

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри  В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 15 » грудня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Комп'ютерне моделювання системи "розумний будинок"

Виконав: студент

6321М групи



В.В. Тітарчук

(підпис)

Керівник роботи:

старший викладач каф. ПЕЕТ

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



Трибулькевич

С.Л.

(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

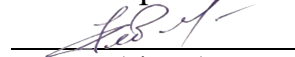
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Спеціальність	171 «Електроніка»
Освітня програма	Електронні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 В. М. Рябенський
(підпис)

« 9 » жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Тітарчуку Вадиму Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерне моделювання системи "розумний будинок"

керівник роботи Трибулькевич Сергій Леонідович, старший викладач каф. ПЕЕТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № 1217 від « 14 » жовтня 2025 року.

2. Термін подання роботи: 9 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: ESPHome, Home Assistant, Proteus

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

Аналіз існуючих рішень, Вибір середовища моделювання, Розробка моделі системи, Тестування та аналіз результатів, Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів

Актуальність теми, Мета дослідження, Завдання дослідження, Аналіз існуючих рішень, Порівняння програмних платформ, Моделювання датчиків, Автоматичне керування датчиками, Аналіз енергоефективності, Висновки та рекомендації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 5	Тубальцевв А.М.		

7. Дата видачі завдання « 15 » жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз останніх досліджень і публікацій	Жовтень 2025 р.	Вик.
2	Схемотехніка пристрою	Жовтень 2025 р.	Вик.
3	Налагодження та випробовування	Жовтень 2025 р.	Вик.
4	Тестування та аналіз результатів	Листопад 2025 р.	Вик.
5	Охорона праці	Грудень 2025 р.	Вик.
6	Оформлення пояснювальної записки	Грудень 2025 р.	Вик.

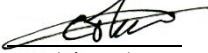
Студент


(підпис)

В.В. Тітарчук

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

С.Л. Трибулькевич

(прізвище та ініціали)

Анотація

У дипломній роботі розглянуто процес проєктування та комп'ютерного моделювання системи «розумний будинок» із використанням мікроконтролера ESP32, середовища Proteus та платформи Home Assistant. Проведено аналіз існуючих апаратних і програмних рішень для автоматизації житлових приміщень, обґрунтовано вибір використовуваних інструментів та розроблено структурну й електричну схему системи. Створено віртуальну модель датчиків і виконавчих пристроїв, реалізовано взаємодію з Home Assistant та налаштовано сценарії автоматизації.

У роботі виконано вимірювання затримок передачі даних, проведено оцінку енергоефективності та порівняння створеної моделі з реальними комерційними системами. Отримані результати підтверджують ефективність використання ESP32 та Home Assistant для побудови бюджетних і функціональних систем автоматизації житла.

Ключові слова: розумний будинок, ESP32, Home Assistant, ESPHome, Proteus, автоматизація, IoT, енергоефективність.

Abstract

This thesis presents the design and computer simulation of a smart home system using the ESP32 microcontroller, Proteus simulation environment, and the Home Assistant automation platform. A comprehensive analysis of existing hardware and software solutions for residential automation is conducted, followed by the justification of the selected tools and the development of the system's structural and electrical schematics. A virtual model of sensors and actuators is created, integrated with Home Assistant, and equipped with automation scenarios.

The work includes measurements of data transmission delays, an evaluation of the system's energy efficiency, and a comparison with existing commercial smart home solutions. The obtained results demonstrate the effectiveness of using ESP32 and Home Assistant for building cost-efficient and functional home automation systems.

