

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі ESP8266

Назва теми

КВРКІ 210360.21.03.63 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-21-3


Підпис

Артем ВОРОБИЙОВ
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«9» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет I ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА



„10” „01” 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Воробйову Артему Андрійовичу

Прізвище, і'я, ІЮ батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі ESP8266

Керівник проекту (роботи) Дмитро ДЕНИСЮК, старший викладач

Прізвище, і'я, ІЮ батькові, Науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Теоретичні аспекти досліджуваної теми

Проектування архітектури та вибір компонентної бази smart bms

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі esp8266

5. Перелік ітафічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Схематичне представлення логіки програми

Алгоритм вимірювання температури за допомогою датчика LM75

Схема I²C-зв'язку /NA219 та LM75 з NodeMCU

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагиат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 - вибір компонентної бази та обґрунтування технічних рішень для Smart BMS	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 - програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи енергомоніторингу на основі ESP8266	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

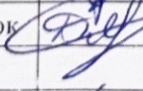
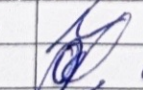
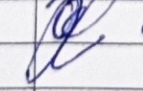

Підпис

Артем ВОРОБІЙОВ
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КВРКІ 210360.21.03.63 ПЗ	Пояснювальна записка	66		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КВРКІ 210360.21.03.63 E63	Схематичне представлення логіки програми	1		
3		КВРКІ 210360.21.03.63 E63	Алгоритм вимірювання температури за допомогою давача LM75	1		
4		КВРКІ 210360.21.03.63 E63	Схема І ² С-зв'язку INA219 та LM75 з NodeMCU			
КВРКІ 210360.21.03.63 ВП						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту	
Розробив	Воробйов			09.06.25		
Перевір.	Денисюк			09.06.		
Н. контр.	Кисіль			09.06.25		
Затв.	Павлова			09.06.25		
				Літера		Аркуш
				У		1
				ХНУ, КІ2-21-3		1

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система моніторингу технічного стану літійових акумуляторів на базі ESP8266»

Автор роботи: Артем Воробйов

Керівник роботи: Денисюк Дмитро

Пояснювальна записка: 66 с., 8 рис., 6 табл., 3 дод., 40 джерел

Графічна частина: 3 креслення

АКУМУЛЯТОР, МОНІТОРИНГ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ESP8266, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ПРОГНОЗУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, СТРУМ, НАПРУГА, MQTT

Метою дипломної роботи є розробка кіберфізичної системи для моніторингу технічного стану літійових акумуляторів, яка забезпечує збір, передачу та аналіз даних у реальному часі з метою підвищення ефективності експлуатації джерел живлення.

Об'єктом дослідження є процеси експлуатації та збереження технічного стану літійових акумуляторів.

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювання і передавання даних про ключові параметри стану акумуляторів у кіберфізичній системі.

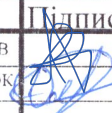
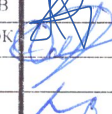
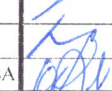

Під час проведення даного дослідження були використані методи систематичного огляду літератури, аналізу та синтезу інформації з джерел технічної документації, а також методи експериментального моделювання для перевірки функціональності побудованої системи моніторингу.


Підпис студента

20.06.2025
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМИ	5
1.1 Важливість літєвих акумуляторів у сучасних енергетичних системах.....	5
1.2 Формулювання основної проблеми.....	9
1.3 Аналіз існуючих рішень для моніторингу акумуляторних батарей та характеристики розроблюваної системи.....	16
1.4 Постановка задачі.....	11
1.5 Висновки до першого розділу	18
2 ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ SMART BMS	20
2.1 Обґрунтування вибору мікроконтролерної платформи	20
2.2 Обґрунтування вибору компонентів платформи	27
2.3 Методологія розробки та алгоритмічне представлення	32
2.4 Висновки до другого розділу.....	43
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ ЛІТЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ ESP8266	44
3.1 Структурна схема і розпіновка пристрою.....	44
3.2 Програмна реалізація системи моніторингу акумуляторної батареї на базі ESP8266/NodeMCU у середовищі Arduino IDE.....	51
3.3 Висновки до третього розділу	58
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТОК А	67
ДОДАТОК Б	68
ДОДАТОК В	69

КвРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Артем ВОРОБІЙОВ		09.06.2025
Перевір.		Дмитро ДЕНИСЮК		09.06.25
Н.КОНТР.		Тетяна КИСІЛЬ		09.06.25
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		09.06.25
Кіберфізична система енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі ESP8266				
Пояснювальна записка				
Літера		Аркуші		Аркуші в
у		2		66
ХНУ КІ2-21-3				

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку енергетичних технологій та впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова генерація, виникає потреба у надійних системах накопичення електроенергії. Через нестабільність виробництва енергії з цих джерел важливо забезпечити збереження надлишкової енергії для її використання в пікові періоди. Літієві акумулятори, які характеризуються високою енергоємністю, тривалим терміном служби та швидкою реакцією на навантаження, широко застосовуються в електротранспорті, автономних джерелах живлення та системах критичної інфраструктури.

Проте ефективна експлуатація таких акумуляторів вимагає постійного контролю їх технічного стану. Без системи моніторингу неможливо точно визначити залишкову ємність, ступінь деградації, ризику перегріву або виходу з ладу. Основними експлуатаційними проблемами є старіння елементів, що спричиняє зростання внутрішнього опору та зменшення ємності, а також потенційно небезпечні термічні явища при перевантаженнях.

Актуальність контролю підвищується в умовах нестабільного енергопостачання. Зокрема в Україні, де можливі перебої в електропостачанні, літієві акумулятори відіграють ключову роль у забезпеченні резервного живлення, а ефективний моніторинг підвищує їхню надійність. Для цього доцільно застосовувати інтелектуальні системи спостереження, здатні в реальному часі зчитувати ключові параметри – температуру, напругу, струм, цикли заряду й розряду – та оцінювати технічний стан батареї.

Мікроконтролери ESP8266, що мають вбудовану підтримку Wi-Fi, забезпечують ефективну бездротову передачу даних у рамках концепції Інтернету речей. Поєднання сенсорних модулів із мережею дозволяє створювати гнучкі та енергоефективні кіберфізичні системи моніторингу. Алгоритми, реалізовані в таких пристроях, можуть не лише реагувати на критичні стани, а й адаптивно

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювати режими роботи в залежності від отриманих даних. Це сприяє підвищенню ресурсу елементів живлення та зменшенню ризику пошкоджень.

Розвиток аналітичних моделей та впровадження алгоритмів прогнозування дозволяють оцінювати майбутній технічний стан батарей на основі історичних даних. Такий підхід відкриває перспективи впровадження систем технічного обслуговування за станом і дає змогу мінімізувати непланові простої.

У рамках даної роботи реалізовано кіберфізичну систему енергомоніторингу на основі ESP8266, зосереджену на вимірюванні напруги, струму та температури літієвих акумуляторів, а також на передачі даних через MQTT-протокол. У кваліфікаційній роботі досліджено та продемонстровано підходи до створення доступних та гнучких систем для ефективного моніторингу стану автономних джерел енергії.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМИ

1.1 Важливість літєвих акумуляторів у сучасних енергетичних системах

З розвитком відновлюваної енергетики, зокрема сонячних і вітрових електростанцій, та зростаючими потребами у накопиченні електроенергії, літєві акумулятори відіграють критично важливу роль. Вони забезпечують не лише стабільне енергопостачання, а й дозволяють гнучко керувати потоками енергії, підвищуючи ефективність та надійність енергетичних систем.

В умовах частих відключень електроенергії, як аварійних, так і планових, літєві акумулятори відіграють критично важливу роль як резервне джерело живлення. Вони забезпечують безперебійне функціонування важливих об'єктів, таких як лікарні, комунальні підприємства, транспортні вузли та системи безпеки. Завдяки високій швидкості реагування на збої в мережі, акумуляторні системи можуть миттєво компенсувати втрату живлення, запобігаючи економічним та соціальним наслідкам.

Оскільки виробництво електроенергії з відновлюваних джерел змінюється залежно від часу доби та погодних умов, акумулятори дозволяють накопичувати електроенергію для подальшого використання у моменти, коли генерація падає або навантаження на мережу збільшується. Це особливо актуально у випадках перебоїв у постачанні електроенергії, коли енергія, що була збережена раніше, може підтримувати роботу ключових об'єктів.

Через часті відключення електроенергії в Україні необхідність постійного контролю за станом літєвих акумуляторів стає все більш актуальною. Сучасні технології дозволяють у режимі реального часу відстежувати рівень заряду, температуру, внутрішній опір та інші параметри, що дає змогу вчасно виявляти відхилення та попереджати можливі несправності. Такий підхід дозволяє оптимізувати режими експлуатації, своєчасно проводити технічне обслуговування та продовжувати термін служби акумуляторних систем.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Літієві акумулятори є ключовою складовою кіберфізичних систем, які поєднують фізичні пристрої з цифровими технологіями для ефективного управління енергетичними потоками. Інтеграція таких систем із хмарними платформами дозволяє не лише контролювати стан акумуляторів у реальному часі, а й аналізувати дані для прогнозування навантажень та планування обслуговування. Це забезпечує стабільне енергопостачання навіть у випадках аварійних ситуацій або раптових змін у мережі.

Незважаючи на численні переваги, літієві акумулятори мають низку потенційних ризиків та обмежень, які можуть впливати на їхню безпеку, довговічність та ефективність. З часом акумуляторні елементи втрачають свою початкову ємність через хімічні процеси, що відбуваються всередині них. Часті цикли зарядки та розрядки, а також неправильні режими експлуатації можуть прискорювати цей процес. У результаті акумулятор не лише зменшує свою ефективність, а й може стати джерелом несправностей та аварійних ситуацій.

Перегрів є одним із найнебезпечніших ризиків для літієвих акумуляторів. Якщо температура перевищує допустимі межі, це може призвести до хімічних реакцій, які спричиняють вихід акумулятора з ладу, а у найгіршому випадку - до його займання або вибуху. Особливо небезпечний так званий "термічний розгін" – неконтрольоване підвищення температури, яке може призвести до руйнування батареї.

Впровадження системи моніторингу літієвих акумуляторів дає низку значних переваг, які сприяють підвищенню надійності енергосистем і зниженню експлуатаційних витрат. Розглянемо ключові аспекти: постійне спостереження за основними характеристиками акумуляторів, такими як напруга, струм, температура, внутрішній опір та інші показники, дає змогу швидко виявляти відхилення від нормальної роботи. Це дозволяє вчасно реагувати на критичні зміни, особливо в умовах нестабільного енергопостачання.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Основні типи літієвих акумуляторів, їх властивості та ризики

Тип акумулятора	Номинальна напруга	Енергоємність	Стійкість до перегріву	Циклічна стабільність	Типові області застосування	Основні ризики
Li-ion (NMC, NCA)	3.6–3.7 В	Висока	Середня	Середня	Електромобілі, побутова електроніка	Перегрів, термічний розгін
LiFePO ₄	3.2 В	Середня	Висока	Висока	Енергетика, UPS, системи резерву	Менша густина енергії
Li-Po	3.7 В	Висока	Низька	Середня	Дрони, RC-моделі, мобільні пристрої	Ризик деформації, вибуху
LTO (літій-титанат)	2.3–2.4 В	Низька	Висока	Дуже висока	Спеціалізовані системи	Висока вартість

Якщо система фіксує раптове падіння напруги або перегрів елемента, вона може автоматично надсилати тривожні сигнали, що дозволяє провести оперативну діагностику та вжити заходів для запобігання несправностям. Крім того, інтеграція з IoT-платформами забезпечує можливість віддаленого контролю та управління акумуляторами, що є надзвичайно важливим для великих розподілених систем і підприємств.

Аналіз експлуатаційних даних та застосування алгоритмів машинного навчання для оптимізації режимів заряду-розряду акумуляторів сприяють

продовження їхнього терміну служби, зниженню ймовірності раптових відмов та підвищенню енергоефективності через прогнозування деградаційних процесів і розробку адаптивних стратегій експлуатації. Превентивне виявлення критичних відхилень параметрів, таких як надмірне нагрівання або аномальне зростання внутрішнього опору, є ключовим для запобігання серйозним аварійним ситуаціям. Оперативна діагностика та моніторинг стану окремих комірок дозволяють своєчасно ізолювати несправні елементи, запобігаючи їх нерівномірному зносу та каскадному виходу з ладу всього акумуляторного модуля.

Таким чином, безперервний контроль та адаптивне регулювання процесів заряду-розряду відповідно до поточних умов експлуатації мінімізують енергетичні втрати та максимізують експлуатаційний ресурс акумуляторних систем. Інтеграція з автоматизованими системами управління дозволяє оптимізувати розподіл енергії в мережі, що особливо важливо для об'єктів критичної інфраструктури, де будь-який збій у постачанні електроенергії може мати серйозні наслідки.

Сучасні IoT-технології уможливають створення кіберфізичних систем моніторингу, що інтегрують фізичні пристрої з цифровими платформами для обробки даних та прийняття рішень. Застосування мікроконтролерів, таких як ESP8266, дозволяє розробляти економічно ефективні та функціональні системи.

Бездротова передача даних у реальному часі забезпечує централізований збір та аналіз інформації про стан акумуляторів, що дозволяє виявляти аномалії, прогнозувати деградацію та оптимізувати роботу системи за допомогою аналітичних алгоритмів. Віддалений доступ до даних є критично важливим для моніторингу масштабних інфраструктур.

Ефективність кіберфізичних систем залежить від надійності передачі, зберігання та захисту даних. Хмарні сервіси забезпечують доступність інформації, а криптографічні методи та автентифікація – її конфіденційність та цілісність. Інтелектуальні алгоритми, зокрема методи машинного навчання, дозволяють не тільки оцінювати поточний стан, але й прогнозувати майбутню ефективність акумуляторів, будуючи моделі зносу для визначення оптимальних інтервалів

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічного обслуговування. Впровадження системи моніторингу літєвих акумуляторів, особливо на основі ESP8266, забезпечує значні переваги як з економічної, так і з екологічної точки зору. Своєчасне обслуговування та оптимізація режимів зарядки та розрядки сприяють зниженню витрат, підвищенню ефективності використання енергії та зменшенню негативного впливу на довкілля. Розглянемо ці аспекти детальніше.

Система моніторингу в реальному часі дозволяє оперативно виявляти відхилення у роботі акумуляторів, що дає змогу завчасно здійснювати профілактичне обслуговування. Це допомагає уникнути передчасного виходу з ладу батарей, що в іншому випадку може призвести до високих витрат на ремонт або заміну. Крім того, контроль за циклами зарядки та розрядки сприяє підвищенню загальної ефективності акумуляторів, що зменшує витрати на їхню заміну та обслуговування.

ESP8266 – це одна з найбільш економічних платформ для створення IoT-систем, що дозволяє значно зменшити вартість впровадження системи моніторингу. У порівнянні з альтернативами, такими як ESP32, Arduino WiFi Shield чи Raspberry Pi Zero W, ESP8266 є дешевшим рішенням, яке при цьому забезпечує необхідну функціональність для передачі даних через Wi-Fi та інтеграції з хмарними сервісами.

1.2 Формулювання основної проблеми

Незважаючи на стрімкий розвиток технологій моніторингу акумуляторів, на практиці існує низка критичних недоліків, що обмежують ефективність сучасних систем управління станом літєвих батарей. Основною проблемою є невідповідність більшості існуючих рішень реальним умовам експлуатації, що призводить до передчасного зносу акумуляторів, зниження їхньої ефективності та зростання витрат на обслуговування енергетичної інфраструктури.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Низька точність вимірювання фундаментальних параметрів акумуляторних батарей, таких як напруга, струм, температура та внутрішній опір, є критичним обмеженням. Це призводить до помилок у визначенні рівня заряду (State of Charge, SoC) та прогнозуванні залишкового ресурсу (State of Health, SoH), провокуючи неоптимальну експлуатацію, прискорену деградацію та зниження безпеки. Варіабельність хімічного складу, температурна нестабільність елементів та нелінійність характеристик заряду/розряду поглиблюють цю проблему. Існуючі алгоритми оцінки SoC/SoH, що часто базуються на спрощених або емпіричних моделях, не враховують динаміку процесів старіння та вплив експлуатаційних умов, що обмежує достовірність прогнозів. Це зумовлює необхідність розробки адаптивних, фізично обґрунтованих моделей, що інтегрують методи машинного навчання для динамічної корекції параметрів у реальному часі на основі актуальних даних.

Особливо критичним є енергоспоживання в контексті автономних чи віддалених систем, таких як сонячні панелі, телеметричні вузли або мобільні пристрої в польових умовах. У таких застосуваннях енерговитрати на підтримку роботи системи моніторингу не лише скорочують загальний час автономної роботи, а й можуть вимагати додаткових джерел живлення, що суперечить концепції енергоефективності. Високоєфективні мікросхеми, зокрема ті, що реалізують ультранизьке споживання у сплячому режимі (sleep mode), а також використання подій для активації замість постійного опитування, можуть значно зменшити енергетичне навантаження. Це створює передумови для реалізації енергетично збалансованих рішень, які поєднують високу продуктивність з тривалим ресурсом автономної роботи.

