

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
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка системи менеджменту і моніторингу споживання
електроенергії»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4ПР5
спеціальності

121 «Інженерія програмного забезпечення»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Балабай Данііл Юрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., ст. викладач Кибалко І. І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Вороненко М. О.

(прізвище та ініціали)

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
програмних засобів і технологій
_____ к.т.н., доцент О.Е. Огнєва
«___» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Балабай Даніїл Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка системи менеджменту і моніторингу
споживання електроенергії»

керівник проекту (роботи) к.т.н., старший викладач Кибалко Ігор Іванович
(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 проекту(роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Дослідження та аналіз предметної області, проектування системи менеджменту і
моніторингу, програмна реалізація, апаратна реалізація, тестування та впровадження

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (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 та проектування системи	25.03.2025 – 30.03.2025	Виконано
6	Розробка та проектування бази 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 – 20.05.2025	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	21.05.2025- 01.06.2025	Виконано
10	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2025	Виконано

Здобувач _____
(підпис)

Балабай Д. Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Кибалко І. І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 132 сторінки, 38 рисунка, 2 додатки, 32 джерела.

Мета роботи – розробка системи менеджменту і моніторингу споживання електроенергії з використанням сучасних інформаційних технологій та інтернету речей (IoT). Робота спрямована на створення гнучкої, масштабованої та доступної системи збору, обробки та візуалізації даних про енергоспоживання.

Об'єкт дослідження – процеси обліку та моніторингу споживання електроенергії в побутових умовах.

Предмет дослідження – архітектура, апаратне та програмне забезпечення IoT-системи, що забезпечує зчитування, збереження, обробку і відображення інформації про електроспоживання в реальному часі. Результат роботи:

Методи дослідження – аналіз існуючих рішень у сфері моніторингу електроспоживання, вивчення апаратної платформи на основі мікроконтролера ESP32, проектування архітектури IoT-системи, розробка серверної частини за допомогою FastAPI, реалізація MQTT- та REST-зв'язку, розробка клієнтського застосунку на основі ImGui, створення Telegram боту, тестування та впровадження системи у тестовому середовищі.

Результати роботи: 1) Розроблено апаратний пристрій для збору даних про енергоспоживання; 2) Реалізовано прошивку для ESP-контролера з підтримкою MQTT-протоколу; 3) Створено серверну частину з REST API, базою даних та методами обробки даних з вимірювальних пристроїв; 4) Розроблено графічну клієнтську програму для перегляду зчитувань в реальному часі та історичних даних; 5) Створено Telegram-бота для

дистанційного керування та моніторингу системою; 6) Проведено тестування та налаштування апаратної та програмної частин.

Новизна роботи полягає в комплексному підході до побудови IoT-системи моніторингу, що включає одночасну інтеграцію кількох каналів зв'язку (MQTT та REST), систему автоматичного керування пристроями (розклади), підтримку віддаленого керування через месенджер, а також масштабовану архітектуру, придатну для розширення функціоналу.

Ключові слова: менеджмент електроспоживання, моніторинг електроспоживання, клієнтський застосунок, розробка, тестування, мікроконтролери.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра має наступні структурні частини: вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

Перший розділ "Дослідження та аналіз предметної області" містить огляд джерел, присвячених системам моніторингу енергоспоживання та сучасним підходам до реалізації IoT-рішень. Розглянуто протоколи комунікації, апаратні компоненти, вимоги до точності та надійності таких систем. Проведено аналіз існуючих рішень, на основі чого сформовано вимоги до проєктованої системи.

Другий розділ "Проєктування системи" включає підрозділи: "Загальна структура та взаємозв'язки компонентів системи", "Функціональні можливості системи", "Проєктування API", "Проєктування користувацьких інтерфейсів". У розділі описано архітектуру системи, визначено її основні функції, розроблено структуру REST API та інтерфейси для взаємодії з користувачем через десктопний додаток та Telegram-бот.

Третій розділ "Програмна реалізація" охоплює реалізацію всіх програмних компонентів: серверної частини з базою даних, десктопного клієнта та Telegram-бота. Використано стек Python (FastAPI, SQLite, matplotlib, raHo-MQTT), C++ (ImGui, CPR, raHo-MQTT). Розглянуто роботу планувальника, запити до API, збереження даних, відображення історичних графіків, а також функціональність керування реле у реальному часі.

