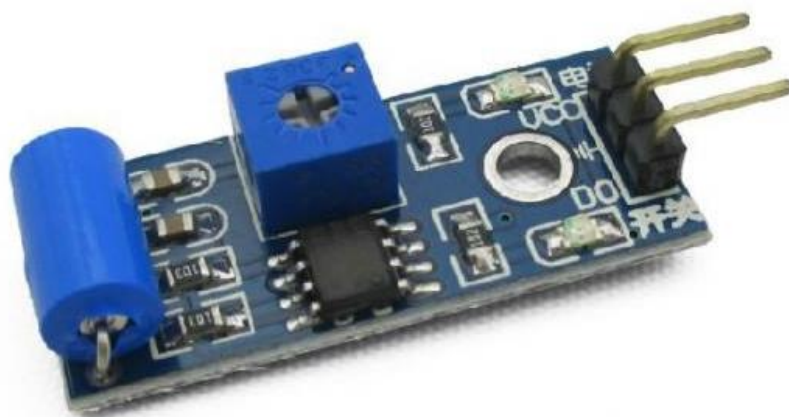


Рисунок 2.6 – Давач вібрації SW-420

У рамках комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах, використання давача SW-420 дозволяє своєчасно виявляти підвищену сейсмічну активність або початкові фази зсувних процесів, які можуть проявлятися у вигляді мікровібрацій.

Давач складається з циліндричного чутливого елемента SW-420, змонтованого на платі з компаратором LM393, потенціометром для регулювання чутливості, та вихідними контактами живлення і сигналу. Усередині циліндра знаходиться металева пружинка, яка замикає контакт із внутрішнім електродом при виникненні вібрацій або механічного поштовху. Це викликає коротке замикання, яке фіксується як сигнал. В таблиці 2.3 наведені характеристики давача вібрації SW-420.

Таблиця 2.3 – Характеристики давача вібрації SW-420

Параметр	Значення
Напруга живлення	3,3–5 В
Тип виходу	Цифровий
Діапазон виявлення	Механічні коливання та поштовхи
Регулювання чутливості	Є (потенціометр)
Індикація	Світлодіоди "Power" та "Signal"
Робоча температура	від -10°C до +70°C
Розміри плати	3.2 × 1.4 см

SW-420 працює за принципом детекції фізичних коливань — коли давач фіксує вібрацію або удар, на цифровому виході з'являється сигнал низького рівня. Якщо система не виявляє руху, сигнал залишається високим. Завдяки вбудованому компаратору LM393, сенсор забезпечує чіткий цифровий вихід, що значно спрощує його інтеграцію з мікроконтролерами. Електрична схема модуля давача вібрації наведена на рисунку 2.7.

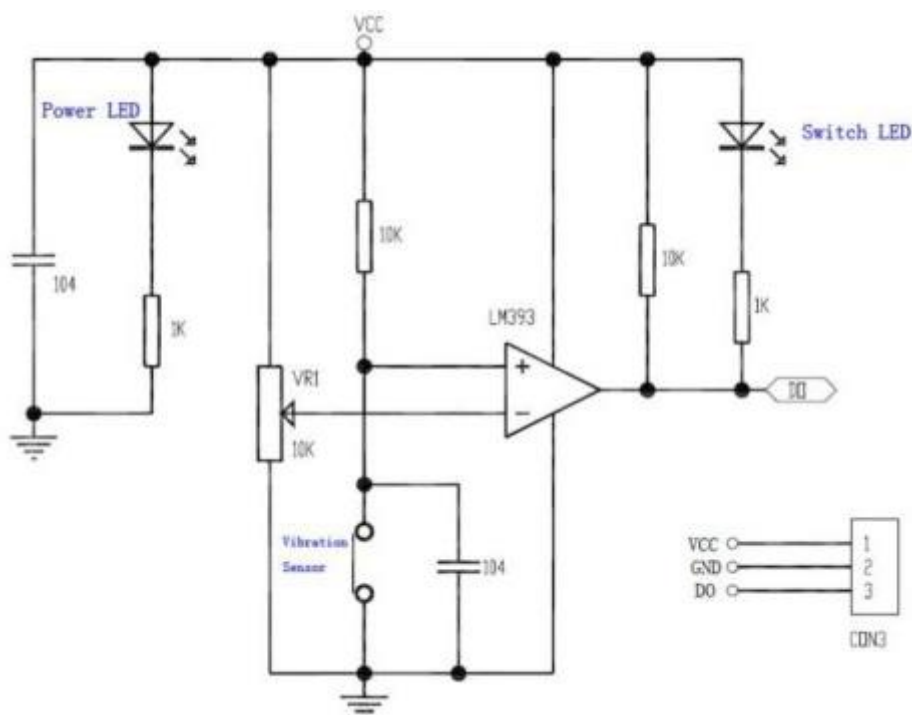


Рисунок 2.7 – Електрична схема давача вібрації SW-420

Вибір давача SW-420 для реалізації проєктованої комп'ютеризованої системи зумовлений його простотою у використанні, низькою вартістю, стабільністю роботи в умовах підвищеної вологості та температурних коливань. У контексті моніторингу ризику зсуву ґрунту цей сенсор виконує функцію індикатора руху ґрунтових мас або початкової фази зсуву, що часто супроводжується вібраціями. Його використання дозволяє створити багаторівневу систему оцінки ризику, поєднуючи дані з вологості ґрунту, нахилу та вібрації.

Завдяки наявності цифрового виходу, SW-420 легко інтегрується у мікроконтролерні системи, а можливість регулювання чутливості дозволяє адаптувати сенсор до умов конкретної місцевості. Таким чином, SW-420 є доцільним та ефективним вибором для побудови надійної системи раннього виявлення загроз зсувів у гірських районах.

2.2.5 Акселерометр ADXL345

3-осьовий акселерометр ADXL345 є високоточним сенсором, який використовується для вимірювання прискорення по трьох осях (X, Y, Z) [7]. Завдяки своїй чутливості, компактності та широким функціональним можливостям, цей акселерометр широко застосовується у системах моніторингу руху, стабілізації, геонавігації, а також у задачах виявлення нахилів та вібрацій (рис. 2.8).

У контексті комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах, модуль ADXL345 є оптимальним вибором для фіксації змін положення ґрунтової поверхні, вібрацій, мікроскопічних зрушень та інших динамічних процесів, які можуть бути провісниками зсуву.

GY-291 — це модуль, побудований на основі цифрового акселерометра ADXL345 від Analog Devices. Сам сенсор є мікроелектромеханічною системою (MEMS), яка складається з мікроскопічних структур, здатних змінювати ємність при механічному переміщенні маси, що закріплена всередині чутливого елементу. Ці зміни вимірюються та перетворюються на цифрові значення, які відображають прискорення у кожному з трьох напрямків.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.8 – Акселерометр ADXL345

Модуль підтримує підключення через інтерфейси I²C або SPI, що забезпечує гнучкість у виборі мікроконтролера. Він може працювати в різних діапазонах вимірювання: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ або $\pm 16g$, що дозволяє адаптувати його чутливість під конкретні умови моніторингу. Також датчик підтримує функції виявлення падіння, активності, неактивності, а також може зберігати дані у вбудованому FIFO-буфері. В таблиці 2.4 приведені характеристики акселерометра ADXL345.

Таблиця 2.4 – Характеристики акселерометра ADXL345

Характеристика	Значення
Тип сенсора	Цифровий MEMS акселерометр
Вимірювальні осі	X, Y, Z
Діапазон вимірювань	$\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
Роздільна здатність	До 13 біт
Інтерфейси	I ² C, SPI
Напруга живлення	3.3 – 5 В
Споживаний струм	23–145 мкА (залежно від режиму)
Вихідна частота	До 3200 Гц

ADXL345 забезпечує високу точність і стабільність вимірювання, що є критично важливим для своєчасного виявлення змін у поведінці ґрунту. Його енергоефективність дозволяє використовувати сенсор у віддалених автономних системах на основі акумуляторів або сонячного живлення. Простота інтеграції з Arduino, ESP або іншими платформами робить його надзвичайно зручним у реалізації та обслуговуванні. З урахуванням його чутливості, малих розмірів, цифрового інтерфейсу та широкого спектра функцій, акселерометр ADXL345 є доцільним вибором для даного проєкту.

Завдяки цим характеристикам ADXL345 дозволяє не лише з високою точністю визначати положення та вібрації, але й прогнозувати потенційні зсуви ґрунту, що робить його важливою складовою системи моніторингу в гірських регіонах.

2.3 Електрична принципова схема пристрою для оцінки ризику зсуву ґрунту

Схема електрична принципова системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах побудована на основі мікроконтролера, сенсорних модулів та засобів бездротової передачі даних (рис. 2.15). Основною обчислювальною частиною є мікроконтролерний модуль (U3), який здійснює збирання, обробку та передавання даних на віддалений сервер. Взаємодія мікроконтролера із сенсорними елементами та модулем зв'язку забезпечується відповідними інтерфейсами.

Для вимірювання вологості ґрунту використовується аналоговий давач (U1), підключений до аналогового входу мікроконтролера (пін A3). Давач дозволяє оперативно визначати рівень вологості у зоні встановлення системи, що є критичним параметром для оцінки ризику зсуву.