Висока вартість готових рішень для моніторингу часто робить їх недоступними для малих і середніх підприємств, а також для приватних споживачів. Це обмежує впровадження новітніх технологій у побутовий сектор, хоча саме він має високий потенціал для зниження енергоспоживання та підвищення загальної енергоефективності.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на викладене, постає потреба у створенні нових підходів до моніторингу акумуляторних батарей, які поєднували б точність вимірювань, енергоефективність, можливість віддаленого доступу та відкриту архітектуру для інтеграції з цифровими екосистемами. Такі рішення мають бути не лише технічно надійними, але й доступними за вартістю, що зробить їх придатними для широкого спектра користувачів. Реалізація подібних систем сприятиме ефективному управлінню ресурсами акумуляторів, подовженню терміну їх експлуатації та скороченню витрат на енергозабезпечення. Це, у свою чергу, позитивно вплине на ефективність сучасних технологічних процесів і підтримає принципи сталого розвитку.

1.3 Аналіз існуючих рішень для моніторингу акумуляторних батарей та характеристики розроблюваної системи

Забезпечення екологічної безпеки у процесі експлуатації акумуляторних батарей є надзвичайно важливим аспектом сучасних енергетичних систем. Системи моніторингу дозволяють значно знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та небезпечних викидів, що становлять загрозу як для довкілля, так і для здоров'я людини. Зокрема, завдяки своєчасному контролю ключових параметрів, таких як температура, напруга та струм, можна ефективно запобігти перегріванню, перевантаженню або глибокому розряду акумуляторів. У разі відсутності належного моніторингу, ці фактори можуть призвести до термічної нестабільності або витоку токсичних речовин, що, своєю чергою, спричиняє забруднення повітря, ґрунту та водних ресурсів.

Окрім підвищення безпеки, системи моніторингу сприяють оптимізації використання ресурсів. Завдяки контролю за умовами експлуатації та адаптації режимів заряджання-розряджання, подовжується термін служби батарей, що зменшує загальну кількість відпрацьованих елементів, які підлягають утилізації. Такий підхід знижує екологічне навантаження на навколишнє середовище та

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сприяє раціональному використанню дефіцитних матеріалів, зокрема літію та кобальту.

Важливою складовою екологічної безпеки є також своєчасна діагностика стану акумуляторів і організація процесу їх екологічно безпечної утилізації. Контроль параметрів дозволяє виявляти осередки потенційної деградації та здійснювати заміну несправних елементів до моменту, коли вони можуть становити загрозу. Це має критичне значення, враховуючи наявність у складі батарей небезпечних сполук, які за неправильного поводження здатні спричинити тривале токсичне забруднення.

На початок 2025 року на ринку представлено низку технологічних рішень для моніторингу акумуляторних батарей, проте кожне з них має певні обмеження. Зокрема, комерційні системи управління батареями (Battery Management System, BMS), що застосовуються переважно у великих енергетичних системах або електротранспорті, характеризуються високою точністю вимірювань та можливістю балансування осередків, однак їх інтеграція з сучасними IoT-платформами є складною через закритість програмного забезпечення, а вартість таких рішень часто є надмірною для широкого використання.

Суттєвою проблемою є те, що більшість наявних систем не враховують специфіку експлуатації в умовах України, де характерними є часті перебої з електропостачанням, що вимагає від систем моніторингу гнучкості, низького енергоспоживання та надійності. Таким чином, актуальним є створення доступних, енергоефективних і відкритих рішень, які легко інтегруються до систем Інтернету речей і дозволяють забезпечити безперервний моніторинг у реальному часі.

Таким чином, вибір ESP8266 дозволяє значно скоротити витрати на розробку системи, зберігаючи при цьому необхідну продуктивність і функціональність. Альтернативні DIY-рішення на основі Arduino або Raspberry Pi, хоча і доступні за вартістю та підтримують використання відкритого програмного забезпечення, мають суттєві обмеження щодо точності вимірювань, масштабованості та енергоспоживання.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Вибір мікроконтролерної платформи: порівняння характеристик

Пристрій	Вартість	Наявність Wi-Fi	Кількість GPIO	Споживана потужність
ESP8266	Низька (~5-7\$)	Так	9-11	Низька
ESP32	Середня (~10-12\$)	Так	30+	Вища, ніж у ESP8266
Arduino WiFi Shield	Висока (~25-30\$)	Так	14	Висока
Raspberry Pi Zero W	Висока (~15-20\$)	Так	40	Висока

Більш сучасні рішення на базі мікроконтролерів ESP8266/ESP32 забезпечують просту інтеграцію з хмарними сервісами та підтримують віддалений моніторинг через Wi-Fi, однак мають апаратні обмеження, зокрема, щодо кількості аналогових входів, що може вимагати використання додаткових електронних компонентів для розширення функціоналу.

Розробка кіберфізичної системи моніторингу літєвих акумуляторів потребує використання різних апаратних компонентів, кожен з яких виконує певну функцію у загальній роботі системи. Вибір обладнання здійснювався на основі його технічних характеристик, сумісності, доступності та вартості.

Одним з основних компонентів є мікроконтролер, який відповідає за обробку даних із сенсорів і передавання їх до системи моніторингу. Для цього було обрано ESP8266, зокрема його модифікації ESP-12E або NodeMCU. Цей контролер має вбудований Wi-Fi, що дозволяє передавати інформацію без використання додаткових комунікаційних модулів. Він є доступним за ціною у порівнянні з іншими варіантами, такими як ESP32 або Raspberry Pi Zero W, і має нижче енергоспоживання, що критично для автономних систем. ESP8266 також містить достатню кількість портів введення/виведення, що дозволяє підключати необхідні сенсори для зчитування основних параметрів акумулятора.

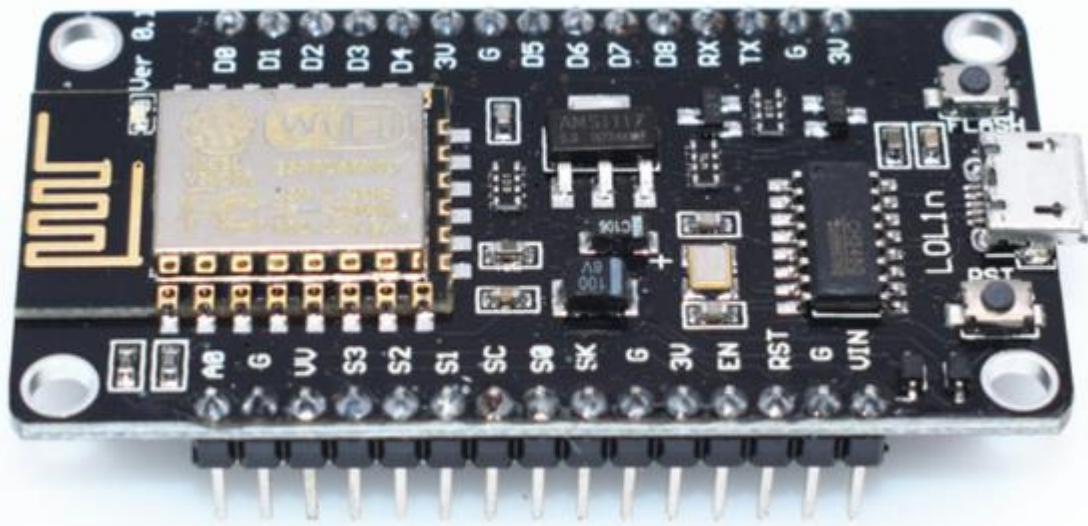


Рисунок 1.1 – Вигляд мікроконтролера ESP8266[1]

Серед можливих альтернатив можна розглядати ESP32, який має більшу обчислювальну потужність та кількість GPIO, однак він дорожчий і споживає більше енергії.

Для вимірювання напруги використовується модуль INA219, який забезпечує точність вимірювань на рівні ± 0.01 В та підтримує діапазон до 26 В, що є достатнім для більшості літєвих акумуляторів. Цей сенсор має цифровий вихід I2C, що спрощує підключення до ESP8266. Альтернативним варіантом може бути використання дільника напруги на резисторах, який є дешевшим, але менш точним, або ACS712, який підтримує як вимірювання напруги, так і струму, але має нижчу точність.

У ході аналізу існуючих комерційних рішень для моніторингу акумуляторних батарей було відібрано три представники ринку: Orion BMS, Daly Smart BMS та Vatrium WatchMon. Нижче наведено порівняння їх основних характеристик із запланованою до розробки системою на базі ESP8266, INA219 та LM75.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика систем моніторингу літєвих акумуляторів

Параметр	Orion BMS	Daly Smart BMS	Batrium WatchMon	Розробка на ESP8266
Максимальна кількість комірок	4 - 180	До 24	Масштабована (сотні елементів)	Від 1 до 4 (можливе розширення)
Максимальна напруга системи	До 850 В	До 100 В	До 1000 В (залежно від конфігурації)	До 26 В (обмеження INA219)
Тип зв'язку	CAN (через адаптер)	UART, Bluetooth	CAN, Wi-Fi, WebAccess	Wi-Fi (MQTT), PC
Вимірювання температури	Так	Так	Так	Так (LM75, PC)
Вимірювання струму та напруги	Так (висока точність)	Так ($\pm 0,025$ В)	Так (активне балансування)	Так (INA219, $\pm 1\%$)
Балансування	Пасивне	Пасивне (30 ± 5 мА)	Активне	Немає (можна додати вручну)
Час реакції на коротке замикання	Висока швидкість	250-500 мкс	Висока	Обмежена частотою опитування сенсорів
Інтерфейс користувача	Програмне забезпечення на ПК	Мобільний додаток	Веб-інтерфейс (BMI WebAccess)	MQTT
Орієнтовна вартість	Від \$300 і вище	\$50 - \$200	Від \$300 і вище	<\$15 (без вартості акумуляторів)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

Orion BMS – рішення, що підтримує від чотирьох до 180 послідовно з'єднаних комірок з роздільною здатністю моніторингу 0,1мВ, здатне витримувати напругу пакета до 850В і працює в екстремальних умовах відповідно до стандартів ISO7637 з високим класом імпульсних перенапруг. Для зв'язку з комп'ютером використовується інтерфейс CAN через спеціальний адаптер, а вартість системи починається від декількох сотень доларів залежно від конфігурації.

Daly Smart BMS – компактні плати для живлення від 10А до 500А, що забезпечують точність вимірювання напруги в межах $\pm 0,025В$ завдяки вбудованим високоточним АЦП і шунтовим резисторам, а також швидку реакцію на короткі замикання (250-500 μ s). Вони передбачають балансування осередків струмом $30\pm 5mA$ і реалізують захист проти перевантаження, перенапруги й перегріву на апаратному рівні; типова вартість складає від \$50 до \$200 за модуль залежно від номінального струму.

Batrium WatchMon – модульна система з центральним «мозком» WatchMon Core і окремими блоками контролю комірок, яка може масштабуватися на сотні елементів. Вона пропонує точний моніторинг напруги та температури, активне балансування, зв'язок через CAN та веб-інтерфейс BMI WebAccess для віддаленого керування й аналізу даних. Вартість комплекту WatchMon Core із кількома модулями комірок починається від \$300 і вище.

1.4 Постановка задачі

Запропонована кіберфізична система для моніторингу літєвих акумуляторів має бути надійною, інтегрованою з сучасними IoT-платформами та здатною забезпечити постійну ефективність, безпеку й точність вимірювань в умовах реального використання. Зважаючи на ключову роль літєвих акумуляторів у сучасних енергетичних системах та електронних пристроях, така система покликана стати основою для безперервного моніторингу та прогнозування їхнього стану в режимі реального часу, щоб забезпечити максимально довготривалу та ефективну експлуатацію.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ключовою функцією системи є безперервний моніторинг основних параметрів акумулятора: напруги, сили струму та температури. Точний контроль цих показників є визначальним для забезпечення стабільності, ефективності та безпеки експлуатації. Вимірювання напруги дозволяє оцінювати рівень заряду, а відхилення від номінальних значень сигналізують про потенційні несправності. Контроль сили струму необхідний для виявлення надмірних навантажень, що можуть спричинити перегрів або перевантаження. Моніторинг температури є критичним для запобігання термічній деградації елементів та ризику термічного розгону.

Система також повинна забезпечувати визначення рівня заряду (SoC) та прогнозування залишкового ресурсу (SoH) за допомогою спеціалізованих алгоритмів. Оцінка SoC є важливою для оптимізації циклів заряду-розряду. Аналіз експлуатаційних режимів та навантажень дозволяє розраховувати SoH, що забезпечує можливість прогнозування терміну служби та планування технічного обслуговування для запобігання раптовим відмовам.

Для досягнення максимального рівня ефективності система повинна підтримувати бездротову передачу даних, що дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг без необхідності фізичного доступу до пристрою. Використання Wi-Fi, забезпечить передачу даних без значних затримок і з високою стабільністю. Передача даних повинна здійснюватися через спеціалізовані IoT-протоколи, такі як MQTT який дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних та передавати їх у реальному часі до сервера або хмарного сховища.

Інформація, що отримується від системи моніторингу, має бути доступною через веб-інтерфейс або мобільний додаток, що забезпечить зручний доступ до даних з будь-якої точки світу. Користувачі можуть отримувати доступ до інформації про стан акумулятора, його рівень заряду, температуру, струм і інші параметри, що дозволяє своєчасно вжити заходів у разі виникнення неполадок. Крім того, система повинна мати можливість надавати користувачам доступ до

історії роботи акумулятора, що дозволить проводити аналіз її експлуатації та своєчасно планувати заміну акумуляторів або інші заходи.

Узагальнюючи, система повинна забезпечити високу точність моніторингу, безпеку, можливість дистанційного доступу та інтеграцію з сучасними IoT-платформами, а також мати здатність до оперативного сповіщення користувачів у разі виникнення критичних ситуацій. Це забезпечить ефективне керування акумуляторами, продовжить їхній термін служби та знизить ризики, пов'язані з несподіваними відмовами або аваріями

Система повинна підтримувати бездротовий зв'язок через Wi-Fi для передачі даних. Пристрій має бути сумісним із сучасними стандартами зв'язку (802.11 b/g/n).

Оскільки система може працювати в автономному режимі, важливо забезпечити її енергоефективність. Використання енергозберігаючих режимів мікроконтролера, таких як Deep Sleep або Light Sleep, дозволить суттєво продовжити час роботи без підзарядки.

1.5 Висновки до першого розділу

Літієво-іонні акумулятори становлять фундаментальну основу сучасних гібридних енергосистем, забезпечуючи балансування між генерацією з відновлюваних джерел та динамічним енергоспоживанням. Незважаючи на їхню критичну роль, тривалий експлуатаційний цикл супроводжується фізико-хімічними процесами, що провокують деградацію активних матеріалів електродів, локальні теплові аномалії та гетерогенність імпедансу окремих комірок. Сучасні методи діагностики, засновані на детермінованих моделях оцінки стану заряду (SoC) та стану здоров'я (SoH), демонструють недостатню адаптивність до нелінійної динаміки старіння акумуляторів, що зумовлює систематичні похибки прогнозування та зниження ефективності предиктивного обслуговування.

Розроблена кіберфізична платформа, інтегрована з мікроконтролером ESP8266, реалізує мультиспектральний моніторинг ключових операційних

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметрів (напруги, струму, температурного градієнта) з подальшою кореляцією даних у хмарному середовищі. Використання прецизійних сенсорів INA219 та LM75, поєднане з алгоритмами машинного навчання на основі рекурентних нейронних мереж, дозволяє ідентифікувати ранні ознаки деградації елементів та оптимізувати профілі зарядно-розрядних циклів.

Інтеграція з протоколом MQTT забезпечує низьколатентний обмін даними в IoT-мережах, що є критичним для розподілених енергосистем із високими вимогами до синхронізації. Впровадження подібних систем створює передумови для формування адаптивних енергетичних кластерів, здатних до автономного відновлення після аварійних збоїв, що набуває стратегічного значення в умовах часткової дестабілізації централізованих мереж.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка квантово-інспірованих алгоритмів аналізу великих даних для підвищення точності прогнозування залишкового ресурсу акумуляторних масивів.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ SMART BMS

2.1 Обґрунтування вибору мікроконтролерної платформи

У контексті розробки сучасних систем керування акумуляторними батареями надзвичайно важливим є обґрунтований вибір мікроконтролерної платформи, яка забезпечуватиме необхідну функціональність при оптимальних економічних показниках. Проведений аналіз доступних на ринку рішень дозволив визначити платформу ESP8266, зокрема її реалізацію у форм-факторі NodeMCU, як оптимальну для імплементації інтелектуальної системи керування акумуляторними батареями (Smart BMS).

Вибір на користь ESP8266 (NodeMCU) обумовлений низкою ключових характеристик цієї платформи. Вбудований Wi-Fi модуль дає змогу бездротово підключати систему до локальної мережі або Інтернету без потреби у додатковому обладнанні для зв'язку. Ця характеристика є критичною для систем моніторингу стану акумуляторів у реальному часі та віддаленого керування параметрами заряду/розряду.

Енергоефективність ESP8266 представляє собою ще одну визначальну перевагу. Завдяки імплементації режиму глибокого сну (Deep Sleep), мікроконтролер здатен знижувати енергоспоживання до мінімальних значень у періоди низької активності, що особливо важливо для автономних систем моніторингу акумуляторних батарей, де енергоефективність безпосередньо впливає на тривалість роботи всієї системи.

