

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Мобільна IoT-система для моніторингу активності альпініста
в умовах високогір'я*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Галян О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лупенко А.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Деркач М.В.

(прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«24» квітня 2026 р

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Галяну Олександрю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мобільна IoT-система для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я

Керівник роботи Лупенко Анатолій Миколайович, д.т.н., професор

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

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

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

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи

АНОТАЦІЯ

Галян О.В. Мобільна IoT-система для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я : робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: IoT-система, мобільна система, моніторинг активності, альпінізм, високогірні умови, мікроконтролер.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення рівня безпеки під час занять альпінізмом шляхом використання сучасних вбудованих та IoT-технологій для дистанційного контролю фізичної активності в екстремальних умовах.

У першому розділі проаналізовано технічне завдання на розробку системи, сформульовано функціональні та експлуатаційні вимоги, а також проведено огляд і порівняльний аналіз існуючих аналогів портативних систем моніторингу. За результатами аналізу визначено основні переваги та недоліки відомих рішень і обґрунтовано доцільність розробки власної системи.

У другому розділі виконано проєктування апаратного забезпечення системи, розроблено структурну схему та електричну принципову схему, а також обґрунтовано вибір елементної бази з урахуванням вимог до енергоефективності, надійності та роботи в умовах високогір'я.

Третій розділ присвячено розробці алгоритму функціонування системи та програмного забезпечення мікроконтролера, реалізації інтеграції з IoT-платформою для віддаленого доступу до даних, а також проведенню тестування розробленого комплексу з метою перевірки його працездатності та відповідності заданим вимогам.

ANNOTATION

Halian O.V. Mobile IoT System for Monitoring a Mountaineer's Activity in High-Altitude Conditions. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: IoT system, mobile system, activity monitoring, mountaineering, high-altitude conditions, microcontroller.

This thesis is devoted to the development of a mobile IoT system for monitoring a mountaineer's activity in high-altitude conditions. The relevance of the work is determined by the need to improve safety during mountaineering activities through the application of modern embedded and IoT technologies for remote activity monitoring in extreme environments.

The first chapter analyzes the technical specification of the system, formulates functional and operational requirements, and presents a review and comparative analysis of existing portable monitoring solutions. Based on the analysis, the advantages and limitations of current analogs are identified, and the feasibility of developing a proprietary system is justified.

The second chapter focuses on the design of the hardware part of the system. A structural diagram and an electrical schematic diagram are developed, and the selection of the element base is substantiated, taking into account energy efficiency, reliability, and operation in high-altitude conditions.

The third chapter describes the development of the system operation algorithm and microcontroller software, the integration with an IoT platform for remote data access, and the testing of the developed system to verify its functionality and compliance with the specified requirements.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу активності альпініста.....	10
1.2 Аналіз вимог до системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я	11
1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я	13
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Структурна схема системи моніторингу активності альпініста.....	19
2.2 Розроблення апаратного забезпечення системи моніторингу активності альпініста.....	21
2.2.1 Мікроконтролерна платформа ESP32-S3 SIM7670G	21
2.2.2 Давач MAX30102	24
2.2.3 Модуль GY-521	27
2.2.4 Давач MAX30205	30
2.2.5 Давач BME280	33
2.3 Опис електричної принципової схеми IoT-системи для моніторингу активності альпініста	36
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	38
3.1 Алгоритм роботи мобільної IoT-системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я.....	38
3.2 Розроблення програмного забезпечення.....	40
3.2.1 Ініціалізація бібліотек та базових структур ПЗ системи.....	40

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Галян О.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Луценко А.М.</i>			5	77	
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, зр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					

Мобільна IoT-система для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я

3.2.2 Ініціалізація апаратних компонентів та встановлення з'єднання з IoT платформою	43
3.2.3 Реалізація основного циклу збору, обробки та передачі даних	45
3.3 Налаштування хмарної IoT платформи ThingsBoard	49
3.4 Результати моделювання та тестування системи	51
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	53
4.1 Надзвичайні ситуації метеорологічного характеру	53
4.2 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону	56
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

BLE – Bluetooth Low Energy

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

GSM – Global System for Mobile Communications

IoT – Internet of Things

LTE – Long Term Evolution

OLED – Organic Light Emitting Diode

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

АТ – атмосферний тиск

ДВП – давач вологості повітря

ДТТ – давач температури тіла

МСМ – мобільна система моніторингу

РЧСС – рівень частоти серцевих скорочень

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Активний розвиток інформаційних технологій, зокрема вбудованих систем та Інтернету речей (IoT), відкриває нові можливості для створення мобільних систем дистанційного моніторингу, що застосовуються в умовах підвищеного ризику. Однією з таких сфер є альпінізм, який характеризується значними фізичними навантаженнями, різкими змінами кліматичних умов, зниженим рівнем кисню та обмеженими можливостями оперативного реагування у разі виникнення небезпечних ситуацій. У високогір'ї стан організму людини та її фізична активність можуть суттєво змінюватися, що створює загрозу для здоров'я і життя альпініста.

Існуючі портативні засоби контролю активності часто мають обмежений функціонал, недостатню адаптованість до роботи в екстремальних умовах або не забезпечують можливості дистанційного доступу до даних у реальному часі. Це зумовлює актуальність розробки мобільної IoT-системи, здатної забезпечити безперервний моніторинг активності альпініста, збір та передавання даних на віддалену платформу для подальшого аналізу. Саме тому, задача проєктування такої системи є актуальною з точки зору підвищення рівня безпеки, інформативності та оперативності контролю в умовах високогір'я.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я, яка забезпечує надійний збір, обробку та дистанційне передавання даних з використанням сучасних апаратних і програмних засобів.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та сформулювати функціональні й експлуатаційні вимоги до проєктованої системи;
- виконати огляд і порівняльний аналіз існуючих аналогів портативних систем моніторингу;
- розробити структурну схему мобільної IoT-системи;

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- спроектувати електричну принципову схему та обґрунтувати вибір елементної бази;
- розробити алгоритм функціонування системи;
- реалізувати програмне забезпечення для мікроконтролера;
- виконати інтеграцію системи з IoT-платформою для дистанційного доступу до даних;
- провести тестування розробленої системи та оцінити її працездатність і відповідність заданим вимогам.

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу активності альпініста

Сучасний етап розвитку комп'ютерних систем характеризується активним впровадженням вбудованих обчислювальних засобів і технологій Інтернету речей у різні сфери діяльності людини, зокрема ті, що пов'язані з підвищеним рівнем ризику та складними умовами експлуатації. Мобільні системи моніторингу, здатні здійснювати безперервний збір і передавання даних, набувають особливої актуальності у випадках, коли оперативне отримання інформації про стан об'єкта є критично важливим для забезпечення безпеки та ефективності діяльності.

Однією з ключових сфер застосування мобільної IoT-системи портативного діагностичного комплексу є альпінізм і високогірний туризм. Умови високогір'я характеризуються зниженим атмосферним тиском, нестабільними погодними умовами, низькими температурами та значними фізичними навантаженнями на організм людини. У таких умовах контроль активності альпініста та своєчасне отримання даних про його стан дозволяють знизити ризик виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних із перевтомою, дезорієнтацією або різким погіршенням самопочуття. Використання портативної комп'ютеризованої системи забезпечує можливість автоматизованого моніторингу без необхідності постійної участі користувача.

Іншою важливою сферою застосування проєктованої системи є професійна підготовка та тренування альпіністів, гірських рятувальників і спортсменів, діяльність яких пов'язана з перебуванням у складних природних умовах. Зібрані системою дані можуть бути використані для аналізу інтенсивності фізичних навантажень, оцінювання ефективності тренувальних програм та формування рекомендацій щодо оптимізації режимів активності. У цьому контексті система

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Галєн О.В.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луценко А.М.</i>					<i>10</i>	<i>9</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

виступає не лише як засіб моніторингу, а і як інструмент підтримки прийняття рішень.

Перспективною сферою застосування є також використання подібних систем у науково-дослідних цілях. Дані, отримані під час експедицій у високогірних районах, можуть використовуватися для дослідження впливу висоти та зовнішніх факторів на фізичну активність людини. Інтеграція з IoT-платформами забезпечує централізоване зберігання інформації, що спрощує подальший аналіз, порівняння результатів та формування статистичних вибірок.

Крім того, комп'ютеризована IoT-система портативного діагностичного комплексу може бути адаптована для застосування в суміжних галузях, таких як екстремальний туризм, військова підготовка, геологорозвідувальні роботи та експлуатація об'єктів у важкодоступних районах. У таких випадках система може використовуватися для моніторингу активності персоналу, контролю режимів роботи та підвищення загального рівня безпеки. Модульна архітектура та використання стандартних протоколів зв'язку дозволяють масштабувати систему та адаптувати її до специфічних вимог конкретної сфери застосування.

Отже, аналіз сфер застосування такої системи свідчить про її універсальність та доцільність використання у широкому спектрі завдань, пов'язаних із моніторингом активності людини в складних умовах. Це підтверджує актуальність розробки проєктованої IoT-системи та обґрунтовує необхідність детального аналізу вимог до її структури, функціонування та технічної реалізації в межах даної кваліфікаційної роботи.

1.2 Аналіз вимог до системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я

Аналіз вимог до IoT-системи для моніторингу активності альпініста є ключовим етапом проєктування, оскільки саме на цьому етапі визначаються технічні, функціональні та експлуатаційні параметри, що забезпечують ефективність і надійність роботи системи в умовах високогір'я. Вихідними даними

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для формування вимог є технічне завдання, умови експлуатації та особливості об'єкта моніторингу.

Однією з основних вимог до системи є її автономність і енергоефективність. Оскільки система є портативною та використовується в умовах обмеженого доступу до джерел живлення, апаратні й програмні рішення повинні забезпечувати мінімальне енергоспоживання при збереженні необхідної функціональності. Це зумовлює необхідність використання мікроконтролерних платформ з низьким енергоспоживанням, оптимізації алгоритмів опитування сенсорів і реалізації енергозберігаючих режимів роботи.

Важливими є вимоги до надійності та стабільності функціонування системи. Умови високогір'я характеризуються низькими температурами, перепадами атмосферного тиску, підвищеною вологістю та механічними навантаженнями. Тому система повинна забезпечувати коректну роботу в широкому діапазоні зовнішніх впливів, а також мати механізми виявлення та обробки помилок, зокрема збереження даних у разі втрати зв'язку або збоїв у роботі окремих компонентів.

Функціональні вимоги до системи передбачають забезпечення безперервного або періодичного моніторингу активності альпініста з подальшим передаванням даних на віддалену IoT-платформу. При цьому система повинна виконувати попередню обробку отриманих даних, що дозволяє зменшити обсяг передаваного трафіку та підвищити ефективність використання каналу зв'язку. Вимоги до зв'язку включають підтримку бездротових технологій, які забезпечують достатню дальність і надійність передавання даних у складних умовах експлуатації.

Не менш важливими є вимоги до модульності та масштабованості системи. Архітектура системи повинна дозволити розширення функціоналу шляхом підключення додаткових сенсорів, модернізації програмного забезпечення або інтеграції з іншими інформаційними сервісами. Це забезпечує перспективність розробки та можливість її адаптації до нових завдань і умов використання.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, проведений аналіз вимог до системи дозволяє сформувати обґрунтовані критерії для подальшого проектування апаратного та програмного забезпечення, а також визначає ключові напрямки реалізації IoT-системи портативного діагностичного комплексу для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я.

1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я

Аналіз сучасних рішень для моніторингу фізичної активності людини, зокрема в екстремальних умовах високогір'я, свідчить про широкий спектр доступних пристроїв і технологій, що застосовуються як в аматорських, так і в професійних сценаріях. Ці рішення включають як масові пристрої для загального моніторингу активності, так і спеціалізовані пристрої для екстремального відстеження місцезнаходження та стану користувача. Незважаючи на різноманітність пропозицій, вони мають ряд обмежень, які роблять їх недостатніми для повного вирішення задачі створення мобільної IoT-системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я.

Однією з найбільш поширених категорій пристроїв є смарт-годинники та фітнес-трекери, що підтримують GPS-відстеження, вимірювання пульсу, кроків, висоти та інших показників фізичної активності [1]. Є багато моделей від провідних виробників (наприклад, Garmin, Suunto, Polar, Coros), які позиціонуються як пристрої для активного відпочинку та спорту і включають функції моніторингу активності, навігації та фізіологічних параметрів. Експертні огляди зазначають, що топові GPS-годинники пропонують широкі можливості з навігації, трекінгу маршруту та вимірювання висоти, а також відмінну міцність та тривалий час автономної роботи, що робить їх придатними для тривалих походів у горах (рис. 1.1).