Контроль наявності вібрацій здійснюється за допомогою цифрового вхідного сигналу (U4), зчитуваного через пін D7. Наявність вібрацій може свідчити про підвищену активність ґрунтових мас або початок зсувних процесів.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

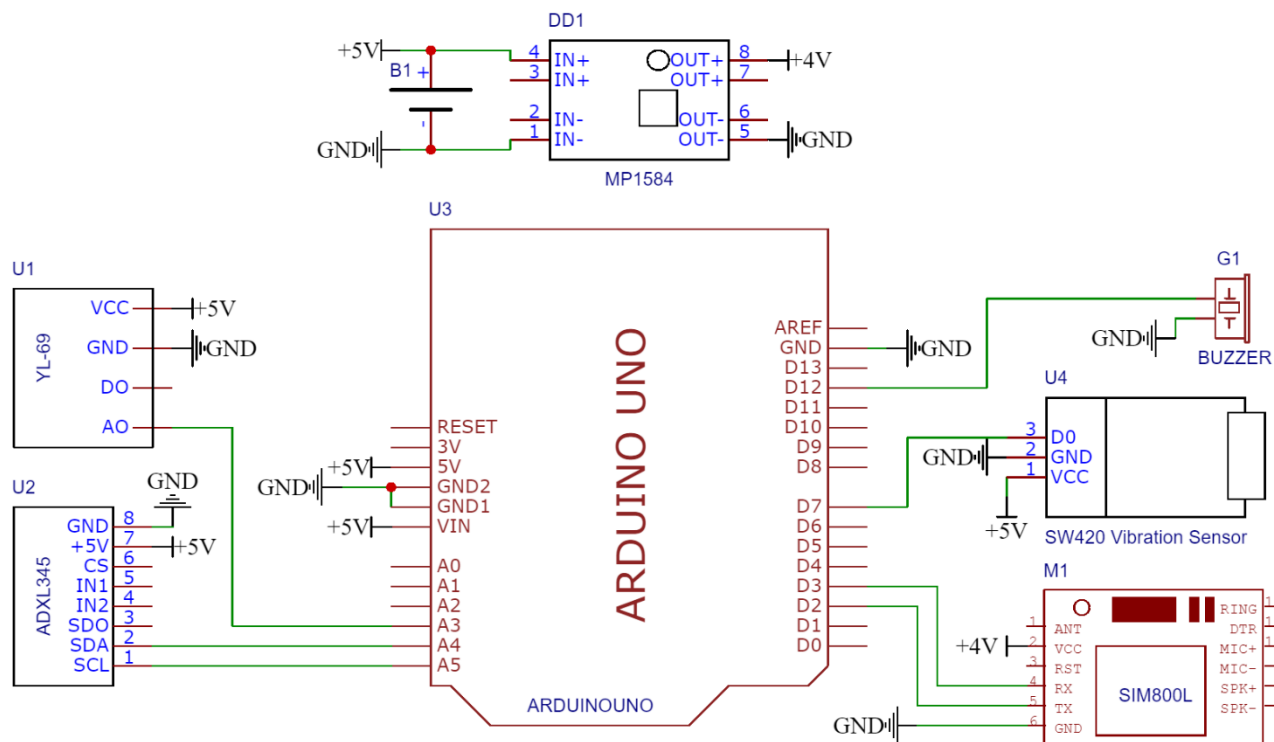


Рисунок 2.15 – Електрична принципова схема пристрою для оцінки ризику зсуву ґрунту

Для тривимірного моніторингу прискорення використовується модуль акселерометра ADXL345 (U2). Він підключений до мікроконтролера через інтерфейс I²C (провід SDA з'єднаний з піном A4, а провід SCL — з піном A5). Акселерометр забезпечує реєстрацію навіть незначних змін у положенні системи, що може вказувати на початок зсуву.

Передавання зібраних даних на віддалений сервер ThingSpeak здійснюється через GSM-модем SIM800L (M1). Для його підключення використовується програмна реалізація послідовного порту за допомогою бібліотеки SoftwareSerial на пінах D2 (RX) та D3 (TX). Модем дозволяє організувати GPRS-з'єднання для надсилання даних у режимі реального часу, що є важливим для оперативного моніторингу ситуації у важкодоступних гірських районах.

Живлення всіх елементів системи здійснюється від акумулятора з вихідною напругою 5 В. Живлення для GSM-модема SIM800L забезпечує перетворювач напруги MP1584 (DD1). При цьому особливу увагу приділено фільтрації живлення

та забезпеченню стабільної роботи радіочастотних модулів, що критично важливо для надійної передачі даних.

Електрична принципова схема поєднує сенсори, мікроконтролер та засоби бездротового зв'язку в єдину систему, яка забезпечує постійний збір даних про стан середовища та їх передачу на сервер для подальшого аналізу. Компактність та енергоефективність рішення дозволяють застосовувати його у реальних умовах гірської місцевості для оперативного виявлення загрозливих змін.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах

Розробка алгоритму роботи системи оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах є ключовим етапом проєктування, що визначає функціональну логіку всієї комп'ютеризованої системи. Основною метою алгоритму є забезпечення безперервного збору даних з сенсорів, попередня їх обробка, оцінка стану навколишнього середовища та виявлення потенційно небезпечних змін, які можуть свідчити про ймовірність зсуву ґрунту. Алгоритм враховує дані з трьох основних типів сенсорів — давача вологості ґрунту, давача вібрацій SW-420 і тривісного акселерометра ADXL345 — та передбачає надсилання результатів на хмарну платформу ThingSpeak через GSM-зв'язок.

На початковому етапі роботи системи виконується ініціалізація всіх апаратних компонентів. Це включає налаштування послідовного з'єднання з GSM-модемом, ініціалізацію акселерометра через інтерфейс I²C, а також конфігурацію аналогових і цифрових входів для зчитування даних з давачів вологості та вібрації. Якщо при старті пристрою виявлено несправність одного з модулів (наприклад, акселерометр не відповідає на запити), система переходить у режим очікування для усунення несправності.

Після успішної ініціалізації система переходить до циклового збору даних (рис. 3.1). Через заданий інтервал часу (кожні 20 секунд) мікроконтролер зчитує значення аналогового сигналу з виходу давача вологості ґрунту, визначаючи рівень вологості. Одночасно зчитується стан цифрового входу, до якого підключений давач вібрації SW-420: якщо фіксується вібрація, значення дорівнює одиниці, інакше — нулю.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Приймак М.В.			Практична частина	Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевірив		Осухівська Г.М.							
Рецензент							33	17	
Н. Контр.		Луцик Н.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Зав. каф.		Осухівська Г.М.							

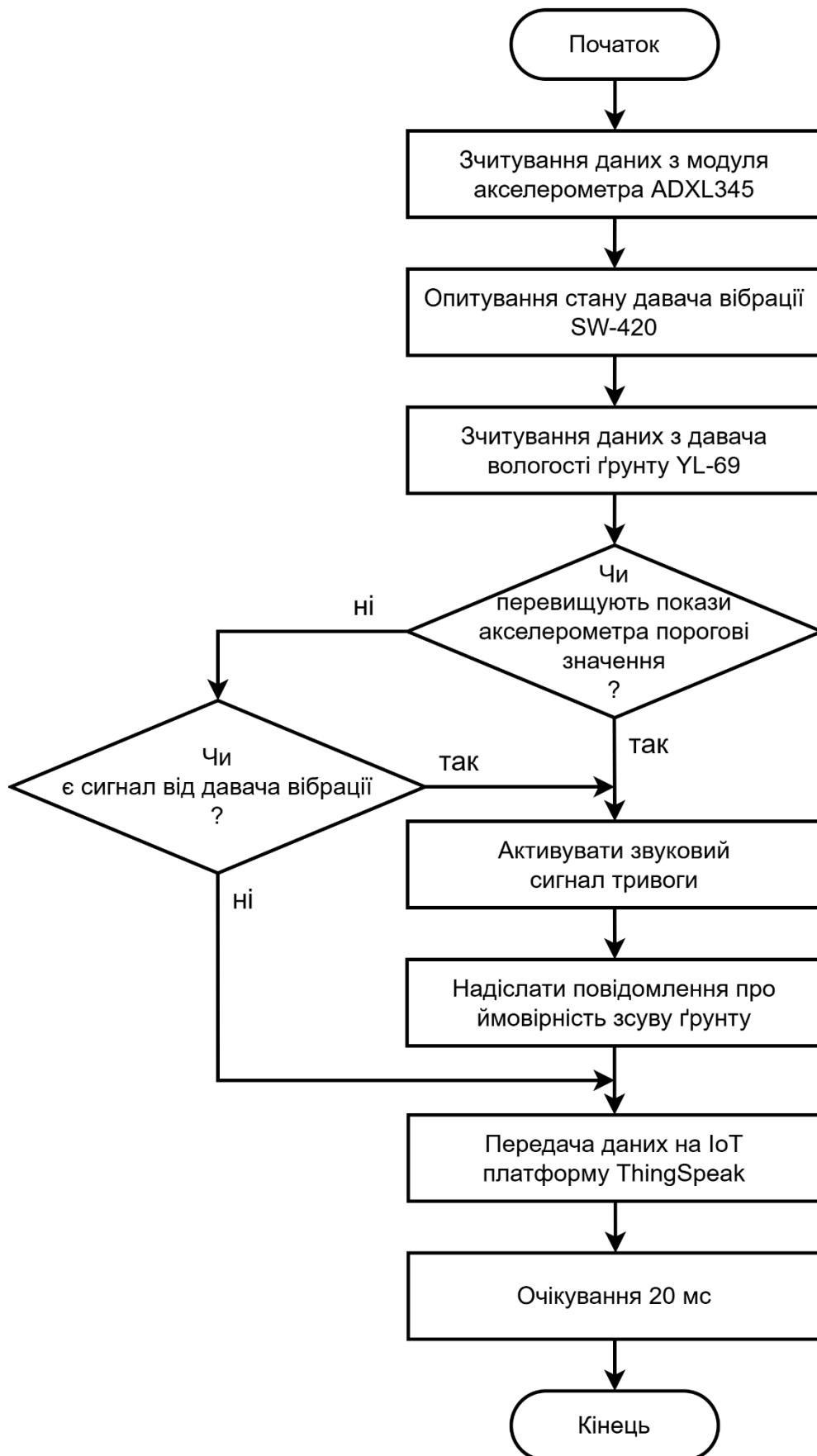


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи циклічної підпрограми loop у системі оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах

Також у цьому циклі отримуються значення прискорення по трьох осях із сенсора ADXL345, після чого розраховується модуль загального прискорення шляхом знаходження квадратного кореня суми квадратів по кожній осі.

