

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 керування розумним будинком з
підтримкою IoT-технологій»

Виконала: здобувач 4 курсу, групи 4ПР5

напряму підготовки (спеціальності)

121 «Інженерія програмного забезпечення»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Фідіна Катерина Вікторівна

(прізвище та ініціали)

Керівник

ст. викладач Комісаров О. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

к.т.н., доцент Вишемирська С. В.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2025

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

Фідіної Катерини Вікторівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка системи керування розумним будинком з підтримкою IoT-технологій»

керівник проекту (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 проекту(роботи) 17.06.2025

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічні умови та характеристики апаратної платформи (ESP32-H2/S3, датчики, актуатори), готові ESP-IDF проекти прошивок (sensor_node, controller_node, hub_node), YAML-конфігурації Home Assistant (sensor, switch, automations), сертифікати TLS та конфігурації безпеки (RCP, MQTT over TLS).

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 62 рисунки, 12 таблиць
Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	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	09.02.2024	Виконано
2	Підбір літератури	10.02.2024 – 20.02.2024	Виконано
3	Аналіз предметної області	20.02.2024 – 05.03.2024	Виконано
4	Розробка концептуальної моделі	06.03.2024 – 15.03.2024	Виконано
5	Розробка та проектування системи	16.03.2024 – 28.03.2024	Виконано
6	Розробка та проектування апаратної частини	29.04.2024 – 10.04.2024	Виконано
7	Розробка інтерфейсу користувача	10.04.2024 – 15.04.2024	Виконано
8	Написання вихідного коду програми	16.04.2024 – 15.05.2024	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	16.05.2024- 28.05.2024	Виконано
10	Захист кваліфікаційної роботи	17.06.2024	Виконано

Здобувач _____

(підпис)

К.В.Фідіна _____

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____

(підпис)

О.С.Комісаров _____

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 147 сторінок, 62 рисунки, 4 додатки, 40 джерел, 12 таблиць.

Мета роботи – розробка системи керування розумним будинком з акцентом на економію ресурсів та використання IoT-технологій. Робота спрямована на створення ефективної, доступної і масштабованої системи, яка дозволить користувачам зручно та економічно управляти основними функціями розумного будинку.

Об'єкт дослідження – програмне забезпечення та апаратна частина для управління енергоефективним розумним будинком.

Предмет дослідження – процеси розробки, проектування та впровадження системи розумного будинку з акцентом на оптимізацію споживання енергії. Головними аспектами досліджень є розробка програмного забезпечення для контролю компонентів розумного будинку, проектування апаратної частини з підтримкою IoT, а також налаштування комунікаційних протоколів для роботи з мікроконтролерами.

Методи дослідження – аналіз та порівняння існуючих технологій для побудови розумного будинку; теоретичний аналіз інформаційних джерел щодо IoT-технологій та енергозберігаючих систем; моделювання архітектури програмного забезпечення; розробка прототипу, його тестування та вдосконалення. Основну увагу приділено вибору компонентів і розробці програмного забезпечення з фокусом на мінімізацію витрат енергії.

Результат роботи:

1) Розроблено адаптивний веб-інтерфейс у Home Assistant, що дозволяє в реальному часі відстежувати рівень освітленості, температуру, вологість та інші показники, а також гнучко налаштовувати сценарії для всіх підключених пристроїв; 2) Реалізовано надійний шар обміну даними між центральним

контролером і віддаленими вузлами, який автоматично оптимізує інтервали опитування сенсорів залежно від поточної активності; 3) Створено набір адаптивних алгоритмів, що коригують роботу освітлення, опалення та вентиляції на основі аналізу температурних трендів, рівня освітленості і присутності людей; 4) Розроблено апаратну частину проекту з використанням доступних датчиків, контролерів та реле для ефективного управління енергоспоживанням;

Новизна роботи: розроблена система забезпечує автоматичне управління з акцентом на економію енергоресурсів та адаптивне налаштування, що дозволяє знижувати витрати за допомогою інтелектуального підходу до управління ресурсами в будинку.

Ключові слова: розумний будинок, управління енергоспоживанням, IoT, проектування, апаратна частина, програмне забезпечення, оптимізація, мікроконтролер, сенсор, контролер, мережа.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, п'яти основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У роботі розглянуто питання розробки системи керування «розумним будинком» з підтримкою IoT-технологій та з акцентом на енергоефективність та економію ресурсів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми в контексті зростаючих вимог до енергоощадності та комфортного середовища проживання. У першому розділі виконано аналіз предметної області: визначено основні концепції Інтернету речей, класифіковано архітектури «розумних» екосистем, проведено порівняння комерційних рішень за критеріями масштабованості, безпеки та сумісності із відкритими протоколами (Thread, MQTT, Wi-Fi).