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Смарт-годинник з підтримкою GPS-відстеження

Проте такі пристрої мають суттєві недоліки для застосування у високогір'ї в автономному режимі. По-перше, функціонал смарт-годинників часто орієнтований на загальний активний відпочинок або щоденну фітнес-активність, а не на специфічний моніторинг стану альпініста. Хоча GPS-трекінг, альтиметр, барометр і компас можуть збирати дані про місцезнаходження та зміни висоти, вони не забезпечують глибокого аналізу фізіологічних параметрів у реальному часі та не інтегровані зі спеціалізованою IoT-платформою для дистанційного доступу до даних або автоматизованого оповіщення у разі критичних змін стану.

Другим великим класом є супутникові комунікатори та трекари особистої безпеки, наприклад Garmin inReach та SPOT X, які забезпечують глобальний зв'язок через супутникові мережі, можливість надсилання SOS-сигналів та періодичного передавання GPS-координат [2]. Такі пристрої можуть бути корисними для оперативної комунікації з рятувальними службами або для базового відстеження місцезнаходження групи альпіністів, особливо у віддалених районах без мобільного зв'язку (рис. 1.2).

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Футболка Hexoskin з вбудованими сенсорами для інтуїтивного відстеження фізичної форми та стану здоров'я

Проте подібні рішення зазвичай орієнтовані на лабораторні або контрольовані умови використання, мають складні вимоги до інтерпретації даних і не забезпечують повноцінної автономної роботи в польових умовах високогір'я без додаткових модулів комунікації та живлення.

Загалом, існуючі рішення для моніторингу активності альпіністів мають певний функціональний потенціал, але вони не є цілісними системами, що могли б комплексно вирішити завдання автономного збору, обробки та передавання фізіологічних і навігаційних даних з можливістю адаптивної обробки на віддаленій платформі в реальному часі. Смарт-годинники, GPS-трекери та супутникові комунікатори чудово виконують окремі функції – наприклад, відстеження маршруту або передачу SOS-сигналів, але вони мають обмеження у глибокому аналізі стану користувача, інтеграції з IoT-платформами та тривалому автономному функціонуванні без зовнішнього живлення.

										Арк.
										16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Загалом, на ринку відсутнє рішення, яке поєднувало б всі необхідні характеристики: комплексний моніторинг фізіологічних параметрів, високу надійність в екстремальних умовах, інтеграцію зі стандартними IoT-платформами та можливість дистанційної обробки і візуалізації даних з адаптивною аналітикою. Саме це визначає потребу у розробці спеціалізованої мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я, яка стане основною метою цієї кваліфікаційної роботи.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Поставлене у кваліфікаційній роботі завдання зі створення мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста може бути реалізоване різними технічними та програмними підходами. Вибір оптимального рішення визначається вимогами до автономності, надійності, функціональності, масштабованості та можливості роботи в умовах високогір'я. Аналіз можливих рішень дозволяє оцінити їх доцільність та визначити найбільш ефективний напрям проєктування.

Одним із можливих рішень є використання готових комерційних портативних пристроїв, таких як спортивні смарт-годинники або фітнес-трекери з підтримкою GPS та бездротового зв'язку. Такий підхід має перевагу у швидкості впровадження та мінімальних витратах на розробку апаратної частини. Проте дані пристрої мають закриту архітектуру, обмежені можливості інтеграції з власними IoT-платформами та не дозволяють реалізувати специфічні алгоритми обробки даних. Крім того, функціонал комерційних рішень часто не адаптований до роботи в екстремальних умовах високогір'я, що обмежує можливість їх використання як повноцінної діагностичної системи.

Іншим варіантом є побудова системи на основі мобільного пристрою, зокрема смартфона, з використанням вбудованих сенсорів та спеціалізованого програмного забезпечення. Такий підхід забезпечує достатню обчислювальну потужність і зручний інтерфейс користувача, а також спрощує передачу даних через мобільні мережі. Однак смартфони мають значні обмеження щодо

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автономності, стійкості до низьких температур та механічних впливів, що є критичними факторами в умовах високогір'я. Крім того, використання смартфона як основного елемента системи знижує її надійність через залежність від операційної системи та фонових процесів.

Більш перспективним підходом є розробка спеціалізованої вбудованої системи на основі мікроконтролера з підключенням необхідних сенсорів і модулів зв'язку. Такий варіант дозволяє оптимізувати енергоспоживання, реалізувати власні алгоритми збору та обробки даних, а також адаптувати систему до умов експлуатації. Використання IoT-платформи для зберігання та візуалізації інформації забезпечує дистанційний доступ до даних і можливість подальшого аналізу. Недоліком цього підходу є необхідність повного циклу розробки апаратного та програмного забезпечення, що потребує додаткових витрат часу та ресурсів, однак саме цей варіант забезпечує максимальну гнучкість і відповідність поставленим вимогам.

Альтернативним рішенням може бути комбінований підхід, який поєднує портативний вбудований пристрій для збору даних і зовнішній обчислювальний вузол або шлюз для передавання інформації на IoT-платформу. Така архітектура дозволяє зменшити навантаження на портативний пристрій і підвищити надійність зв'язку. Проте ускладнення структури системи може негативно вплинути на її масогабаритні характеристики та зручність використання.

Найбільш обґрунтованим є підхід, заснований на розробці спеціалізованої мобільної IoT-системи з використанням мікроконтролерної платформи, автономного живлення та інтеграції з хмарною IoT-платформою. Такий варіант дозволяє повною мірою реалізувати вимоги технічного завдання, забезпечити адаптацію системи до умов високогір'я та створити основу для подальшої модернізації й розширення функціональних можливостей.

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Структурна схема системи моніторингу активності альпініста

На рисунку 2.1 представлено структурну схему мобільної IoT-системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я, яка включає центральний обчислювальний вузол, сенсорний блок, модуль відображення інформації та хмарну IoT-платформу. Усі компоненти об'єднані в єдину систему за допомогою стандартних інтерфейсів обміну даними та бездротового зв'язку.

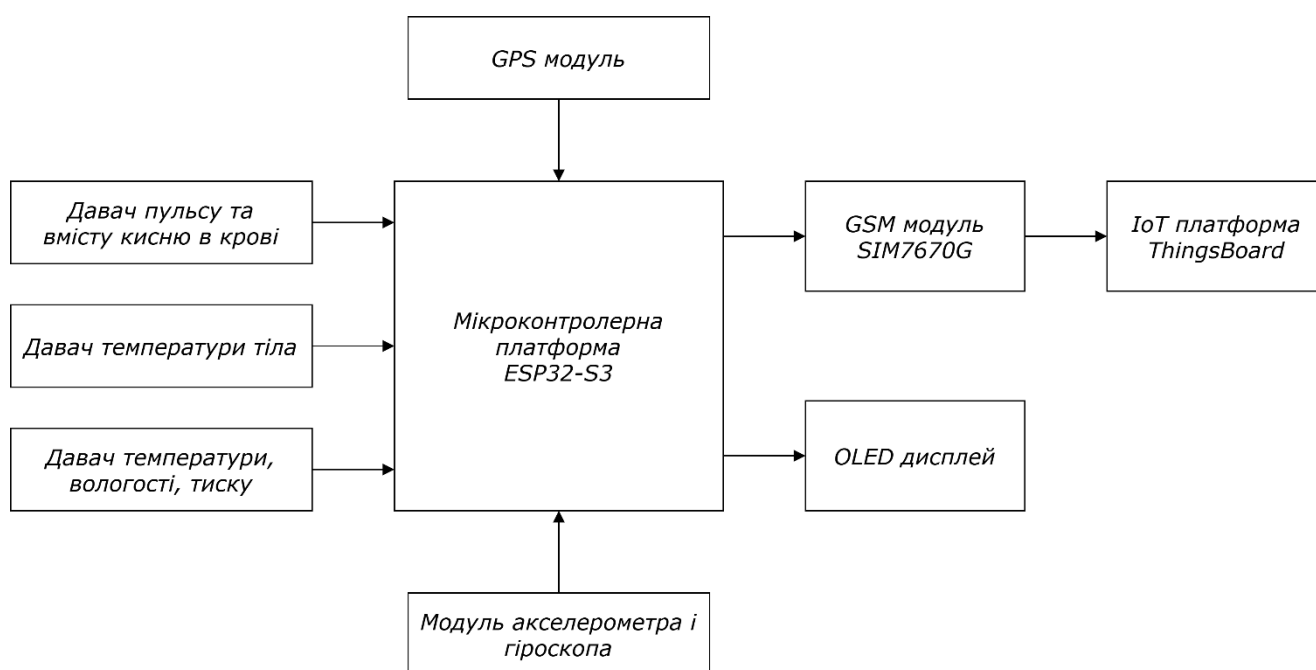


Рисунок 2.1 – Структурна схема IoT-системи моніторингу активності альпініста

Основним елементом системи є мікроконтролерна платформа, яка виконує функції керування всіма компонентами, обробки даних та організації взаємодії з віддаленими сервісами. Вона містить вбудовані засоби бездротового зв'язку, визначення координат, зберігання даних та автономного живлення. Зокрема, до складу платформи входять GSM-модуль для передавання даних через мобільну

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Галян О.В.</i>			<i>Проектна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Луценко А.М.</i>					19	19
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

мережу, акумулятор для забезпечення автономної роботи та карта пам'яті для локального збереження інформації у разі відсутності зв'язку. Така інтеграція дозволяє мінімізувати кількість зовнішніх компонентів і підвищити надійність системи в цілому.

До сенсорного блоку системи входять давачі, призначені для збору інформації про фізичний стан альпініста та параметри навколишнього середовища. Давач пульсу забезпечує вимірювання частоти серцевих скорочень і може використовуватися для оцінювання фізичного навантаження. Давач температури тіла дозволяє контролювати стан організму, що є важливим для виявлення ризиків переохолодження або перегріву. Модуль акселерометра та гіроскопа забезпечує визначення рухової активності, положення у просторі та можливих різких змін, таких як падіння або втрата рівноваги. Давач температури, вологості повітря і атмосферного тиску призначений для контролю параметрів зовнішнього середовища, зокрема для оцінювання висоти над рівнем моря та аналізу погодних умов.

Усі сенсорні модулі підключаються до мікроконтролерної платформи через цифрові інтерфейси обміну даними, що забезпечує надійність передачі вимірювальної інформації та зменшує вплив завад. Мікроконтролер виконує періодичне опитування сенсорів, обробку отриманих даних, їх фільтрацію та підготовку до подальшого збереження або передавання.

Для відображення інформації про стан системи та основні параметри використовується OLED-дисплей, підключений до мікроконтролера. Дисплей забезпечує візуалізацію показників, таких як частота серцевих скорочень, температура тіла, рівень активності або стан зв'язку, що дозволяє користувачу оперативно отримувати необхідну інформацію без використання додаткових пристроїв.

Передавання даних на віддалений рівень здійснюється за допомогою вбудованого GSM-модуля, який забезпечує зв'язок із хмарною IoT-платформою. У структурній схемі IoT-платформа представлена як окремий функціональний блок, що виконує задачі приймання, зберігання, обробки та візуалізації даних. Вона

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує доступ до інформації через веб-інтерфейс або мобільні додатки, а також може використовуватися для подальшого аналізу та формування звітів.

Важливим елементом структури є механізм локального збереження даних, реалізований за допомогою карти пам'яті, інтегрованої в мікроконтролерну платформу. У разі втрати зв'язку система переходить у режим буферизації, зберігаючи всі виміряні параметри з подальшою передачею після відновлення з'єднання. Такий підхід забезпечує безперервність збору даних та підвищує надійність системи в умовах нестабільного покриття мобільної мережі.

Запропонована структура системи забезпечує комплексний підхід до моніторингу активності альпініста, поєднуючи функції вимірювання, обробки, збереження та передавання даних.

2.2 Розроблення апаратного забезпечення системи моніторингу активності альпініста

2.2.1 Мікроконтролерна платформа ESP32-S3 SIM7670G

Мікроконтролерна платформа ESP32-S3 SIM7670G є сучасним інтегрованим апаратним рішенням для побудови IoT-систем, яке поєднує в одному пристрої обчислювальне ядро, засоби бездротового зв'язку, навігації та енергоживлення. Така інтеграція робить її придатною для застосування в портативних системах моніторингу, що функціонують в умовах обмежених ресурсів і нестабільного зв'язку, зокрема у високогір'ї.

В основі платформи лежить мікроконтролер ESP32-S3, який побудований на базі двоядерного 32-розрядного процесора Xtensa LX7. Він забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з декількох сенсорів, виконання алгоритмів аналізу активності та організації мережевої взаємодії. Мікроконтролер оснащений вбудованою пам'яттю SRAM, ROM, а також зовнішньою Flash і PSRAM, що дозволяє реалізовувати складні програмні алгоритми та буферизацію даних (рис. 2.2).