Порівняльний аналіз різних модифікацій ESP8266 та альтернативних платформ демонструє значні переваги NodeMCU. На відміну від базової моделі ESP8266-01, яка характеризується обмеженою кількістю виводів загального призначення (лише 2 GPIO), NodeMCU надає доступ до 11 GPIO, що є достатнім для підключення необхідної кількості датчиків та виконавчих пристроїв у типовій конфігурації Smart BMS. Водночас, хоча ESP32 пропонує більш потужний

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесор із тактовою частотою 240 МГц та розширену кількість GPIO (понад 30), ця платформа характеризується вищою вартістю, що не завжди виправдано для систем із обмеженим бюджетом.

Окремої уваги заслуговує обсяг флеш-пам'яті NodeMCU, який становить 4 МБ, порівняно з 512 КБ у ESP8266-01. Цей об'єм є достатнім для реалізації складних алгоритмів керування, включаючи можливість оновлення програмного забезпечення "по повітрю" (OTA – Over The Air), що підвищує гнучкість та адаптивність системи до змінюваних вимог експлуатації.

Економічний аспект також відіграє значну роль у виборі мікроконтролерної платформи. NodeMCU характеризується відносно низькою вартістю при збереженні високої функціональності, що робить її оптимальним рішенням для серійного виробництва систем Smart BMS.

Завдяки відкритості платформи та активній спільноті розробників, що підтримує Arduino IDE, створення й оновлення програмного забезпечення для системи значно полегшується, що дозволяє зменшити витрати часу та ресурсів під час її проектування.

У процесі розробки інтелектуальних систем управління акумуляторними батареями (Smart BMS) вибір мікроконтролера є ключовим фактором, що безпосередньо впливає на функціональні можливості, надійність та енергоефективність кінцевого пристрою. Порівняльний аналіз мікроконтролерів ESP8266 та різних моделей сімейства ESP32 (зокрема ESP32, ESP32-C3, ESP32-S2, ESP32-S3) дає змогу виявити їхні сильні та слабкі сторони з точки зору застосування в системах інтелектуального управління зарядом, розрядом, балансуванням та моніторингом параметрів акумуляторів.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мікроконтролерів ESP

Характеристика	ESP8266 (базовий)	ESP8266 (NodeMCU)	ESP32	ESP32-C3	ESP32-S2	ESP32-S3
Головний процесор	Tensilica Xtensa L106 32-розрядний (80 МГц)	Tensilica Xtensa L106 32-розрядний (80-160 МГц)	Tensilica Xtensa 32-розрядний двоядерний LX7 (до 240 МГц)	RISC-V 32-розрядний (до 160 МГц)	Tensilica Xtensa 32-розрядний LX7 (до 240 МГц)	Tensilica Xtensa 32-розрядний двоядерний (до 240 МГц)
SRAM	32-64 КБ	80 КБ	512 КБ	400 КБ	320 КБ	512 КБ
ROM	64 КБ	64 КБ	384 КБ	384 КБ	128 КБ	384 КБ
Flash-пам'ять	512 КБ - 4 МБ	4 МБ	0-16 МБ	4 МБ	4 МБ	8 МБ
JTAG	Обмежений	Обмежений	✓	✓	✓	✓
Кеш	—	—	8/16 КБ	16 КБ	8/16 КБ	16 КБ
WiFi	Wi-Fi 4 (802.11 b/g/n)	Wi-Fi 4 (802.11 b/g/n)	Wi-Fi 4	Wi-Fi 4	Wi-Fi 4	Wi-Fi 4
Bluetooth	X	X	BLE 5.0	BLE 5.0	X	BLE 5.0
Пам'ять RTC	256 Б	512 Б	16 КБ	8 КБ	16 КБ	16 КБ
SPI	1	1	4	3	4	4
I2S	1	1	2	1	1	2

Продовження таблиці 2.1.

I2C	1 (програмна реалізація)	1 (програмна реалізація)	2	1	2	2
UART	1	1 (+1 для завантаження)	3	2	2	3
GPIO	8-17 (залежно від модифікації)	11	34	22	43	24
USB	X	Через конвертер UART-USB	USB OTG	Послідовний/JTAG	USB OTG 1.1	USB OTG
ЦАП	X	X	2×8- біт	X	2x 8-біт	2×8- біт
АЦП	1x 10-біт	1x 10-біт	2×12- біт, 18 каналів	2x 12-біт SAR, до 6 каналів	2x 13-біт SAR, до 20 каналів	2×12- біт, 20 каналів
RMT	X	X	8 каналів	2× передача + 2× прийом	4× передача/при йом	8 каналів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ

Арк.
23

Кінець таблиці 2.1.

Таймер	1× 23-біт	1× 23-біт	Багатоканальні PWM	2× 54-біт + 1× 52-біт	4× 64-біт	Багатоканальні PWM
Температурний сенсор	X	X	✓	✓	✓	✓
Енергоспоживання (активний режим)	~70 мА	~80 мА	~240 мА	~160 мА	~170 мА	~200 мА
Енергоспоживання (режим сну)	~20 мкА	~20 мкА	~10 мкА	~5 мкА	~20 мкА	~10 мкА
Відносна ціна	Низька	Низька	Середня	Середня	Середня	Середня-висока

ESP8266 у базовій версії, а також його покращена модифікація NodeMCU, є одними з перших комерційно доступних рішень для організації бездротового зв'язку Wi-Fi у пристроях Інтернету речей. Незважаючи на обмежену обчислювальну потужність, ці мікроконтролери залишаються популярними завдяки надзвичайно низькій вартості, простоті інтеграції та підтримці великої кількості бібліотек. Однією з ключових переваг ESP8266 є його доступність і надзвичайна універсальність, що дозволяє застосовувати цей мікроконтролер у широкому спектрі проєктів, починаючи від домашніх систем автоматизації до промислових прототипів, де вартість має визначальне значення. Завдяки великій спільноті розробників, яка підтримує розвиток численних відкритих бібліотек, прикладів коду та документації, розробка рішень на основі ESP8266 суттєво спрощується навіть для початківців.

ESP8266 має 32-розрядний процесор Tensilica Xtensa L106 із тактовою частотою до 160 МГц, що є достатнім для реалізації базових логічних операцій, збору даних з датчиків напруги, струму і температури та передачі інформації через

Wi-Fi. Обсяг оперативної пам'яті у межах 80 КБ дозволяє зберігати проміжні значення вимірювань, проте є обмеженим у випадку реалізації більш складних алгоритмів, зокрема фільтрації даних, статистичного аналізу або прогнозування стану заряду (State of Charge, SoC). Водночас, в умовах проєктів з обмеженим бюджетом, де не передбачається висока інтенсивність обчислень або необхідність виконання паралельних завдань, ESP8266 є вкрай ефективним вибором завдяки поєднанню мінімальних витрат та задовільного функціоналу.

Водночас, сімейство ESP32 суттєво перевершує ESP8266 у більшості технічних характеристик. Зокрема, стандартна версія ESP32 має двоядерний 32-розрядний процесор Tensilica Xtensa LX7, що працює на частоті до 240 МГц. Це надає можливість паралельного виконання завдань, що надзвичайно важливо для реалізації багатозадачності в Smart BMS – наприклад, одночасне зчитування показників з INA219 (давача струму та напруги), опитування термодатчиків типу LM75, передача даних по мережі, обробка помилок та запис у Flash-пам'ять. Обсяг SRAM у 512 КБ дозволяє працювати зі значно більшими обсягами даних, а також зберігати буфери для обробки історичних даних, що використовується при побудові трендів або аналізі ефективності енергоспоживання системи.

Істотною перевагою ESP32 є підтримка як Wi-Fi, так і Bluetooth Low Energy (BLE 5.0), що відкриває можливості одночасної взаємодії із мобільними додатками та хмарними сервісами. Це може бути критично важливим для BMS, які використовуються у портативних системах або електротранспорту, де очікується взаємодія з користувачем у реальному часі. Варто зазначити, що моделі ESP32-C3 та ESP32-S3, що базуються на архітектурі RISC-V та поліпшених Tensilica ядрах відповідно, пропонують більш енергоефективні рішення з розширеним функціоналом, включаючи апаратну підтримку машинного навчання (ESP32-S3), що є перспективним напрямом розвитку для адаптивного управління зарядом на основі предиктивного аналізу.

Ще одним важливим фактором є якість аналогових інтерфейсів. У ESP8266 наявний лише один 10-бітовий АЦП, який не відзначається високою точністю.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Натомість ESP32 та його модифікації пропонують до 20 каналів 12- або 13-бітних АЦП, що значно підвищує точність вимірювань. Наявність цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) у ESP32 також дозволяє створювати керовані аналогові сигнали для побудови систем керування або імітації аналогових сигналів у тестових сценаріях. Підтримка інтерфейсів SPI, I2C, UART, I2S у кількості від двох до чотирьох штук забезпечує просту інтеграцію з широким спектром периферійних пристроїв.

У випадку використання BMS у системах, які працюють від батарей, важливим параметром є енергоспоживання. У цьому аспекті ESP8266 має певну перевагу в активному режимі, споживаючи лише 70-80 мА, у той час як ESP32 може досягати 160-240 мА. Проте в режимі глибокого сну нові моделі ESP32 (зокрема ESP32-C3 та ESP32-S3) демонструють енергоспоживання на рівні 5-10 мкА, що дає змогу реалізувати ефективні стратегії енергозбереження, особливо в автономних системах з періодичним циклом опитування датчиків.

З точки зору програмної підтримки, всі моделі мають сумісність з Arduino IDE, Espressif IDF та іншими фреймворками, що спрощує розробку. У підсумку, вибір між ESP8266 та ESP32 залежить від цілей проєкту. Якщо система потребує лише базового моніторингу та передачі даних з низькою частотою опитування та обмеженою логікою, ESP8266 є економічно доцільним вибором. Його надзвичайна дешевизна, низьке енергоспоживання в активному режимі, велика кількість навчальних ресурсів і висока популярність серед розробників роблять його універсальним рішенням для прототипування, навчальних цілей і навіть деяких комерційних розробок. Однак, для систем нового покоління, які вимагають високої точності вимірювань, широких комунікаційних можливостей, реалізації складних алгоритмів обробки даних або елементів штучного інтелекту, безумовно перевагу слід віддати ESP32 або його новітнім модифікаціям, таким як ESP32-S3.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Обґрунтування вибору компонентів платформи

INA219 має цифровий інтерфейс I²C, який дозволяє легко підключати його до різних мікроконтролерів, включно з популярними модулями серії ESP, наприклад ESP8266. Це робить його зручним для інтеграції у вбудовані системи, що потребують постійного збору і обробки даних. На рисунку 2.1

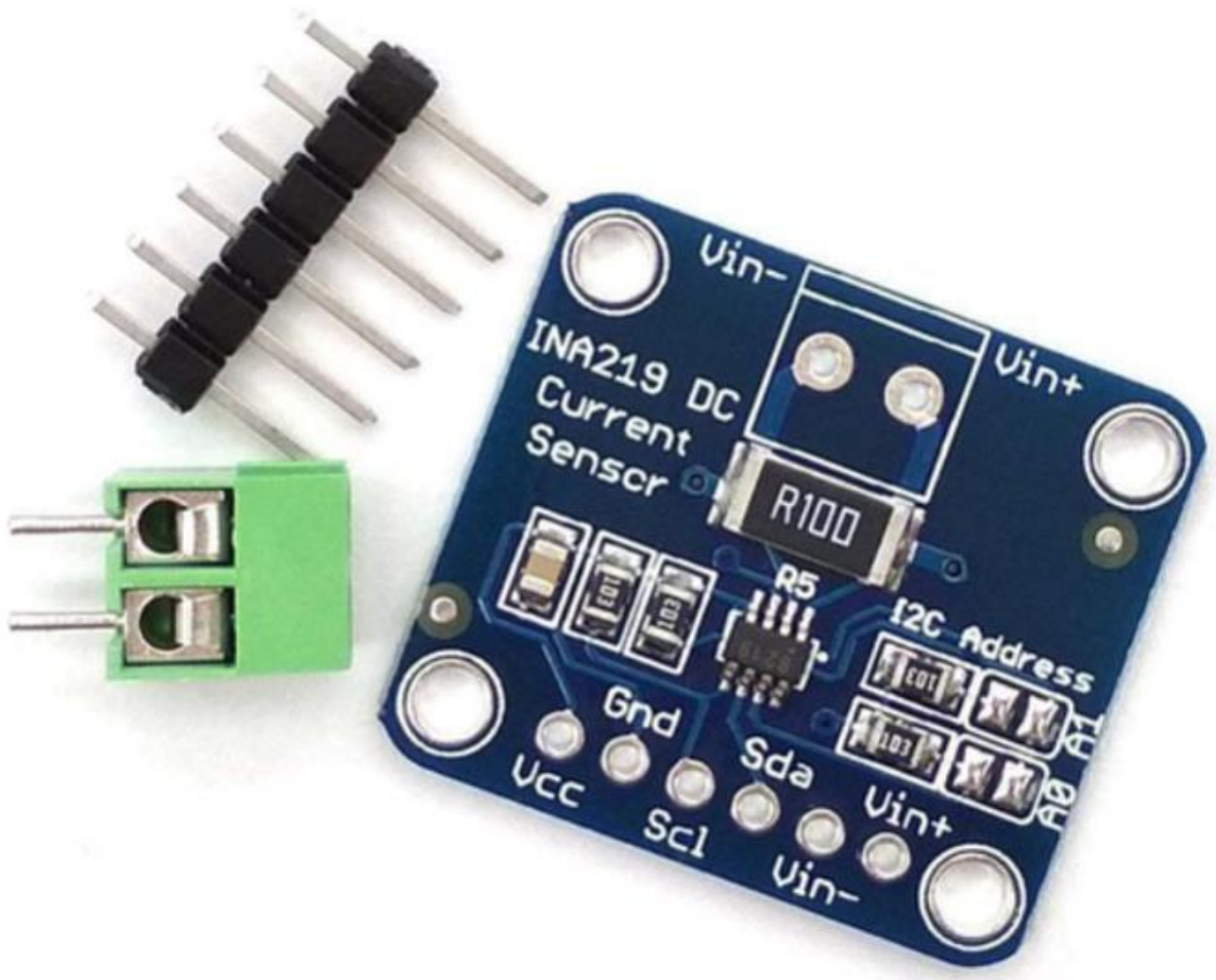


Рисунок 2.1 – Давач струму та напруги на INA219[14]

Згідно з технічними характеристиками від Texas Instruments, INA219 здатен вимірювати струм у межах $\pm 3,2$ А при використанні стандартного шунта з опором 0,1 Ом. Для розширення діапазону вимірювань можливе застосування шунтів з меншим опором, за умови відповідного перерахунку коефіцієнтів калібрування, що

встановлюються через внутрішні регістри пристрою. Окрім струму, модуль здатен вимірювати напругу шини до 26 В, що розширює сферу його використання у багатьох типах електричних і електронних систем.

Функціональні можливості INA219, включаючи вимірювання потужності в реальному часі, двонаправлений аналіз напрямку струму, а також високу точність вимірювання, роблять цей пристрій особливо ефективним для моніторингу стану літієвих акумуляторів. Завдяки точному визначенню параметрів струму та напруги, INA219 може використовуватись для оцінки стану заряду (State of Charge, SoC), виявлення аномалій у роботі системи живлення та підвищення енергоефективності пристроїв. Як альтернативу можна розглядати INA3221, який дозволяє контролювати до трьох окремих каналів живлення, або PZEM-004T, який має високу точність, але складніший у підключенні через UART.

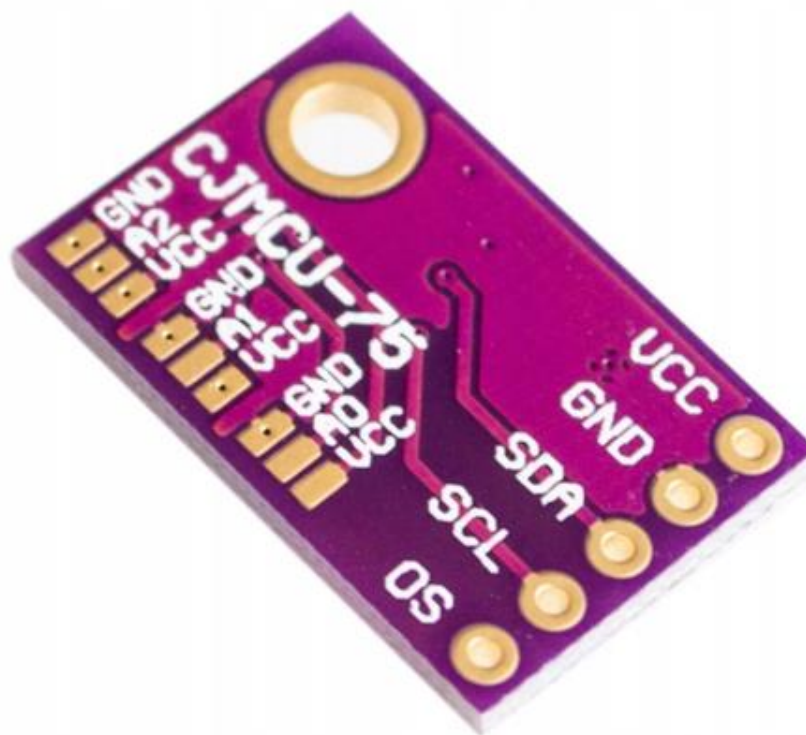


Рисунок 2.2 – Термометр цифровий LM75 давач температури[24]

Цифровий температурний сенсор LM75, розроблений компанією ON Semiconductor, є високоточним інтегрованим пристроєм для вимірювання

температури в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Цей сенсор застосовує двонаправлений послідовний інтерфейс I²C (Inter-Integrated Circuit), що гарантує його сумісність з багатьма сучасними мікроконтролерами та вбудованими платформами для обробки даних. Ключовою особливістю LM75 є можливість програмної конфігурації температурних порогів (TOS) та гістерезису (THYST), що дозволяє пристрою функціонувати у режимі компаратора або генератора апаратних переривань, залежно від конфігурації. Сенсор LM75 зображено на рисунку 2.2.