Другий розділ присвячено проєктуванню трирівневої архітектури. У третьому розділі описано розробку вбудованого ПЗ із використанням ESP-IDF, OpenThread і MQTT over TLS, реалізацію механізмів автентифікації й шифрування даних, а також алгоритмів автоматичного керування мікрокліматом, освітленням, вентиляцією, захистом від протікань і моніторингу якості повітря.

Четвертий розділ «Апаратна реалізація» детально висвітлює підбір компонентів, схеми підключення сенсорів і виконавчих механізмів, конструктивну організацію плати хаба та вузлів, а також питання енергоефективного живлення. У п'ятому розділі наведено результати тестування: функціональні випробування в реальних умовах та оцінку продуктивності MQTT-обміну, підтвердження стабільності та швидкодії системи та виокремлено напрями подальшого розвитку.

Практична цінність роботи полягає в створенні доступного та масштабованого рішення для автоматизації житлових приміщень із підтвердженою ефективністю в реальних умовах експлуатації.

ABSTRACT

The bachelor's thesis comprises an introduction, five main chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The work addresses the design of a “smart home” control system leveraging IoT technologies, with a focus on energy efficiency and resource conservation.

In the introduction, the relevance of the topic is justified by the growing demands for energy saving and a comfortable living environment. Chapter 1 presents an analysis of the subject area: it defines the core concepts of the Internet of Things, classifies smart-ecosystem architectures, and compares commercial solutions in terms of scalability, security, and compatibility with open protocols (Thread, MQTT, Wi-Fi).

Chapter 2 is devoted to the design of a three-tier architecture. Chapter 3 describes the development of the embedded firmware using ESP-IDF, OpenThread, and MQTT over TLS, the implementation of authentication and data-encryption mechanisms, and the algorithms for automatic control of microclimate, lighting, ventilation, leak protection, and air-quality monitoring.

Chapter 4, “Hardware Implementation,” details the selection of components, wiring diagrams for sensors and actuators, the structural organization of the hub and node PCBs, and issues related to energy-efficient power supply. Chapter 5 presents the testing results: functional trials under real-world conditions, an evaluation of MQTT performance, confirmation of the system's stability and responsiveness, and outlines directions for further development.

The practical significance of this work lies in creating an affordable and scalable solution for residential automation, with demonstrated effectiveness in real-life operation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	17
1.1 Системи «Розумний будинок»	17
1.2 Концепція Інтернету речей (IoT)	21
1.3 Класифікація систем «розумний будинок»	26
1.4 Порівняння існуючих систем «Розумний будинок».....	31
1.5 Постановка задачі.....	38
Висновки до розділу 1	39
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	41
2.1 Загальний опис проектованої системи.....	41
2.2 Апаратні компоненти системи розумного будинку	43
2.2.1 Апаратна структура хаба.....	45
2.2.2 Апаратна структура вузлів.....	47
2.2.3 Характеристика датчиків	50
2.2.4 Характеристика актуаторів.....	55
2.2.5 Характеристика додаткових модулів.....	58
2.3 Розробка сценаріїв автоматизації	59
2.4 Алгоритми роботи мікроконтролерів.....	63
2.4 Функціональна схема системи.....	71
2.5 Гібридна система зв'язку з використанням Thread та Wi-Fi	79
2.6 Заходи безпеки в системі.....	83
Висновки до розділу 2	86
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	88
3.1 Програмування мікроконтролерів.....	88
3.1.1 Вибір середовища розробки.....	88

	9
3.1.2 Налаштування середовища (ESP-IDF, компоненти)	90
3.1.2 Ініціалізація мережевого стека OpenThread	92
3.1.3 Конфігурація клієнта esp-mqtt із TLS	96
3.2 Опис алгоритмів керування системою.....	98
3.2.1 Алгоритм збору даних із сенсорів	99
3.2.2 Прийняття рішень і керування актуаторами.....	100
3.2.3 Інтеграція з хмарою (MQTT ↔ Home Assistant)	101
3.4 Інтеграція із Home Assistant	105
Висновки до розділу 3	110
Розділ 4. Апаратна реалізація	111
4.1 Модульна апаратна архітектура	111
4.2 Центральний хаб як Thread Border Router.	112
4.3 Сенсорні вузли.....	115
4.3.1 ESP32-H2 сенсорний вузол.....	115
4.3.2 ESP32-H2 виконавчий вузол.....	117
4.4 Пріоритетне планування задач FreeRTOS	118
4.5 Підтримка low-power режимів	121
4.6 Живлення системи.....	123
Висновки до розділу 4	125
Розділ 5. Тестування та Реалізація	126
5.1 Збірка та запуск прототипу	126
5.2 Налаштування користувацького інтерфейсу.....	127
5.3 Мануальне тестування	129
5.4 Керівництво користувачеві	137
5.5 Напрями розвитку	140
Висновки до розділу 5	141
ВИСНОВКИ.....	142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	143
ДОДАТОК А.....	148