Отримані значення порівнюються з наперед заданими пороговими рівнями. Наприклад, надмірна вологість ґрунту (понад 700 умовних одиниць), наявність постійних вібрацій або значне перевищення норми прискорення (наприклад, понад 1.5 g) можуть свідчити про потенційне розпушення ґрунту або рух гірської маси. Якщо зафіксовано перевищення хоча б одного з порогових значень, система фіксує підозру на загрозу зсуву.

У разі фіксації небезпечної тенденції активується звуковий сигнал попередження через п'єзодинамік, а також відбувається формування повідомлення для відправки на IoT-платформу. За допомогою GSM-модему SIM800L встановлюється з'єднання з мережею, і за допомогою HTTP-запиту виконується надсилання даних (вологість, вібрація, прискорення) на платформу ThingSpeak у відповідні поля каналу.

На стороні ThingSpeak дані накопичуються, після чого можуть аналізуватись за допомогою MATLAB-скриптів, які виконують обчислення ковзного середнього по кожному з параметрів. Такий підхід дозволяє виявляти не лише миттєві піки, але й тривалі відхилення, що свідчать про зростання ризику. У разі перевищення ковзних середніх над критичними значеннями скрипт може формувати повідомлення з позначенням потенційної небезпеки, що може бути надіслано користувачеві.

У циклічному режимі пристрій продовжує зчитування та передавання даних, підтримуючи автономну роботу в польових умовах. У випадку втрати GSM-зв'язку передбачено механізм повторної спроби встановлення з'єднання, щоб уникнути втрати критичної інформації. Завдяки використанню простих сенсорів та обробки даних на хмарній платформі система має можливість бути масштабованою та доступною для широкого застосування.

Запропонований алгоритм охоплює повний цикл: від зчитування фізичних параметрів, їхньої первинної обробки, виявлення аномалій — до передачі

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформації в хмару та генерації сповіщень. Ця логіка забезпечує достатню надійність, простоту реалізації та можливість подальшої модернізації системи.

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Опис бібліотек

Для розробки ПЗ для мікроконтролера було використано декілька важливих бібліотек, що забезпечують коректну роботу з підключеними пристроями та передачею даних. Кожна з бібліотек (рис. 3.2) виконує специфічні функції, необхідні для зчитування показників із сенсорів і надсилання інформації на хмарну платформу ThingSpeak.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду з підключенням бібліотек

Бібліотека SoftwareSerial.h була використана для організації зв'язку з GSM-модулем SIM800L. Стандартні апаратні послідовні порти Arduino Uno обмежені, тому для підключення додаткових пристроїв необхідно створювати програмні порти. Бібліотека SoftwareSerial дозволяє оголосити додаткові цифрові виводи для прийому та передачі даних, що є критичним для комунікації з GSM-модулем без блокування основного порту мікроконтролера.

Бібліотека Wire.h була залучена для реалізації протоколу I²C, який використовується для обміну даними з акселерометром ADXL345. Завдяки цій бібліотеці мікроконтролер може швидко і ефективно передавати та отримувати дані по двопровідному інтерфейсу, що особливо зручно при підключенні декількох I²C-пристроїв.

Ще однією важливою бібліотекою стала Adafruit_Sensor.h, яка є базовим каркасом для роботи з різними сенсорами, розробленими компанією Adafruit. Вона

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

забезпечує уніфікований підхід до зчитування даних із різних типів давачів, спрощуючи їх інтеграцію в систему та підвищуючи надійність програмного коду.

Безпосередню роботу з акселерометром ADXL345 забезпечує бібліотека Adafruit_ADXL345_U.h. Вона надає розробнику простий у використанні інтерфейс для налаштування акселерометра, зчитування даних прискорення по трьох осях, а також використання різних режимів роботи сенсора. Це дозволяє ефективно використовувати можливості акселерометра для фіксації змін нахилу та прискорення, що є критичними параметрами для оцінки ризику зсувів ґрунту.

Вибір саме цих бібліотек був зумовлений необхідністю забезпечення стабільної роботи із залученими пристроями, оптимізацією використання ресурсів мікроконтролера та спрощенням процесу програмної розробки складної комп'ютеризованої системи моніторингу зсуву ґрунту.

3.2.2 Опис коду з оголошенням змінних і об'єктів

На початку розробки ПЗ для мікроконтролера було здійснено початкове оголошення змінних і об'єктів, необхідних для взаємодії з підключеними давачами та організації передачі даних на хмарну платформу ThingSpeak. На початку програми було визначено піни підключення сенсорів та пристроїв (рис. 3.3).

```
// Піни
const int soilMoisturePin = A3;
const int vibrationPin = 7;
const int piezoPin = 12;
// GSM модем
SoftwareSerial sim800(2, 3); // RX, TX
// ADXL345
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(123456);
// ThingSpeak
String apikey = "xxxxxxxxxxxxxxxx";
String thingspeakServer = "api.thingspeak.com";
```

Рисунок 3.3 – Лістинг коду з оголошенням змінних і об'єктів

Оголошення констант soilMoisturePin та const int vibrationPin встановлює відповідні виводи для підключення давача вологості ґрунту і давача вібрації. Давач

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологості підключено до аналогового входу A0, що дозволяє зчитувати змінний аналоговий сигнал у залежності від вологості ґрунту. Водночас давач вібрації підключено до цифрового входу, оскільки цей сенсор передає прості сигнали типу «вібрація є / вібрації немає».

Для організації зв'язку з GSM-модулем SIM800L було створено об'єкт `sim800` де вказані цифрові пінні 2 (RX) і 3 (TX). Це рішення дозволяє Arduino Uno одночасно використовувати апаратний порт для відлагодження через комп'ютер і програмний порт для обміну даними з GSM-модулем.

Для роботи з тривісним акселерометром ADXL345 було створено об'єкт `accel`. Цей об'єкт базується на використанні відповідної бібліотеки та дозволяє легко ініціалізувати акселерометр і отримувати дані про прискорення вздовж трьох осей.

Для підготовки даних до відправлення на платформу ThingSpeak у коді було оголошено дві змінні рядкового типу: `apikey` та `thingspeakServer`. Змінна `apikey` містить унікальний ключ для запису даних у відповідний канал користувача на ThingSpeak, тоді як `thingspeakServer` вказує адресу сервера, до якого потрібно надсилати запити. Завдяки цим змінним система отримала можливість автоматично передавати показники сенсорів у хмару для виявлення потенційних ризиків зсуву ґрунту.

3.2.3 Опис підпрограми `setup`

Підпрограма `setup()` виконує початкову ініціалізацію всіх необхідних компонентів системи (рис. 3.4). Насамперед задаються режими роботи пінів мікроконтролера. Далі, за допомогою команди `Serial.begin` відкривається послідовний порт для обміну даними з комп'ютером, що дозволяє здійснювати моніторинг роботи пристрою під час тестування і налагодження. Паралельно виконується ініціалізація програмного зв'язку з GSM-модулем SIM800L командою `sim800.begin`. Невелика затримка забезпечує стабілізацію роботи обох інтерфейсів після їх активації.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup() {
    pinMode(vibrationPin, INPUT);
    pinMode(piezoPin, OUTPUT);

    Serial.begin(9600);
    sim800.begin(9600);
    delay(1000);

    // Ініціалізація акселерометра
    if (!accel.begin()) {
        Serial.println("ADXL345 не знайдено!");
        while (1);
    }
    accel.setRange(ADXL345_RANGE_2_G);

    // Ініціалізація GSM-зв'язку
    delay(3000);
    sendCommand("AT", 1000);
    sendCommand("AT+CSQ", 1000);
    sendCommand("AT+SAPBR=3,1,\"CONTYPE\",\"GPRS\"", 1000);
    sendCommand("AT+SAPBR=3,1,\"APN\",\"internet\"", 1000);
    sendCommand("AT+SAPBR=1,1", 3000);
}

```

Рисунок 3.4 – Лістинг коду підпрограми setup()

Далі виконується ініціалізація акселерометра ADXL345 та відбувається перевірка, чи вдалося встановити зв'язок із пристроєм. У разі невдачі на послідовний порт виводиться відповідне повідомлення, після чого програма блокується нескінченним циклом. Якщо ініціалізація пройшла успішно, за допомогою команди `accel.setRange()` встановлюється діапазон вимірювання прискорення ± 2 g, що забезпечує високу чутливість для виявлення незначних змін руху.

Після налаштування давачів здійснюється підготовка GSM-модема до передачі даних. Встановлюється затримка, щоб модем встиг повністю увімкнутися і бути готовим до прийому команд. Потім через функцію `sendCommand` послідовно передаються базові AT-команди для:

- перевірки якості сигналу;
- встановлення типу з'єднання GPRS;
- налаштування точки доступу мобільного оператора;
- активації сеансу передачі даних.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, у функції `setup()` була реалізована повна початкова підготовка сенсорів та комунікаційного модуля до роботи в складі комп'ютеризованої системи моніторингу ризику зсувів ґрунту.

3.2.4 Опис підпрограми loop

Функція `loop()` у мікроконтролері Arduino Uno є основною частиною програми, яка забезпечує безперервне виконання циклічного зчитування даних із сенсорів, аналіз параметрів довкілля та передачу цих даних на хмарну платформу ThingSpeak (рис. 3.5). У контексті реалізації комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту, ця функція реалізує ключову логіку виявлення потенційно небезпечних змін.