Keywords: smart home, ESP32, Home Assistant, ESPHome, Proteus, automation, IoT, energy efficiency.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	6
Вступ.....	7
Розділ 1. Аналіз існуючих рішень	10
1.1. Поняття «розумний будинок», основні функції (енергозбереження, керування освітленням, безпекою, кліматом).....	10
1.2. Аналіз апаратних рішень (STM32, Arduino, ESP8266, Raspberry Pi)	12
1.3. Програмні платформи (Home Assistant, OpenHAB, Domoticz, Node-RED).	14
1.4. Приклади готових комерційних систем (Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit).....	17
Розділ 2. Вибір середовища моделювання	21
2.1. Огляд програмних засобів	21
2.2. Обґрунтування вибору (наприклад: Proteus + Home Assistant для реалістичності).	23
Розділ 3. Розробка моделі системи.....	26
3.1. Розробка структурної схеми «розумного будинку».....	26
3.2. Моделювання датчиків:	27
3.3. Оцінка якості моделі.....	31
3.4. Рекомендації по реалізації симуляції.....	31
3.5. Налаштування контролера ESP32.	32
3.6. Віртуальна візуалізація у середовищі Home Assistant.	33
Розділ 4. Тестування та аналіз результатів.....	38
4.1. Джерела виникнення затримок	38
Затримки на рівні датчиків та мікроконтролерів (ESP32, ESP8266, ZigBee, Z-Wave)	38
4.2. Затримки мережевої передачі.....	38
4.3. Затримки на рівні Home Assistant	39
4.4. Сумарна затримка в системі	40
4.5. Методи зменшення затримок	40

4.6. Енергоефективність (розрахунок економії)	41
4.7. Особливості для систем з ESP32 і реле	43
4.8. Приклад — керування обігрівачем	43
4.9. Порівняння з реальними системами.	44
4.10. Приклади реальних сценаріїв	47
Розділ 5. Охорона праці	49
5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину при розробці системи	49
5.2. Природне освітлення	53
5.3. Штучне освітлення	53
5.4. Заходи щодо техніки безпеки	55
Висновки	59
Список використаних джерел	61
Додаток А.....	63
Програмне забезпечення мікроконтролера	63

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Умовні позначення та символи

P — потужність електроприладу, Вт

ΔE — річна економія електроенергії, кВт·год

T_r — затримка передачі даних (latency), мс

Скорочення

ESP32 — програмований мікроконтролер компанії Espressif

ESP8266 — мікроконтролер попереднього покоління Espressif

ESPHome — прошивка для інтеграції ESP-пристроїв із Home Assistant

HA — Home Assistant (платформа автоматизації)

IoT — Internet of Things, Інтернет речей

HTTP — HyperText Transfer Protocol

MQTT — Message Queuing Telemetry Transport (легкий мережевий протокол передачі даних)

GPIO — General Purpose Input/Output (універсальні входи/виходи мікроконтролера)

LED — Light Emitting Diode (світлодіод)

LAN — Local Area Network (локальна мережа)

Wi-Fi — Wireless Fidelity

DHT11/DHT22 — цифрові датчики температури та вологості

BME280/SHT3x — високоточні датчики мікроклімату

MCU — Microcontroller Unit (мікроконтролер)

GUI — Graphical User Interface (графічний інтерфейс користувача)

API — Application Programming Interface

CNC — Computer Numerical Control

USB — Universal Serial Bus

PM — Power Management (керування живленням)

OTA — Over-The-Air update (віддалене оновлення прошивки)

					171.6321М.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, мережевих протоколів та мікроконтролерних систем створює умови для широкого впровадження концепції «розумного будинку». Такі системи забезпечують автоматизацію побутових процесів, підвищення рівня комфорту, безпеки та енергоефективності житлових приміщень. На сучасному етапі розвитку електроніки з'являється можливість інтегрувати в єдине середовище різноманітні датчики, виконавчі пристрої та системи керування, що робить інтелектуальні будівлі доступними не лише для промисловості, а й для пересічних користувачів.

Удосконалення апаратних платформ, таких як ESP32, Arduino, Raspberry Pi, а також розвиток програмних рішень — Home Assistant, ESPHome, OpenHAB — дозволяють створювати масштабовані, гнучкі та економічно вигідні системи автоматизації. Одночасно з цим зростає потреба у створенні точних і надійних моделей таких систем для аналізу їх роботи, тестування сценаріїв автоматизації та оцінювання енергоефективності ще до етапу фактичного впровадження.

Комп'ютерне моделювання є ефективним інструментом для проєктування «розумних будинків», оскільки дозволяє перевірити функціонування алгоритмів, оцінити затримки передачі даних, протестувати роботу датчиків та контролерів у віртуальному середовищі без необхідності у фізичному обладнанні. Особливо важливим є поєднання середовищ Proteus для моделювання апаратної частини та Home Assistant — як платформи для управління і візуалізації стану системи.