З погляду метрологічних характеристик, точність вимірювання температури становить $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ у межах температур від -25°C до $+100^{\circ}\text{C}$. Такий рівень точності робить LM75 придатним для застосування в критичних системах, де необхідний надійний контроль температурних параметрів. Сенсор функціонує в діапазоні напруг живлення від 2.7 В до 5.5 В, що забезпечує сумісність як з низьковольтними системами (наприклад, 3.3 В), так і з класичними 5-вольтовими логічними рівнями. Споживання струму в активному режимі становить не більше ніж 250 мкА, а в режимі зниженого енергоспоживання (Shutdown) – не перевищує 1 мкА, що є важливою перевагою для автономних або енергоефективних систем.

Архітектура пристрою включає чотири основні регістри: TEMP (поточне значення температури), TOS (температурний поріг спрацювання), THYST (гістерезис) та CONFIG (налаштування режимів роботи). Температурні дані передаються у 16-бітовому форматі зі знаком, представленим у додатковому коді, де один біт відповідає приросту температури на 0.5°C . Наприклад, значення 0x0190 інтерпретується як $+25^{\circ}\text{C}$, а 0xFE70 – як -25°C . Інтерфейсний вивід INT/CMPTTR реалізований за допомогою відкритого колектора і підтримує як активний низький, так і активний високий рівень сигналу, що дозволяє підключення до ліній переривань з відкритим колектором у багатопристроєвих системах.

Механізм адресації реалізовано через три апаратні контакти (A0, A1, A2), що дозволяє одночасне підключення до восьми сенсорів LM75 на одній I²C-шині. Унікальна адреса кожного пристрою формується за шаблоном 1001[A2][A1][A0], що забезпечує гнучкість у багатозонному моніторингу температурного

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовища. Крім того, програмована черга збоїв (Fault Queue) у конфігураційному регістрі дозволяє уникнути хибних спрацювань шляхом фільтрації короточасних флуктуацій температури. Для цього необхідне фіксування перевищення температурного порогу протягом 1, 2, 4 або 6 послідовних вимірювань.

Пристрій LM75 широко використовується у сфері моніторингу теплових режимів високопродуктивних обчислювальних систем, телекомунікаційного обладнання, блоків безперебійного живлення, а також в промислових контролерах, системах протипожежного захисту та побутовій електроніці. Завдяки поєднанню високої точності, енергоефективності, масштабованості та використанню стандартного інтерфейсу I²C, LM75 забезпечує технічно вивірене рішення для вбудованих систем з високими вимогами до термоконтролю.

У порівняльному аналізі з іншими сенсорами, такими як DS18B20, що використовує протокол 1-Wire, LM75 демонструє перевагу у швидкодії та простоті інтеграції завдяки дволінійному інтерфейсу I²C, особливо в системах з високою щільністю обміну даними. Водночас, інші аналоги, як-от TMP102, хоча й мають схожу точність вимірювання, обмежені меншою кількістю адресних комбінацій (до двох пристроїв на шині). Сенсори типу DHT22, що додатково вимірюють вологість, характеризуються меншою точністю температурного вимірювання ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) і суттєво нижчою швидкістю обміну даними через використання власного однопровідного протоколу.

Отже, LM75 вирізняється серед інших рішень завдяки гнучкій конфігурації, низькому енергоспоживанню, високій точності та простій інтеграції у стандартизоване середовище з використанням інтерфейсу I²C, що робить його придатним для широкого спектра застосувань у науково-технічній та побутовій практиці.

У процесі розробки системи моніторингу як основну обчислювальну платформу було обрано мікроконтролер ESP8266, що зумовлено його збалансованими техніко-економічними характеристиками. Зокрема, цей мікроконтролер вирізняється оптимальним співвідношенням між вартістю,

енергоспоживанням і функціональними можливостями, що робить його доцільним вибором для вбудованих автономних систем.

Таблиця 2.1 – Порівняння вибраних компонентів та їхніх альтернатив

Компонент	Причина вибору	Альтернативи
ESP8266	Низька вартість, Wi-Fi, низьке енергоспоживання	ESP32, Raspberry Pi Zero W
INA219	Висока точність вимірювання напруги	INA3221
LM75	Висока точність вимірювання температури	TMP102, DHT22

Мікроконтролер ESP8266 обрано завдяки оптимальному співвідношенню вартості, обчислювальної потужності та інтегрованих можливостей бездротової комунікації порівняно з альтернативними платформами. Низьке енергоспоживання, включно з підтримкою режимів глибокого сну, є визначальним для автономних систем. ESP8266 відзначається сумісністю з провідними IoT-платформами, такими як MQTT, Firebase та AWS IoT, що забезпечує гнучкість інтеграції та дає змогу реалізувати функції дистанційного моніторингу й аналізу даних – важливі складові сучасних інтелектуальних енергетичних систем.

Таблиця 2.2 – Порівняння мікроконтролерів

Модель	Вартість	Наявність Wi-Fi	GPIO	Споживана потужність	Простота інтеграції
ESP8266	Низька (~5\$)	Так	9-11	Низька	Висока
ESP32	Середня (~10\$)	Так	30+	Вища, ніж у ESP8266	Висока

Кінець таблиці 2.2.

Arduino Uno + WiFi Shield	Висока (~30\$)	Так	14	Висока	Складна інтеграція
Raspberry Pi Zero W	Висока (~15\$)	Так	40	Висока	Потребує ОС

Таким чином, ESP8266 є найкращим варіантом для розробки доступної, ефективної та енергоощадної системи моніторингу літєвих акумуляторів.

2.3 Методологія розробки та алгоритмічне представлення

Запланована гнучка система моніторингу батарей на основі ESP8266, INA219 та LM75 вирізняється передусім низькою вартістю, універсальністю й простотою інтеграції з IoT-платформами. Мікроконтролер ESP8266 забезпечує базову обчислювальну потужність (80 МГц, 80 КБ SRAM) та вбудований Wi-Fi при вартості близько \$3-5, тоді як INA219 надає 12-бітний АЦП для одночасного вимірювання струму (до $\pm 3,2A$) і напруги (до 26В) з роздільною здатністю $\sim 0,8mA$, а LM75 гарантує точність вимірювань температури $\pm 0,5 C$. Загальна вартість апаратної частини не перевищує \$10-15, що в кілька разів дешевше навіть найдоступніших комерційних BMS-модулів. Водночас система використовує стандартний протокол HTTP або MQTT для передачі даних до Flask-сервера, що спрощує реалізацію веб-інтерфейсу та REST-API для віддаленого моніторингу.

На відміну від Orion BMS, який розрахований на високовольтні пакети та великий діапазон клітин, та Vatrium WatchMon, орієнтованих на масштабовані промислові рішення з CAN-зв'язком, проєкт на ESP8266 обмежується низьковольтними застосуваннями (до 26В для INA219) і невеликим числом датчиків (один шинний АЦП, один термодатчик на шину). Daly Smart BMS забезпечує вбудоване балансування та захист на апаратному рівні, тоді як у DIY-системі балансування доведеться реалізувати програмно через керовані реле або MOSFET-модулі.

Проте відсутність дорогого апаратного захисту компенсується гнучкістю розробки: будь-яку функцію моніторингу чи управляючий алгоритм можна змінити у прошивці, а з'єднання з хмарними сервісами та мобільними додатками здійснюється «з коробки». Таким чином, запропонований Smart BMS на базі ESP8266 є економічно вигідним рішенням для побутових і малих комерційних проєктів, де пріоритетними є простота, універсальність і низька вартість, а не абсолютна точність чи масштабованість у сотні елементів.

Робота смарт-системи управління батареєю на базі ESP8266 починається з етапу ініціалізації апаратних ресурсів та налаштування засобів зв'язку. Після старту виконується конфігурація модулів Wi-Fi, GPIO та шинних інтерфейсів I²C на ESP8266, що забезпечує подальшу взаємодію з периферійними датчиками. Наступною фазою є запуск підсистем моніторингу – модулів INA219 для вимірювання струму й напруги, а також LM75 для отримання температурних показників. Завдяки вбудованому інтерфейсу I²C ESP8266 встановлює зв'язок із INA219, після чого через одну із цифрових ліній OneWire ініціюється робота термодатчика.

У кожному циклі основного алгоритму спочатку зчитуються параметри живлення (напруга шини та струм навантаження), а потім відбувається опитування температури корпусу акумулятора. Отримані цифрові значення передаються до процедур аналізу стану, де вони порівнюються з попередньо заданими пороговими величинами. У разі виходу напруги за межі безпечного діапазону активуються відповідні обробники низької або високої напруги, що можуть, наприклад, застосовувати захисне відключення навантаження або сповістити віддалений сервер про критичний стан. Аналогічним чином викликаються процедури реагування на перевищення струму навантаження.

Лише після підтвердження номінальних умов електропостачання програми переходять до перевірки температури. При виявленні виходу за межі безпечних значень температури ініціюються обробники надмірного нагріву або низької температури, що дозволяє запобігти потенційному пошкодженню батарейних

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів. У разі відсутності аварійних умов алгоритм вирішує питання про нарахування циклів зарядки або розрядки у залежності від напрямку потоку енергії. Після інкременту відповідного лічильника виконується перехід пристрою у режим низького енергоспоживання (Deep Sleep), що суттєво продовжує час автономної роботи системи на одному заряді.

Процедура зчитування LM75 починається з ініціалізації шини I2C та надсилання команди запуску конверсії 12-бітної температурної величини. Після затримки, необхідної для завершення оцифрування (близько 750 мс), ESP8266 читає 9-байтовий буфер Scratchpad термодатчика, у якому зберігаються двійкові значення температури та код CRC для перевірки цілісності передачі. У випадку невідповідності контрольної суми алгоритм фіксує «погану» подію помилки CRC. Після успішного проходження перевірки дані перетворюються у градуси Цельсія й порівнюються з граничними значеннями. Якщо температура виходить за встановлені межі, відповідний обробник змінює режим роботи або формує повідомлення про необхідність втручання.

Аналіз циклів зарядки і розрядки виконується за допомогою порівняння поточного значення напруги та напрямку струму із вхідними умовами. Коли система визначає перехід батареї з режиму живлення навантаження до режиму підзарядження (або навпаки), відбувається інкремент лічильника відповідного циклу. Це дає змогу оцінити помірну деградацію акумуляторів на основі статистики реального використання. Накопичувані лічильники використовуються як індикатори загального ресурсу батареї й можуть слугувати тригерами для запланованого технічного обслуговування.

Обробка критичних ситуацій реалізується у вигляді викликів спеціалізованих «хендлерів», кожен із яких відповідає за певний тип аварії. Перевантаження струмом, вихід напруги за безпечні межі або критичні температурні стани призводять до активації відповідного обробника, який зупиняє подачу живлення на навантаження, увімкне захисні реле або надішле сповіщення на сервер контролю. Збереження історії цих подій у внутрішній пам'яті ESP8266 дозволяє проводити

подальший аналіз причин виникнення аварій і своєчасно коригувати стратегію управління.

Після виконання усіх перевірок і процедур обробки циклів алгоритм остаточно переводить мікроконтролер у режим Deep Sleep. Такий підхід дозволяє знизити енергоспоживання до мікроампер при відсутності активних операцій, що є критично важливим для автономних систем із обмеженим живленням. Пробудження відбувається за апаратним таймером або зовнішнім інтервалом, після чого цикл повторюється, забезпечуючи безперервний моніторинг і керування батареєюною системою.

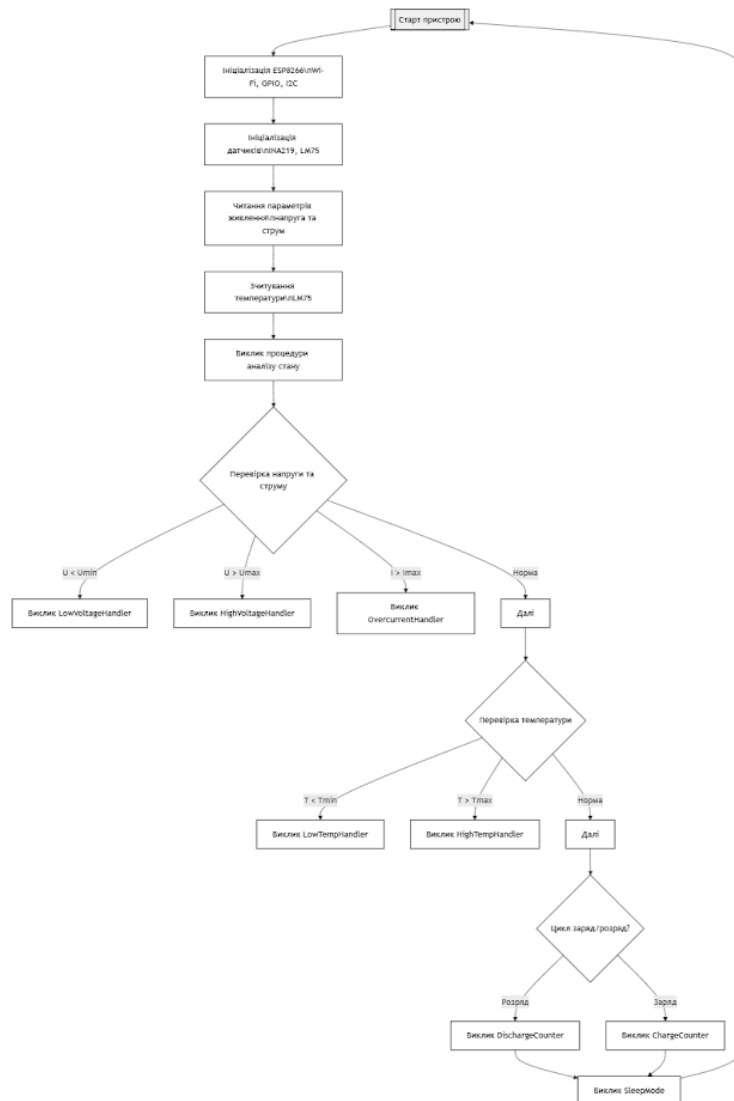


Рисунок 2.3 – Алгоритм роботи смарт-системи управління батареєю на базі ESP8266

Рисунок 2.3 описує логіку функціонування Smart BMS на платформі ESP8266, передбачає чітко організовану послідовність викликів функцій, що забезпечують надійний моніторинг і керування акумуляторною батареєю. Робота пристрою розпочинається з конфігурації апаратної платформи, для чого спочатку виконуються виклики `initWiFi()`, `initGPIO()` та `initI2C()`, які відповідно ініціалізують бездротовий модуль, налаштовують загальні порти вводу-виводу та активують програмний інтерфейс I²C. Після цього відбувається ініціалізація сенсорів: `initINA219()` готує до роботи давача струму й напруги, а `initLM75()` – цифровий термодатчик.

Основний цикл роботи починається з послідовного виклику процедур збору даних: `readVoltageINA219()` та `readCurrentINA219()` повертають миттєві значення напруги та струму, тоді як `readTemperatureLM75()` забезпечує зчитування температури. Після отримання цих параметрів виконується функція `analyzeStatus(U, I, T)`, що порівнює їх із заданими граничними значеннями. У разі виявлення заниженої або завищеної напруги система викликає відповідно `LowVoltageHandler()` або `HighVoltageHandler()`, одночасно публікуючи повідомлення через MQTT-тему `bms/alert`. Аналогічно, при перевантаженні струму або виході температури за допустимі межі спрацьовують `OvercurrentHandler()`, `LowTempHandler()` чи `HighTempHandler()`, із одночасною публікацією відповідного тривожного повідомлення.

Для обліку циклів роботи акумулятора в межах функції `analyzeStatus` інтегровано перевірку режиму роботи (`isDischarging()` або `isCharging()`), після чого лічильники циклів – `DischargeCounter` та `ChargeCounter` – інкрементуються та результат надсилається в MQTT-тему `bms/cycle`. Завершальною дією кожного проходу циклу є виклик `enterSleepMode()`, який не тільки переводить мікроконтролер у енергозберігаючий режим, але й надсилає статус у тему `bms/status`, що дозволяє центральній системі відстежувати життєвий цикл пристрою. Така структурованість функціональних модулів сприяє підтриманню

гнучкості, масштабованості та високої надійності Smart BMS у реальних умовах експлуатації.

