

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЙ
(повне назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка системи трекінгу (керування) сонячної електростанції зі
збором кліматичних показників»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4ПР5
напряму підготовки (спеціальності)

121 «Інженерія програмного забезпечення»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Дузенко Сніжана Олександрівна

(прізвище та ініціали)

Керівник ст. викладач Комісаров О. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Вишемирська С.В.

(прізвище та ініціали)

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет, відділення	<u>Інформаційних технологій та дизайну</u>
Кафедра, циклова комісія	<u>Програмних засобів і технологій</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень	<u>бакалавр</u>
ОПП	<u>Програмування смарт-пристроїв та вбудованих систем</u> (шифр і назва)
Спеціальність	<u>121 – Інженерія програмного забезпечення</u> (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової
комісії програмних засобів і технологій

к.т.н.; доцент О. Є. Огнєва

« 20 » січня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дузенко Сніжана Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Розробка системи трекінгу (керування) сонячної
електростанції зі збором кліматичних показників»

керівник проєкту (роботи) старший викладач Комісаров Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» січня 2025 року № 98-с

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Огляд існуючих аналогів системи трекінгу
сонячної електростанції, технічні характеристики системи відстеження, алгоритм для
відстеження сонця, алгоритм взаємодії компонентів та позиціонування панелі відносно
Сонця. Алгоритм отримання та відправки даних за протоком MQTT, функції обробки
даних та формування звітів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Дослідження та аналіз предметної області, вибір апаратних компонентів і проєктування
системи трекінгу. Розробка кількох поведінкових алгоритмів трекінгу відносно
обраного режиму. Програмна реалізація системи, апаратна реалізація системи,
тестування і впровадження системи трекінгу сонця

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
65 рисунків, 10 таблиць, Схема електричних з'єднань компонентів у додатку Б
(4 рисунки), блок-схема алгоритму стеження за сонцем у додатку В (2 рисунки) Екрані
форми програми у додатку Д (23 рисунка), комп'ютерна презентація,

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Отримання завдання	09.02.2025	Виконано
2.	Підбір літератури	10.02.2025 – 25.02.2025	Виконано
3.	Аналіз предметної області	28.02.2025 – 10.03.2025	Виконано
4.	Розробка концептуальної моделі	12.03.2025 – 22.03.2025	Виконано
5.	Розробка проєктної системи	25.03.2025 – 30.03.2025	Виконано
6.	Розробка та проєктування баз даних	02.04.2025 – 10.04.2025	Виконано
7.	Розробка інтерфейсу додатка	12.04.2025 – 20.04.2025	Виконано
8.	Написання вихідного коду програми	21.04.2025 – 16.05.2025	Виконано
9.	Оформлення пояснювальної записки	16.05.2025- 02.06.2025	Виконано
10.	Захист кваліфікаційної роботи	17.06.2025	Виконано

Здобувач _____

(підпис)

С.О. Дузенко _____

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____

(підпис)

О.С. Комісаров _____

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 135 сторінок, 65 рисунки, 5 додатків, 45 джерел, 10 таблиць.

Мета дослідження – розробка комплексної системи трекінгу сонячної електростанції, з можливістю збору кліматичних показників у режимі реального часу.

Об’єкт дослідження – процес автоматичного позиціонування сонячної панелі для підвищення її енергоефективності.

Предмет дослідження – алгоритми, технічні рішення та засоби реалізації системи автоматичного трекінгу сонячної панелі з функціями моніторингу кліматичних умов і керування через мобільний застосунок.

Методи дослідження – системний аналіз існуючих рішень у галузі сонячного трекінгу, методи проектування вбудованих систем, принципи інтернету речей (IoT), методи тестування та оптимізації апаратно-програмних комплексів.

Результат роботи: 1) Розроблено прототип дорвісівої системи трекінгу сонячної панелі зі збором кліматичних показників; 2) Розроблено алгоритми керування панеллю та алгоритму збору та обробки даних, які дозволяють точно позиціонувати трекер; 3) Спроектовано та підключено базу даних з об’єктів предметної області; 4) Створено програмний модуль мобільного додатку для збору, обробки та виведення даних і передачі їх у зручний користувачу формат; 5) Проведено тестування та аналіз точності системи на реальних користувачах.

Новизна роботи: мобільний додаток, що дозволяє керувати трекером сонячної панелі, отримувати кліматичні показники, передавати інформацію через MQTT та інтегрувати з хмарною ними рішеннями БД.