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

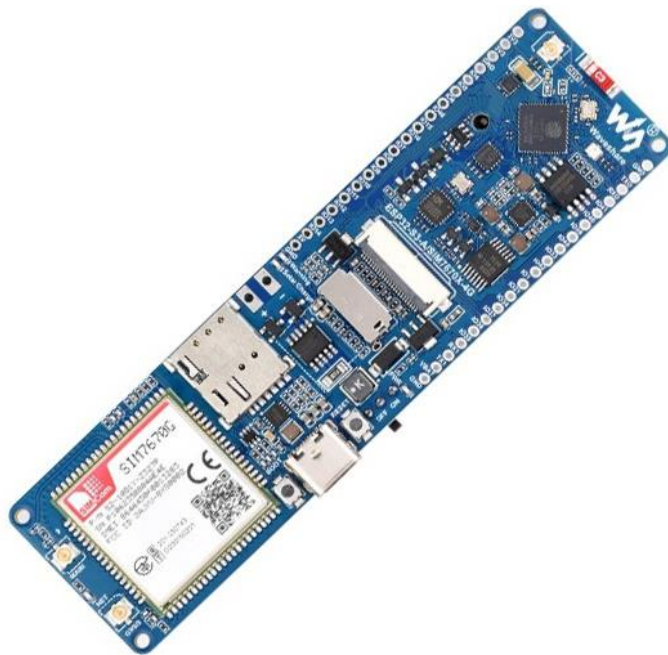


Рисунок 2.2 – Мікроконтролерна платформа ESP32-S3 SIM7670G

В основі платформи лежить мікроконтролер ESP32-S3, який побудований на базі двоядерного 32-розрядного процесора Xtensa LX7 із тактовою частотою до 240 МГц. Він забезпечує достатню потужність для обробки даних з декількох сенсорів, виконання алгоритмів аналізу активності та організації мережевої взаємодії. Мікроконтролер оснащений вбудованою пам'яттю SRAM, ROM, а також зовнішньою Flash і PSRAM, що дозволяє реалізовувати складні програмні алгоритми та буферизацію даних.

Ключовою особливістю платформи є наявність інтегрованого модуля SIM7670G, який забезпечує підтримку стільникового зв'язку стандарту 4G LTE Cat-1 з можливістю передачі даних зі швидкістю до 10 Мбіт/с. Даний модуль також підтримує роботу в мережах GSM та оснащений GNSS-приймачем, що дозволяє визначати координати пристрою без використання додаткових модулів.

Окрім стільникового зв'язку, платформа підтримує Wi-Fi стандарту 802.11 та BLE, що забезпечує гнучкість у виборі каналів комунікації. Наявність кількох інтерфейсів зв'язку дозволяє реалізувати резервування каналів передачі даних або використовувати Wi-Fi для локальної конфігурації пристрою.

Будова плати також включає ряд допоміжних апаратних компонентів, які підвищують її функціональність. Зокрема, передбачено слот для SIM-карти, слот

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

для карти пам'яті (TF/microSD), інтерфейс для підключення акумулятора типу 18650, модуль заряджання та контролю живлення, а також вимірювання рівня заряду батареї. Це дозволяє використовувати платформу як автономний пристрій без необхідності додаткових зовнішніх модулів. Основні параметри платформи ESP32-S3 SIM7670G приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри ESP32-S3 SIM7670G

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ESP32-S3 (Xtensa LX7, 2 ядра)
Тактова частота	до 240 МГц
Оперативна пам'ять	~512 КБ SRAM + PSRAM до 8 МБ
Flash-пам'ять	до 16 МБ
Бездротові інтерфейси	Wi-Fi 2.4 ГГц, Bluetooth 5 LE
Стільниковий зв'язок	4G LTE Cat-1, GSM
GNSS	GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo
Швидкість передачі даних	до 10 Мбіт/с (DL), 5 Мбіт/с (UL)
Інтерфейси	I2C, SPI, UART, SDIO, I2S, CAN
Підтримка SIM	Nano SIM
Підтримка пам'яті	microSD (TF card)
Живлення	5 В (USB) або 3,7–4,2 В (Li-ion)

Принцип роботи платформи полягає у взаємодії мікроконтролера з периферійними модулями через стандартні інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART та GPIO. Мікроконтролер здійснює опитування підключених сенсорів, обробляє отримані дані та формує інформаційні пакети. Далі ці дані передаються через модуль SIM7670G у мережу мобільного зв'язку з використанням стандартних мережевих протоколів (TCP/IP, HTTP, MQTT), що дозволяє інтегрувати систему з IoT-платформами.

У разі відсутності мережевого покриття мікроконтролер може зберігати дані у локальній пам'яті (microSD), після чого передавати їх при відновленні зв'язку.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

GNSS-модуль працює паралельно, забезпечуючи визначення координат, які також включаються до пакету даних. Така архітектура забезпечує безперервність моніторингу та підвищує надійність системи в умовах нестабільного зв'язку.

Завдяки широкому набору інтерфейсів (I2C, SPI, UART, I2S, CAN) платформа дозволяє підключати різноманітні сенсори та периферійні пристрої, що є важливим для реалізації багатфункціональної системи моніторингу.

Вибір ESP32-S3 SIM7670G для реалізації мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я є технічно обґрунтованим з кількох причин.

Платформа забезпечує високий рівень інтеграції, поєднуючи в одному пристрої мікроконтролер, GSM/LTE модем, GPS-приймач, модулі бездротового зв'язку та систему живлення. Це дозволяє суттєво зменшити кількість зовнішніх компонентів, спростити схему та підвищити надійність системи.

Наявність стільникового зв'язку LTE забезпечує можливість передавання даних у віддалених районах, де відсутні Wi-Fi мережі, що є критично важливим для умов високогір'я. Одночасно GNSS-модуль дозволяє визначати координати альпініста без додаткових пристроїв.

Мікроконтролер ESP32-S3 має достатню обчислювальну потужність для реалізації алгоритмів обробки сенсорних даних, зокрема визначення активності та виявлення аварійних ситуацій (наприклад, падіння).

Підтримка енергоефективних режимів роботи та можливість живлення від акумулятора забезпечують автономність системи, що є критичною вимогою для мобільних пристроїв.

Використання ESP32-S3 SIM7670G дозволяє реалізувати компактну, енергоефективну та функціонально повноцінну IoT-систему, яка відповідає вимогам технічного завдання та умовам експлуатації у високогірному середовищі.

2.2.2 Давач MAX30102

Давач MAX30102 є інтегрованим оптоелектронним біометричним сенсором, призначеним для неінвазивного вимірювання частоти скорочень серця та рівня

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кисню в крові (SpO_2). Він широко використовується у портативних медичних пристроях, фітнес-трекерах і системах дистанційного моніторингу стану людини, що робить його доцільним для застосування у мобільних IoT-системах моніторингу активності в екстремальних умовах (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Давач MAX30102

Конструктивно MAX30102 являє собою високорівневий інтегрований модуль, який об'єднує декілька функціональних блоків в одному корпусі. До його складу входять два світлодіоди — червоного та інфрачервоного спектрів, фотодетектор, аналоговий вузол (підсилювач і фільтри), АЦП, цифровий обробник сигналів і інтерфейсний модуль для зв'язку з мікроконтролером. Така інтеграція забезпечує високу точність вимірювань, компактність і зменшення впливу зовнішніх завад.

Принцип роботи давача базується на методі фотоплетизмографії (PPG), який полягає у вимірюванні змін інтенсивності світла, що проходить або відбивається від біологічних тканин. Світлодіоди випромінюють світло з різною довжиною хвилі (червоне — приблизно 660 нм, інфрачервоне — близько 880 нм), яке частково поглинається кров'ю залежно від її насичення киснем. Фотодетектор реєструє відбитий сигнал, а подальша обробка дозволяє визначити пульс і рівень SpO_2 . Зміни інтенсивності сигналу синхронні з пульсаціями крові, що дає змогу точно визначати частоту серцевих скорочень.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою особливістю MAX30102 є можливість програмного налаштування параметрів вимірювання, зокрема струму світлодіодів і тривалості імпульсів, що дозволяє оптимізувати роботу сенсора залежно від умов експлуатації та зменшити енергоспоживання. Крім того, вбудований давач температури використовується для компенсації температурних впливів і підвищення точності вимірювань.

Передавання даних від давача до мікроконтролера здійснюється через цифровий інтерфейс I2C, що забезпечує простоту інтеграції з більшістю сучасних платформ, зокрема ESP32-S3. MAX30102 формує цифрові дані, які можуть бути використані для подальшої обробки — фільтрації сигналів, обчислення пульсу, визначення рівня кисню та виявлення аномальних станів. В таблиці 2.2 зведені технічні параметри давача MAX30102.

Таблиця 2.2 – Параметри давача MAX30102

Параметр	Значення
Тип давача	Оптичний (фотоплетизмографічний)
Вимірювані параметри	Частота пульсу, SpO ₂
Джерела світла	Червоний (≈660 нм), інфрачервоний (≈880 нм)
Фотодетектор	Вбудований фотодіод
Інтерфейс	I2C (до 400 кГц)
Напруга живлення	1,8 В (ядро), 3,3–5 В (модуль)
Споживання струму	~0,6–1,2 мА (вимірювання), до 10 мкА (сон)
Діапазон струму LED	0–50 мА
Діапазон імпульсів LED	200 мкс – 1,6 мс
Вбудований датчик температури	Так
Робоча температура	-40...+85 °С

Вибір MAX30102 для реалізації мобільної IoT-системи моніторингу активності альпініста є технічно обґрунтованим і доцільним. По-перше, цей давач забезпечує вимірювання ключових фізіологічних параметрів — частоти пульсу і насичення крові киснем, які є критично важливими в умовах високогір'я, де існує ризик гіпоксії. По-друге, сенсор реалізує неінвазивний метод вимірювання, що дозволяє застосовувати його у портативних пристроях без дискомфорту для користувача. Компактні розміри та низьке енергоспоживання роблять його придатним для автономних систем із живленням від акумулятора.

По-третє, висока інтеграція компонентів у межах одного модуля спрощує схемотехнічну реалізацію системи та підвищує її надійність. Використання цифрового інтерфейсу I2C дозволяє легко інтегрувати давач з мікроконтролером ESP32-S3 без необхідності складної апаратної обробки сигналів.

Крім того, можливість програмного налаштування параметрів роботи та наявність вбудованих механізмів компенсації похибок забезпечують достатню точність вимірювань навіть у складних умовах експлуатації. Це особливо важливо для системи, що функціонує у високогір'ї, де температурні та фізіологічні умови можуть суттєво змінюватися.

Давач MAX30102 є оптимальним вибором для реалізації підсистеми моніторингу фізіологічного стану альпініста, оскільки поєднує високу функціональність, компактність, енергоефективність і простоту інтеграції в IoT-систему.

2.2.3 Модуль GY-521

Модуль GY-521 є інерційним вимірювальним пристроєм (IMU), який поєднує в одному корпусі тривісний акселерометр та тривісний гіроскоп. Така інтеграція забезпечує можливість одночасного вимірювання лінійного прискорення та кутової швидкості у трьох взаємно перпендикулярних осях, що дозволяє визначати рух, орієнтацію та динамічний стан об'єкта. Завдяки своїй функціональності, компактності та низькому енергоспоживанню GY-521 широко застосовується у вбудованих системах та IoT-рішеннях (рис. 2.4).

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Модуль GY-521

Конструктивно GY-521 реалізований на базі MEMS-технології, що передбачає використання мікромеханічних структур для вимірювання фізичних величин. У складі мікросхеми знаходяться два основних сенсорних блоки: акселерометр та гіроскоп. Акселерометр містить мікромеханічну масу, яка зміщується під дією прискорення, що призводить до зміни ємності сенсорних елементів. Ці зміни перетворюються у електричний сигнал і далі обробляються електронною схемою. Гіроскоп, у свою чергу, використовує ефект Кориоліса: при обертанні системи змінюється траєкторія руху мікромеханічних елементів, що також реєструється як зміна електричного сигналу.

До складу GY-521 входить аналоговий вузол, 16-бітні АЦП для кожного каналу, а також вбудований цифровий процесор обробки руху (DMP). DMP дозволяє виконувати попередню обробку даних, фільтрацію шумів і навіть реалізовувати алгоритми визначення орієнтації без значного навантаження на основний мікроконтролер. Це є важливою перевагою при побудові енергоефективних систем.

Принцип роботи модуля полягає у безперервному вимірюванні прискорень і кутових швидкостей по осях X, Y та Z. Акселерометр дозволяє визначати як динамічні рухи (переміщення, удари), так і статичне положення (нахил відносно гравітації). Гіроскоп вимірює швидкість обертання, що дає змогу визначати зміну орієнтації в часі. Комбінування цих даних дозволяє отримати точнішу інформацію про рух і положення об'єкта. Отримані цифрові дані передаються до

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера через інтерфейс I2C, що забезпечує просту інтеграцію з платформами типу ESP32.