Алгоритм роботи модуля INA219 побудовано за принципом послідовного запуску вимірювальних процесів із подальшою перевіркою критичних умов та фіксацією подій, що виходять за межі допустимих значень. Спочатку відбувається ініціалізація інтерфейсу PC та запис калібрувальних констант до внутрішніх регістрів пристрою, що забезпечує необхідну точність перетворення напруги шунта в значення струму й дозволяє узгодити вимірювану вхідну напругу з масштабом АЦП. Під час цього етапу програмною послідовністю встановлюються значення регістрів CALIBRATION, Shunt Voltage Register і Bus Voltage Register згідно з рекомендаціями виробника, що гарантує коректне співвідношення між фактичними показниками електричного кола та цифровими даними, які пристрій видає по шині PC.

Після завершення налаштування внутрішніх регістрів відбувається автоматична або програмно ініційована конверсія АЦП обох каналів – шунтової напруги та напруги шини живлення. Кожна конверсія запускається одночасно, що дозволяє отримати синхронізовані показники вхідної напруги на шунті і загальної напруги системи. По закінченні конверсії контролер виконує послідовне читання вмісту Shunt Voltage Register і Bus Voltage Register, зберігаючи отримані 16-бітові значення в проміжних змінних для подальших обчислень. На цьому етапі важливо звернути увагу на особливості форматування даних у регістрах: падіння напруги на шунті подається у значеннях із кроком $10\mu V$, а шина дає показники в мілівольтах із кроком 4мВ, тому програмна частина повинна враховувати ці розподільні константи.

Далі відбувається розрахунок струму через резистор-шунт із використанням попередньо встановленого коефіцієнта калібрування. Цей коефіцієнт відповідає за перетворення вимірювань шунтової напруги в міліамперному масштабі й визначається відношенням номінального опору шунта до роздільної здатності АЦП. Паралельно виконується обчислення потужності як добуток напруги шини

на розрахований струм, що дозволяє одержати оперативну оцінку енергоспоживання або віддачі системи в режимі реального часу.

Отримані значення потім піддаються перевірці відповідно до заданих порогів: якщо вимірний струм перевищує допустиме максимальне значення, у програмі фіксується подія “перевантаження”, що може ініціювати захисні алгоритми, такі як відключення навантаження або повідомлення вищому рівню системи моніторингу. Аналогічним чином відбувається порівняння bus-напруги з нижнім і верхнім граничними значеннями, де у разі зниження напруги нижче мінімуму чи перевищення максимально допустимого рівня відповідно фіксуються події “низька напруга” та “перенапруга”. Якщо ж показники лежать усередині встановленого інтервалу, реєструється стан “дані в нормі”, що свідчить про коректну роботу кола.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

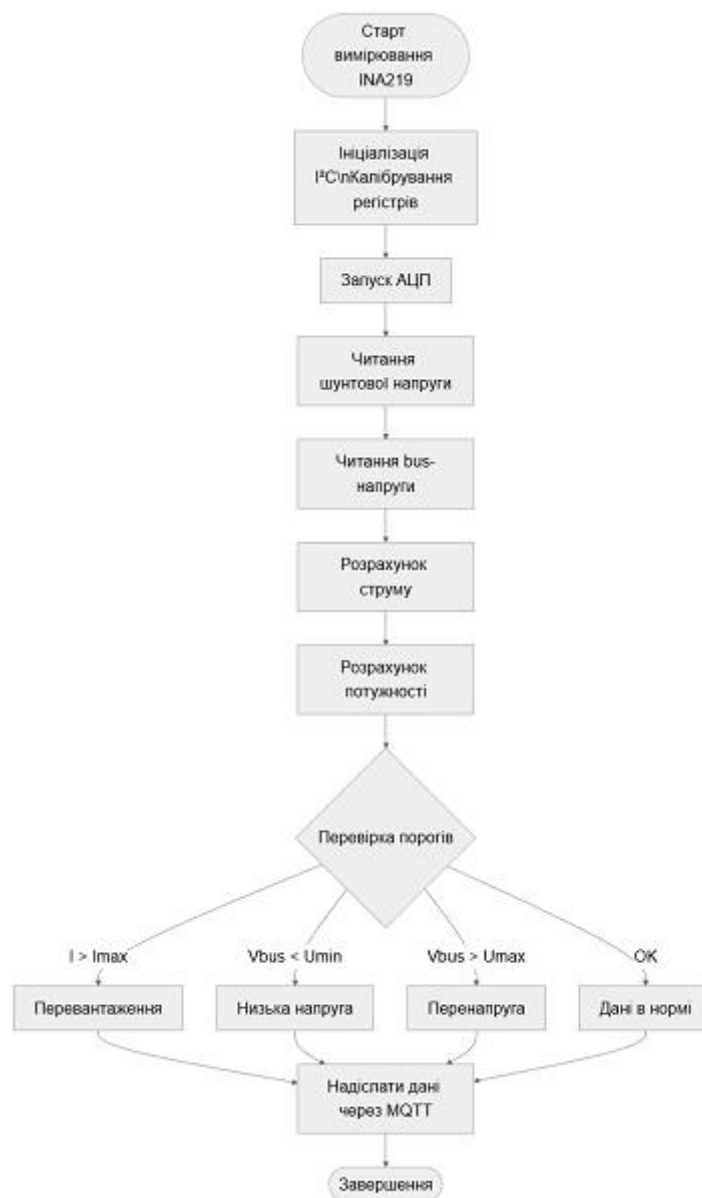


Рисунок 2.4 – Алгоритм ініціалізації та вимірювання параметрів живлення модулем INA219

У реалізації процедури на рисунку 2.4 зчитування параметрів сенсора INA219 ключовим етапом є налаштування двопровідної шини, яке забезпечує функція `initI2C()` та конфігурація калібрувальних регістрів через `calibrateINA219Registers()`. Цей крок гарантує коректну синхронізацію ESP8266 із INA219 та встановлення точного коефіцієнта перетворення для обраного шунтового резистора. Після завершення калібрування виконується виклик `startADC()`, що ініціює процедуру аналогово-цифрового перетворення, необхідну

для отримання вимірних напруг: спочатку `readShuntVoltage()` повертає величину падіння напруги на шунті, а потім `readBusVoltage()` зчитує загальну напругу живлення шини.

На основі отриманих даних здійснюється обчислення електрорушійної сили та потужності через виклики `calculateCurrent(shuntVoltage)` та `calculatePower(current, busVoltage)`. Наступним кроком логіки контролю є порівняння обчислених значень із заздалегідь визначеними граничними показниками: за перевищення струму понад I_{max} встановлюється статус `overcurrent`, при зниженні шини нижче U_{min} – `undervoltage`, а при перевищенні U_{max} – `overvoltage`; у випадку відсутності аномалій результатом стає статус `normal`. Наприкінці циклу викликом `sendMQTT()` формуються й передаються пакетовані дані – напруга, струм, потужність та поточний статус – на віддалений сервер, що забезпечує реальний час моніторингу стану батареї.

Модуль вимірювання температури реалізовано із застосуванням цифрового давача з інтерфейсом I²C замість однопровідного. Після запуску процедури вимірювання відбувається виклик `initI2C()`, що конфігурує двопровідну шину відповідно до тактової частоти й адреси сенсора. Після встановлення зв'язку за допомогою функції `configureTempSensor()` виконується запис у регістр вказівки віртуального вказівника (`pointer register`) для переходу в режим вимірювання температури.

Через затримку часу, необхідну для завершення АЦП-перетворення (`order of hundreds of` мілісекунд залежно від обраної розрядності й інструкцій давача), виконується виклик `readI2CTemperatureData()`, який зчитує два байти з регістру даних. Перший байт містить старші біти температурного значення, другий байт – молодші біти і інформацію про знак. Отримавши сирі дані, програма виконує об'єднання байтів у 16-бітне ціле, корекцію формату (зсув молодших 4 бітів, якщо давач забезпечує 12-бітну роздільну здатність), а потім перетворює результат у градуси Цельсія шляхом ділення отриманого значення на коефіцієнт 16.0, що відповідає $LSB = 0,0625$ °C.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі невідповідності віртуального CRC-байта або виявлення помилки передачі здійснюється повторна спроба зчитування до максимальної кількості retries, після чого при відсутності успішного результату генерується подія communicationError(). Після коректного обчислення температурного значення виконується функція analyzeTemperature(), яка порівнює отриманий результат із попередньо заданими порогами Tmin і Tmax.

У разі виходу за межі безпечного діапазону ініціюються механізми реагування низькотемпературної або високотемпературної тривоги, що можуть включати логування у неруйнівну пам'ять, активацію візуальної чи звукової індикації та коригування режиму роботи батареї. Якщо температура залишається в межах норми, значення передається у головний цикл моніторингу для подальшого використання у алгоритмах керування енергозабезпеченням. Такий підхід гарантує не лише точність і достовірність вимірювань, а й гнучкість реакції на аварійні відхилення в умовах інтеграції у кіберфізичну систему.

Алгоритму зчитування температури на рисунку 2.5 застосовується цифровий давач із інтерфейсом I²C, що спрощує підключення та підвищує пропускну здатність шини. На початку виконується ініціалізація MQTT через initMQTT(), яка готує канали зв'язку для передачі результатів вимірювань. Далі викликається initI2C() для конфігурації двопровідної шини згідно із заданою частотою та апаратною адресою сенсора, після чого configureSensorRegisters() записує у відповідні регістри команду запуску вимірювання температури.

Запуск перетворення здійснюється викликом startTemperatureConversion(), потім алгоритм переходить у стан очікування готовності даних, реалізований через waitForDataReady(). Після завершення конверсії readTemperatureRegister() зчитує два байти сирих даних із регістру температури. Отримане значення перевіряється функцією isValid(rawData); у разі невідповідності контрольної суми або помилки зв'язку процес ініціалізації шини повторюється. За позитивного результату rawData передається у convertRawToCelsius(rawData), яка перетворює його у температуру в градусах Цельсія.

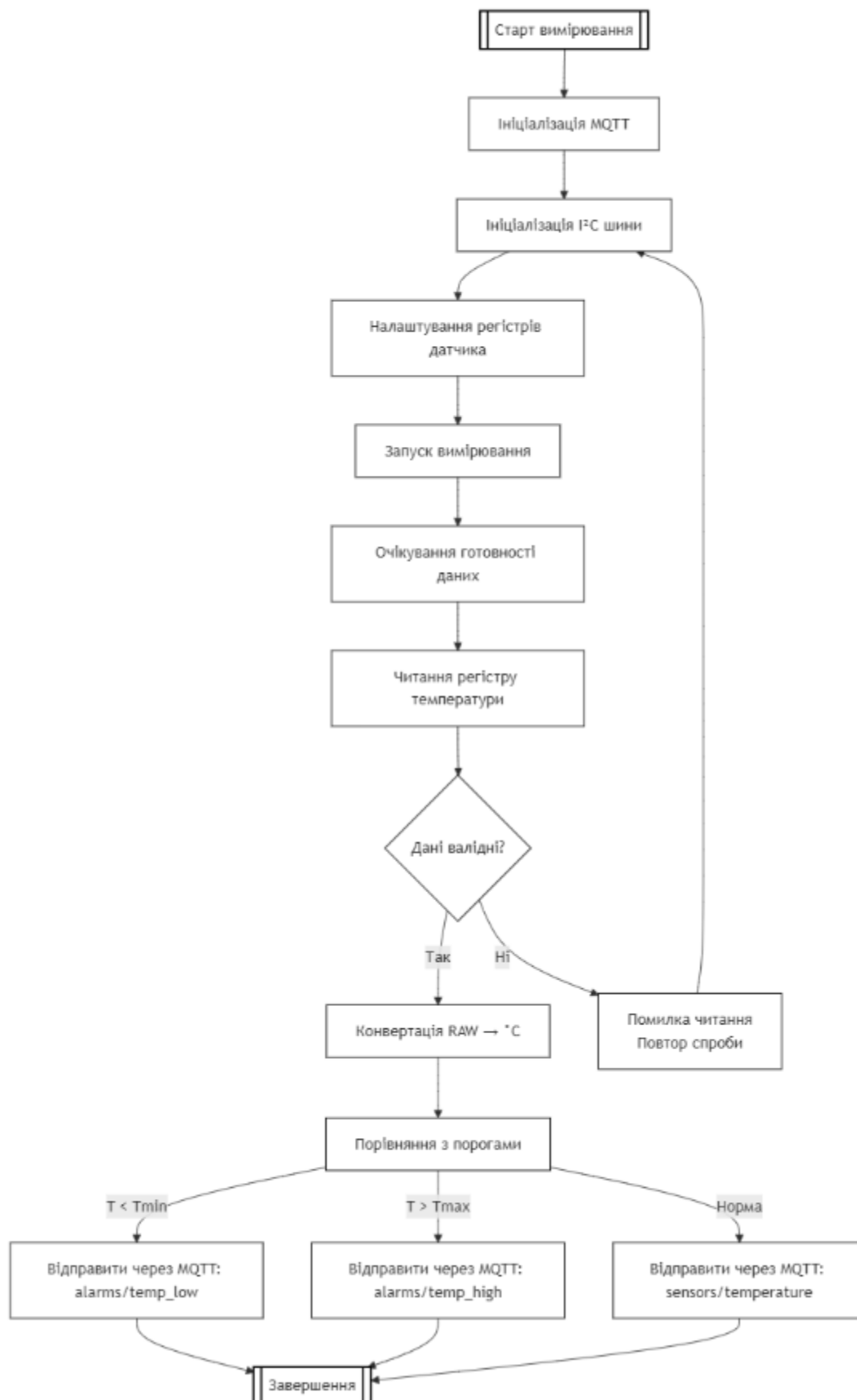


Рисунок 2.5 – Алгоритм вимірювання температури за допомогою датчика LM75

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи було здійснено розробку архітектури та складових смарт-системи управління батареєю, орієнтованої на моніторинг енергетичних параметрів у рамках кіберфізичної платформи. На основі проведеного аналізу було обґрунтовано вибір апаратних компонентів, зокрема мікроконтролера ESP8266, сенсора напруги та струму INA219, а також цифрового термодатчика LM75. Переваги цих елементів – зокрема їхня точність, енергоефективність, низька вартість і сумісність з бездротовими протоколами – визначили їхню доцільність у побудові системи, яка поєднує надійність та доступність.

У розділі було охарактеризовано функціональні схеми роботи системи, включаючи блок-схеми алгоритмів. Таким чином, розділ сформував технічне підґрунтя для реалізації ефективної смарт-системи керування акумулятором, придатної до впровадження в реальних умовах експлуатації та подальшого розвитку у межах інтелектуальних енергетичних систем.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ ESP8266

3.1 Структурна схема і розпіновка пристрою

Мікроконтролерна платформа ESP8266 NodeMCU характеризується оптимізованою архітектурою, що забезпечує багатofункціональне використання периферійних контактів. Форм-фактор плати дозволяє здійснювати зручне підключення зовнішніх пристроїв завдяки адаптованим виводам загального призначення, які можуть функціонувати як цифрові входи/виходи, канали комунікаційних протоколів та джерела аналогових сигналів.