```
void loop() {  
    // Зчитування вологості ґрунту  
    int soilValue = analogRead(soilMoisturePin);  
  
    // Зчитування вібрації  
    int vibrationValue = digitalRead(vibrationPin);  
  
    // Зчитування прискорення  
    sensors_event_t event;  
    accel.getEvent(&event);  
    float accelerationMagnitude = sqrt(event.acceleration.x * event.acceleration.x +  
                                       event.acceleration.y * event.acceleration.y +  
                                       event.acceleration.z * event.acceleration.z);  
  
    // Вивід у консоль  
    Serial.print("Вологість: "); Serial.print(soilValue);  
    Serial.print("\tВібрація: "); Serial.print(vibrationValue);  
    Serial.print("\tПрискорення: "); Serial.println(accelerationMagnitude, 2);  
  
    // Умови тривоги  
    if (soilValue > 700 || vibrationValue == 1 || accelerationMagnitude > 1.5) {  
        tone(piezoPin, 1000, 1000); // звукова сигналізація  
    } else {  
        noTone(piezoPin);  
    }  
  
    // Надсилання даних на ThingSpeak  
    sendDataToThingSpeak(soilValue, vibrationValue, accelerationMagnitude);  
  
    delay(20000); // затримка між відправками (мін. 15 с)  
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду підпрограми loop()

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початку функції відбувається зчитування значення вологості ґрунту за допомогою аналогового входу А3. Показник вологості у вигляді аналогового сигналу перетворюється в цифрове значення і відображає рівень вологості в умовних одиницях. Надмірна вологість ґрунту може бути одним із факторів, що провокують зсуви.

Далі здійснюється зчитування стану вібраційного сенсора SW-420, який підключений до цифрового входу 7. Цей сенсор має цифровий вихід і передає значення 1 у разі виявлення вібрації. Реєстрація вібрацій є важливою для виявлення початкових зрушень ґрунту або структурних змін у середовищі.

Після цього зчитуються дані з тривісного акселерометра ADXL345. Завдяки використанню бібліотеки Adafruit_ADXL345 та об'єкта sensors_event_t, отримуються значення прискорення по осях X, Y та Z. На їх основі обчислюється модуль загального прискорення, який дозволяє виявити різкі зміщення або нахили, що можуть свідчити про зсув або зрушення геологічної маси.

Всі зчитані параметри виводяться у монітор порту для візуального контролю й відлагодження. Далі виконується перевірка умов тривоги: якщо значення вологості перевищує 700, фіксується наявність вібрації або прискорення перевищує 1,5 g — активується звуковий сигнал через п'єзодинамік, який попереджає про небезпеку. Якщо жодна з умов не виконана — сигналізація вимикається.

Заключним етапом є відправлення зібраних даних на платформу ThingSpeak. Для цього викликається функція sendDataToThingSpeak (рис. 3.6), яка формує HTTP-запит POST з полями field1, field2 і field3, що відповідають вологості, вібрації та прискоренню відповідно. Передача здійснюється через GSM-модем SIM800L, що забезпечує автономну роботу системи в польових умовах без підключення до WiFi.

Завершується цикл паузою в 20 секунд, що забезпечує відповідний інтервал між запитами до ThingSpeak, відповідно до обмежень платформи. Таким чином, функція loop() реалізує повний цикл моніторингу, сигналізації та віддаленого інформування про потенційну загрозу зсуву ґрунту в реальному часі.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void sendDataToThingSpeak(int soil, int vibration, float accel) {
    String postData = "api_key=" + apikey +
        "&field1=" + String(soil) +
        "&field2=" + String(vibration) +
        "&field3=" + String(accel, 2);

    sendCommand("AT+HTTPINIT", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPARA=\"CID\",1", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://\" + thingspeakServer + "/update\"", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPARA=\"CONTENT\", \"application/x-www-form-urlencoded\"", 1000);
    sendCommand("AT+HTTPDATA=" + String(postData.length()) + ",10000", 1000);
    sim800.print(postData);
    delay(1500);
    sendCommand("AT+HTTPACTION=1", 6000);
    sendCommand("AT+HTTPTERM", 1000);
}

```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду функції sendDataToThingSpeak()

3.2.5 Опис функції sendCommand

Функція sendCommand() призначена для відправлення АТ-команд до GSM-модема SIM800 та обробки його відповіді. Її виклик здійснюється шляхом передачі текстової команди у вигляді рядка command та часу очікування відповіді timeout, який задається в мілісекундах (рис. 3.7).