Четвертий розділ "Апаратна реалізація" складається з підрозділів: "Складові пристрою", "Схема підключення мікроконтролера", "Головна прошивка ESP32", "Калібрування вимірювань". Розглянуто побудову апаратної частини на базі ESP32, використання сенсорів струму (ACS712), напруги (ZMPT101B), реле HW-307. Детально описано прошивку, яка забезпечує вимірювання параметрів енергоспоживання та комунікацію через MQTT.

П'ятий розділ "Тестування та впровадження" містить розгляд процесу перевірки функціонування всієї системи: тестування MQTT-зв'язку, REST API, бази даних, десктопного клієнта та Telegram-бота. Наведено результати перевірки функціональності, точності та стабільності, а також описано впровадження усіх компонентів системи.

ANNOTATION

The bachelor's thesis has the following structural parts: introduction, five chapters, conclusions, references and appendices.

The first chapter, “Research and Analysis of the Subject Area,” contains a review of sources on energy monitoring systems and modern approaches to implementing IoT solutions. The communication protocols, hardware components, accuracy and reliability requirements for such systems are discussed. An analysis of existing solutions was conducted, based on which the requirements for the designed system were formed.

The second section “System Design” includes subsections: “General structure and interconnections of system components”, “System functionality”, “API design”, “User interface design”. The chapter describes the system architecture, defines its main functions, develops the REST API structure and interfaces for user interaction through the desktop application and Telegram bot.

The third chapter, “Software Implementation,” covers the implementation of all software components: the server side with a database, the desktop client, and the Telegram bot. We used the Python stack (FastAPI, SQLite, matplotlib, paho-MQTT), C++ (ImGui, CPR, paho-MQTT). The work of the scheduler, API requests, data storage, display of historical graphs, and the functionality of real-time relay control are considered.

The fourth section "Hardware Implementation" consists of subsections: "Device Components", "Microcontroller Wiring Diagram", "ESP32 Main Firmware", "Measurement Calibration". The construction of the hardware based on ESP32, the use of current sensors (ACS712), voltage sensors (ZMPT101B), and relay HW-307 are considered. The firmware that provides measurement of power consumption parameters and communication via MQTT is described in detail.

The fifth chapter, "Testing and Deployment," discusses the process of testing the entire system: testing MQTT communication, REST API, database, desktop

client, and Telegram bot. The results of functionality, accuracy, and stability testing are presented, and the implementation of all system components is described.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	12
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ...	16
1.1. Проблематика та актуальність контролю та обліку енергоспоживання.....	16
1.2. Огляд існуючих рішень для моніторингу електроенергії.....	17
1.3. Архітектура IoT-систем: мікроконтролери, брокери, клієнти	21
1.4. Методи вимірювання споживання електроенергії	23
1.5. Протоколи зв'язку: MQTT, REST API.....	26
1.6. Аналіз вимог до системи моніторингу споживання.....	28
Висновки до розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	32
2.1. Загальна структура та взаємозв'язки компонентів системи.....	32
2.2. Апаратні компоненти пристрою.....	34
2.3. Проектування серверної частини	38
2.4. Проектування клієнтських програм.....	41
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	44
3.1. Обробка даних з пристроїв	44
3.2. Реалізація серверної частини	55
3.3. Планувальник	66
3.4. Клієнтська програма	69
3.5. Telegram-бот	91
Висновки до розділу 3	96
РОЗДІЛ 4. АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ	97
4.1. Схема підключення мікроконтролера та компонентів.....	97
4.2. Прошивка головного мікроконтроллера	98
4.3. Калібрування точності вимірювань	102

	11
Висновки до розділу 4	104
РОЗДІЛ 5. ТЕСТУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ.....	105
5.1. Тестування та впровадження апаратної частини.....	105
5.2. Тестування та впровадження серверної частини.....	107
5.3. Тестування та впровадження клієнтської програми	110
5.4. Тестування та впровадження Telegram-бота.....	113
Висновки до розділу 5	115
ВИСНОВКИ.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	118
ДОДАТОК А.....	120
ДОДАТОК Б	126

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – Програмне забезпечення;

IoT – Internet of thing;

МК – Мікроконтролер;

БД – База даних;