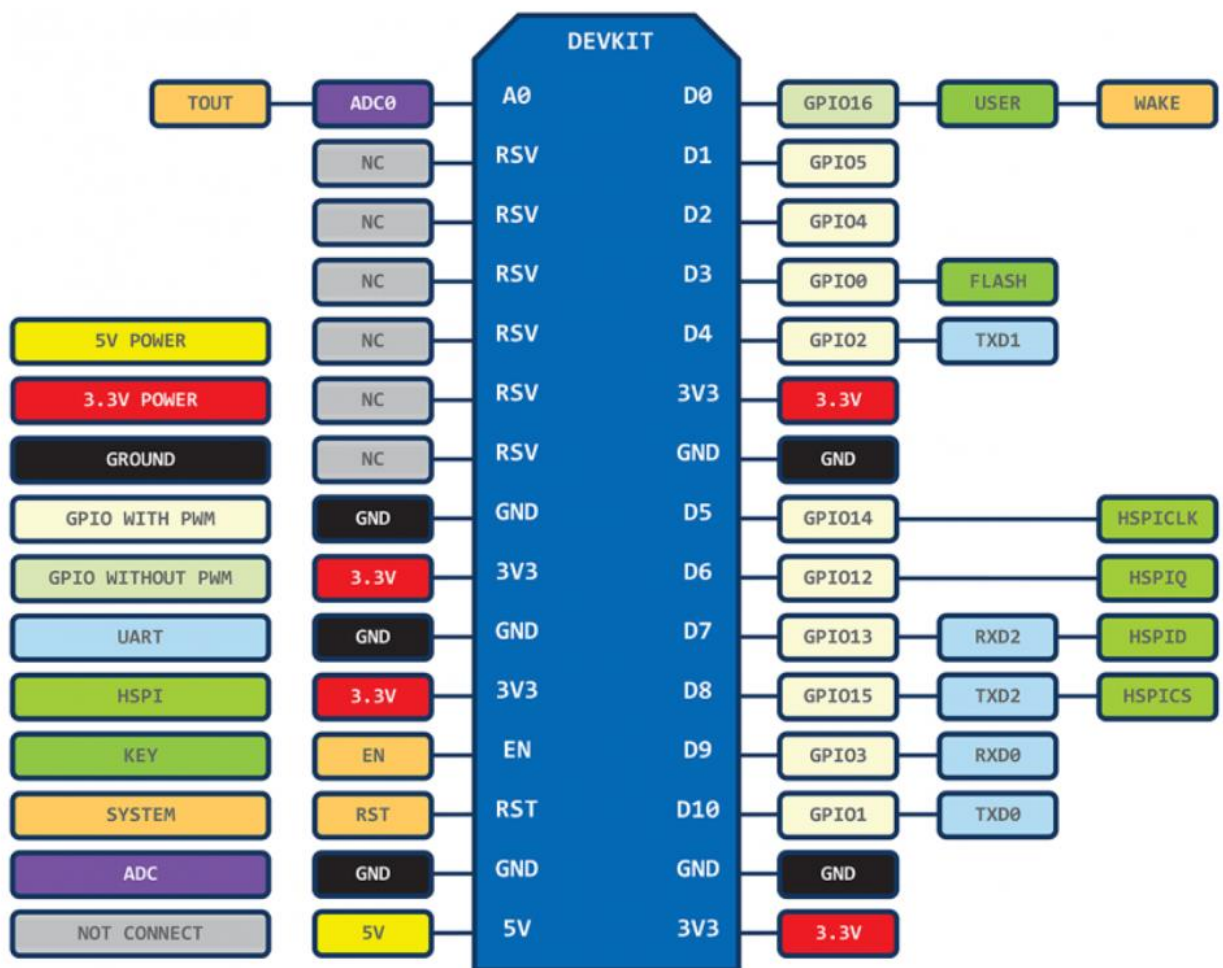


Рисунок 3.1 – Схема розпіновки розробницької плати [2]

Цифрові виводи на рисунку 3.1 D0-D8 демонструють диференційовані функціональні характеристики. Контакт D0 (GPIO16) забезпечує активацію мікроконтролера з режиму глибокого енергозбереження (deep-sleep), проте має обмежену функціональність щодо апаратної широтно-імпульсної модуляції та комунікаційних інтерфейсів I²C/SPI. Контакти D1 (GPIO5) та D2 (GPIO4) оптимізовані для реалізації I²C протоколу, при цьому GPIO5 може додатково виконувати функції альтернативного сигналу SCLK для SPI інтерфейсу.

Контакт D3 (GPIO0) виконує критичну функцію в процесі ініціалізації мікроконтролера, оскільки низький логічний рівень на цьому виводі під час старту переводить систему в режим програмування. D4 (GPIO2) традиційно застосовується для індикації режимів роботи та має внутрішній підтягуючий резистор до 3.3V. D8 (GPIO15) потребує підтримання низького логічного рівня через підключення до спільного проводу для забезпечення коректної ініціалізації Flash-пам'яті.

Модуль ESP8266 у вигляді плати NodeMCU обладнано вбудованим USB-UART конвертером CH340G, який відповідає за зв'язок з комп'ютером через інтерфейс micro-USB. Коректне функціонування даного перетворювача обумовлюється наявністю відповідних системних драйверів. Контакти TX (GPIO1) та RX (GPIO3) зарезервовані для апаратного комунікаційного порту Serial0, причому не рекомендується використання цих контактів для підключення периферійних пристроїв під час процесу перепрограмування мікроконтролера.

У платформі реалізована захищена схема ініціалізації, що включає підтягувальні резистори на контактах GPIO0, GPIO2 та GPIO15, забезпечуючи коректний перехід у необхідний режим роботи (BOOT або FLASH) без зовнішніх втручань або нестабільностей у логічних рівнях, навіть за наявності активного периферійного навантаження. Контакт CH_PD (EN), відповідальний за дозвіл живлення мікроконтролера, також обладнаний підтягуванням до високого рівня, що захищає систему від помилкового вимкнення при електромагнітних завадах.

Для забезпечення надійного запуску мікроконтролера в умовах перемикання джерел живлення, контакт RST обладнано RC-ланцюгом, що автоматично формує імпульс скидання при подачі напруги, що усуває необхідність ручного втручання користувача.

Особливе значення в контексті застосування ESP8266 у системах моніторингу має аналоговий вхід A0, інтегрований з 10-бітним аналого-цифровим перетворювачем, що забезпечує вимірювання напруги до 3.3В. Максимально допустима вхідна напруга на цьому контакті становить 3.3В. Для вимірювання більш високих потенціалів у платі реалізовано внутрішній резистивний дільник, що забезпечує зниження напруги у співвідношенні 3:1. Висока точність дільника та застосування фільтрувальних конденсаторів редукують вплив імпульсних перешкод, що суттєво підвищує достовірність вимірювань. З метою додаткового підвищення точності рекомендується застосування зовнішнього фільтруючого конденсатора між контактом A0 та спільним проводом.

Система електроживлення мікроконтролерної плати включає контакт "5V", що отримує напругу безпосередньо від USB інтерфейсу або зовнішнього джерела і забезпечує струм до 500 мА. Важливою перевагою є наявність вбудованого стабілізатора напруги типу AMS1117, який здійснює перетворення напруги 5В у стабільні 3.3В із низьким рівнем пульсацій. Контакт "3.3V" забезпечується цим стабілізатором з максимальним вихідним струмом 400 мА. Це дозволяє використовувати плату для живлення високочутливих аналогових сенсорів, таких як INA219 або LM75, без необхідності зовнішніх стабілізаторів. При необхідності підключення навантажень з підвищеним енергоспоживанням рекомендується застосування зовнішніх стабілізаторів напруги.

Усі контакти загального призначення, за винятком D0 (GPIO16), підтримують апаратну генерацію сигналів з широтно-імпульсною модуляцією, що дозволяє ефективно керувати сервоприводами або світлодіодними індикаторами. Максимально допустимий струм через один контакт складає 12 мА, що обумовлює

необхідність застосування транзисторних ключів або спеціалізованих драйверів при підключенні навантажень з вищими струмовими характеристиками.

Інтерфейс KEУ представлений кнопкою, підключеною між GPIO0 та спільним проводом, що забезпечує переведення мікроконтролера в режим перепрограмування при її активації під час подачі живлення.

В контексті забезпечення захисту від електромагнітних завад для цифрових ліній, що функціонують у середовищах з високим рівнем електромагнітних перешкод, рекомендується застосування RC-фільтрів або оптичних розв'язок. Важливою конструктивною особливістю плати є поділ аналогової та цифрової частин із використанням окремих земляних шарів, що мінімізує перехресні завади між каналами та покращує якість вимірювань. Необхідно зазначити, що аналогові та цифрові "землі" розведені окремо на друкованій платі, що вимагає об'єднання їх в єдиній точці при підключенні зовнішніх сенсорів.

Протоколи обміну даними реалізовані в ESP8266 з високим ступенем інтеграції. Інтерфейс I²C реалізується через GPIO5 (SCL) та GPIO4 (SDA), для яких доцільно використовувати зовнішні підтягувальні резистори номіналом 4.7 кОм, що забезпечує стабільність роботи шини за умов підвищеної ємності.

Для реалізації SPI інтерфейсу використовуються контакти GPIO14 (SCLK), GPIO12 (MISO), GPIO13 (MOSI) та GPIO15 (CS), що дозволяє підключати пристрої типу EEPROM або дисплеї. Для підключення SD-карт або дисплеїв рекомендується застосування бібліотеки SPI.h з програмною активацією сигналу вибору пристрою. Підтримка UART реалізується як на рівні мікропрограми (Serial0 – GPIO1, GPIO3), так і апаратно - через інтегрований USB-UART перетворювач CH340G.

Значною перевагою ESP8266 є підтримка енергозберігаючого режиму deep-sleep із пробудженням через GPIO16, який може бути апаратно підключений до RST. Це уможливорює реалізацію періодичного моніторингу за таймером з мінімальним енергоспоживанням – до 20 мкА в режимі сну.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бездротовий модуль ESP8266 підтримує стандарт IEEE 802.11 b/g/n у частотному діапазоні 2.4 ГГц, що дозволяє підключатися до локальних Wi-Fi мереж та забезпечує передачу даних на сервер або у хмару в реальному часі.

Оптимізація антени та програмне управління буферизацією покращують якість сигналу, знижують втрати пакетів та забезпечують стабільність у складних радіочастотних умовах.

Конфігурація ESP8266 у межах платформи NodeMCU створює оптимальні умови для побудови інтелектуальних систем моніторингу та керування. Поєднання стабільної архітектури живлення, точного аналогового вимірювання, багатопрокольного обміну даними та енергоефективності забезпечує високу функціональність та масштабованість при реалізації проєктів у сфері Інтернету речей та Smart Energy.

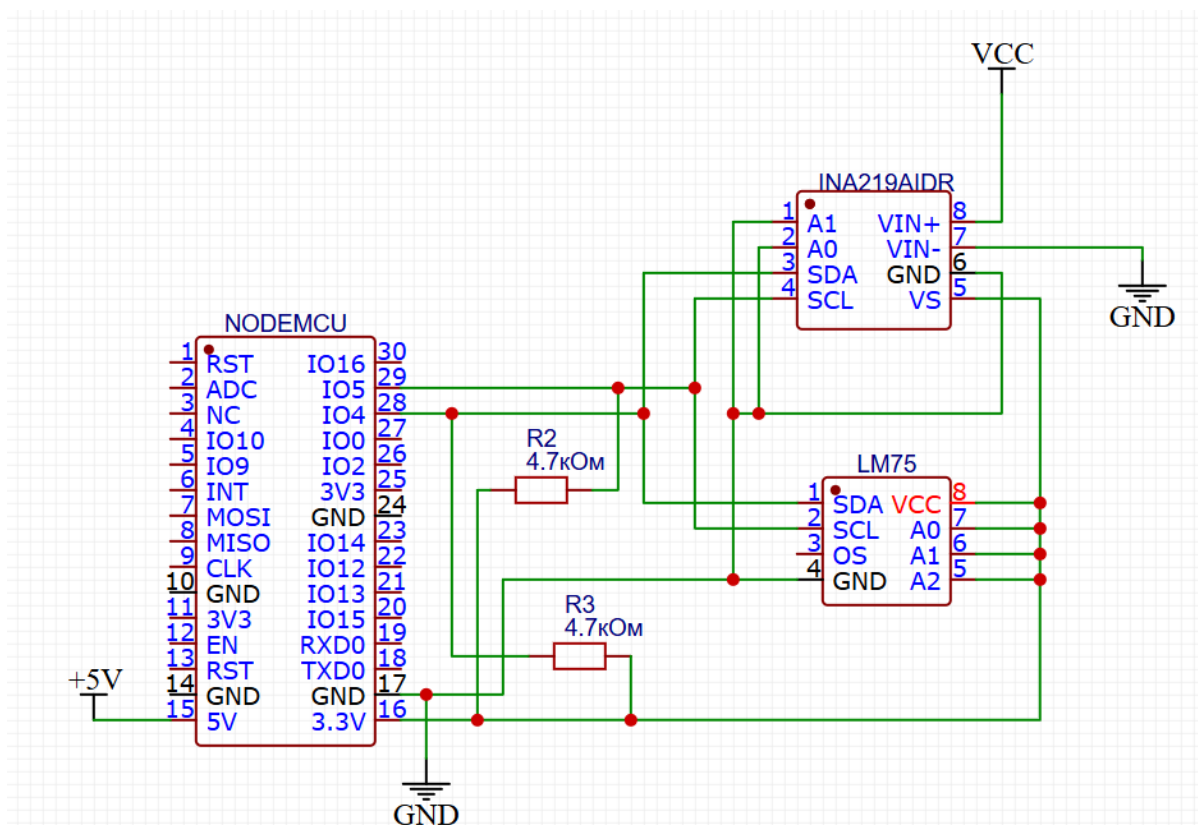


Рисунок 3.2 – Схема підключення модулів INA219 та LM75 до мікроконтролера NodeMCU через інтерфейс I2C

Представлена схема на рисунку 3.2 ілюструє інтеграцію мікроконтролерного модуля NodeMCU з двома периферійними пристроями: вимірювачем струму та напруги INA219 і температурним сенсором LM75. Обидва давачі використовують інтерфейс I²C для комунікації з мікроконтролером, що істотно спрощує реалізацію проекту завдяки використанню лише двох ліній зв'язку. Розглянемо детально кожне з'єднання та його функціональне призначення.

На схемі візуалізовано систему розподілу живлення. NodeMCU підключається до зовнішнього джерела живлення через контакт VIN, до якого можна подати напругу 5 В. Це з'єднання відображено в лівій частині схеми, де контакт "+5V" підключений до 15 виводу NodeMCU (позначеного як "5V"). Важливо зауважити, що мікроконтролер ESP8266, який складає основу NodeMCU, функціонує при напрузі 3,3 В, тому на платі модуля встановлено інтегрований стабілізатор напруги.

Вихід внутрішнього стабілізатора 3,3 В доступний на 12 виводі NodeMCU (позначеному як "3V3"). Ця лінія використовується для живлення обох I²C давачів. На схемі наочно продемонстровано, як вивід VCC давача INA219 (контакт 7) та вивід VCC давача LM75 (контакт 2) підключені до лінії живлення 3,3 В. Завдяки роботі NodeMCU з логічними рівнями 3,3 В, відбувається уніфікація логіки сигналів усіх компонентів системи, що забезпечує стабільну комунікацію та дає змогу розширювати систему, підключаючи додаткові пристрої з інтерфейсом I²C.

Підключення загальної шини (GND) реалізовано відповідно до стандартних практик проектування: вивід GND мікроконтролера NodeMCU (контакт 14) з'єднаний з выводами GND обох давачів - контактом 5 INA219 та контактом 4 LM75. Таке з'єднання забезпечує єдиний опорний потенціал для всіх компонентів системи, що є критичним для коректної роботи цифрових інтерфейсів та вимірювальних компонентів.

Центральним елементом схеми є організація шини I²C, яка забезпечує комунікацію між NodeMCU та периферійними пристроями. Лінія SDA (Serial Data) підключена до виводу GPIO4 (або D2 в нотації NodeMCU) мікроконтролера, що

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідає контакту 4 на схемі. Ця лінія з'єднана з виводом SDA (контакт 3) давача INA219 та виводом SDA (контакт 1) давача LM75.

Аналогічно, лінія SCL (Serial Clock) підключена до виводу GPIO5 (або D1 в нотації NodeMCU) мікроконтролера, що відповідає контакту 5 на схемі. Ця лінія з'єднана з виводом SCL (контакт 4) давача INA219 та виводом SCL (контакт 3) давача LM75.

На схемі присутні підтягуючі резистори R2 та R3, номіналом 4,7 кОм, які підключені між лініями SDA/SCL та шиною 3,3 В відповідно. Ці резистори мають критичне значення для функціонування інтерфейсу I²C, який працює за принципом "відкритого колектора" (open-drain). У стані спокою резистори забезпечують високий логічний рівень на лініях даних, а при передачі інформації пристрої можуть активно "підтягувати" лінію до низького рівня. Без даних резисторів інтерфейс не зможе функціонувати коректно, оскільки не буде сформований належний високий логічний рівень.

На представленій схемі відображено підключення адресних виводів давачів, що дозволяє налаштувати унікальні адреси для кожного пристрою на шині I²C. Для давача INA219 передбачено два адресних виводи: A0 (контакт 2) та A1 (контакт 1). На схемі видно, що ці виводи підключені до певних потенціалів, що визначає адресу пристрою на шині.

Давач LM75 має три адресних виводи: A0 (контакт 7), A1 (контакт 6) та A2 (контакт 5). Конфігурація цих виводів (підключення до 3,3 В або GND) дозволяє вибрати одну з восьми можливих адрес. На схемі чітко видно, що адресні виводи LM75 підключені відповідно до вимог проекту.

Така система адресації забезпечує можливість підключення кількох пристроїв з однаковою базовою адресою до єдиної шини I²C без виникнення конфліктів. Це особливо важливо при розширенні системи додатковими давачами.

На схемі також присутні специфічні виводи давачів, які необхідні для їх коректного функціонування. Наприклад, вивід VS давача INA219 (контакт 6) підключений до шини живлення VCC. Цей вивід відповідає за живлення

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішнього підсилювача давача та є критичним для забезпечення точних вимірювань струму.

Давач LM75 має вивід OS (контакт 8), що може використовуватися як вихід тривоги при перевищенні заданого температурного порогу. На схемі цей вивід залишається непідключеним, що свідчить про те, що функція термостату не використовується в даному проекті.

Дана схема демонструє раціональний підхід до інтеграції мікроконтролера NodeMCU з давачами INA219 та LM75 за допомогою інтерфейсу I²C. Використання єдиної шини даних, забезпечення належних логічних рівнів за допомогою уніфікованого живлення 3,3 В та коректне підключення підтягуючих резисторів створюють підґрунтя для стабільного функціонування системи.

Архітектура з'єднань відображає розуміння принципів функціонування цифрових інтерфейсів та враховує особливості роботи сучасних мікроелектронних компонентів.