```

void sendCommand(String command, const int timeout) {
    sim800.println(command);
    long int time = millis();
    while ((time + timeout) > millis()) {
        while (sim800.available()) {
            char c = sim800.read();
            Serial.print(c);
        }
    }
}

```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду функції sendCommand()

На початку роботи функція відправляє задану команду до модема через об'єкт sim800, який реалізує програмну серійну передачу даних за допомогою бібліотеки SoftwareSerial. Відправлення здійснюється командою sim800.println(), що автоматично додає символ завершення рядка після тексту команди.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Далі встановлюється змінна `time`, яка фіксує поточний момент часу у мілісекундах, отриманий через функцію `millis()`. Основна частина функції виконується в циклі `while`, який працює, доки не вийде за межі встановленого інтервалу очікування `timeout`.

У середині циклу здійснюється перевірка наявності вхідних даних від модема за допомогою `sim800.available()`. Якщо дані наявні, кожен доступний символ зчитується функцією `sim800.read()` і одразу виводиться на монітор порту через `Serial.print(c)`. Таким чином, користувач має можливість бачити відповіді модема в реальному часі, що є корисним для діагностики процесу зв'язку та налагодження програми.

Загалом, функція `sendCommand()` реалізує простий механізм взаємодії з GSM-модулем, дозволяючи надсилати команди та оперативно виводити отримані відповіді без складної обробки повідомлень.

3.3 Реалізація взаємодії з віддаленим сервером

3.3.1 Обґрунтування вибору платформи ThingSpeak

Хмарна IoT-платформа ThingSpeak є популярним сервісом для збору, зберігання, візуалізації та аналізу даних з пристроїв Інтернету речей у реальному часі. Вона широко використовується в системах моніторингу навколишнього середовища, розумних будинках, системах попередження надзвичайних ситуацій та багатьох інших застосуваннях, де важлива оперативна передача і обробка даних із сенсорних мереж (рис. 3.8).

У проєкті комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах використання ThingSpeak є цілком обґрунтованим і ефективним рішенням. ThingSpeak дозволяє передавати дані на хмарний сервер з пристроїв, а також візуалізувати ці дані у вигляді графіків, таблиць або спеціальних віджетів. Сервіс підтримує RESTful API, що дозволяє легко інтегрувати його з мікроконтролерами або модулями, які передають дані через інтернет. Крім того, ThingSpeak підтримує використання MATLAB-

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналітики для виконання обчислень, аналізу трендів, побудови математичних моделей та створення умовних тригерів для подальших дій системи.

Вибір цієї платформи для реалізації проєкту базується на кількох ключових перевагах:

- безкоштовне використання для базових задач (до 3 млн повідомлень/рік), що дозволяє уникнути витрат при прототипуванні та навчальних розробках;
- інтеграція з MATLAB — корисна функція для обробки даних, побудови прогнозів, аналізу тенденцій у зміні вологості, вібрацій чи нахилу ґрунту;
- наявність відкритої документації і підтримка великою спільнотою, що полегшує впровадження і налагодження системи;
- можливість створення тригерів: наприклад, якщо рівень вологості ґрунту або параметри акселерометра перевищують критичний рівень, система може надіслати повідомлення або активувати тривогу;
- підтримка кількох каналів і полів — це дає змогу одночасно зберігати дані з різних сенсорів у структурованому вигляді.

ThingSpeak виступає як ефективна та доступна IoT-платформа для реалізації системи, яка збирає дані про стан навколишнього середовища в гірських районах. Вона забезпечує не лише надійне збереження та візуалізацію даних, але й можливість попереднього аналізу без необхідності розгортання складної серверної інфраструктури. Це робить її оптимальним вибором для системи оцінки ризику зсуву ґрунту, де потрібна стабільність, наочність і можливість швидкого реагування на критичні зміни.

3.3.2 Налаштування платформи ThingSpeak

Під час реалізації комп'ютеризованої системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах хмарна IoT-платформа ThingSpeak була обрана як засіб для централізованого зберігання, обробки та візуалізації даних, які надходять з датчиків, встановлених на місцевості. Платформа була налаштована таким чином, щоб забезпечити безперебійний прийом даних з пристроїв на базі Arduino UNO із підключеним GSM-модулем SIM800L.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насамперед було створено новий IoT-канал (channel), у якому задавалися назви полів (fields), відповідних до параметрів, що передавалися із системи: вологість ґрунту, рівень вібрацій, прискорення по осях X, Y та Z, а також дата й час реєстрації. Для кожного поля було задано опис, який полегшував ідентифікацію параметрів під час перегляду графіків або аналізу даних (рис. 3.8).

The screenshot shows the 'New Channel' page on the ThingSpeak website. The header includes the ThingSpeak logo and navigation links for Channels, Apps, Devices, and Support. The main form has the following fields:

- Name:** A text input field containing 'System for assessing the risk of landslides'.
- Description:** A text area containing 'Computerized system for assessing the risk of landslides in mountainous areas by Shpak Dmytro'.
- Field 1:** A dropdown menu showing 'Soil Moisture' with a checked checkbox.
- Field 2:** A dropdown menu showing 'Vibration' with a checked checkbox.
- Field 3:** A dropdown menu showing 'Acceleration' with a checked checkbox.

Рисунок 3.8 – Налаштування IoT-каналу у ThingSpeak

Далі було згенеровано унікальні ключі API, зокрема Write API Key, що використовувався в мікроконтролері для передачі даних до платформи. У коді програми для Arduino було реалізовано функцію надсилення даних через HTTP-запит до ThingSpeak з використанням цього ключа. Оскільки система працювала на базі GSM-зв'язку, особливу увагу було приділено стабільності передачі та обробці помилок під час з'єднання з мережею.

Для візуалізації зібраних даних було налаштовано графіки для кожного параметра, що дозволило зручно контролювати зміни в показниках вологості ґрунту, вібрацій та прискорень у режимі реального часу.

Крім цього, було налаштовано MATLAB-аналітику, яка дозволила виконати обчислення ковзного середнього значення вологості та частоти вібрацій, щоб виявляти потенційно небезпечні тенденції. Для цього було створено відповідний

MATLAB-скрипт безпосередньо у вбудованому редакторі ThingSpeak. Це дозволило реалізувати базовий аналіз даних без необхідності переносу їх на зовнішні платформи.

У підсумку, процес налаштування ThingSpeak був реалізований успішно та дозволив створити надійну та функціональну систему обробки й візуалізації даних з сенсорної мережі, що значно підвищило ефективність моніторингу ризику зсувів у гірській місцевості.

3.3.3 MATLAB-скрипт для обчислення ковзного середнього значення вимірних параметрів

Для обробки даних, отриманих від сенсорної системи моніторингу зсувів ґрунту, у середовищі ThingSpeak використовується MATLAB-скрипт, який виконує обчислення ковзного середнього значення вимірних параметрів. Метою такого підходу є виявлення потенційно небезпечних змін стану середовища шляхом згладжування короткочасних коливань показників (рис. 3.9).

На початку скрипта задаються основні параметри з'єднання з каналом ThingSpeak: `channelID`, що відповідає ідентифікатору каналу з даними, та `readAPIKey`, який є ключем для зчитування інформації. Також встановлюється розмір ковзного вікна `windowSize`, що визначає кількість останніх вимірів, які будуть використані для обчислення середнього значення. У даному випадку значення `windowSize` дорівнює 10.

Далі скрипт виконує зчитування останніх `windowSize` значень з трьох різних полів каналу. Перше поле (Field 1) містить дані про вологість ґрунту, друге поле (Field 2) — інформацію про рівень вібрацій, а третє поле (Field 3) — модуль прискорення, отриманий з акселерометра. Зчитування даних виконується за допомогою функції `thingSpeakRead()` з відповідними параметрами.

Перед обробкою даних скрипт перевіряє їх повноту. Якщо хоча б одне з полів містить значення NaN, виводиться повідомлення про недостатність даних для обробки, і подальше виконання скрипта припиняється. Це дозволяє уникнути некоректних розрахунків через відсутні вимірювання.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

% Зчитування останніх N значень з полів:
% Field 1 - Вологість ґрунту
% Field 2 - Вібрація
% Field 3 - Акселерометр (модуль прискорення)
soilData = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 1, 'NumPoints', windowSize, 'ReadKey', readAPIKey);
vibrationData = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 2, 'NumPoints', windowSize, 'ReadKey', readAPIKey);
accelData = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 3, 'NumPoints', windowSize, 'ReadKey', readAPIKey);

% Перевірка наявності даних
if any(isnan([soilData; vibrationData; accelData]))
    disp('Недостатньо даних для обробки.');
```

```

    return;
end

% Розрахунок ковзного середнього
soilAvg = mean(soilData);
vibrationAvg = mean(vibrationData);
accelAvg = mean(accelData);

% Порогові значення (можна адаптувати під специфіку місцевості)
soilThreshold = 700;           % Вологість (макс. допустима)
vibrationThreshold = 0.5;      % Рівень вібрацій (в середньому за 10 вимірів)
accelThreshold = 1.5;          % Прискорення (в г, відносно спокійного стану)

% Аналіз ситуації
if (soilAvg > soilThreshold) && (vibrationAvg > vibrationThreshold || accelAvg > accelThreshold)
    disp('⚠ Потенційна небезпека зсуву ґрунту! Перевищено пороги:');
    if soilAvg > soilThreshold
        fprintf(' - Вологість: %.2f > %.2f\n', soilAvg, soilThreshold);
    end
    if vibrationAvg > vibrationThreshold
        fprintf(' - Вібрація: %.2f > %.2f\n', vibrationAvg, vibrationThreshold);
    end
    if accelAvg > accelThreshold
        fprintf(' - Прискорення: %.2f > %.2f\n', accelAvg, accelThreshold);
    end
else
    disp('✅ Усі показники в межах норми. Ризику зсуву не виявлено.');
```

```

end

```

Рисунок 3.9 – Фрагмент MATLAB-скрипта для обчислення ковзного середнього значення вимірних параметрів

У разі наявності всіх необхідних даних, скрипт обчислює ковзне середнє для кожного параметра окремо за допомогою функції `mean()`. Таким чином визначаються усереднені значення вологості ґрунту (`soilAvg`), рівня вібрацій (`vibrationAvg`) та модуля прискорення (`accelAvg`).

На завершення у скрипті задаються порогові значення для кожного з параметрів, які можуть бути адаптовані відповідно до особливостей конкретної місцевості. Наприклад, встановлено максимальне допустиме значення вологості ґрунту на рівні 700 умовних одиниць та граничне значення рівня вібрацій на рівні 0,5. Перевищення цих порогів у поєднанні із аналізом змін прискорення може свідчити про підвищену небезпеку виникнення зсуву.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Результати моделювання системи

Перевірка функціональності проєктованої комп'ютеризованої системи оцінки ризику зсуву ґрунту проводилась з використанням інструментального програмного середовища Cirkit Designer.

На першому етапі було створено електронну модель системи у середовищі Cirkit Designer, яке дозволяє не лише візуально змоделювати принципову схему, а й емулювати поведінку компонентів (рис. 3.10).

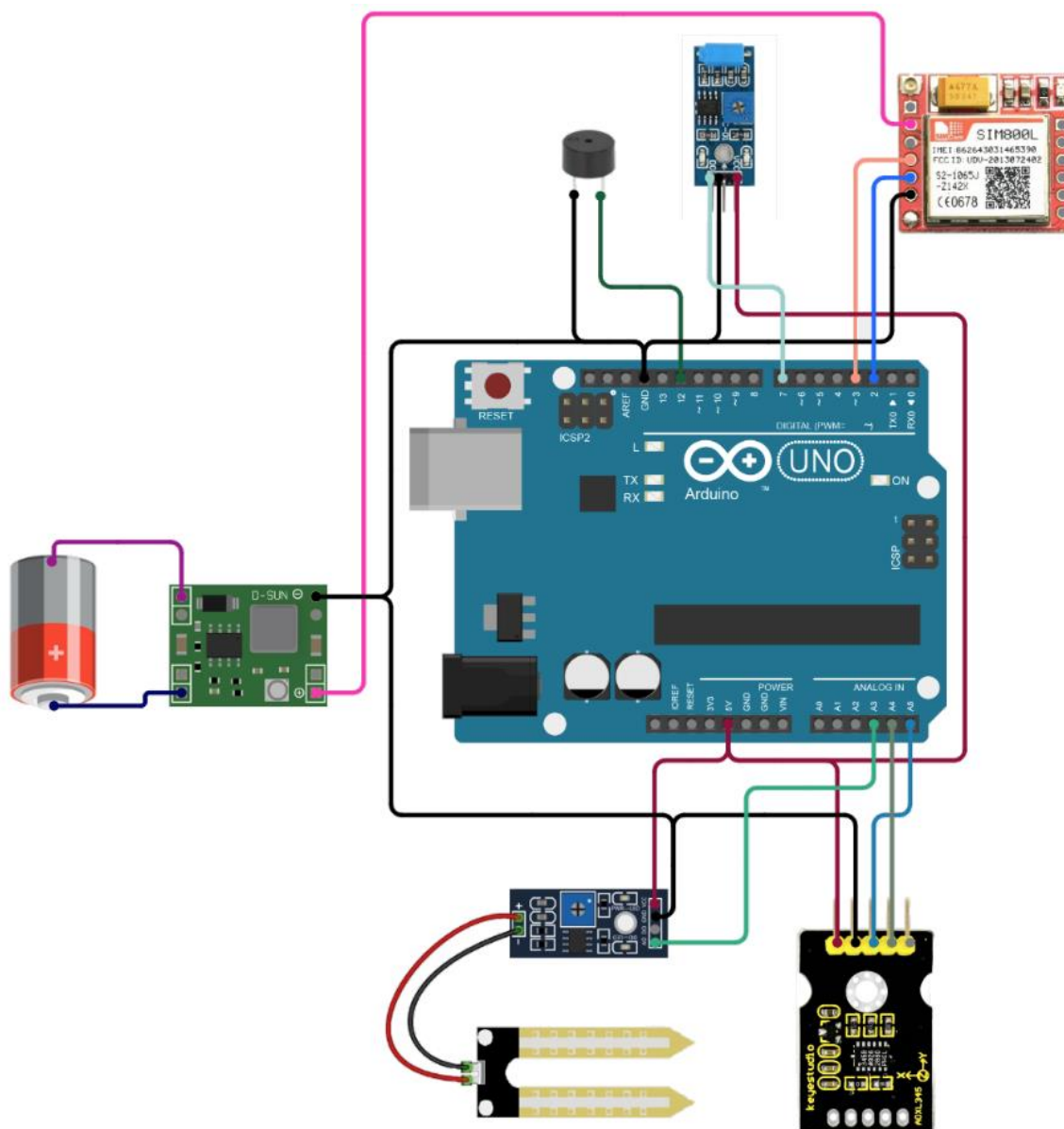


Рисунок 3.10 – Модель системи оцінки ризику зсуву ґрунту у середовищі Cirkit Designer

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

У моделі було використано такі основні елементи: мікроконтролер Arduino Uno, давач вологості ґрунту YL-69, давач вібрації SW-420, акселерометр ADXL345, GSM-модуль SIM800L, п'єзодинамік, а також джерело живлення у вигляді акумуляторної батареї. Кожен із компонентів було підключено відповідно до схемотехнічних рекомендацій, із урахуванням допустимих рівнів напруги і логіки роботи.