Ключові слова: сонячний трекер, Інтернет речей, ESP32, Arduino Uno, мікроконтролер, кліматичний моніторинг, MQTT, Supabase, Flutter-додаток, автоматичне позиціонування, сенсори, дистанційне керування, хмарна база даних.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить наступні структурні частини: вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

Перший розділ «Дослідження та аналіз предметної області» включає огляд сучасних рішень у сфері досліджень, озглянуто сучасні методи позиціонування сонячних панелей, проаналізовано архітектурні та алгоритмічні підходи до автоматичного трекінгу, а також наведено класифікацію існуючих систем.

Другий розділ «Проектування системи трекінгу сонця» містить опис архітектури та принципів проектування системи. В ньому представлено функціональні вимоги, описано структуру системи, а також визначено основні модулі: блок зчитування сенсорних даних, блок керування положенням, інтерфейс з мобільним застосунком. Побудовано структурну модель бази даних Supabase, UML-діаграми взаємодії компонентів та проаналізовано канали зв'язку між модулями.

У третьому розділі «Програмна реалізація» розглянуто інструменти та технології, що використовуються для реалізації програмної частини системи. Проведено огляд засобів розробки, вибору MQTT як протоколу обміну повідомленнями. Описано алгоритми взаємодії компонентів системи, налаштування брокера, безпеку доступу до бази даних Supabase, підключення до тем MQTT, збереження історичних даних, обробку команд користувача та реалізацію авторизації.

Четвертий розділ «Апаратна реалізація» містить опис компонентів системи. Надано технічні характеристики мікроконтролерів та сенсорів, що використовуються в системі. Розроблено електричні схеми, описано підключення компонентів. Надано алгоритми роботи мікроконтролерів, пояснено їх взаємодію.

У п'ятому розділі «Тестування та впровадження» наведено процес впровадження системи. Визначено поетапну інструкцію: підключення та прошивка мікроконтролерів, розгортання MQTT-брокера, конфігурування

Supabase, встановлення Flutter-додатку. Здійснено тестування окремих компонентів, інтеграційне тестування, а також мануальна перевірка роботи мобільного додатку та режимів трекара.

Висновки містять результати розробки, підтвердження відповідності поставленим завданням та досягнення мети дослідження.

Результати роботи свідчать про успішну розробку прототипу інтелектуальної системи трекінгу сонячної електростанції, що продемонструвала стабільність роботи системи, масштабованість, модульність та відповідність сучасним вимогам до IoT-рішень у сфері енергозбереження.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work contains the following structural parts: introduction, four chapters, conclusions, list of references, and appendices.

The first chapter, "Research and Analysis of the Subject Area," includes a review of modern solutions in the field of study, examines current methods of solar panel positioning, analyzes architectural and algorithmic approaches to automatic tracking, and provides a classification of existing systems.

The second chapter, "Design of the Solar Tracking System," describes the architecture and design principles of the system. It presents functional requirements, outlines the system structure, and defines key modules: the sensor data acquisition block, the positioning control block, and the mobile application interface. A structural model of the Supabase database is constructed, UML diagrams of component interactions are provided, and communication channels between modules are analyzed.

The third chapter, "Software Implementation," discusses the tools and technologies used for developing the software part of the system. It reviews development frameworks, justifies the choice of MQTT as the messaging protocol, and describes the algorithms for component interaction, broker configuration, database access security in Supabase, MQTT topic subscription, historical data storage, user command processing, and authorization implementation.

The fourth chapter, "Hardware Implementation," provides a description of the system components. Technical specifications of the microcontrollers and sensors used in the system are given. Electrical schematics are developed, and component connections are explained. The algorithms for microcontroller operation are presented, along with an explanation of their interaction.

The fifth chapter, "Testing and Deployment," outlines the system implementation process. A step-by-step guide is provided, including microcontroller setup and firmware, MQTT broker deployment, Supabase configuration, and Flutter app installation. Component testing, integration testing, and manual verification of the mobile application and tracker modes are conducted.

The conclusions summarize the development results, confirm compliance with the set objectives, and demonstrate the achievement of the research goals.