3.2 Програмна реалізація системи моніторингу акумуляторної батареї на базі ESP8266/NodeMCU у середовищі Arduino IDE

В ході дипломної роботи було реалізовано систему моніторингу акумуляторних батарей, що включає як апаратну, так і програмну складові. Апаратна платформа використовує ESP8266, давач струму/напруги INA219 та температурний сенсор LM75. Програмна логіка розроблена в середовищі Arduino IDE та передбачає обмін даними за протоколом MQTT. На початковому етапі розробки системи моніторингу акумуляторних батарей було проведено налаштування середовища Arduino IDE з метою забезпечення сумісності з апаратною архітектурою ESP8266. Процес конфігурації полягав у розширенні функціональності стандартного Arduino IDE через інтеграцію пакету підтримки плат ESP8266. Для цього у налаштуваннях середовища розробки було додано репозиторій за URL-адресою <http://arduino.esp8266.com/stable/>

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[package_esp8266com_index.json](#), що забезпечило доступ до апаратно-специфічних функцій мікроконтролера.

Вибір бібліотек здійснювався з урахуванням критерію сумісності, актуальності, документації та стабільності при роботі з конкретними сенсорами. Зокрема, Adafruit_INA219 забезпечує стабільну та точну взаємодію з давачом струму через ІС, тоді як PubSubClient підтримує ключові можливості MQTT, включно з QoS-рівнями та обробкою reconnection. Комбінація ESP8266WiFi і PubSubClient дозволяє створити надійне підключення до брокера з повторними спробами підключення.

Після встановлення відповідного пакету було здійснено селекцію цільової платформи NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) та встановлено оптимальну швидкість завантаження програмного коду на рівні 115200 бод, що відповідає стандартним комунікаційним характеристикам ESP8266. Дані налаштування забезпечили коректну компіляцію та програмування мікроконтролера.

Реалізація функціоналу системи моніторингу акумуляторних батарей потребувала залучення спеціалізованих програмних бібліотек. У межах розробки було інтегровано бібліотеку Adafruit_INA219 для взаємодії з вимірювачем струму та напруги, Arduino_LM75 для роботи з температурним сенсором, PubSubClient для комунікації за протоколом MQTT та ESP8266WiFi для організації бездротового підключення.

Інтеграція компонентів виконувалася через менеджер бібліотек Arduino IDE, що дозволило автоматично вирішити всі залежності та встановити актуальні версії необхідних модулів. Такий підхід дозволив уникнути потенційних конфліктів версій та забезпечити стабільність роботи програмної частини системи.

Псевдокод BMS_Main_Loop демонструє основну логіку взаємодії між компонентами системи Smart BMS на базі ESP8266, включаючи опрацювання подій, пов'язаних із вимірюванням напруги, струму та температури, а також контроль за циклами зарядки й розрядки:

```
BEGIN BMS_Main_Loop
```

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

initializeESP8266();      // Wi-Fi, GPIO, I2C
initINA219();
initLM75();
WHILE true DO
    U, I = readINA219VoltageCurrent();
    T = readLM75Temperature();
    IF U < Umin THEN
        LowVoltageHandler();
        MQTT.publish("bms/alert", "low_voltage", U);
    ELSE IF U > Umax THEN
        HighVoltageHandler();
        MQTT.publish("bms/alert", "high_voltage", U);
    ELSE IF I > Imax THEN
        OvercurrentHandler();
        MQTT.publish("bms/alert", "overcurrent", I);
    END IF
    IF T < Tmin THEN
        LowTempHandler();
        MQTT.publish("bms/alert", "low_temperature", T);
    ELSE IF T > Tmax THEN
        HighTempHandler();
        MQTT.publish("bms/alert", "high_temperature", T);
    END IF
    IF isDischarging() THEN
        DischargeCounter = DischargeCounter + 1;
        MQTT.publish("bms/cycle", "discharge", DischargeCounter);
    ELSE IF isCharging() THEN
        ChargeCounter = ChargeCounter + 1;
        MQTT.publish("bms/cycle", "charge", ChargeCounter);

```

```

END IF
enterSleepMode();
MQTT.publish("bms/status", "sleep");
END WHILE
END BMS_Main_Loop

```

Псевдокод INA219_Measurement до блок-схеми на рисунку 2.4 для давача струму та напруги INA219, який у логічній послідовності відтворює всі основні кроки та обробку подій, пов'язаних із аналізом напруги, струму та потужності:

```

BEGIN INA219_Measurement
  initI2C()
  calibrateINA219Registers()
  startADC()

  shuntVoltage = readShuntVoltage()
  busVoltage = readBusVoltage()
  current = calculateCurrent(shuntVoltage)
  power = calculatePower(current, busVoltage)
  IF current > Imax THEN
    status = "overcurrent"
  ELSE IF busVoltage < Umin THEN
    status = "undervoltage"
  ELSE IF busVoltage > Umax THEN
    status = "overvoltage"
  ELSE
    status = "normal"
  END IF
  sendMQTT("bms/ina219", {
    "voltage": busVoltage,
    "current": current,

```