GY-521 також оснащений додатковими функціями, такими як вбудований температурний сенсор для компенсації похибок, програмований цифровий фільтр низьких частот, а також система переривань, що дозволяє реагувати на події (наприклад, рух або удар) без постійного опитування сенсора. Це підвищує ефективність використання ресурсів мікроконтролера та зменшує енергоспоживання. Технічні параметри модуля GY-521 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри модуля GY-521

Параметр	Значення
Тип давача	IMU (акселерометр + гіроскоп, 6 осей)
Кількість осей	3 (акселерометр) + 3 (гіроскоп)
Діапазон акселерометра	±2g, ±4g, ±8g, ±16g
Діапазон гіроскопа	±250, ±500, ±1000, ±2000 °/с
Роздільна здатність	16 біт
Інтерфейс	I2C (до 400 кГц)
Напруга живлення	2,3–3,4 В (модулі 3,3–5 В)
Споживання струму	~3,6–3,9 мА
Споживання у режимі сну	~5–50 мкА
Робоча температура	-40...+85 °С
Вбудовані функції	DMP, температурний сенсор, фільтри

Вибір GY-521 для реалізації мобільної IoT-системи моніторингу активності альпініста є технічно обґрунтованим з кількох причин. По-перше, модуль забезпечує вимірювання ключових параметрів руху, що дозволяє визначати фізичну активність користувача, зміну положення тіла, нахили та інші динамічні характеристики. Це є важливим для аналізу поведінки альпініста та виявлення потенційно небезпечних ситуацій.

По-друге, на основі даних акселерометра і гіроскопа можна реалізувати алгоритми виявлення падіння або різких рухів, що є критично важливим для систем безпеки. Використання вбудованого DMP дозволяє частково виконувати ці обчислення на рівні сенсора, зменшуючи навантаження на мікроконтролер.

По-третє, GY-521 має низьке енергоспоживання та підтримує режими енергозбереження, що робить його придатним для автономних портативних систем. Компактні розміри та висока інтеграція дозволяють мінімізувати габарити пристрою, що є важливим для wearable-рішень.

Крім того, модуль має простий інтерфейс підключення і широко підтримується програмними бібліотеками, що спрощує розробку ПЗ. Його доступність і поширеність також є перевагою з точки зору реалізації цього проєкту.

Отже, GY-521 є оптимальним вибором для реалізації підсистеми моніторингу рухової активності в мобільній IoT-системі, оскільки поєднує достатню точність, функціональність, енергоефективність та простоту інтеграції, що відповідає вимогам до портативних систем, які працюють в умовах високогір'я.

2.2.4 Давач МАХ30205

Давач температури тіла МАХ30205 є високоточним цифровим сенсором, спеціально розробленим для медичних і wearable-застосувань, де необхідне точне вимірювання температури людського тіла. Його використання у складі мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я є доцільним, оскільки він забезпечує клінічну точність вимірювань та відповідає вимогам до енергоефективних автономних пристроїв (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Давач МАХ30205

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно МАХ30205 є інтегральною мікросхемою, яка містить у своєму складі чутливий температурний елемент, аналоговий вузол, високорозрядний АЦП, цифровий обробник сигналів та інтерфейсний модуль. Сенсор виконаний у компактному корпусі, що забезпечує малий розмір і можливість інтеграції у портативні пристрої. Всі функціональні вузли реалізовані на одному кристалі, що зменшує вплив шумів та підвищує стабільність вимірювань.

Принцип роботи давача базується на вимірюванні температури напівпровідникового кристала, який знаходиться в тепловому контакті з тілом користувача. Отримане аналогове значення температури перетворюється у цифрову форму за допомогою вбудованого 16-бітного сигма-дельта АЦП, що забезпечує високу роздільну здатність і точність вимірювань.

МАХ30205 відкалібрований на заводі-виробнику, що дозволяє уникнути необхідності додаткового налаштування під час експлуатації та гарантує стабільність показів у діапазоні температур людського тіла. Сенсор забезпечує точність до $\pm 0,1$ °C у діапазоні 37–39 °C, що відповідає медичним стандартам термометрії.

Передавання даних від сенсора здійснюється через цифровий інтерфейс I2C, що дозволяє легко інтегрувати його з мікроконтролерними платформами, такими як ESP32-S3. Давач підтримує стандартні команди читання та запису, а також має програмовані адресні входи, що дозволяє підключати декілька пристроїв на одну шину.

Особливістю МАХ30205 є наявність додаткового виходу сигналу тривоги, який може працювати як компаратор або термостат. Це дозволяє реалізувати апаратне сповіщення у випадку перевищення заданого температурного порогу, що є важливим для систем моніторингу стану людини. Крім того, сенсор підтримує режими зниженого енергоспоживання, зокрема режим «one-shot» та режим сну, що значно знижує навантаження на акумулятор. Параметри давача МАХ30205 наведені таблиці 2.4.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Параметри давача МАХ30205

Параметр	Значення
Тип давача	Цифровий температурний сенсор
Вимірюваний параметр	Температура тіла
Діапазон вимірювання	0...+50 °С
Робочий діапазон	до -40...+125 °С (загальний)
Точність	±0,1 °С (37–39 °С)
Роздільна здатність	16 біт (0.00390625 °С)
Тип АЦП	Сигма-дельта
Інтерфейс	I2C (до 400 кГц)
Напруга живлення	2,7–3,3 В
Споживання струму	~600 μА (активний режим)
Споживання у режимі сну	<1 μА
Додаткові функції	режими енергозбереження
Кількість I2C-адрес	до 32
Корпус	8-pin TDFN / QFN

Вибір МАХ30205 для реалізації мобільної системи моніторингу активності альпініста є технічно обґрунтованим, оскільки цей сенсор забезпечує високу точність вимірювання температури тіла, що є критично важливим у високогірних умовах. У таких умовах існує ризик гіпотермії або перегріву організму, тому контроль температури є одним із ключових параметрів оцінювання стану людини.

Порівняно з універсальними температурними сенсорами, МАХ30205 оптимізований саме для вимірювання температури людського тіла і забезпечує значно кращу точність у відповідному діапазоні. Це дозволяє отримувати достовірні дані навіть при незначних змінах температури, що важливо для раннього виявлення небезпечних станів.

Додатковою перевагою є низьке енергоспоживання та підтримка енергозберігаючих режимів, що дозволяє використовувати сенсор у портативних автономних пристроях із обмеженим ресурсом живлення. Інтеграція через

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерфейс I2C спрощує схемотехнічну реалізацію та дозволяє легко підключити сенсор до мікроконтролера ESP32-S3.

MAX30205 є оптимальним вибором для реалізації підсистеми контролю температури тіла у складі мобільної IoT-системи, оскільки поєднує медичну точність, енергоефективність, компактність і простоту інтеграції, що повністю відповідає вимогам технічного завдання та умовам експлуатації у високогір'ї.

2.2.5 Давач BME280

Давач BME280 є високоточним цифровим сенсором навколишнього середовища, який поєднує в одному корпусі три вимірювальні канали: температуру, відносну вологість і атмосферний тиск. Завдяки високому рівню інтеграції, низькому енергоспоживанню та компактним розмірам він широко застосовується у портативних IoT-пристроях, системах моніторингу навколишнього середовища, що робить його доцільним для використання у даній системі (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Давач BME280

Конструктивно BME280 реалізований на основі MEMS-технології та містить три незалежні сенсорні елементи, інтегровані на одному кристалі. Давач температури базується на напівпровідниковому термочутливому елементі, який змінює свої електричні характеристики залежно від температури. Давач вологості використовує полімерний ємнісний елемент, що змінює свою ємність при зміні відносної вологості повітря. Барометричний канал побудований на основі п'єзорезистивного сенсора, який реагує на зміну атмосферного тиску через деформацію мембрани. Усі ці сигнали обробляються вбудованим аналоговим вузлом і перетворюються у цифрову форму за допомогою високоточного АЦП.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи ВМЕ280 полягає у послідовному вимірюванні фізичних параметрів середовища з подальшою цифровою обробкою та компенсацією похибок. Сенсор використовує заводські калібрувальні коефіцієнти, які зберігаються у внутрішній пам'яті та застосовуються для підвищення точності результатів. Після перетворення дані передаються мікроконтролеру у цифровому вигляді через інтерфейси I2C або SPI. Це дозволяє легко інтегрувати давач у системи на базі мікроконтролерів, зокрема ESP32-S3. Параметри давача ВМЕ280 наведені таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри давача ВМЕ280

Параметр	Значення
Діапазон температури	-40...+85 °C
Точність температури	±1,0 °C
Діапазон вологості	0...100 % RH
Точність вологості	±3 % RH
Діапазон тиску	300...1100 гПа
Точність тиску	±1 гПа
Роздільна здатність	до 0,01 гПа
Інтерфейси	I2C, SPI
Напруга живлення	3,3–5 В
Споживання струму	~0,6 мА (активний режим)
Споживання у режимі сну	~0,1 мкА
Час вимірювання	1–10 мс (залежно від режиму)

Важливою функціональною особливістю ВМЕ280 є можливість налаштування режимів роботи та ступеня передискретизації, що дозволяє досягати оптимального балансу між точністю вимірювань та енергоспоживанням. Сенсор підтримує кілька режимів роботи, зокрема нормальний режим та режим сну, що є особливо важливим для автономних систем із живленням від акумулятора.

Завдяки вимірюванню атмосферного тиску BME280 може використовуватися для визначення висоти над рівнем моря, що є критично важливим для умов високогір'я. Аналіз змін тиску дозволяє оцінювати висоту підйому альпініста, а також прогнозувати зміни погодних умов. Одночасне вимірювання температури та вологості забезпечує повну картину стану навколишнього середовища.

Вибір BME280 для реалізації мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я є технічно обґрунтованим завдяки його багатofункціональності та високій точності. По-перше, давач забезпечує одночасне вимірювання трьох ключових параметрів навколишнього середовища, що дозволяє зменшити кількість окремих сенсорів і спростити апаратну реалізацію системи.

По-друге, можливість визначення атмосферного тиску та похідної від нього висоти є критично важливою для застосування в умовах високогір'я. Це дозволяє не лише оцінювати поточне положення альпініста, але й аналізувати зміни навколишніх умов, що можуть впливати на безпеку. По-третє, низьке енергоспоживання та підтримка режимів енергозбереження роблять BME280 придатним для використання в автономних портативних пристроях. Це особливо важливо для систем, які повинні працювати тривалий час без підзарядки.

Крім того, простота інтеграції через стандартні інтерфейси I2C або SPI, а також наявність програмної підтримки значно спрощують процес розробки. Вбудовані механізми компенсації похибок забезпечують стабільність та достовірність вимірювань навіть при зміні температури або інших зовнішніх факторів.

BME280 є оптимальним вибором для реалізації підсистеми моніторингу параметрів навколишнього середовища, оскільки поєднує високу функціональність, точність, енергоефективність та компактність, що повністю відповідає вимогам до мобільної IoT-системи, призначеної для роботи в умовах високогір'я.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Живлення системи здійснюється від акумулятора, підключеного до відповідного роз'єму плати, при цьому стабілізоване живлення 3,3 В використовується для більшості периферійних модулів.

Обмін даними між мікроконтролером і периферійними пристроями організовано за допомогою шини I2C. У схемі лінія SDA підключена до виводу GPIO8 мікроконтролера, а лінія SCL — до GPIO9. До цих ліній паралельно підключені всі I2C-пристрої: давач пульсу MAX30102, давач температури тіла MAX30205, модуль GY-521, давач BME280 та OLED дисплей. Така конфігурація дозволяє використовувати одну спільну шину для обміну даними з усіма пристроями, що значно спрощує схемотехнічну реалізацію.

Давач пульсу MAX30102 (U1) також підключається до шини I2C через контакти SDA та SCL. Додатково контакт INT (переривання) підключений до цифрового входу мікроконтролера GPIO4, для реалізації режиму роботи, коли сенсор сигналізує про готовність нових даних.

Давач температури тіла MAX30205 (U2) також підключається до шини I2C аналогічним чином. Контакт сигналу тривоги (OS) підключений до виводу GPIO5 для реалізації апаратного контролю перевищення температурного порогу.

Модуль GY-521 (U3) підключається до тих самих ліній I2C (GPIO8 і GPIO9), що дозволяє передавати дані про прискорення та кутову швидкість у цифровому вигляді. Контакт INT з'єднаний із GPIO6 для обробки переривань, наприклад при виявленні руху або удару.

Давач BME280 (U6) та OLED дисплей (H1) також використовують інтерфейс I2C. Для забезпечення стабільної роботи шини I2C у схемі передбачено використання підтягувальних резисторів на лініях SDA та SCL номіналом 4,7 кОм до напруги 3,3 В. У більшості готових модулів ці резистори вже встановлені, однак у разі їх відсутності необхідно передбачити їх у схемі.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Алгоритм роботи мобільної IoT-системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я

Алгоритм роботи IoT-системи реалізує циклічне отримання та обробку даних з усіх датчиків, їх відображення користувачу і передавання у хмару. На початковому етапі алгоритму здійснюється ініціалізація системи. Мікроконтролер перевіряє наявність живлення, виконує самотестування внутрішніх модулів та встановлює з'єднання з усіма периферійними пристроями. OLED дисплей активується для відображення стартового екрану, на якому показується статус системи: «Система готова», стан батареї та рівень сигналу GSM/GPS. Після цього ініціалізуються всі датчики. Датчик пульсу MAX30102 налаштовується на відповідну частоту вимірювання, діапазон сигналу та режим переривань для швидкого реагування на зміну пульсу. Датчик температури тіла MAX30205 активується для постійного вимірювання температури шкіри, а GY-521 налаштовується на відстеження прискорення і кутової швидкості, включаючи режим виявлення падіння або сильних поштовхів. Датчик BME280 ініціалізується з урахуванням необхідної роздільної здатності та частоти оновлення даних.