	10
ДОДАТОК Б	152
ДОДАТОК В	153
ДОДАТОК Г	155

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – Програмне забезпечення;
IoT – Internet of thing;
МК – Мікроконтролер;
BR – Border Router;
TBR – Thread Border Router;
ОС – Операційна система;
ЕЗ – Енергозберігаючий;
КР – Контролер реле;
API – Application Programming Interface
ESP-IDF – Espressif IoT Development Framework
GPIO General-Purpose Input/Output
I²C – Inter-Integrated Circuit
BLE – Bluetooth Low Energy
CPU – Central Processing Unit
CRC – Cyclic Redundancy Check
DFS – Dynamic Frequency Scaling
JSON – JavaScript Object Notation
LEDC – LED Controller (ESP32 PWM-субсистема)
MQTT – Message Queuing Telemetry Transport
PMU – Power Management Unit
RCP – Radio Co-Processor
RTC – Real-Time Clock
SoC – System on Chip
SPIFFS – SPI Flash File System
TLS – Transport Layer Security
UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
vTask – FreeRTOS Task (віртуальний потік виконання)

ВСТУП

У сучасних умовах автоматизація будинку перетворилася на надзвичайно гнучку систему, яку користувач може легко адаптувати відповідно до своїх потреб. Концепція розумного будинку дозволяє власникам визначати, які пристрої встановлювати і для яких завдань їх використовувати. Найпоширеніші автоматизовані дії включають керування освітленням, кліматом та системами безпеки, такими як автоматичне сповіщення про вторгнення, пожежу чи витік води.

У даній роботі представлено розробку системи керування розумним будинком із використанням IoT-технологій та інтерфейсу Home Assistant для зручної взаємодії з користувачем. Home Assistant є відкритою платформою для автоматизації, яка дозволяє легко інтегрувати різноманітні пристрої та контролювати їх через єдиний інтерфейс. Основним завданням є створення системи, яка об'єднає розумні датчики та виконавчі пристрої, дозволяючи користувачеві отримувати інформацію в режимі реального часу, а також керувати пристроями за допомогою інтуїтивного інтерфейсу.

Система складається з трьох основних типів пристроїв:

- Хаб (контролер) – центральний пристрій, що об'єднує всі компоненти та забезпечує їхнє підключення до Інтернету.
- Датчики – пристрої, які зчитують інформацію про стан навколишнього середовища (температура, вологість, рух тощо).
- Актуатори – виконавчі пристрої, що виконують команди на основі зібраних даних (вмикання освітлення, регулювання температури тощо).

Особлива увага у цьому проєкті приділяється розробці інтерфейсу для користувача, який дозволяє зручно моніторити та керувати станом будинку. За допомогою інтеграції з Home Assistant планується забезпечити збирання, обробку та візуалізацію даних від датчиків, що дозволить не лише

контролювати поточний стан системи, а й автоматизувати виконання різних дій на основі заданих умов.

Актуальність теми. Незважаючи на значний прогрес у сфері розробки смарт-систем контролю, існують певні прогалини, зокрема, щодо інтеграції новітніх мікроконтролерів, таких як ESP32-H2, у системи «Розумного будинку» з підтримкою протоколу Thread. Це відкриває можливості для створення більш енергоефективних та надійних бездротових мереж, що є особливо актуальним в умовах сучасних енергетичних викликів. Особливо важливим є впровадження таких технологій в Україні, де питання енергоефективності та безпеки житла набувають все більшої актуальності. Розробка доступних та ефективних систем керування розумним будинком сприятиме підвищенню якості життя громадян, оптимізації споживання енергоресурсів та інтеграції сучасних технологій у побут. Крім того, впровадження таких технологій сприятиме розвитку вітчизняного ринку IoT-рішень та підвищенню конкурентоспроможності українських виробників на міжнародній арені.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є розробка та впровадження системи керування розумним будинком із використанням IoT-технологій, яка надасть користувачам можливість ефективно моніторити та контролювати різні аспекти життєдіяльності будинку. Важливим елементом розробки є інтеграція системи з Home Assistant для створення зручного інтерфейсу взаємодії з користувачем. Це дозволить легко керувати пристроями та отримувати інформацію в режимі реального часу.

Основні завдання дослідження включають:

1. Огляд та вибір апаратних компонентів: дослідження різних варіантів сенсорів, виконавчих пристроїв та мікроконтролерів, які будуть використовуватися у системі.