Під час моделювання основна увага приділялася правильності з'єднання елементів, коректності живлення компонентів, а також перевірці цифрових і аналогових сигналів. Завдяки можливостям Cirkit Designer вдалося провести попередню перевірку логіки зчитування сигналів з сенсорів, ініціалізації акселерометра через інтерфейс I²C та передавання сигналу від вібраційного сенсора вібрації на цифровий вхід мікроконтролера.

Окрему увагу було приділено моделюванню логіки обробки даних і перевірці реакції системи на зміну показників. Було змодельовано сценарій, у якому вологість перевищує допустимий поріг, присутні ознаки вібрацій або різкі зміни прискорення — і система відповідно активує сигнал тривоги. Також перевірялась коректність формування даних для передачі на хмарну платформу, що дозволило виявити та усунути потенційні помилки ще до фізичної реалізації схеми.

Результати моделювання дали змогу уточнити розташування компонентів на платі, підібрати оптимальні номінали резисторів та конденсаторів (у випадку з підключенням давачів), перевірити надійність логіки керування та підготуватися до етапу створення фізичного прототипу. Таким чином, моделювання в Cirkit Designer стало важливим проміжним етапом, який дозволив мінімізувати ризики апаратних помилок, скоротити час налагодження та забезпечити більшу впевненість у працездатності майбутньої системи.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аварії з викидом радіоактивних речовин

Найнебезпечнішими за наслідками є аварії на АЕС з викидом в атмосферу радіоактивних речовин, внаслідок яких має місце довгострокове радіоактивне забруднення місцевості на величезних площах.

На підприємствах атомної енергетики відбулися такі значні аварії:

- 1957 рік — аварія в Віндскейлі (Північна Англія) на заводі по виробництву плутонію (зона радіоактивного забруднення становила 500 км²);
- 1957 рік — вибух сховища радіоактивних відходів біля Челябінська, СРСР (радіаційне забруднення переважно стронцієм-90 території, на якій мешкало 0,5 млн. осіб);
- 1961 рік — аварія на АЕС в Айдахо-Фолсі, США (в реакторі стався вибух);
- 1979 рік — аварія на АЕС «Тримайл-Айленд» у Гарисберзі, США (сталось зараження великих територій короткоживучими радіонуклідами, що призвело до необхідності евакуювати населення з прилеглої зони).
- 1986 рік — аварія на Чорнобильській АЕС;
- 2011 рік — аварія на Фукусімській АЕС.

Найбільша за масштабами забруднення навколишнього середовища аварія сталася 26 квітня 1986 р. Внаслідок грубих порушень правил експлуатації та помилкових дій персоналу 1986 рік став для людства роком вступу в епоху ядерної біди. Історія людства ще не знала такої аварії, яка була б настільки згубною за своїми наслідками для довкілля, здоров'я та життя людей. Радіаційне забруднення територій та водоймищ, міст та сіл, вплив радіонуклідів на мільйони людей, які тривало проживають на забруднених територіях, дозволяє назвати масштаби цієї катастрофи глобальними, а ситуацію — надзвичайною.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Шпак Д.С.								
Перевірів		Приймак М.В.							50	7
Консульт.		Пилипець М.І.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.		Луцук Н.С.								
Зав. каф.		Осуківська Г.М.								

Грубі порушення правил експлуатації АЕС, скоєні персоналом ЧАЕС, полягали в наступному [24]:

- проведення експерименту будь-якою ціною, незважаючи на зміну стану реактора;
- вивід з роботи справного технологічного захисту, який просто зупинив би реактор ще до того як він потрапив би в небезпечний режим;
- замовчання масштабу аварії в перші дні керівництвом ЧАЕС.

У сучасному викладі, причини аварії такі:

- реактор був неправильно спроектований і небезпечний;
- персонал не був проінформований про небезпеки;
- персонал допустив ряд помилок і ненавмисно порушив існуючі інструкції, частково через відсутність інформації про небезпеки реактора;
- відключення захисту або не вплинуло на розвиток аварії, або не суперечило нормативним документам.

В результаті аварії з сільськогосподарського користування було виведено близько 5 млн га земель, довкола АЕС створена 30-кілометрова зона відчуження, знищені і поховані (закопані важкою технікою) сотні дрібних населених пунктів.

Перед аварією в реакторі четвертого блоку знаходилося 180–190 тон ядерного палива (діоксиду урану). За оцінками, які в наш час вважаються найбільш достовірними, в навколишнє середовище було викинуто від 5 до 30 % від цієї кількості. Деякі дослідники ставлять під сумнів ці дані, посилаючись на наявні фотографії і спостереження очевидців, які показують, що реактор практично порожній. Слід, проте, враховувати, що об'єм 180 тон діоксиду урану становить лише незначну частину від об'єму реактора. Реактор в основному був заповнений графітом, вважається, що він згорів в перші дні після аварії.

Грінпіс і міжнародна організація «Лікарі проти ядерної війни» стверджують, що в результаті аварії лише серед ліквідаторів померли десятки тисяч чоловік, в Європі зафіксовано 10 000 випадків вроджених патологій в новонароджених, 10 000 випадків раку щитоподібної залози і очікується ще 50 тисяч. За даними організації Союз «Чорнобиль», з 600 000 ліквідаторів 10 % померло і 165 000 стало інвалідами.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість постраждалих від Чорнобильської аварії можна визначити лише приблизно. Окрім загиблих працівників АЕС і пожежників, до них слід віднести хворих військовослужбовців і цивільних осіб, що брали участь в ліквідації наслідків аварії, і мешканців районів, що піддалися радіоактивному забрудненню. Визначення того, яка частина захворювань з'явилася наслідком аварії — вельми складне завдання для медицини і статистики. Вважається, що більша частина смертельних випадків, пов'язаних з дією радіації, була або буде викликана онкологічними захворюваннями.

2011 рік — аварія на Фукусімській АЕС. У результаті найсильнішого в історії Японії землетрусу силою 8,8 балів за шкалою Ріхтера, що стався 11 березня 2011 р. на північно-східному узбережжі Японії і викликаного ним цунамі на першому блоці атомної електростанції [25].

«Фукусіма-1» стався вибух, що привів до руйнування залізобетонної оболонки реактора і викиду в атмосферу радіоактивних речовин. Це привело до загибелі 5178 людей і зникнення безвісті 8606 осіб як безпосередньо від руйнувань, так і викликаного ним цунамі висотою до 12 метрів. Близько 100300 будинків у країні були зруйновані стихією повністю або частково.

З 15 по 18 березня вибухи відбулися ще на двох блоках, 3-й та 4-й енергоблоки охопила пожежа, що привело до викиду радіоактивних речовин у атмосферу. До 27 березня на чотирьох постраждалих енергоблоках вдалось відновити роботу приладів управління і деякі робочі функції. 4 квітня для вирішення завдання екстреного відкачування високо радіоактивної води з підземних споруд енергоблоків було здійснене скидання у море приблизно 10 000 тон радіоактивно зараженої води.

11 квітня стався 7-бальний землетрус, але ніхто з ліквідаторів не постраждав і всі аварійні операції були продовжені. З 17 квітня почалось спорудження системи з насосів, що відкачували б забруднену воду з підземних споруд, а також фільтрів, установлених зовні енергоблоків, для очищення води і теплообмінників для її охолодження.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У середині грудня всі проблемні реактори АЕС були приведені в стан холодної зупинки. Ситуацію на АЕС «Фукусіма-1» вдалося стабілізувати. Наступний, більш складний, етап ліквідації наслідків аварії – витяг розплавленого ядерного палива з реакторів – японські фахівці почнуть проводити не раніше, ніж через 10 років.

4.2 Аналіз умов праці за показниками шкідливості та небезпечності чинників виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу

Головним завданням будь-якої галузі народного господарства є збільшення продуктивності праці. Разом з тим продуктивність праці обумовлена здатністю працівників фізично, фізіологічно та психофізіологічно виконувати поставлені задачі і нерозривно пов'язана з умовами праці. При ігноруванні принципів охорони праці можуть виникнути різкі порушення умов праці з наслідками негативної дії на здоров'я працівників, зниження продуктивності праці.

В реальних умовах виробництва працюючі можуть піддаватись впливу одночасно кількох шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Важливо проаналізувати їх вплив на умови праці, зокрема на показники важкості і напруженості трудового процесу та працездатність людини. Необхідно з'ясувати, як ці фактори впливають на трудову діяльність, здоров'я та ефективність працівників.