Після успішної ініціалізації алгоритм переходить до циклу отримання даних (рис. 3.1). Мікроконтролер послідовно зчитує цифрові значення з кожного сенсора через шину I2C. MAX30102 передає дані про пульс і рівень SpO_2 . MAX30205 надає актуальну температуру тіла альпініста. GY-521 постійно вимірює прискорення та кутову швидкість, що дозволяє алгоритму оцінювати рухову активність, положення тіла, нахили та потенційні падіння. Датчик BME280 забезпечує дані про температуру, вологість та атмосферний тиск, що дозволяє розраховувати орієнтовну висоту підйому.

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Галян О.В.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луценко А.М.</i>					<i>38</i>	<i>15</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						



Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи основного циклу програми у системі моніторингу активності альпініста

На основі отриманих даних мікроконтролер здійснює локальну обробку та фільтрацію шумів. Сигнали з MAX30102 проходять обробку для усунення артефактів руху та шкірних імпульсів, а значення пульсу та SpO₂ усереднюються для стабільного відображення. Дані з GY-521 фільтруються цифровим низькочастотним фільтром та обробляються алгоритмом виявлення падіння, який аналізує різкі зміни прискорення та кутової швидкості. Давач BME280 піддається калібруванню за внутрішніми коефіцієнтами для точного вимірювання тиску та температури, а дані MAX30205 коригуються з урахуванням похибок сенсора.

Після обробки даних алгоритм виконує відображення інформації на OLED дисплеї. На екрані відображаються: поточний пульс, температура тіла, SpO₂, рівень висоти, температура і вологість навколишнього середовища, а також індикатори стану GSM і GPS. Інтерфейс оновлюється у реальному часі із частотою, достатньою для сприйняття змін альпіністом, що забезпечує оперативну інформацію для прийняття рішень.

Одночасно алгоритм здійснює передачу даних на IoT-платформу ThingsBoard через GSM-модуль SIM7670G. Дані надсилаються у вигляді JSON-пакетів, що включають всі фізіологічні показники та параметри навколишнього середовища. На платформі відбувається їх візуалізація у вигляді графіків, гістограм і таблиць, що дозволяє дистанційно контролювати стан альпініста у реальному часі. При виявленні критичних значень (наприклад, падіння, перевищення порогу температури тіла або пульсу) алгоритм формує тривожний сигнал і надсилає його на ThingsBoard з можливістю генерації повідомлення для рятувальників або керівника групи.

3.2 Розроблення програмного забезпечення

3.2.1 Ініціалізація бібліотек та базових структур ПЗ системи

На початковому етапі розробки ПЗ було реалізовано підключення необхідних бібліотек, які забезпечують взаємодію мікроконтролера ESP32-S3 із периферійними модулями та хмарною IoT платформою. Зокрема, використано

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бібліотеку Wire.h для реалізації інтерфейсу I2C, через який здійснюється обмін даними з більшістю сенсорів системи. Бібліотеки Adafruit_Sensor.h та Adafruit_BME280.h забезпечують роботу з комбінованим давачем температури, вологості та атмосферного тиску BME280. Для реалізації функцій вимірювання пульсу та рівня кисню в крові використано бібліотеки MAX30105.h та MAX30105_PulseOximeter.h, які дозволяють працювати з оптичним сенсором MAX30102.

Для роботи з температурним давачем тіла застосовано бібліотеку MAX30205.h, яка забезпечує доступ до функцій зчитування температури з високою точністю. Відображення інформації на OLED дисплеї реалізовано за допомогою бібліотек Adafruit_GFX.h та Adafruit_SSD1306.h, які дозволяють формувати графічний інтерфейс користувача та виводити текстову інформацію. Для роботи з інерційним модулем MPU-6050 використано бібліотеку MPU6050_light.h, що забезпечує зчитування даних прискорення та кутової швидкості, а також базову обробку цих даних (рис. 3.2).

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <MAX30105.h>
#include <MAX30105_PulseOximeter.h>
#include <MAX30205.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <MPU6050_light.h>
#include <TinyGsmClient.h>
#include <TinyGPSPlus.h>
#include <ThingsBoard.h>
#include "secret.h"
```

Рисунок 3.2 – Код для підключення бібліотек

Передача даних у хмарну платформу реалізована з використанням бібліотек TinyGsmClient.h та ThingsBoard.h. Перша з них забезпечує взаємодію з GSM-модулем SIM7670G, зокрема встановлення з'єднання з мережею та передавання даних через GPRS, тоді як друга реалізує клієнтську частину протоколу обміну з

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

платформою ThingsBoard. Додатково використано файл secret.h, у якому зберігаються конфіденційні дані, такі як APN оператора мобільного зв'язку та токен доступу до IoT-платформи, що підвищує безпеку програмного коду.

Після підключення бібліотек виконано оголошення та ініціалізацію об'єктів, які відповідають за роботу окремих компонентів системи. Зокрема, створено об'єкт display для керування OLED дисплеєм із заданими параметрами роздільної здатності 128×64 пікселі. Для сенсорів створено відповідні об'єкти: particleSensor для MAX30102, tempSensor для MAX30205, mpu для MPU-6050 та bme для BME280. Це дозволяє у подальшому звертатися до кожного пристрою через відповідні методи бібліотек (рис. 3.3).

```
// ===== Налаштування OLED =====
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &wire, OLED_RESET);
// ===== Налаштування сенсорів =====
MAX30105 particleSensor;
MAX30205 tempSensor;
MPU6050 mpu(wire);
Adafruit_BME280 bme;
// ===== Налаштування GSM/IoT =====
#define TINY_GSM_MODEM_SIM7670
#define SerialMon Serial
#define SerialAT Serial1
TinyGsm modem(SerialAT);
TinyGsmClient client(modem);
ThingsBoard tb(client);
```

Рисунок 3.3 – Частина коду для оголошення та ініціалізації об'єктів

Для організації зв'язку з IoT платформою ініціалізовано об'єкти modem, client та tb, які забезпечують послідовний ланцюг передачі даних від мікроконтролера до сервера ThingsBoard. Зокрема, modem відповідає за управління GSM-модулем, client — за реалізацію TCP-з'єднання, а tb — за передачу телеметричних даних у форматі, сумісному з платформою.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3.2.2 Ініціалізація апаратних компонентів та встановлення з'єднання з IoT платформою

Підпрограма `setup()` виконує початкову ініціалізацію всіх апаратних і програмних компонентів системи та забезпечує підготовку мікроконтролера до подальшої роботи в режимі моніторингу. На початку функції здійснюється запуск послідовного інтерфейсу `SerialMon`, що використовується для налагодження та виведення діагностичних повідомлень. Після цього вводиться коротка затримка тривалістю 1 секунда, яка необхідна для стабілізації роботи системи після подачі живлення.

Наступним етапом є ініціалізація OLED дисплея. Викликається метод `display.begin()` із зазначенням режиму живлення `SSD1306_SWITCHCAPVCC` та I2C-адреси `0x3C`. У випадку невдалої ініціалізації виводиться повідомлення про помилку, після чого виконання програми блокується у нескінченному циклі, що дозволяє уникнути некоректної роботи системи без засобу відображення інформації. Після успішного запуску дисплей очищається, а також встановлюються базові параметри відображення: розмір шрифту та колір тексту (рис. 3.4).

```
void setup() {  
    SerialMon.begin(115200);  
    delay(1000);  
    // OLED  
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {  
        SerialMon.println(F("SSD1306 allocation failed"));  
        for(;;);  
    }  
    display.clearDisplay();  
    display.setTextSize(1);  
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);  
}
```

Рисунок 3.4 – Частина коду підпрограми `setup()` для ініціалізації OLED дисплея

Далі здійснюється ініціалізація інтерфейсу I2C за допомогою виклику `Wire.begin()`, що є необхідною умовою для роботи більшості сенсорів у системі. Після цього відбувається поетапна ініціалізація кожного з підключених датчиків.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для сенсора МАХ30102 виконується перевірка наявності пристрою на шині I2C за адресою 0x57. У разі відсутності зв'язку система переходить у режим очікування, що сигналізує про апаратну несправність або неправильне підключення. Після успішного виявлення сенсора застосовується метод `setup()`, який встановлює стандартні параметри роботи (рис. 3.5).

```
// I2C сенсори
Wire.begin();
// MAX30102
if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_STANDARD, 0x57)) {
  SerialMon.println("MAX30102 not found.");
  while(1);
}
particleSensor.setup(); // стандартні параметри
// MAX30205
tempSensor.begin();
// MPU6050
byte status = mpu.begin();
if(status != 0){
  SerialMon.println("MPU6050 initialization failed");
}
mpu.calcGyroOffsets(true);
// BME280
if (!bme.begin(0x76)) {
  SerialMon.println("BME280 not found.");
  while(1);
}
```

Рисунок 3.5 – Частина коду підпрограми `setup()` для ініціалізації датчиків

Температурний сенсор МАХ30205 ініціалізується викликом методу `begin()`, що активує його робочий режим і забезпечує готовність до вимірювання температури тіла. Для інерційного модуля MPU-6050 виконується виклик методу `begin()`, який повертає статус ініціалізації. У випадку виникнення помилки виводиться відповідне повідомлення у послідовний порт. Додатково виконується калібрування гіроскопа за допомогою функції `calcGyroOffsets(true)`, що дозволяє підвищити точність вимірювань шляхом компенсації систематичних похибок.

Ініціалізація датчика ВМЕ280 виконується із використанням I2C-адреси 0x76. Аналогічно до інших сенсорів, у випадку відсутності пристрою система

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

переходить у нескінченний цикл, запобігаючи подальшій роботі з некоректними даними. Після цього система переходить до налаштування каналу зв'язку.

На завершальному етапі підпрограми здійснюється ініціалізація GSM-модуля SIM7670G (рис. 3.6).

```
// GSM
SerialMon.println("Initializing modem...");
modem.restart();
modem.gprsConnect(apn, user, pass);
if(!tb.connect(thingsboardServer, thingsboardToken)){
  SerialMon.println("Failed to connect to ThingsBoard");
}
// --- GPS ---
SerialMon.println("Initializing GPS...");
modem.enableGPS();
```

Рисунок 3.6 – Частина коду підпрограми setup() для ініціалізація GSM-модуля

Виводиться інформаційне повідомлення про початок ініціалізації, після чого виконується перезапуск модема за допомогою методу `modem.restart()`. Далі встановлюється GPRS-з'єднання із використанням параметрів оператора мобільного зв'язку (APN, логін і пароль). Після успішного підключення до мережі здійснюється спроба встановлення з'єднання з IoT платформою ThingsBoard за допомогою методу `tb.connect()`, який використовує адресу сервера та токен доступу. У разі невдалої спроби з'єднання виводиться повідомлення про помилку, що дозволяє оперативно виявити проблеми з мережею або конфігурацією.

3.2.3 Реалізація основного циклу збору, обробки та передачі даних

Підпрограма `loop()` реалізує безперервний цикл функціонування мікроконтролерної системи. Організація роботи циклу базується на використанні функції `millis()`, що дозволяє реалізувати неблокуючий механізм таймінгу. На початку кожної ітерації визначається поточний час у змінній `currentMillis`, після чого перевіряється умова перевищення заданого інтервалу оновлення. Якщо різниця між поточним часом і моментом останнього оновлення перевищує встановлене значення `interval`, виконується основний блок обробки даних.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Першим етапом є зчитування біометричних параметрів користувача. Для цього викликається метод `particleSensor.check()`, який оновлює внутрішній буфер даних оптичного сенсора. Після цього отримуються значення частоти серцевих скорочень (`heartRate`) та рівня насичення крові киснем (`SpO2`) за допомогою відповідних методів бібліотеки. Далі здійснюється зчитування температури тіла з давача `MAX30205` шляхом виклику функції `readTempC()`, результат якої зберігається у змінній `bodyTemp` (рис. 3.7).