API – Прикладний програмний інтерфейс;

MQTT – Протокол передачі повідомлень;

HTTP – Протокол передачі гіпертекстових документів;

HTTPS – Захищений протокол передачі гіпертекстових документів;

SSL – Криптографічний протокол;

ВСТУП

Ефективне використання електроенергії є одним із пріоритетних завдань сучасного суспільства в умовах зростання енергоспоживання, підвищення тарифів та екологічної нестабільності. Одним із способів вирішення цієї проблеми є впровадження систем моніторингу та обліку енергоспоживання, що дозволяють у режимі реального часу відстежувати дані, аналізувати витрати та виявляти потенційні шляхи до оптимізації.

Завдяки розвитку Інтернету речей (IoT) стало можливим створювати доступні, гнучкі та масштабовані рішення для енергомоніторингу. Такі системи здатні об'єднувати мікроконтролери, датчики, сервери та клієнтські застосунки в єдину інфраструктуру, що забезпечує автоматичний обмін даними, зручне керування та віддалений доступ до інформації через сучасні інтерфейси – вебклієнти, мобільні додатки чи месенджери.

У цій роботі розглядається практична реалізація повнофункціональної IoT-системи моніторингу енергоспоживання, яка включає апаратну частину (мікроконтролери з датчиками), серверну частину (REST API, брокер MQTT), клієнтське програмне забезпечення та Telegram-бота для взаємодії з користувачем. Увагу приділено точності вимірювань, стабільності зв'язку, зручності інтерфейсу та можливості гнучкого розширення системи.

Метою дослідження є проєктування та створення системи обліку і моніторингу електроспоживання на базі IoT-платформи, яка забезпечує вимірювання, зручну візуалізацію, історичний аналіз даних та інтеграцію з користувачем через різні канали комунікації.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі рішення в сфері енергомоніторингу;
- вивчити структуру IoT-систем і протоколи взаємодії (MQTT, REST API);
- спроектувати архітектуру системи моніторингу;
- розробити апаратну частину пристрою з можливістю точного вимірювання споживання;

- реалізувати серверну частину для зберігання, обробки та надання даних;
- створити клієнтське програмне забезпечення для візуалізації інформації;
- додати функціональність Telegram-бота для зручного доступу до показників;
- провести тестування та оцінити ефективність розробленого рішення.

Об'єктом дослідження є система моніторингу та контролю енергоспоживання, побудована з використанням технологій Інтернету речей (IoT), яка включає апаратні та програмні компоненти для збору, обробки, збереження та візуалізації даних про електроспоживання.

У центрі уваги знаходиться розподілена архітектура, що включає мікроконтролери, сенсори струму та напруги, бездротові комунікаційні протоколи (зокрема MQTT), серверну інфраструктуру та клієнтські інтерфейси (десктопна програма, Telegram-бот), які взаємодіють між собою для забезпечення повного циклу обліку енергії. Такі системи актуальні для побутових, комерційних та промислових об'єктів, де важливо забезпечити точний облік, оперативне виявлення перевитрат та своєчасне управління навантаженням.

Предметом дослідження є методи та засоби побудови програмно-апаратної IoT-системи, що забезпечує:

- збір даних з енергетичних сенсорів через мікроконтролери;
- передачу даних за допомогою протоколів MQTT та REST API;
- обробку та зберігання даних на сервері;
- представлення інформації у вигляді графіків, таблиць та повідомлень у клієнтських інтерфейсах;
- реалізацію додаткових функцій, таких як розклад виконання дій (планувальник) та віддалене керування пристроями.

Дослідження охоплює розробку структурної архітектури системи, вибір відповідних апаратних компонентів (мікроконтролер, сенсори, плати живлення), проєктування та імплементацію серверної логіки та клієнтських програм, а також оптимізацію точності вимірювань і способів масштабування системи для майбутнього розширення.

Наукова новизна одержаних результатів. Визначено ефективність розробленої системи через проведення експериментів та порівняння з існуючими рішеннями у відповідній області застосування.

Апробація результатів. Запропонована система може бути адаптована для використання як у побуті, так і в промислових об'єктах, закладах освіти, адміністративних приміщеннях або на підприємствах, де важливий постійний контроль енергоспоживання з метою економії ресурсів, створенню звітності по споживанню та виявлення аномалій.