The results of the work indicate the successful development of a prototype intelligent solar tracking system for solar power plants, which demonstrated system stability, scalability, modularity, and compliance with modern IoT solution requirements in energy efficiency.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	12
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	16
1.1. Опис та загальна характеристика системи трекінгу (керування) сонячної електростанції	16
1.1.1. Кліматичні показники, їх вплив на продуктивність сонячних панелей	16
1.1.2. Кут падіння сонячних променів на сонячну панель.....	18
1.2. Системи трекінгу сонця	20
1.2.1. Класифікація систем відстеження Сонця	22
1.2.2. Типи конструкції трекерів.....	24
1.3. Техніки позиціонування та інтеграція датчиків у системи відстеження сонця	28
1.3.1. Техніки позиціонування для систем стеження за сонцем.....	28
1.3.2. Інтеграція датчиків моніторингу кліматичних показників із системами трекінгу сонця	29
1.4. Огляд технологій та протоколів для побудови смарт-систем	30
1.4.1. Огляд системи Інтернету речей	30
1.4.2. Мережі та протоколи передачі даних.....	32
1.4.3. Хмарні сервіси для збору даних.....	33
1.5. Огляд існуючих рішень	34
1.6. Висновки до розділу 1	41
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТРЕКІНГУ СОНЦЯ.....	42
2.1. Постановка завдання проєктованої системи	42
2.2. Основні вимоги до програмного продукту.....	43
2.3. Архітектура системи.....	47
2.3. Проєктування апаратної частини системи відстеження Сонця.....	49
2.4. Проєктування програмного забезпечення	51
2.4.1. Структура бази даних системи	51

	10
2.4.2. Проєктування логіки мобільного додатку	58
2.5. Висновки до розділу 2	60
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	62
3.1. Вибір технологій та інструментів для розробки	62
3.1.1. Технології для програмування мікроконтролерів.....	62
3.1.2. Технології для програмування користувальницькою додатку.....	64
3.1.3. Інструменти зв'язу.	65
3.2. Налаштування MQTT	67
3.3. Алгоритм автентифікації користувача	68
3.4. Реалізація підключення до брокера.....	70
3.5. Реалізація додавання нового трекера в додаток для прослуховування .	72
3.6. Реалізація збору та попередньої обробки даних.....	73
3.7. Реалізація відправки команд	75
3.8. Реалізація складання звітів	76
3.9. Реалізація встановлення граничних значень.....	78
3.10. Розробка користувальницького інтерфейсу.....	79
3.11. Налаштування RLS в Supabase	80
3.12. Висновки до розділу 3	83
РОЗДІЛ 4. АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ	85
4.1. Огляд компонентів системи трекінгу сонячної панелі	85
4.1.1. Сенсори	85
4.1.2. Мікроконтролери	91
4.2. Принципова схема системи сонячного трекінгу, керування мікроконтролером.	95
4.2.1. Принципові схеми підключення до мікроконтролера Arduino UNO	97
4.2.2. Принципові схеми підключення до мікроконтролера Arduino ESP32	99
4.3. Алгоритм роботи мікроконтролера Arduino UNO.....	101
4.4. Алгоритм роботи мікроконтролера ESP32	106

	11
4.5. Висновки до розділу 4	114
РОЗДІЛ 5. ТЕСТУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ	116
5.1. Впровадження системи.....	116
5.1.1. Налаштування апаратної частини	116
5.1.2. Розгортання MQTT-брокера.....	117
5.1.3. Налаштування Supabase	117
5.1.4. Розгортання Flutter-додатку	118
5.2. Загальний підхід до тестування.....	119
5.3. Тестування апаратної частини	120
5.4. Тестування програмного забезпечення.....	128
5.5. Висновки до розділу 5	146
ВИСНОВКИ.....	148
ДОДАТОК А	150
ДОДАТОК Б	151
ДОДАТОК В.....	155
ДОДАТОК Г	157
ДОДАТОК Д.....	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	183

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БД – База даних

МК – Мікроконтролер

ПЗ – Програмне забезпечення

API – Інтерфейс програмування додатків (Application Programming Interface)

IoT – Internet of Things (Інтернет речей)

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport (Протокол телеметрії з чергами повідомлень)

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Універсальний асинхронний приймач-передавач)

IDE – Integrated Development Environment (Інтегроване середовище розробки)

DHT – Digital Humidity and Temperature Sensor (Цифровий датчик вологості та температури)

LDR – Light Dependent Resistor (Фоторезистор)

PK – Primary Key (Первинний ключ)

FK – Foreign Key (Зовнішній ключ)

RLS – Row-Level Security (Безпека рівня рядків)

SDK – Software Development Kit (Комплект засобів розробки програмного забезпечення)