```
// ===== Основний цикл =====  
void loop() {  
    unsigned long currentMillis = millis();  
    if(currentMillis - lastUpdate >= interval) {  
        lastUpdate = currentMillis;  
        // ----- Зчитування пульсу та SpO2 -----  
        particleSensor.check(); // оновлення датчика  
        heartRate = particleSensor.getHeartRate();  
        SpO2 = particleSensor.getSpO2();  
        // ----- Зчитування температури тіла -----  
        bodyTemp = tempSensor.readTempC();  
    }  
}
```

Рисунок 3.7 – Частина коду підпрограми `loop()` для зчитування даних з давача `MAX30205`

Наступним етапом є обробка даних інерційного модуля `MPU-6050`. Виклик функції `mpu.update()` забезпечує оновлення вимірних значень, після чого зчитуються компоненти прискорення та кутових швидкостей. Ці дані можуть використовуватись для аналізу рухової активності користувача, визначення нахилу або виявлення різких змін положення (рис. 3.8).

```
// ----- Зчитування даних MPU6050 -----  
mpu.update();  
accX = mpu.getAccX();  
accY = mpu.getAccY();  
accZ = mpu.getAccZ();  
gyroX = mpu.getGyroX();  
gyroY = mpu.getGyroY();  
gyroZ = mpu.getGyroZ();
```

Рисунок 3.8 – Частина коду підпрограми `loop()` для обробки даних з модуля `MPU-6050`

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього здійснюється зчитування параметрів навколишнього середовища з датчика BME280. Зокрема, визначаються температура повітря (tempAir), відносна вологість (hum) та атмосферний тиск (pressure). Значення тиску додатково перетворюється у гектопаскалі шляхом ділення на 100, що відповідає стандартним одиницям вимірювання. Отримані дані можуть бути використані для оцінки умов навколишнього середовища, а також для подальшого розрахунку висоти (рис. 3.9).

```
// ----- Зчитування даних BME280 -----  
tempAir = bme.readTemperature();  
hum = bme.readHumidity();  
pressure = bme.readPressure() / 100.0F;
```

Рисунок 3.9 – Частина коду підпрограми loop() для зчитування параметрів з датчика BME280

Після збору всіх даних виконується їх візуалізація на OLED дисплеї. Для цього дисплей попередньо очищається, після чого встановлюється початкова позиція курсора. У послідовному форматі виводяться основні параметри: температура тіла, частота пульсу, рівень SpO2, температура повітря, вологість та атмосферний тиск. Завершальним кроком є виклик функції display.display(), яка оновлює вміст екрана (рис. 3.10).

```
// ----- Відображення на OLED -----  
display.clearDisplay();  
display.setCursor(0,0);  
display.print("Body Temp: "); display.print(bodyTemp); display.println(" C");  
display.print("Heart: "); display.print(heartRate); display.println(" bpm");  
display.print("SpO2: "); display.print(SpO2); display.println(" %");  
display.print("Temp Air: "); display.print(tempAir); display.println(" C");  
display.print("Humidity: "); display.print(hum); display.println(" %");  
display.print("Pressure: "); display.print(pressure); display.println(" hPa");  
display.display();
```

Рисунок 3.10 – Частина коду підпрограми loop() для візуалізації даних на OLED дисплеї

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Далі реалізується передача даних до IoT платформи ThingsBoard. Перед відправкою перевіряється наявність активного з'єднання за допомогою методу `tb.connected()`. У випадку успішного підключення відбувається послідовна передача всіх зібраних параметрів у вигляді телеметрії. Крім безпосередньо виміряних значень, також передається обчислена висота, яка визначається на основі атмосферного тиску за допомогою функції `calculateAltitude()`. Це є важливим параметром для аналізу стану альпініста в умовах високогір'я (рис. 3.11).