Для об'єктивної оцінки умов праці на виробництві проводиться атестація робочих місць. Згідно Постанови Кабінету Міністрів України № 442 від 1.09.1992 р. атестація робочих місць за умовами праці проводиться на підприємствах і організаціях незалежно від форм власності й господарювання, де технологічний процес, використовуване обладнання, сировина та матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що можуть несприятливо впливати на стан здоров'я працюючих, а також на їхніх нащадків як тепер, так і в майбутньому. Основна мета атестації полягає у врегулюванні відносин між роботодавцем і працівниками у галузі реалізації прав

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на здорові й безпечні умови праці. Результати атестації використовуються для цілеспрямованої і планомірної роботи, спрямованої на покращення умов праці, а також для надання пільг і компенсацій, передбачених чинним законодавством, таких, як скорочена тривалість робочого часу, додаткова оплачувана відпустка, пільгова пенсія, оплата праці у підвищеному розмірі [26].

Для проведення атестації робочих місць та встановлення пріоритету в проведенні оздоровчих заходів використовуються державні санітарні норми та правила "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу", затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 06.05.2014 р. № 472/25249. Виходячи з принципів Гігієнічної класифікації, умови праці діляться на 4 класи: оптимальні; допустимі; шкідливі; небезпечні (екстремальні).

1 клас – оптимальні умови праці – такі умови, при яких зберігається не лише здоров'я працюючих, а й створюються передумови для підтримання високого рівня працездатності. Оптимальні гігієнічні нормативи виробничих факторів встановлені для мікроклімату і факторів трудового процесу. Для інших факторів за оптимальні умовно приймаються такі умови праці, за яких несприятливі фактори виробничого середовища не перевищують рівнів, прийнятих за безпечні для населення.

2 клас – допустимі умови праці – характеризуються такими рівнями факторів виробничого середовища і трудового процесу, які не перевищують встановлених гігієнічних нормативів, а можливі зміни функціонального стану організму відновлюються за час регламентованого відпочинку або до початку наступної зміни та не чинять несприятливого впливу на стан здоров'я працюючих та їх потомство в найближчому і віддаленому періодах.

3 клас – шкідливі умови праці — характеризуються такими рівнями шкідливих виробничих факторів, які перевищують гігієнічні нормативи і здатні чинити несприятливий вплив на організм працюючого та/або його потомство.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шкідливі умови праці за ступенем перевищення гігієнічних нормативів та вираженості можливих змін в організмі працюючих поділяються на 4 ступені [27]:

– 1 ступінь – умови праці характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища та трудового процесу, які викликають функціональні зміни, що виходять за межі фізіологічних коливань (останні відновлюються при тривалішій, ніж початок наступної зміни, перерві контакту з шкідливими факторами) та збільшують ризик погіршення здоров'я;

– 2 ступінь – умови праці характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, які здатні викликати стійкі функціональні порушення, призводять у більшості випадків до зростання виробничо-обумовленої захворюваності, появи окремих ознак або легких форм професійної патології (без втрати професійної працездатності), що виникають після тривалої експозиції (10 років та більше);

– 3 ступінь – умови праці характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, які призводять, окрім зростання виробничо-обумовленої захворюваності, до розвитку професійних захворювань легкого та середнього ступенів важкості (з втратою професійної працездатності в період трудової діяльності);

– 4 ступінь – умови праці характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, які здатні призводити до значного зростання хронічної патології та рівнів захворюваності з тимчасовою втратою працездатності, а також до розвитку важких форм професійних захворювань (з втратою загальної працездатності).

4 клас небезпечні (екстремальні) умови праці – характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, вплив яких протягом робочої зміни (або ж її частини) створює загрозу для життя, високий ризик виникнення важких форм гострих професійних уразень.

Ступінь шкідливості умов праці встановлюється за величиною перевищення граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин; класом та ступенем шкідливості чинників біологічного походження; залежно від величин

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищення чинних нормативів шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку; за показником мікроклімату, який отримав найвищий ступінь шкідливості з врахуванням категорії важкості праці за рівнем енергозатрат, або за інтегральним показником теплового навантаження середовища; за величиною перевищення граничнодопустимих рівнів електромагнітних полів та випромінювань; за параметрами радіаційного фактору відповідно до Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000); за показниками природного та штучного освітлення; за величиною недодержання необхідної кількості іонів повітря і показника їх полярності.

Оцінка важкості трудового процесу здійснюється на підставі обліку фізичного динамічного навантаження, маси вантажу, що піднімається і переміщується, загальної кількості стереотипних робочих рухів, величини статичного навантаження, робочої пози, ступеню нахилу корпусу, переміщень в просторі. Оцінка напруженості трудового процесу здійснюється на підставі обліку факторів, що характеризують напруженість праці, а саме, інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

Згідно гігієнічної класифікації робота в умовах перевищення гігієнічних нормативів (3 та 4 клас умов праці) може бути дозволена тільки при застосуванні засобів колективного та індивідуального захисту і скороченні часу дії шкідливих виробничих факторів (захист часом). Робота в небезпечних (екстремальних) умовах праці (4 клас) не дозволяється, за винятком ліквідації аварій, проведення екстрених робіт для попередження аварійних ситуацій. Ця робота повинна виконуватись у відповідних засобах індивідуального захисту та регламентованих режимах виконання робіт [27].

Умови праці визначають ступінь захворюваності працюючих, як професійної, так і виробничо зумовленої, тому контроль показників захворюваності відіграє важливу роль у поліпшенні умов праці.

Систему оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах розроблено з урахуванням аналізу умов праці за показниками шкідливості та небезпечності чинників виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступне:

1) Проаналізовано технічне завдання на розробку системи, в якому визначено її призначення, основні функції, вимоги до структури, апаратного забезпечення та програмної частини.

2) Проведено огляд сучасних апаратно-програмних засобів та аналогічних рішень на ринку, зокрема комерційних систем моніторингу зсувів. В результаті порівняльного аналізу виявлено їх переваги і недоліки, що дозволило сформулювати обґрунтовані вимоги до функціональності проєктованої системи.

3) Обґрунтовано вибір елементної бази системи, зокрема: мікроконтролера Arduino Uno, сенсора вологості ґрунту YL-69, давача вібрації SW-420, акселерометра ADXL345, GSM-модуля SIM800L та п'єзодинаміка для сигналізації.

4) Розроблено структурну та принципову електричну схему системи, яка описує взаємозв'язки між мікроконтролером та давачами, елементами сигналізації і модулем зв'язку.

5) Реалізовано програмне забезпечення для мікроконтролера, що забезпечує зчитування даних із сенсорів, аналіз критичних значень, активацію тривожної сигналізації та передачу даних на хмарну IoT-платформу ThingSpeak за допомогою GSM-зв'язку.

6) Налаштовано обліковий запис і канал на платформі ThingSpeak, а також розроблено MATLAB-скрипт для обчислення ковзного середнього значення та автоматичного аналізу показників з метою виявлення потенційно небезпечних тенденцій.

7) Проведено моделювання структури системи в середовищі Circuit Designer та тестування її роботи з підключеним обладнанням, що підтвердило працездатність апаратної та програмної частини.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Monitoring of slopes and landslide areas. URL: <https://leica-geosystems.com/industries/monitoring-solutions/environmental-monitoring/monitoring-landslide> (дата звернення: 15.03.2025).
2. Wireless Technology in Landslide Monitoring. URL: <https://www.encardio.com/blog/wireless-technology-in-landslide-monitoring> (дата звернення: 16.03.2025).
3. Arduino UNO R3 (CH340/microUSB). URL: <https://arduino.ua/prod7518-arduino-uno-r3-ch340> (дата звернення: 17.03.2025).
4. GSM модуль на SIM800L. URL: <https://arduino.ua/prod1665-gsm-modul-na-sim800l> (дата звернення: 18.03.2025).
5. Модуль датчика вібрації SW-420. URL: <https://arduino.ua/prod1429-modul-datchika-vibracii-sw-420> (дата звернення: 19.03.2025).
6. Датчик вологості ґрунту (гігрометр). URL: <https://arduino.ua/prod521-datchik-vlajnosti-pochvi-gigrometr> (дата звернення: 20.03.2025).
7. Keyestudio ADXL345 Three Axis Acceleration Module. URL: https://wiki.keyestudio.com/Ks0012_keyestudio_ADXL345_Three_Axis_Acceleration_Module (дата звернення: 26.03.2025).
8. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.
9. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 1. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 256 с.
10. Vasylykivskiy I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.
11. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

12. 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 (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

13. 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.

14. Shabliy N., Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Malyshevskaya O. Keystroke dynamics analysis using machine learning methods. Applied Computer Science. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 75-83.

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

16. 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.

17. 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.

18. 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 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

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

25. Мохняк С.М. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. Львів: вид. НУ „Львівська політехніка”, 2009. 264 с.

26. Жидацький В.Ц. Охорона праці користувачів комп’ютерів : підручник. Львів : Афіша, 2020. 176 с.

27. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці. К.: Центр учбової літератури, 2009. 209 с.

					КС КРБ 123.219.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедрою КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНКИ РИЗИКУ ЗСУВУ ҐРУНТУ В
ГІРСЬКИХ РАЙОНАХ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на ____ 8 ____ листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ д.т.н. Приймак М.В.

“ ____ ” _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____ Шпак Д.С.