```

    "power": power,
    "status": status
})
END INA219_Measurement

Псевдокод Temperature_Measurement деталізує алгоритм роботи
температурного датчика LM75, охоплюючи етапи ініціалізації, зчитування даних,
перевірки їх цілісності за допомогою CRC та подальшого аналізу отриманих
результатів:
BEGIN Temperature_Measurement
initializeMQTT()
initializeI2C()
configureSensorRegisters()
startTemperatureConversion()
waitForDataReady()
rawData = readTemperatureRegister()
IF isValid(rawData) THEN
    temperature = convertRawToCelsius(rawData)
    IF temperature < Tmin THEN
        mqttPublish("alarms/temp_low", temperature)
    ELSE IF temperature > Tmax THEN
        mqttPublish("alarms/temp_high", temperature)
    ELSE
        mqttPublish("sensors/temperature", temperature)
    END IF
    RETURN
ELSE
    // Помилка зчитування, повторна ініціалізація шини
    GOTO initializeI2C
END IF

```

END Temperature_Measurement

Розроблена архітектура програмного забезпечення системи моніторингу акумуляторних батарей базується на модульному принципі з чіткою сегментацією функціональних блоків. Основними структурними елементами програмного забезпечення є блок ініціалізації, блок вимірювання параметрів, блок обробки критичних подій та блок комунікації з MQTT-сервером.

Блок ініціалізації забезпечує первинне налаштування мікроконтролера, конфігурацію інтерфейсу PC для взаємодії з периферійними модулями, встановлення Wi-Fi з'єднання та налаштування MQTT-клієнта. Структурно даний блок реалізовано через функції `initializeESP8266()`, `initINA219()`, `initLM75()` та `initializeMQTT()`, що виконуються під час запуску системи.

Блок вимірювання параметрів відповідає за циклічне зчитування даних з датчиків струму, напруги та температури. Функціонально даний блок реалізовано через функції `readINA219VoltageCurrent()` та `readLM75Temperature()`, які забезпечують збір актуальних даних про стан акумуляторної батареї. Вимірювання здійснюються з фіксованим інтервалом, що визначається змінною `measurementInterval`, встановленою на рівні 10000 мілісекунд.

Блок обробки критичних подій реалізує механізми реагування на перевищення граничних значень струму, напруги та температури. Функціонально даний блок представлено обробниками подій `LowVoltageHandler()`, `HighVoltageHandler()`, `OvercurrentHandler()`, `LowTempHandler()` та `HighTempHandler()`, які активуються при виході контрольованих параметрів за межі допустимих діапазонів.

Блок комунікації з MQTT-сервером забезпечує передачу даних про стан акумуляторної батареї на віддалений сервер для подальшого аналізу та візуалізації. Реалізація даного блоку базується на функціях `mqttPublish()` та `mqttPublishWithValue()`, які формують повідомлення у відповідному форматі та здійснюють їх передачу через протокол MQTT.

Основний цикл роботи системи моніторингу акумуляторних батарей реалізовано відповідно до представленого псевдокоду BMS_Main_Loop. Функціонально даний цикл забезпечує періодичне вимірювання параметрів акумуляторної батареї, аналіз їх відповідності встановленим граничним значенням та передачу даних на MQTT-сервер.

Структурно основний цикл реалізовано у функції loop(), яка виконується безперервно після завершення ініціалізації системи. Алгоритмічно цикл складається з перевірки підключення до MQTT-сервера, вимірювання параметрів акумуляторної батареї, аналізу отриманих значень та формування відповідних повідомлень для MQTT-сервера. Основний цикл функціонує відповідно до підходу Finite State Machine (FSM), де кожен логічний блок виконується лише в рамках відповідного стану. Це дозволяє краще контролювати порядок виконання, запобігти конфліктам під час переходу між режимами та впровадити додаткові режими (наприклад, аварійний або діагностичний) у майбутньому.

Особливу увагу у реалізації основного циклу приділено механізму визначення режиму роботи акумуляторної батареї (заряд, розряд, простій) та підрахунку кількості циклів заряду/розряду. Для цього використовуються функції isCharging() та isDischarging(), які аналізують напрямок струму через акумуляторну батарею та визначають поточний режим роботи. Для уникнення помилкової класифікації режиму роботи (заряд/розряд/простій) застосовано перевірку не лише напрямку струму, але й тривалість такого стану. Це дозволяє уникати короткочасних піків, які не свідчать про фактичну зміну режиму. У майбутньому можливе впровадження гістерезису або фільтра Калмана.

Функція вимірювання струму та напруги readINA219VoltageCurrent() реалізована відповідно до псевдокоду INA219_Measurement. Функціонально вона забезпечує взаємодію з давачом INA219 через інтерфейс I²C, зчитування значень напруги на шунті та на шині, розрахунок струму та потужності, а також визначення статусу батареї на основі аналізу отриманих значень.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція вимірювання температури `readLM75Temperature()` реалізована відповідно до псевдокоду `Temperature_Measurement`. Функціонально вона забезпечує взаємодію з давачом LM75 через інтерфейс I²C, зчитування значення температури та перевірку його відповідності встановленим граничним значенням.

З метою забезпечення тривалої автономної роботи системи моніторингу акумуляторних батарей було реалізовано механізм переходу мікроконтролера в режим зниженого енергоспоживання між циклами вимірювань. Функціонально даний механізм реалізовано через функцію `enterSleepMode()`, яка активує режим глибокого сну мікроконтролера на період між вимірюваннями.

Додатково було застосовано принцип подійно-орієнтованої архітектури при обробці критичних ситуацій, що дозволило мінімізувати обчислювальне навантаження на мікроконтролер та забезпечити оперативне реагування на зміни стану акумуляторної батареї.

Створена на базі ESP8266/NodeMCU система моніторингу акумуляторів із використанням Arduino IDE підтверджує ефективність застосування відкритих апаратно-програмних платформ для розробки вузькоспеціалізованих вбудованих рішень. Модульна архітектура програмного забезпечення, застосування стандартних протоколів комунікації та використання енергоефективних алгоритмів забезпечують надійність та стабільність роботи системи у різноманітних режимах експлуатації.

Перспективними напрямками подальшого розвитку системи є розширення функціональності за рахунок інтеграції додаткових сенсорів, реалізація алгоритмів прогнозування стану акумуляторної батареї на основі аналізу історичних даних та оптимізація енергоспоживання системи для забезпечення максимальної автономності.

3.3 Висновки до третього розділу

У даному розділі було здійснено повну програмно-апаратну реалізацію кіберфізичної системи енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера ESP8266 NodeMCU. Розроблене рішення демонструє комплексний підхід до побудови системи реального часу, що забезпечує безперервний контроль ключових параметрів акумуляторної батареї - напруги, струму та температури - завдяки використанню цифрових сенсорів INA219 та LM75, підключених через універсальну шину I²C.

Інтеграція Wi-Fi-модуля та передача даних через MQTT-протокол дозволили реалізувати функціонал віддаленого моніторингу, що відповідає сучасним вимогам до IoT-рішень. Програмна частина, створена у середовищі Arduino IDE, має модульну структуру та подійно-орієнтовану архітектуру, що спрощує масштабування системи та адаптацію до змінних умов експлуатації. Важливою особливістю є здатність автоматично розпізнавати режими роботи батареї та вести облік циклів заряду/розряду, що суттєво підвищує інформативність і технічну цінність моніторингу.

Реалізація енергозберігаючих механізмів, зокрема переходу мікроконтролера в режим сну, забезпечує оптимальне використання ресурсів та продовжує автономну роботу пристрою. Завдяки високій гнучкості як апаратної, так і програмної частин, система легко адаптується до різних типів акумуляторів і може бути розширена в майбутньому шляхом додавання нових сенсорів або впровадження алгоритмів прогнозування стану батарей.

Таким чином, розроблена система є ефективним і перспективним рішенням для автономного енергомоніторингу, що має значний потенціал для застосування в екосистемах розумних пристроїв, енергетичних установках та електротранспорті.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У рамках виконання кваліфікаційної роботи реалізовано кіберфізичну систему енергомоніторингу, орієнтовану на контроль експлуатаційних параметрів літєвих акумуляторів із використанням вбудованої платформи ESP8266 NodeMCU та сенсорного інтерфейсу на базі INA219 і LM75. Система забезпечує синхронізований збір телеметричних даних за допомогою шини I²C, з подальшою їх обробкою та передачею по бездротовому каналу за протоколом MQTT. Рішення відповідає архітектурній концепції IoT та дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі з мінімальним енергоспоживанням, що є критичним у розподілених або автономних енергетичних вузлах.

У першому розділі було здійснено аналітичний огляд фізико-хімічних процесів, що лежать в основі деградації літєвих елементів живлення, з урахуванням сучасних підходів до оцінки стану заряду (SoC) та стану здоров'я (SoH). Визначено обмеження традиційних моделей моніторингу, що не враховують складну нелінійну динаміку старіння акумуляторних осередків, а також акцентовано увагу на потребі впровадження адаптивних вбудованих рішень у контексті кіберфізичних систем з інтеграцією в хмарну інфраструктуру.

У другому розділі обґрунтовано вибір елементної бази, включаючи мікроконтролер ESP8266 з вбудованим Wi-Fi-модулем, прецизійний шунтовий сенсор INA219 для вимірювання струму і напруги, а також цифровий температурний сенсор LM75. Створено структурно-функціональну модель системи з урахуванням обмежень по струму, напрузі та габаритах елементів живлення. Також було сформовано логіку роботи пристрою у вигляді алгоритмічних блок-схем, що описують сценарії контролю та реакції на граничні відхилення.

У третьому розділі представлено повний цикл програмно-апаратної реалізації системи в середовищі Arduino IDE із застосуванням подійно-орієнтованого підходу до керування, що мінімізує обчислювальне навантаження на SoC. Реалізовано логіку передачі телеметрії через брокер MQTT, а також механізм

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переходу в режим deer-sleep для економії енергії в періоди неактивності. Інтеграція функціоналу ідентифікації режимів експлуатації (заряд, розряд, очікування) та ведення обліку циклів забезпечує розширений функціонал обробки даних і формування вектору технічного стану елемента живлення.

Таким чином, у межах кваліфікаційної роботи розроблено й реалізовано приклад функціональної кіберфізичної системи для моніторингу акумуляторних батарей, яка може бути адаптована до різних умов експлуатації та типів джерел живлення. Рішення має потенціал подальшого розвитку через інтеграцію додаткових сенсорів, впровадження алгоритмів прогнозування залишкового ресурсу та розширення функціоналу для застосування у сфері автономних енергосистем, електротранспорту та критично важливих об'єктів інфраструктури.

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. How2Electronics. IoT Based Battery Status Monitoring System using ESP8266. URL: <https://how2electronics.com/iot-based-battery-status-monitoring-system-using-esp8266/> (дата звернення: 21.03.2025).
2. How2Electronics. IoT Based 12V Battery Monitoring System with ESP8266. URL: <https://how2electronics.com/iot-based-12v-battery-monitoring-system-with-esp8266/> (дата звернення: 18.03.2025).
3. IoT Projects Ideas. Battery Status Monitoring System using ESP8266 & Arduino IoT Cloud. URL: <https://iotprojectsideas.com/battery-status-monitoring-system-using-esp8266-arduino-iot-cloud/> (дата звернення: 08.05.2025).
4. Circuit Digest. IoT based Lithium Battery Monitoring System using ESP8266. URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/iot-based-lithium-battery-monitoring-system> (дата звернення: 08.04.2025).
5. IoT Projects Ideas. IoT Energy Meter using INA219 Sensor ESP8266 & Blynk. URL: <https://iotprojectsideas.com/iot-energy-meter-using-ina219-sensor-esp8266-blynk/> (дата звернення: 08.03.2025).
6. The Australian. Exploding solar? Battery attack warnings heat up. URL: <https://www.theaustralian.com.au/business/technology/cyber-expert-says-theres-no-space-for-failure-of-imagination-in-battery-hack-threat/news-story/258a34267c1aec4d20377ee540b9dd8a> (дата звернення: 16.05.2025).
7. Cyber-Physical Co-Simulation Framework for Smart Cells in Scalable Battery Packs. *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*. 2016. Vol. 21, No. 4. Article 61. P. 67-96. DOI: <https://doi.org/10.1145/2891407>.
8. Kumar A., Singh M., Gupta H. A Review on Battery Management Systems for Electric Vehicles. *Journal of Energy Storage*. 2021. Vol. 35. Article 102255. DOI: <https://doi.org/10.4108/eai.7-12-2021.2314571>
9. Sharma S., Jain A., Verma P. IoT Based Battery Monitoring System for Electric Vehicles. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2020. Vol. 9, No. 6. P. 1234–1238. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.31.25472>

					КВРКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Patel R., Mehta K. Design and Implementation of Battery Management System using IoT. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2019. Vol. 10, No. 4. P. 456–460. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.608-609.1039>

11. Gupta R., Singh R. IoT Based Smart Battery Monitoring System. *International Journal of Computer Applications*. 2018. Vol. 180, No. 47. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.53799/ajse.v22i2.731>

12. Crowter R. M., Saeed N. Design and Implementation of a Simple Wireless Battery Monitoring System for Photovoltaic Applications. *Proceedings of the 2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE, 2023. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1454398>

13. Sya'Ban M. A., Faroqi A., Kamelia L., Eryanti D. Design and Build a Prediction System State of Charge (SoC) Battery Lithium-ion for Battery Based Management Internet of Things (IoT). *Proceedings of the 2024 10th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*. IEEE, 2024. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15124227>

14. Sari Y., Abdullah S., Rahman A., Hidayat T. Comparing the Accuracy of INA219, PZEM-004T, and MAX471 Sensors for Measuring Current and Voltage of Internet of Things-Based Solar Panels. *Proceedings of the 2024 Ninth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*. IEEE, 2024. P. 1–6.

15. Voicu V., Petreuş D., Etz R. Solar Powered Raspberry Pi for Internet of Things and Wireless Sensor Networks. *Proceedings of the 2024 IEEE 30th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*. IEEE, 2024. P. 500–503.

16. Effendi M. R., Al-Falah R. S., Ismail N. IoT-Based Battery Monitoring System in Solar Power Plants with Secure Copy Protocol (SCP). *Proceedings of the 2021 7th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*. IEEE, 2021. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICWT52862.2021.9678210>

17. Sopian Y., Ahmad M., Rahman S., Hassan K. Duty-Cycle Optimization Method for Improving Battery-Powered DC Sensor Node Lifetime in Wireless Sensor

Networks. *Proceedings of the 2023 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*. IEEE, 2023. P. 205–210.

18. Khudhair A. B., Hussein F. I., Obeidi M. A. Creating a LabVIEW Sub VI for the INA219 sensor for detecting extremely low-level electrical quantities. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 88–97.

19. Lambert J., Monahan R., Casey K. Power consumption profiling of a lightweight development board: Sensing with the INA219 and Teensy 4.0 microcontroller. *Electronics*. 2021. Vol. 10, No. 7. Article 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10070775>

20. Triawan M. A., Yolanda D., Humam F. Estimating SoC and SoH of Li-ion Battery Using Coulomb Counting Method in IoT Node Application. *Proceedings of the 2024 2nd International Symposium on Information Technology and Digital Innovation (ISITDI)*. IEEE, 2024. P. 96–101. DOI: <https://doi.org/10.1109/RTEICT46194.2019.9016956>

21. Wang N., Chen H., Li M., Zhang Y. High efficiency thermoelectric temperature control system with improved proportional integral differential algorithm using energy feedback technique. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2021. Vol. 69, No. 5. P. 5225–5234. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2021.3082462>

22. Sharara L., Ahmed S., Brown K., Davis R. An intelligent sensor-based back seat monitoring system for preventing pediatric vehicular heatstroke. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*. 2024. Vol. 9, No. 2. P. 1–17. DOI: 10.1109/TIV.2024.3408842

23. Hemavathi S., Srinivas S., Prakash A. S. Importance of Battery Pack Design and Battery Management Systems in Electric Vehicles. *Artificial Intelligence Applications in Battery Management Systems and Routing Problems in Electric Vehicles*. IGI Global, 2023. P. 1–29. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6631-5.ch001>

24. Liu M. Modified monitoring system of soil temperature based on ARM. *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 21. Article 101346.

25. Đurić J., Petrović M., Nikolić S., Jovanović D. Monitoring of Plant Growth Using Soil Moisture and Temperature Sensor and Camera. *Proceedings of the 2022 45th*

					КВПКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO). IEEE, 2022. P. 835–840. DOI: <https://doi.org/10.23919/MIPRO55190.2022.9803443>

26. Lelie M., Braun T., Knips M., Nordmann H. Battery management system hardware concepts: An overview. *Applied Sciences*. 2018. Vol. 8, No. 4. Article 534. DOI: <https://doi.org/10.3390/app8040534>

27. Mobaraki B., Pascual C., Lozano A., Salmerón J. M. Application of low-cost sensors for accurate ambient temperature monitoring. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No. 9. Article 1411. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12091411>

28. Subasri R., Priya K., Rajan S., Kumar V. Design and Development of Low Cost Data Logger for Process Parameters. *Proceedings of the 2024 5th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*. IEEE, 2024. P. 1097–1104. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08350-1>

29. Krainyk Y., Davydenko Y., Tomas V. Configurable control node for wireless sensor network. *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*. IEEE, 2019. P. 258–262.

30. Kahla R. B., Ghezail F., Harbaoui I. Data Acquisition System for Hydroponic Culture: A Comprehensive Study and Implementation of Scale Model. *Proceedings of the 2023 IEEE 3rd International Conference on Signal, Control and Communication (SCC)*. IEEE, 2023. P. 1–6.

31. Widhalm D., Goeschka K. M., Kastner W. Node-level indicators of soft faults in wireless sensor networks. *Proceedings of the 2021 40th International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS)*. IEEE, 2021. P. 13–22.

32. Eridani D., Rochim A. F., Cesara F. N. Comparative performance study of ESP-NOW, Wi-Fi, bluetooth protocols based on range, transmission speed, latency, energy usage and barrier resistance. *Proceedings of the 2021 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*. IEEE, 2021. P. 322–328.

					КВПКІ. 210360.21.03.63 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

33. Hercog D., Tabaković Z., Vasiljević G., Čurković L. Design and implementation of ESP32-based IoT devices. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 15. Article 6739.

34. Shukla A., Diwan R. IoT based load automation with remote access surveillance using ESP 32 Cam and ESP 8266 module. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25, No. 3. P. 6904–6914.

35. Litayem N., Al-Sa'di A. Exploring the programming model, security vulnerabilities, and usability of ESP8266 and ESP32 platforms for IoT development. *Proceedings of the 2023 IEEE 3rd International Conference on Computer Systems (ICCS)*. IEEE, 2023. P. 150–157.

36. Santos L., Guimarães N., Rodrigues J., Pereira A. Performance assessment of ESP8266 wireless mesh networks. *Information*. 2022. Vol. 13, No. 5. Article 210.

37. Zinkevich A. V. ESP8266 microcontroller application in wireless synchronization tasks. *Proceedings of the 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. IEEE, 2021. P. 670–674.

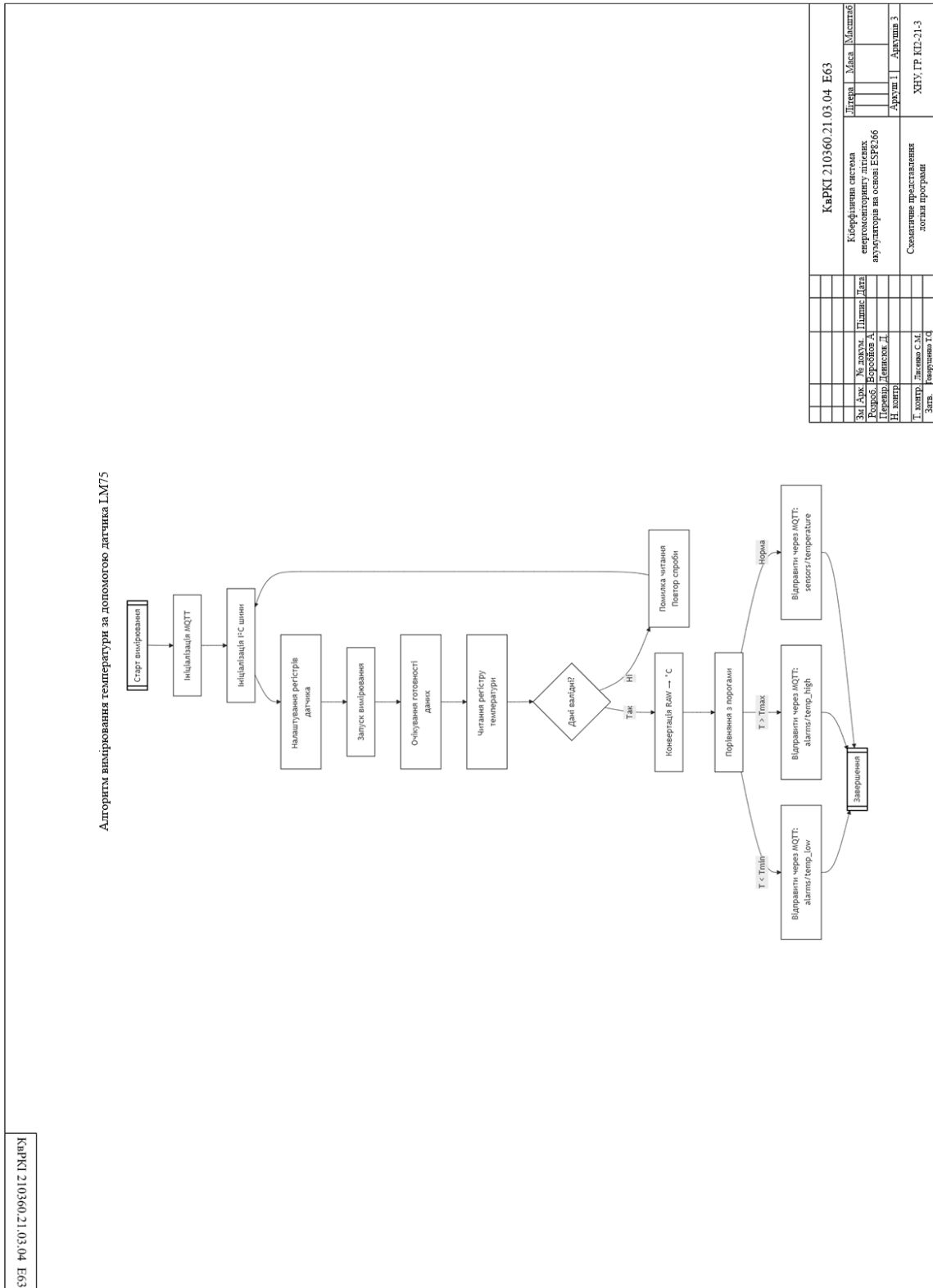
38. Telicko J., Jakovics A. Power efficient wireless monitoring system based on ESP8266. *Proceedings of the 2022 IEEE 63th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. IEEE, 2022. P. 1–6.

39. Mituletu I. C., Muresan V. Wireless Communication System with High Data Flow using an ESP32-Based Interface. *Proceedings of the 2024 5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*. IEEE, 2024. P. 1–6.

40. Mohsin A. S. M., Choudhury S. H., Das B. Deployment of real time effluent treatment plant monitoring and future prediction using machine learning. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2025. Vol. 22, No. 7. P. 5987–6004.

Додаток Б (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАВАЧА LM75»



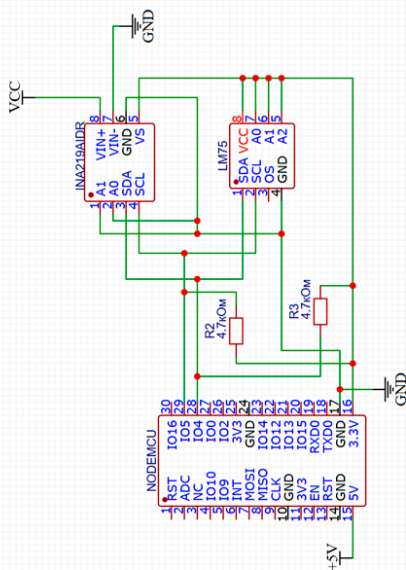
КАРКІ 210360.21.03.04.Е63

КАРКІ 210360.21.03.04.Е63											
Зм. Дов.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Місяць	Місяць	Місяць	Місяць	Місяць	Місяць	Місяць
Розроб.	Борисюк А.										
Н. контр.	Денисюк Д.										
Т. контр.	Лавченко С.М.										
Затв.	Гавришова Г.О.										
Кібербезпека системи енергооператору літєвих аеропортів на основі ЕСРЗ.06											
Семантичне представлення логіки програми											
ХНУ, ГР, КІБ-21-3											

Додаток В (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА ІС-ЗВ'ЯЗКУ INA219 ТА LM75 З NODEMCU»

Схема підключення модуля INA219 та LM75 до мікроконтролера NodeMCU через інтерфейс ІС



КаРКІ 210360.21.03.04_E63

КаРКІ 210360.21.03.04_E63			
Зм. Дав.	№ зам.	Підпис	Дата
	Борисова А.		
	Перевіз	Денисов Д.	
	Н. конгр.		
			Архив 1
			Архив 3
			ХМУ/ГР/КД-21-3
Кіберфінанс створена енергооптимізу платформу аудиторів на основі ESP8266			
Схема ІС-зв'язку INA219 та LM75 з NodeMCU			
Г. конгр.	Денисов С.М.		
Зібр.	Козубченко І.О.		

Завідувачу кафедри КІС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Воробйов Артем Андрійович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-3

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.06 2025 року



РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Воробйов Артем Андрійович

Тема: Кіберфізична система енергомоніторингу шпівевих акумуляторш на основіESP8266

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень - 3 __ Кількість сторінок записки __66__

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: У кваліфікаційній роботі розроблено кіберфізичну систему енергомоніторингу на базі ESP8266 NodeMCU з використанням сенсорів INA219 і LM75 для вимірювання струму, напруги та температури, що здійснює передачу даних у реальному часі через MQTT-протокол з метою підвищення надійності та ефективності автономних джерел живлення.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю віщповіщає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного роздішу, стущінь використання останіох досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз фізико-хімічних процесів деградації літєсвих батарей, окреслено ключою параметри оцїнки стану SoC/SoH, розглянуто сучасні проблеми моніторингу.

У другому розділі обгрунтовано вибір елементної бази: ESP8266, INA219, LM75; описано архітектуру системи, зокрема структурно-функціональні блоки та блок-схеми контролю стану батарей.

У третьому розділі реашізовано програмно-апаратну частину системи в середовищі Arduino IDE: налагоджено обмін даними через MQTT, впроваджено подійно-орієнтований цикл управління та режим зниженого енергоспоживання-, реалізовано алгоритми ідентифікації режимів роботи акумулятора.

Робота використовує сучасю підходи до побудови IoT-систем, застосовує принципи подійно-орієнтованої архіпектури та враховує обмеження для енергоефективної роботи в розподілених системах.

4. Позитивні сторони роботи: Робота має чітко виражену прикладну спрямованість, демонструє здатність до впровадження у практичні енергетичні системи. Високий ступінь технічної деталізації та використання відкритих протоколів робить систему гнучкою для адаптації й масштабування.

5. Негативні сторони роботи: У реалізованій системі відсутня перевірка надійності передачі даних при нестабільному з'єднанні з MQTT-брокером, що може призвести до втрати критичних телеметричних повідомлень.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена згідно з діючими стандартами, графічні матеріали структуровані логічно, якісно доповнюють зміст та розкривають архітектуру реалізованої системи.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

доц каф ТМІТ. к.т.н. Пивовар О.С.

“ 6 ” 06 2025 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі ESP8266

Автор: Артем ВОРОБІЙОВ

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: ДЕНИСЮК Дмитро Олександрович, старший викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

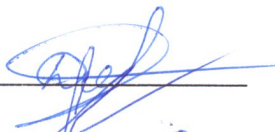
- 1) запозичення розміщені переважно в оглядових розділах (аналіз аналогів, технічна база), які не описують безпосередньо авторське дослідження та не впливають на результати роботи;
- 2) усі запозичення є фрагментарними або належним чином оформлені з відповідними посиланнями на джерела;
- 3) частина виявлених збігів стосується загальнозживаної технічної лексики або термінології, яка не підлягає авторському праву;
- 4) система зафіксувала незначні технічні моменти на кшталт мікропробілів та заміни символів, які не свідчать про спробу маніпуляцій;
- 5) усі зафіксовані системою ознаки можливих модифікацій тексту стосуються технічних позначень, таких як використання латинських символів у назвах електронних компонентів (наприклад, ESP8266, INA219, MQTT),


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3.85%; та системою Anti-Plagiarism складає 2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС





Дмитро ДЕНИСЮК

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 12%**

ID: 243378 Title: БКР Кіберфізична система енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі ESP8266 Added in a DB: 2025-06-04 Authors: Артем ВОРОБІЙОВ Heads: Дмитро ДЕНИСІЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	92331	620	726 (1%)	12 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагиату щодо роботи:

Автор: Артем ВОРОБІЙОВ

Співавтор:

Назва: Воробйов_Кіберфізична система енергомоніторингу літєвих акумуляторів на основі ESP8266

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 3.8%

Коефіцієнт подібності 2: 14%

Мікропробіли: 8

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-04 19:15:42.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагиатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагиатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагиат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагиату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-04



Доцент Андрій Нічепорук

Дата

експерт