```
// ----- Відправка даних на ThingsBoard -----
if(tb.connected()){
    tb.sendTelemetryFloat("bodyTemp", bodyTemp);
    tb.sendTelemetryFloat("heartRate", heartRate);
    tb.sendTelemetryFloat("SpO2", SpO2);
    tb.sendTelemetryFloat("accX", accX);
    tb.sendTelemetryFloat("accY", accY);
    tb.sendTelemetryFloat("accZ", accZ);
    tb.sendTelemetryFloat("gyroX", gyroX);
    tb.sendTelemetryFloat("gyroY", gyroY);
    tb.sendTelemetryFloat("gyroZ", gyroZ);
    tb.sendTelemetryFloat("tempAir", tempAir);
    tb.sendTelemetryFloat("humidity", hum);
    tb.sendTelemetryFloat("pressure", pressure);
    tb.sendTelemetryFloat("height", calculateAltitude(pressure));
    if(gpsValid){
        tb.sendTelemetryFloat("latitude", latitude);
        tb.sendTelemetryFloat("longitude", longitude);
        tb.sendTelemetryFloat("gpsAltitude", altitudeGPS);
    }
}
}
tb.loop();
```

Рисунок 3.11 – Частина коду підпрограми `loop()` для передачі даних до IoT платформи ThingsBoard

Поза основним умовним блоком викликається функція `tb.loop()`, яка забезпечує підтримку мережевого з'єднання, обробку службових повідомлень та коректну роботу клієнта ThingsBoard у фоновому режимі.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Налаштування хмарної IoT платформи ThingsBoard

Для реалізації моніторингу активності альпініста було виконано налаштування хмарної IoT платформи ThingsBoard, яка забезпечила централізовану обробку та візуалізацію даних, що надходили з мікроконтролера ESP32-S3 SIM7670G. Спочатку було створено новий пристрій у платформі, відповідно до типу системи, з метою отримання унікального токена доступу, який надалі використовувався для автентифікації пристрою при надсиланні даних через GSM-з'єднання. Цей токен був скопійований у прошивку мікроконтролера для забезпечення безпечної передачі телеметрії.

Далі було налаштовано структуру телеметрії. Для кожного сенсора, що входив до складу системи — MAX30102, MAX30205, GY-521, BME280 — були створені окремі ключі даних (telemetry keys), що дозволило роздільно передавати фізіологічні параметри альпініста та параметри навколишнього середовища. Було визначено ключі для пульсу, рівня насичення крові киснем (SpO_2), температури тіла, прискорення по трьох осях, кутової швидкості, температури та вологості повітря, атмосферного тиску і розрахованої висоти підйому. Це дозволило зручно відображати дані у вигляді графіків та гістограм для кожного параметра окремо.

Після визначення телеметрії було створено інтерфейс для візуалізації даних. На ньому розташували кілька віджетів: графіки в реальному часі для пульсу, SpO_2 та температури тіла; гістограми для акселерометричних даних та гіроскопа; лінійні графіки для температури, вологості та атмосферного тиску. В окремому віджеті відображалася обчислена висота альпініста. Інтерфейс було організовано так, щоб центральні показники, які мають критичне значення для безпеки, були наочно видимі та оновлювалися у реальному часі з частотою, відповідною частоті оновлення мікроконтролера (рис. 3.12).

Для забезпечення інтерактивності та контролю стану системи було налаштовано правила обробки даних (Rule Chains), які реагували на надходження критичних значень. Наприклад, при перевищенні порогу пульсу або температури тіла, або при виявленні падіння на основі даних акселерометра, система автоматично формувала повідомлення тривоги. Було налаштовано надсилання

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електронних сповіщень та візуальних індикаторів, що дозволяло дистанційно контролювати стан альпініста та оперативно реагувати на небезпечні ситуації.

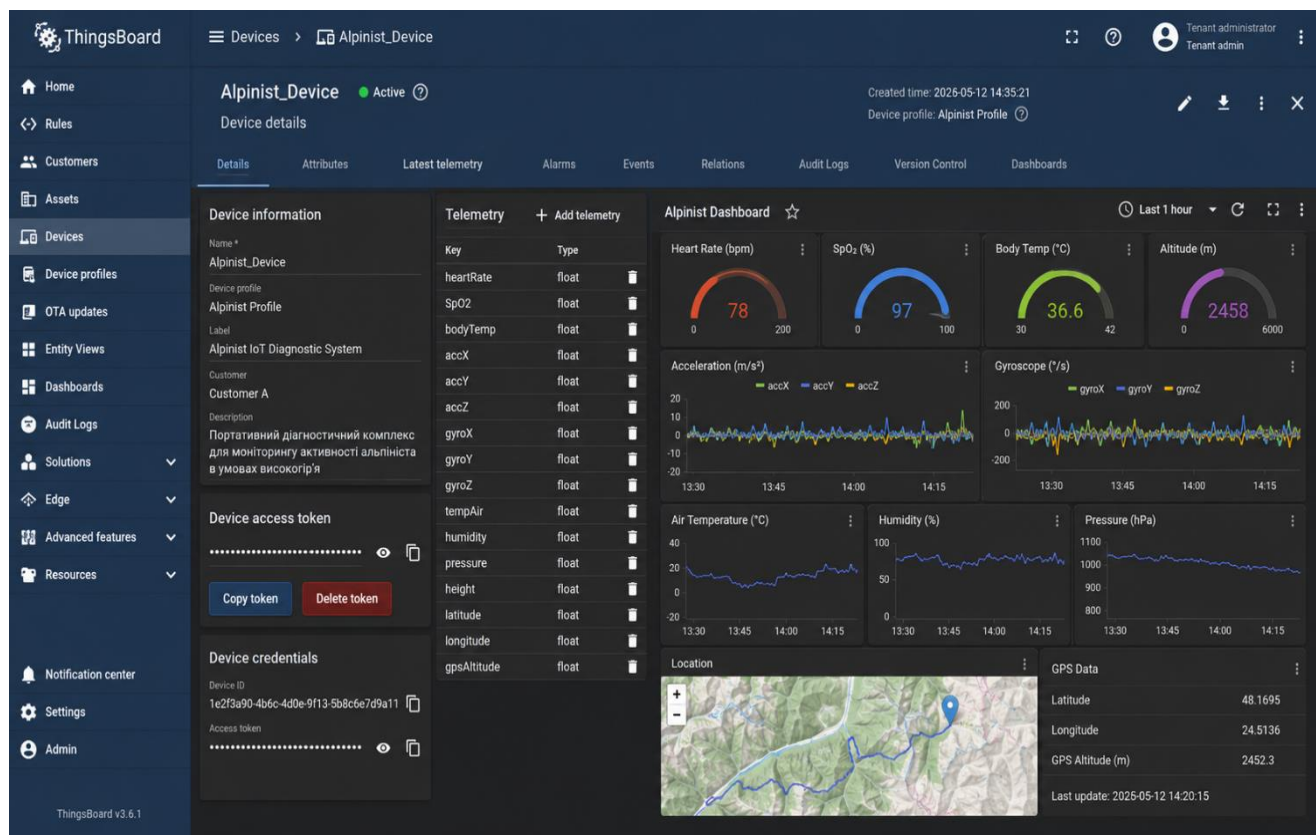


Рисунок 3.12 – Процес налаштування IoT платформи ThingsBoard

Для забезпечення стабільності роботи платформи було проведено налаштування інтервалів прийому даних відповідно до частоти циклу мікроконтролера (2 секунди), а також контроль за підключенням пристрою через GSM. Було перевірено, що всі телеметричні дані надходять без затримок і коректно відображаються на дашборді, включаючи графіки та історичні записи.

У підсумку, налаштування хмарної IoT платформи ThingsBoard дозволило створити ефективний інструмент для збору, обробки та візуалізації даних портативного діагностичного комплексу. Ця інтеграція забезпечила зручний і наочний контроль фізіологічного стану альпініста та умов навколишнього середовища, що стало важливою частиною реалізації системи моніторингу в умовах високогір'я.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Результати моделювання та тестування системи

Розроблення мобільної IoT-системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я розпочато з моделювання її логічної та функціональної структури у середовищі Circuit Designer. На цьому етапі було побудовано віртуальну модель системи, яка включала всі ключові компоненти. Моделювання дозволило відтворити послідовність роботи системи: ініціалізацію сенсорів, циклічне зчитування даних, обробку сигналів, відображення ключових параметрів на дисплеї та формування пакетів телеметрії для IoT платформи (рис. 3.13).

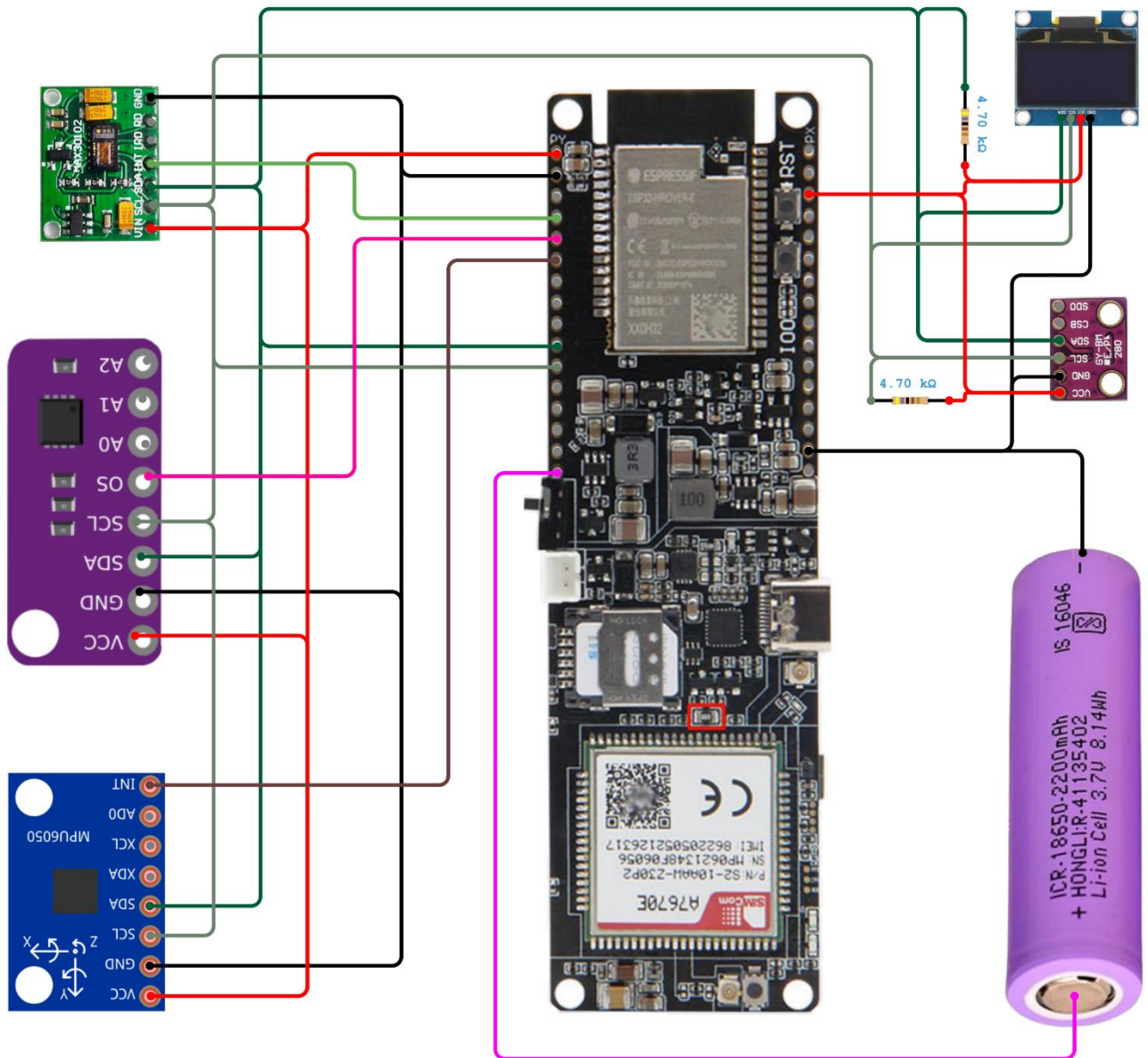


Рисунок 3.13 – Модель системи моніторингу активності альпініста

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Після успішного завершення моделювання розпочалося тестування фізичного прототипу системи. На першому етапі було здійснено перевірку апаратного з'єднання всіх сенсорів із платою ESP32-S3 SIM7670G, контроль стабільності живлення та правильності підключення I2C- та GPIO-ліній.

На другому етапі виконували інтеграційне тестування системи в цілому. Було перевірено одночасне зчитування даних з усіх сенсорів, їх обробку та відображення на OLED дисплеї. Тестування включало моделювання фізичної активності альпініста: зміни пульсу та SpO₂ під час активного руху, зміни температури тіла, нахили та падіння для перевірки роботи GY-521. Всі дані успішно передавалися на платформу ThingsBoard через GSM-з'єднання, що підтвердило коректну роботу протоколу обміну даними та інтеграцію з хмарною платформою.

В результаті тестування були визначені оптимальні інтервали зчитування і обробки даних, а також підтверджено, що розроблена IoT-система відповідає всім поставленим технічним вимогам та готова до експлуатації в умовах високогір'я.

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Надзвичайні ситуації метеорологічного характеру

Землю оточує повітряна оболонка – атмосфера, яка простягається на висоту до 1000 км, хоча основна її частина зосереджена в нижніх шарах. Вітри — це так звані «прилади-змішувачі», вони забезпечують обмін між забрудненим повітрям міст та чистим, насиченим киснем полів і лісів, теплим екваторіальним та холодним повітрям полярних областей, розганяють хмари і приносять дощові хмари на поля, на яких без них нічого б не росло. Таким чином, вітер — це один з найважливіших компонентів життя. Але він може бути і руйнівним, набагато небезпечнішим від багатьох стихій.

Англійський адмірал Ф. Бофорт ще 1806 р. запропонував 12-бальну шкалу для вимірювання вітрів. Він розподілив вітри залежно від швидкості переміщення повітряних мас. Вітер силою в 9 балів, коли швидкість становить від 20 до 24 м/с, руйнує старі будівлі, зриває дахи з будівель. Цей вітер називається шторм.

Якщо швидкість вітру досягає 32 м/с, то це ураган. Ураганами називають також тропічні циклони, які виникають в Тихому океані поблизу узбережжя Центральної Америки. На Далекому Сході і в районах Індійського океану урагани (циклони) мають назву тайфунів. Суть усіх явищ одна. Ураган, тайфун, тропічний циклон — це велетенські віхоли нашої планети. Американські вчені підрахували, що енергії урагану вистачило б, щоб на цілих п'ять місяців забезпечити всю Західну Європу електроенергією. Щорічно на земній кулі виникає та повністю розвивається не менше 70 тропічних циклонів зі штормовими та ураганними вітрами.

Тропічні урагани найчастіше виникають влітку над Атлантикою або Тихим океаном, коли нагріта сонцем вода віддає своє тепло повітря. Діаметр такого

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Галян О.В.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луценко А.М.</i>					<i>53</i>	<i>7</i>
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осунівська Г.М.</i>						

урагану може досягати 900 км, а швидкість обертання повітряних мас доходить до 500 км/год., в цьому і полягає його руйнівна сила. У центрі кожного тропічного циклону утворюється область дуже низького тиску з високою температурою. Це і є «око тайфуну». Його діаметр – 10-30 км. Швидкість вітру в тропічному циклоні – до 400 км/год [12].

Коли ураган наближається до узбережжя, він жене поперед себе величезні маси води. Штормовий вал, який супроводжується зазвичай зливами і смерчами, шалено налітає на узбережжя і нищить усе живе.

Одне з найстрашніших стихійних лих, яке трапилось на нашій планеті, приніс тропічний ураган, який утворився у листопаді 1970 р. в Бенгальській затоці. Тайфун, який там виник, рушив на північ, в гирло Гангу. Води «великої священної» ріки Індії затопили 800000 кв. км узбережжя. Ураган мав швидкість вітру 200-250 м/с, морські хвилі досягали висоти 10 м. В цій катастрофі загинуло близько 400 тис. осіб.

На сьогодні існують сучасні методи прогнозування ураганів. Кожне підозріле скупчення хмар, де б воно не виникало, фотографується метеорологічними супутниками з космосу, літаки метеослужби летять до «ока тайфуну», щоб отримати точні дані. Ця інформація закладається в комп'ютери, щоб розрахувати шлях і тривалість урагану та заздалегідь сповістити населення про небезпеку.

Атмосферне явище, що є стрімким воронкоподібним вихором заввишки до 1,5 км, який витягується від купчасто-дощової хмари до поверхні води або землі називають смерч або торнадо.

Смерчі трапляються частіше, ніж урагани й тайфуни. Щорічно в Америці спостерігається близько 900 смерчів, які там називають торнадо. Найчастіше це стихійне лихо трапляється на території штатів Техас і Огайо, де від нього гине в середньому 114 осіб на рік. Та в останньому, 2012 р., потужний смерч спостерігався на півночі Італії, чого в цих краях майже ніколи не було. Цього ж року рідке явище – водночас 5 смерчів – спостерігали в Криму [12].

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Смерчі утворюються тоді, коли стикаються дві великі повітряні маси різної температури і вологості, до того ж в нижніх шарах повітря тепле, а в верхніх — холодне. Тепле повітря, звичайно, піднімається вгору й охолоджується, а водяна пара, яка міститься в ньому, випадає дощем. Але коли збоку починає дути вітер, котрий відхиляє вбік потік теплого повітря, який піднімається вгору, то виникає вихор, швидкість якого досягає 450 км/год.

Смерч спричиняє нищення будівель, пожежі, руйнування різноманітної техніки, вихрові рухи повітряних потоків смерчу здатні піднімати машини, потяги, мости. І водночас смерчі здатні на дивні речі. В одному місці вихор підняв у повітря будинок з трьома його мешканцями, повернув його на 360° і опустив на землю без жодного ушкодження. Трапляються смерчі і в Україні: південні смерчі спостерігаються на Чорному та Азовському морях.

Аналогічно ураганам смерчі спочатку розпізнають з космічних метеорологічних супутників погоди, а потім за допомогою зйомок простежують їх розвиток та рух.

При ураганах рекомендується слідувати таким правилам поведінки [13]:

- отримавши повідомлення про ураган, необхідно щільно зачинити двері, вікна;
- з дахів та балконів забрати предмети, які при падінні можуть травмувати людину;
- в будівлях необхідно триматися подалі від вікон, щоб не отримати травми від осколків розбитого скла;
- найбезпечнішими місцями під час урагану є підвали, сховища, метро та внутрішні приміщення перших поверхів цегляних будинків;
- коли ураган застав людину на відкритій місцевості, найкраще знайти укриття в западині (ямі, яру, канаві);
- ураган може супроводжуватись грозою, необхідно уникати ситуацій, при яких збільшується ймовірність ураження блискавкою: не стояти під окремими деревами, не підходити до ліній електропередач.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону

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

Інфрачервоні випромінювання здійснюють на організм людини, в основному, теплову дію. Тому джерелом ІЧ-випромінювань є будь-яке нагріте тіло, причому його температура й визначає інтенсивність теплового випромінювання E (Вт/м²) [13].

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

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

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втрата свідомості. Можливим наслідком впливу короткохвильових ІЧ-випромінювань на очі є поява катаракти. Досить часто таке професійне захворювання зустрічається у складувів [14].

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

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

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

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

У виробничих приміщеннях, в яких на робочих місцях неможливо встановити регламентовані інтенсивності теплового опромінення працюючих через технологічні вимоги, технічну недосяжність або економічно обґрунтовану недоцільність, використовують обдування, повітряне та водоповітряне душення. При інтенсивності теплового опромінення понад 350 Вт/м² та опроміненні понад 25 % поверхні тіла тривалість неперервної роботи і регламентованих перерв встановлюються у відповідності з даними з довідників [14].

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

До основних заходів та засобів щодо зниження небезпечної та шкідливої дії ІЧ-випромінювання належать [14]:

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

Ультрафіолетові (УФ) випромінювання належать до оптичного діапазону електромагнітних хвиль і знаходяться між тепловими та іонізуючими (рентгенівськими) випромінюваннями, тому мають властивості як перших, так і других. За способом генерації вони наближаються до теплового діапазону випромінювань (температурні випромінювачі починають генерувати УФ промені при температурі понад 1200 °С), а за біологічною дією – до іонізуючого випромінювання. Незважаючи на схожість біологічної дії на організм людини негативні наслідки від ультрафіолетового опромінення значно менші ніж від іонізуючого. Це обумовлено більшою довжиною його хвилі, а відтак і меншою енергією кванта УФ променів [15].

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

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

УФ-випромінювання характеризується двоюкою дією на організм людини: з одного боку, небезпекою переопромінення, а з іншого – його необхідністю для нормального функціонування організму, оскільки УФ промені є важливим стимулятором основних біологічних процесів. Природне освітлення, особливо сонячні промені, є достатнім для організму людини джерелом УФ-випромінювань, тому його відсутність або ж недостатність може створити певну небезпеку. З метою профілактики ультрафіолетової недостатності для працівників, на робочих місцях яких відсутнє природне освітлення, наприклад шахтарів, необхідно до складу приміщень охорони здоров'я включати фітарії. Захист від інтенсивного опромінення ультрафіолетовими променями досягається [15]:

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

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

Система для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я розроблялася з урахуванням заходів захисту від випромінювань оптичного діапазону.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено мобільну IoT-систему для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я, яка дозволяє збирати, обробляти та передавати дані про фізіологічний стан користувача та умови навколишнього середовища.

Проведено аналіз технічного завдання та вимог до системи, а також огляд існуючих аналогів. Було визначено ключові параметри для моніторингу альпініста, сформульовано структурні та функціональні вимоги до апаратної та програмної частини системи, що дозволило закласти основу для подальшої розробки.

Обрано та обґрунтовано вибір компонентів: мікроконтролер ESP32-S3 SIM7670G, сенсори пульсу та насичення киснем крові MAX30102, температури тіла MAX30205, акселерометр і гіроскоп GY-521, барометричний сенсор BME280 та OLED дисплей. Розроблено структурну схему та електричну принципову схему, забезпечивши коректне підключення всіх елементів.

Розроблено алгоритм роботи, який включає ініціалізацію сенсорів, циклічне зчитування та обробку даних, відображення ключових параметрів на OLED дисплеї, обчислення похідних показників та передачу телеметрії на платформу ThingsBoard. Програмне забезпечення забезпечує стабільну роботу всіх компонентів та обробку сигналів у реальному часі.

Проведено моделювання роботи пристрою, що дозволило перевірити коректність алгоритмів обробки даних. Після цього реалізовано фізичний прототип, який пройшов комплексне тестування: перевірку роботи всіх сенсорів, інтеграційне тестування, відображення даних на OLED та передачу телеметрії у хмару. Результати підтвердили надійність і точність системи, а також її готовність до експлуатації в умовах високогір'я.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Johansson R.E., Adolph S.T., Swart J., Lambert M.I. Accuracy of GPS sport watches in measuring distance in an ultramarathon running race. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2020. 15(2). P. 212-219.
2. Szot T., Sontowski M. Global navigation satellite systems' receivers in mountain running: the elevation problem. *Sports Engineering*, 2024. 27(1). P. 1-8.
3. Smith D. Hexoskin - A Bluetooth Built-in Sensor Shirt for Intuitive Fitness and Health Tracking. URL: <https://www.parts-people.com/blog/2013/09/17/hexoskin-a-bluetooth-built-in-sensor-shirt-for-intuitive-fitness-and-health-tracking/> (дата звернення: 09.04.2026).
4. Vagott J., Parachuru R. An overview of recent developments in the field of wearable smart textiles. *Journal of Textile Science & Engineering*, 2018. 8(4). P. 1-10.
5. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
6. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
7. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018. 740 с.
8. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek Ł. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*. Volume 18, Issue 2, 2024. P. 296–304.
9. 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.
10. Lupenko S.A., Osukhivska H.M., Lutsyk N.S., Stadnyk N.B., Zozulia A.M., Shablii N.R. The comparative analysis of mathematical models of cyclic signals structure and processes. *Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine*, 2016. 82(2), P. 115-127.

					КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі IoT. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24–25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.

12. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.

13. Яремко З.М. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2017. 301 с.

14. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 526 с.

15. Мелех Л.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці: навч. посіб. Львів: ЛДУ внутрішніх справ. 2022. 219 с.

					<i>КС КРБ 123.156.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедру КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

МОБІЛЬНА ІОТ-СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АКТИВНОСТІ
АЛЬПІНІСТА В УМОВАХ ВИСОКОГІР'Я

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. Лупенко А.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____ Галян О.В.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Мобільна IoT-система для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.156.00.00.

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, Галян Олександр Васильович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-188 від «24» квітня 2026 року.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 21.06.2026 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 мобільної системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проєктування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Мобільна IoT-система призначена для безперервного моніторингу активності альпініста під час перебування у високогірних умовах. Система забезпечує автоматизований збір даних з вимірювальних сенсорів, їх обробку та передавання на віддалену IoT-платформу для зберігання, аналізу та перегляду користувачем або відповідальними особами.

Система може використовуватися як допоміжний інструмент підвищення безпеки під час альпіністських сходжень, тренувальних експедицій або індивідуальних походів, а також як навчально-дослідна платформа для вивчення принципів побудови IoT-рішень у складних умовах експлуатації.

2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є розробка мобільного апаратно-програмного комплексу на основі IoT-технологій, який забезпечує надійний моніторинг активності альпініста, дистанційний доступ до вимірювальних даних та можливість подальшого аналізу отриманої інформації.

Досягнення поставленої мети передбачає поєднання сучасних мікроконтролерних платформ, сенсорних модулів, засобів бездротового зв'язку та хмарних сервісів в єдину комп'ютерну систему з визначеною архітектурою та алгоритмом функціонування.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом моніторингу є альпініст, який перебуває в умовах високогір'я та виконує фізичну активність різної інтенсивності. Характерними особливостями об'єкта є змінні фізіологічні показники, рухова активність, а також залежність стану від зовнішніх факторів, зокрема висоти, температури та тривалості навантажень. Система повинна враховувати мобільність об'єкта та обмеження, пов'язані з автономним живленням і габаритами пристрою.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна являти собою цілісний мобільний комплекс, здатний функціонувати автономно протягом тривалого часу без необхідності постійного втручання користувача. Архітектура системи має бути модульною, що забезпечує можливість розширення та адаптації до нових умов експлуатації. Робота системи повинна бути стабільною в умовах обмеженого або переривчастого доступу до мережі зв'язку.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структурно система повинна складатися з портативного вимірювального пристрою, каналу бездротового передавання даних та віддаленої IoT-платформи. Портативний пристрій має виконувати функції збору та попередньої обробки даних, а IoT-платформа – забезпечувати зберігання, візуалізацію та доступ до інформації.

Функціонування системи повинно бути організоване за циклічним принципом, що включає опитування сенсорів, обробку результатів, формування пакетів даних та їх передавання. У разі відсутності зв'язку система повинна забезпечувати тимчасове збереження даних у локальній пам'яті.

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

Для обміну даними між компонентами системи повинні використовуватися бездротові технології зв'язку, що забезпечують прийнятний компроміс між дальністю передавання, енергоспоживанням та надійністю. Вибір конкретного стандарту зв'язку має враховувати можливість роботи в умовах високогір'я та обмеженої інфраструктури.

Обмін даними між портативним пристроєм та IoT-платформою повинен здійснюватися з використанням стандартних мережевих протоколів, що забезпечують сумісність із хмарними сервісами та засобами візуалізації.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати декілька режимів роботи, зокрема:

- основний режим моніторингу з періодичним збором і передаванням даних;
- енергозберігаючий режим зі зниженим рівнем активності компонентів;

- режим автономної роботи з накопиченням даних у разі втрати зв'язку.

Перемикання між режимами може здійснюватися автоматично або за ініціативою користувача.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура системи повинна передбачати можливість подальшої модернізації, зокрема:

- підключення додаткових сенсорів;
- розширення функцій аналізу даних;
- інтеграцію з іншими інформаційними системами або сервісами.

Програмне забезпечення повинно бути розроблене з урахуванням можливості оновлення та масштабування.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати стійку роботу в умовах підвищених механічних навантажень, вібрацій та перепадів температур. У разі виникнення помилок система повинна переходити в безпечний режим роботи та зберігати критично важливі дані. Середній час безвідмовної роботи має відповідати вимогам портативних пристроїв тривалого використання.

Показники надійності системи для моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Система повинна виконувати такі основні функції:

- збір даних про активність альпініста;
- попередню обробку та фільтрацію сигналів;
- передавання даних на віддалену IoT-платформу;

- візуалізацію та зберігання отриманої інформації.

Додатково система може виконувати функції зберігання подій та формування статистичних даних.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення системи повинно базуватися на сучасному мікроконтролері з достатніми обчислювальними ресурсами та підтримкою бездротового зв'язку. Усі компоненти повинні мати низьке енергоспоживання та компактні габарити. Конструкція пристрою має забезпечувати зручність носіння та захист від впливу зовнішнього середовища.

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 системи.

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

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02 – 15.02
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютерної системи	20.04 – 25.04
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютерної системи	26.04 – 05.05
5.	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.05 – 07.06
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	08.06 – 14.06
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06.2026

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

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

Додаток Б
Перелік елементів

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера для реалізації системи моніторингу активності альпініста в умовах високогір'я.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <MAX30105.h>
#include <MAX30105_PulseOximeter.h>
#include <MAX30205.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <MPU6050_light.h>
#include <TinyGsmClient.h>
#include <TinyGPSPlus.h>
#include <ThingsBoard.h>
#include "secret.h"

// ===== Налаштування OLED =====
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
// ===== Налаштування сенсорів =====
MAX30105 particleSensor;
MAX30205 tempSensor;
MPU6050 mpu(Wire);
Adafruit_BME280 bme;
// ===== Налаштування GSM/IoT =====
#define TINY_GSM_MODEM_SIM7670
#define SerialMon Serial
#define SerialAT Serial1
TinyGsm modem(SerialAT);
TinyGsmClient client(modem);
ThingsBoard tb(client);
// ===== Змінні для сенсорів =====
float heartRate = 0;
float SpO2 = 0;
float bodyTemp = 0;
float accX, accY, accZ;
float gyroX, gyroY, gyroZ;
float tempAir = 0;
float hum = 0;
float pressure = 0;
// ===== Налаштування інтервалів =====
unsigned long lastUpdate = 0;
```

```

const long interval = 2000; // оновлення кожні 2 сек
// ===== GPS =====
float latitude = 0.0;
float longitude = 0.0;
float altitudeGPS = 0.0;
bool gpsValid = false;

// ===== Функція ініціалізації =====
void setup() {
  SerialMon.begin(115200);
  delay(1000);
  // OLED
  if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    SerialMon.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for(;;);
  }
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  // I2C сенсори
  Wire.begin();
  // MAX30102
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_STANDARD, 0x57)) {
    SerialMon.println("MAX30102 not found.");
    while(1);
  }
  particleSensor.setup(); // стандартні параметри
  // MAX30205
  tempSensor.begin();
  // MPU6050
  byte status = mpu.begin();
  if(status != 0){
    SerialMon.println("MPU6050 initialization failed");
  }
  mpu.calcGyroOffsets(true);
  // BME280
  if (!bme.begin(0x76)) {
    SerialMon.println("BME280 not found.");
    while(1);
  }
  // GSM
  SerialMon.println("Initializing modem...");
  modem.restart();
  modem.gprsConnect(apn, user, pass);
  if(!tb.connect(thingsboardServer, thingsboardToken)){
    SerialMon.println("Failed to connect to ThingsBoard");
  }
  // --- GPS ---
  SerialMon.println("Initializing GPS...");
  modem.enableGPS();
  delay(2000); // дати час на запуск GNSS
}