“ ____ ” _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютеризована система оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.219.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Шпак Дмитро 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 – 25.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

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

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система призначена для автоматичного збору даних з сенсорів, що фіксують параметри ґрунту, їхньої обробки, аналізу та візуалізації для оцінки ризику зсуву. Вона забезпечує дистанційний моніторинг у реальному часі та дозволяє приймати своєчасні рішення щодо запобіжних заходів. Система базується на використанні бездротових сенсорних модулів та сучасних методів обробки інформації.

2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є розробка ефективного рішення для моніторингу стану схилів у гірських районах, що дозволить знизити ризики

виникнення зсувів, підвищити рівень безпеки населення та покращити ефективність реагування на потенційні загрози.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом моніторингу є гірські схили, що характеризуються високою вірогідністю зсувних процесів. Вимірювання проводяться за допомогою інклінометрів, тензометричних датчиків, акселерометрів та давачів вологості. Зібрані дані передаються до центрального серверу для аналізу.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах повинна забезпечувати автоматизований моніторинг змін у стані ґрунту, аналіз отриманих даних та формування прогнозів щодо можливих зсувів. Система має бути адаптивною, надійною та інтегрованою з існуючими геоінформаційними платформами для обміну даними.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система повинна складатися з давачів для вимірювання параметрів ґрунту (температури, вологості, нахилу поверхні, сейсмічної активності), обчислювального модуля для обробки даних, модуля бездротового передавання інформації та центрального серверного комплексу. Функціонування системи має бути безперервним, з можливістю автономної роботи та підтримки резервного живлення.

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

Компоненти системи повинні взаємодіяти через надійні канали зв'язку, такі як Wi-Fi, LoRaWAN або GSM/4G/5G, залежно від доступності мережевої інфраструктури. Передавання даних має бути зашифрованим для забезпечення безпеки інформації. Центральний сервер повинен отримувати дані в режимі реального часу та зберігати їх у базі даних для подальшого аналізу.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Вимоги до режимів функціонування визначаються для забезпечення зручного та ефективного використання системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах. Система повинна працювати в кількох режимах:

- нормальний режим – постійний моніторинг із періодичною передачею даних на сервер;
- режим підвищеної небезпеки – інтенсивне вимірювання параметрів за умов критичних змін;
- режим аварійного оповіщення – надсилання екстрених сповіщень у разі виявлення небезпечних тенденцій.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Система повинна мати можливість розширення функціональності, зокрема інтеграції додаткових сенсорів, підтримки нових протоколів зв'язку та вдосконалення алгоритмів аналізу даних. Також передбачається можливість адаптації для роботи в інших природних умовах.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна мати високу відмовостійкість і забезпечувати безперебійну роботу навіть за складних умов навколишнього середовища.

Надійність досягається дублюванням критичних елементів, використанням енергоефективних рішень та резервним копіюванням даних.

Показники надійності системи збору та аналізу даних для оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,9 %.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функції та задачі, які повинна виконувати система, передбачають:

- автоматичний збір та обробку даних про стан ґрунту;
- аналіз та візуалізацію отриманої інформації;
- прогнозування ризиків та попередження про небезпеку;
- зберігання даних для подальших досліджень.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратна частина системи повинна включати:

- давачі для моніторингу змін у ґрунті;
- мікроконтролери або одноплатні комп'ютери для локальної обробки даних;
- модулі зв'язку для передавання інформації;
- джерела автономного живлення (сонячні панелі, акумулятори).

Усі компоненти мають бути стійкими до впливу погодних умов та механічних навантажень.

Вимоги до елементної бази системи:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;
- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;

- елементна база по можливості має бути широкоживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

Вимоги до мікроконтролера:

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

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. структурна схема системи;
 2. схема електрична принципова;
 3. блок-схема алгоритму роботи;
 4. результати моделювання.

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

5 Техніко-економічні показники

Собівартість розробки системи повинна становити не більше 7000 грн.

Термін експлуатації системи повинен бути не менший 10 років.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

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

7 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 для мікроконтролера платформи Arduino Uno для реалізації збору даних з метою оцінки ризику зсуву ґрунту в гірських районах.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>

// Піни
const int soilMoisturePin = A3;
const int vibrationPin = 7;
const int piezoPin = 12;

// GSM модем
SoftwareSerial sim800(2, 3); // RX, TX

// Акселерометр
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);

// ThingSpeak
String apikey = "YOUR_THINGSPEAK_API_KEY";
String thingspeakServer = "api.thingspeak.com";

void setup() {
  pinMode(vibrationPin, INPUT);
  pinMode(piezoPin, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
  sim800.begin(9600);
  delay(1000);

  // Ініціалізація акселерометра
  if (!accel.begin()) {
    Serial.println("ADXL345 не знайдено!");
    while (1);
  }
  accel.setRange(ADXL345_RANGE_2_G);

  // Ініціалізація GSM-зв'язку
  delay(3000);
  sendCommand("AT", 1000);
  sendCommand("AT+CSQ", 1000);
  sendCommand("AT+SAPBR=3,1,\"CONTYPE\",\"GPRS\"", 1000);
  sendCommand("AT+SAPBR=3,1,\"APN\",\"internet\"", 1000); // APN
  залежить від оператора
  sendCommand("AT+SAPBR=1,1", 3000);
```

```

}

void loop() {
    // Зчитування вологості ґрунту
    int soilValue = analogRead(soilMoisturePin);

    // Зчитування вібрації
    int vibrationValue = digitalRead(vibrationPin);

    // Зчитування прискорення
    sensors_event_t event;
    accel.getEvent(&event);
    float accelerationMagnitude = sqrt(event.acceleration.x *
event.acceleration.x +
                                event.acceleration.y *
event.acceleration.y +
                                event.acceleration.z *
event.acceleration.z);

    // Вивід у консоль
    Serial.print("Вологість: "); Serial.print(soilValue);
    Serial.print("\tВібрація: "); Serial.print(vibrationValue);
    Serial.print("\tПрискорення: ");
    Serial.println(accelerationMagnitude, 2);

    // Умови тривоги
    if (soilValue > 700 || vibrationValue == 1 ||
accelerationMagnitude > 1.5) {
        tone(piezoPin, 1000, 1000); // звукова сигналізація
    } else {
        noTone(piezoPin);
    }

    // Надсилання даних на ThingSpeak
    sendDataToThingSpeak(soilValue, vibrationValue,
accelerationMagnitude);

    delay(20000); // затримка між відправками (мін. 15 с)
}

void sendDataToThingSpeak(int soil, int vibration, float accel) {
    String postData = "api_key=" + apikey +
        "&field1=" + String(soil) +
        "&field2=" + String(vibration) +
        "&field3=" + String(accel, 2);

    sendCommand("AT+HTTPIPINIT", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPARA=\"CID\",1", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPARA=\"URL\", \"http://" + thingspeakServer +
"/update\"", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPARA=\"CONTENT\", \"application/x-www-form-
urlencoded\"", 1000);
    sendCommand("AT+HTTTPDATA=" + String(postData.length()) + ",10000",

```

```

1000);
    sim800.print(postData);
    delay(1500);
    sendCommand("AT+HTTPACTION=1", 6000);
    sendCommand("AT+HTTPTERM", 1000);
}

void sendCommand(String command, const int timeout) {
    sim800.println(command);
    long int time = millis();
    while ((millis() - time) < timeout) {
        while (sim800.available()) {
            char c = sim800.read();
            Serial.print(c);
        }
    }
}
}

```

Лістинг В.2 – MATLAB-скрипт для обчислення ковзного середнього значення вимірюваних параметрів.

```

% Параметри каналу
channelID = YOUR_CHANNEL_ID;
readAPIKey = 'YOUR_READ_API_KEY';
windowSize = 10; % Розмір ковзного вікна

% Зчитування останніх N значень з полів:
% Field 1 - Вологість ґрунту
% Field 2 - Вібрація
% Field 3 - Акселерометр (модуль прискорення)
soilData = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 1, 'NumPoints',
windowSize, 'ReadKey', readAPIKey);
vibrationData = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 2, 'NumPoints',
windowSize, 'ReadKey', readAPIKey);
accelData = thingSpeakRead(channelID, 'Fields', 3, 'NumPoints',
windowSize, 'ReadKey', readAPIKey);

% Перевірка наявності даних
if any(isnan([soilData; vibrationData; accelData]))
    disp('Недостатньо даних для обробки.');
```

```

    return;
end

% Розрахунок ковзного середнього
soilAvg = mean(soilData);
vibrationAvg = mean(vibrationData);
accelAvg = mean(accelData);

% Порогові значення (можна адаптувати під специфіку місцевості)
soilThreshold = 700; % Вологість (макс. допустима)
vibrationThreshold = 0.5; % Рівень вібрацій (в середньому за 10

```

```

вимірів)
accelThreshold = 1.5;           % Прискорення (в g, відносно спокійного
стану)

% Аналіз ситуації
if (soilAvg > soilThreshold) && (vibrationAvg > vibrationThreshold
|| accelAvg > accelThreshold)
    disp('⚠️ Потенційна небезпека зсуву ґрунту! Перевищено
пороги:');
    if soilAvg > soilThreshold
        fprintf(' - Вологість: %.2f > %.2f\n', soilAvg,
soilThreshold);
    end
    if vibrationAvg > vibrationThreshold
        fprintf(' - Вібрація: %.2f > %.2f\n', vibrationAvg,
vibrationThreshold);
    end
    if accelAvg > accelThreshold
        fprintf(' - Прискорення: %.2f > %.2f\n', accelAvg,
accelThreshold);
    end
else
    disp('✅ Усі показники в межах норми. Ризику зсуву не
виявлено.');
```