CSV – Comma-Separated Values (Розділені комами значення)

PDF – Portable Document Format (Переносний формат документів)

QoS – Quality of Service (Якість обслуговування)

APK – Android Package

JSON – JavaScript Object Notation

SSL/TLS – Secure Sockets Layer / Transport Layer Security (Безпечний сокетний шар / Захист транспортного шару)

ВСТУП

Сучасний світ при своїх темпах розвитку має величезний попит на енергоресурси. Зараз, усі сфери життєдіяльності людини залежать від електроенергії, але нинішні основні енергоресурси, так як: вугілля, нафта, природний газ, не можуть цілком задовольнити об'єми затрачувані людьми без нанесення значної шкоди екології та виснаження родовищ. Тож, все більше уваги приділяється відновлювальним джерелам енергії, чи як їх ще називають - альтернативним джерелам енергії.

Альтернативна енергетика передбачає використання природних невикопних джерел енергії таких як енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів та інші. Одним з найбільш перспективних та активно зростаючих, в останні роки, видів видобутку енергія сонця.

Сонячна енергія – це енергія Сонця, що надходить до Землі у вигляді радіації та світла, що з'явилися в наслідок термоядерних реакцій на Сонці. Через постійність таких реакцій такий вид енергії вважається невичерпним. Для видобутку та використання енергії безпосередньо, як джерела електроенергії та тепла потребуються спеціальні технології. До таких технологій відносять сонячні електростанції. Однак ефективність роботи фотоелектричних систем значною мірою залежить від точності орієнтації панелей відносно сонця, що обумовлює актуальність розробки інтелектуальних систем трекінгу.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка комплексної системи відстеження та керування сонячною електростанцією, з можливістю збору кліматичних показників у режимі реального часу. Для досягнення цієї мети були визначені наступні задачі:

- Спроектувати архітектуру системи відстеження сонця, що здатна підтримувати функції точного позиціонування фотоелектричної панелей, а також може приймати команди для віддаленого керування через спеціальний інтерфейс;

- Забезпечити відстеження показників та збір кліматичних даних в реальному часі;
- Реалізувати збереження даних для аналізу кліматичних параметрів;
- Розробити доступ та керування декількома трекерами для користувача, а також відстеження та аналіз ефективності роботи системи.

Об’єкт дослідження – є процес автоматичного позиціонування сонячної панелі для підвищення її енергоефективності.

Предметом дослідження виступають алгоритми, технічні рішення та засоби реалізації системи автоматичного трекінгу сонячної панелі з функціями моніторингу кліматичних умов і керування через мобільний застосунок. В основі лежить розробка та впровадження мобільного додатку, який надасть користувачам зручний та ефективний інструмент для керування сонячним трекером.

Наукова новизна дослідження. Наукова новизна роботи полягає в розробці оригінальної архітектури системи, що об’єднує у собі апаратну частину з динамічним керуванням положенням панелі через різні режими, модулі збору кліматичних даних, безпечну передачу інформації через MQTT та інтеграцію з хмарною базою Supabase.

Теоретичне значення дослідження. Теоретичне значення дослідження полягає у розробці моделей архітектури з урахуванням принципів модульності, масштабованості, надійності й енергоефективності. Робота узагальнює підходи до побудови розподілених IoT-систем керування, в яких поєднуються локальні обчислювальні ресурси (мікроконтролери) та хмарна інфраструктура.

Отримані під час дослідження результати можуть бути використані для подальшого моделювання систем енергетичного моніторингу, автоматизованих керуючих систем і адаптивних платформ у сфері «розумної енергетики».

Практичне значення дослідження. Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає в тому, що розроблена система може бути легко відтворена, масштабована або адаптована для реального використання у малих та середніх приватних сонячних електростанціях, навчальних лабораторіях технічних вишів, проектах з автономного електропостачання відновлюваними джерелами енергії. Окрім того, створений програмно-апаратний комплекс є відкритим до подальшого розширення.

Апробація результатів. Отримані результати були апробовані під час тестування повнофункціонального прототипу системи, який пройшов перевірку в реальних умовах. Було виконано модульне та інтеграційне тестування апаратної частини, а також ручне тестування мобільного додатку та серверного обміну даними через MQTT. Система пройшла етап впровадження з документованим поетапним розгортанням усіх її складових – від прошивки мікроконтролерів до публікації даних у базі та візуалізації в мобільному застосунку.