```

```

// ===== ОСНОВНИЙ ЦИКЛ =====
void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if(currentMillis - lastUpdate >= interval) {
    lastUpdate = currentMillis;
    // ----- Зчитування пульсу та SpO2 -----
    particleSensor.check(); // оновлення датчика
    heartRate = particleSensor.getHeartRate();
    SpO2 = particleSensor.getSpO2();
    // ----- Зчитування температури тіла -----
    bodyTemp = tempSensor.readTempC();
    // ----- Зчитування даних MPU6050 -----
    mpu.update();
    accX = mpu.getAccX();
    accY = mpu.getAccY();
    accZ = mpu.getAccZ();
    gyroX = mpu.getGyroX();
    gyroY = mpu.getGyroY();
    gyroZ = mpu.getGyroZ();
    // ----- Зчитування даних BME280 -----
    tempAir = bme.readTemperature();
    hum = bme.readHumidity();
    pressure = bme.readPressure() / 100.0F; \
    // ----- Зчитування GPS -----
    gpsValid = modem.getGPS(&latitude, &longitude, &altitudeGPS);
    if(!gpsValid){
      SerialMon.println("GPS signal not valid");
    }
    // ----- Відображення на OLED -----
    display.clearDisplay();
    display.setCursor(0,0);
    display.print("Body Temp: "); display.print(bodyTemp);
display.println(" C");
    display.print("Heart: "); display.print(heartRate);
display.println(" bpm");
    display.print("SpO2: "); display.print(SpO2); display.println("
%");
    display.print("Temp Air: "); display.print(tempAir);
display.println(" C");
    display.print("Humidity: "); display.print(hum);
display.println(" %");
    display.print("Pressure: "); display.print(pressure);
display.println(" hPa");
    display.print("Lat: "); display.println(latitude, 4);
    display.print("Lon: "); display.println(longitude, 4);
    display.display();
    // ----- Відправка даних на ThingsBoard -----
    if(tb.connected()){
      tb.sendTelemetryFloat("bodyTemp", bodyTemp);
      tb.sendTelemetryFloat("heartRate", heartRate);
      tb.sendTelemetryFloat("SpO2", SpO2);
      tb.sendTelemetryFloat("accX", accX);
      tb.sendTelemetryFloat("accY", accY);
    }
  }
}

```

```

tb.sendTelemetryFloat("accZ", accZ);
tb.sendTelemetryFloat("gyroX", gyroX);
tb.sendTelemetryFloat("gyroY", gyroY);
tb.sendTelemetryFloat("gyroZ", gyroZ);
tb.sendTelemetryFloat("tempAir", tempAir);
tb.sendTelemetryFloat("humidity", hum);
tb.sendTelemetryFloat("pressure", pressure);
tb.sendTelemetryFloat("height", calculateAltitude(pressure));
if(gpsValid){
    tb.sendTelemetryFloat("latitude", latitude);
    tb.sendTelemetryFloat("longitude", longitude);
    tb.sendTelemetryFloat("gpsAltitude", altitudeGPS);
}
}
}
tb.loop();
}

// ===== Функция розрахунку висоти за тиском
=====
float calculateAltitude(float pressure){
    const float seaLevelPressure = 1013.25; // гПа
    return 44330.0 * (1.0 - pow(pressure / seaLevelPressure, 0.1903));
}

```