2. Розробка архітектури системи: створення схеми взаємодії між компонентами системи (хаб, датчики, актуатори), інтеграція їх з IoT-платформами та налаштування протоколів обміну даними.

3. Розробка програмного забезпечення для контролера: написання програмного забезпечення для хабу на основі мікроконтролерів ESP32, яке забезпечуватиме збір даних з датчиків та управління актуаторами.

4. Інтеграція з Home Assistant: налаштування взаємодії між компонентами системи та платформою Home Assistant для створення користувацького інтерфейсу, який дозволить контролювати систему та автоматизувати виконання дій.

5. Тестування системи у реальних умовах: перевірка роботи системи в реальних умовах, аналіз точності збирання даних, реагування на події та стабільності роботи інтерфейсу.

6. Аналіз можливостей розширення системи: оцінка потенціалу системи для підключення додаткових пристроїв та датчиків, можливість масштабування рішення.

Загалом, система повинна працювати бездротово, забезпечувати надійний зв'язок між датчиками та хабом, бути енергоефективною та здатною до автономної роботи у разі відключення живлення.

Об'єкт дослідження - це система автоматизації розумного будинку, яка включає апаратну частину (контролери, сенсори, актуатори) та програмне забезпечення для моніторингу та управління станом будинку, що забезпечує автоматизацію побутових процесів через інтеграцію з хмарними сервісами.

Предмет дослідження - це процес розробки та впровадження даної системи керування, з акцентом на використання сучасних IoT-технологій, протоколу Thread, інтеграції з платформою Home Assistant та оптимізації енергоспоживання, що дозволяє підвищити ефективність автоматизації житлових приміщень.

Методи дослідження

1. Аналіз апаратних компонентів: вибір відповідних сенсорів і актуаторів на основі їхніх технічних характеристик, зокрема чутливості, точності та сумісності з контролерами.

2. Моделювання і прототипування системи: створення прототипу системи на основі мікроконтролера ESP та макетних плат, що дозволить протестувати основні функції перед фінальною реалізацією.

3. Налаштування програмного забезпечення для контролера: написання та оптимізація коду, що забезпечує збирання даних з датчиків та передачу їх у Home Assistant для подальшої обробки та керування актуаторами.

4. Тестування системи в реальних умовах: запуск прототипу в умовах, близьких до реальних, з метою перевірки коректності роботи сенсорів, актуаторів, хабу та інтерфейсу користувача.

5. Оцінка ефективності і надійності системи: аналіз швидкості та стабільності передачі даних, затримок у виконанні команд, оцінка енергоспоживання та інших критичних параметрів для оцінки готовності системи до повсякденної експлуатації.

Наукова новизна. Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці енергоефективної системи керування розумним будинком з підтримкою IoT-технологій, що інтегрує бездротові технології Wi-Fi та Thread для забезпечення стабільного зв'язку між сенсорами, виконавчими пристроями та центральним хабом. В ході роботи було здійснено комплексне дослідження інтеграції мікроконтролера ESP32-H2 у систему розумного будинку з використанням протоколів Thread та Wi-Fi для забезпечення надійного бездротового зв'язку між пристроями. Розроблено нову архітектуру керування, що передбачає використання Thread Border Router на базі nRF52840 як шлюзу між Thread-мережею внутрішніх пристроїв та Home Assistant, що дозволяє підвищити масштабованість та енергоефективність системи. Формалізовано підхід до інтеграції багатоканального I²C-мультиплексора TCA9548A для ефективного підключення великої кількості сенсорів з мінімальними апаратними витратами.

Практичне значення результатів. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку IoT-систем автоматизації житлових та комерційних приміщень, а також для створення ефективних і безпечних

рішень у сфері енергозбереження та розумного управління ресурсами. Використання доступних IoT-рішень та відкритих платформ дозволяє знизити вартість впровадження системи, при цьому забезпечуючи високу надійність та можливість масштабування під специфічні потреби користувачів.

Система також може використовуватися як навчальний інструмент для вивчення принципів роботи IoT, сенсорів, актуаторів та їхньої інтеграції з програмним забезпеченням для автоматизації.

Апробація результатів. Основні результати роботи були обговорені на кафедрі Програмних засобів і технологій ХНТУ, що дозволило отримати цінні рекомендації щодо подальшого вдосконалення запропонованої системи. Вивчення можливостей розширення системи відкриває перспективи для вдосконалення та адаптації до різних сценаріїв використання, що робить її універсальною та адаптованою до різноманітних завдань. Розроблена система може бути використана для навчання та вивчення основ дистанційного управління, інтернету речей та мікроконтролерів, сприяючи розвитку навичок в галузі робототехніки та програмування.