Актуальність теми полягає у необхідності дослідити й продемонструвати можливості комп'ютерного моделювання для побудови сучасних систем автоматизації житла, оцінити їх технічні параметри, надійність та потенційну економічну ефективність. Такий підхід дозволяє

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

мінімізувати витрати на розробку, попередити помилки у схемотехніці, забезпечити прогнозовану роботу системи після її реального впровадження.

Метою роботи є створення комп'ютерної моделі системи «розумний будинок» із використанням мікроконтролера ESP32, програмного середовища Proteus та платформи Home Assistant, а також проведення аналізу її функціонування, затримок передачі даних та енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

- аналіз існуючих апаратних і програмних рішень для реалізації систем «розумний будинок»;
- вибір програмних засобів для моделювання та обґрунтування їх застосування;
- розробка структурної та електричної схеми системи;
- створення віртуальної моделі датчиків і контролера ESP32;
- інтеграція моделі з платформою Home Assistant та налаштування сценаріїв автоматизації;
- тестування системи, оцінка затримок передачі даних і розрахунок енергоефективності;
- порівняння розробленої моделі з реальними комерційними системами автоматизації.

Таким чином, дипломна робота спрямована на дослідження можливостей сучасних IoT- та автоматизаційних технологій, а також на демонстрацію переваг комп'ютерного моделювання як ключового етапу створення інтелектуальних систем житлового середовища.

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Тітарчук В.В.			Аналіз існуючих рішень	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант								9
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Трибулькевич С.Л.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1. Поняття «розумний будинок», основні функції (енергозбереження, керування освітленням, безпекою, кліматом).

«Розумний будинок» (англ. *Smart Home*) — це інтегрована система управління побутовими процесами, яка поєднує в собі апаратні пристрої (датчики, контролери, виконавчі механізми) та програмні засоби (системи автоматизації, сервери керування, інтерфейси користувача). Основною ідеєю є створення комфортного, безпечного та енергоефективного середовища для проживання шляхом автоматизації рутинних завдань та віддаленого керування.

У більшості випадків система «розумного будинку» складається з трьох рівнів:

1. Датчики та пристрої збору інформації (температури, вологості, руху, освітленості, диму, відкриття дверей тощо).

2. Контролери та шлюзи (Arduino, ESP32, Raspberry Pi, STM32), які обробляють дані, взаємодіють між собою та з серверною частиною.

3. Програмна платформа керування (Home Assistant, OpenHAB, Domoticz, Node-RED), що забезпечує зручний інтерфейс для користувача та підтримку автоматичних сценаріїв.

Основні функції системи «розумний будинок»

Енергозбереження

Одним з ключових завдань є зменшення споживання електроенергії та оптимізація витрат ресурсів. Це досягається за рахунок:

– автоматичного вимкнення освітлення при відсутності людей у приміщенні;

– використання датчиків освітленості для регулювання яскравості штучного світла залежно від природного;

– керування розетками та електроприладами з урахуванням графіка роботи або тарифів на електроенергію;

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

– інтеграції з системами опалення та кондиціонування для підтримки оптимального режиму без надлишкових витрат.

Керування освітленням

Функція «розумного світла» дозволяє налаштовувати сценарії, наприклад:

- автоматичне ввімкнення світла при вході в кімнату (датчики руху);
- плавне регулювання яскравості (димери) або кольорової температури;
- створення сценаріїв «нічний режим», «перегляд фільму», «робоче світло»;
- дистанційне керування з мобільного додатку чи голосових асистентів (Google Home, Alexa).

Безпека

Система безпеки — один з найбільш затребуваних аспектів:

- контроль доступу (смарт-замки, датчики відкриття дверей та вікон);
- сигналізація при виявленні руху у відсутності власників;
- відеоспостереження з можливістю віддаленого доступу;
- датчики диму, газу, витоку води з автоматичним відключенням аварійних систем;
- інтеграція з поліцією або службами охорони.

Клімат-контроль

Автоматизоване керування мікрокліматом включає:

- підтримку оптимальної температури та вологості за допомогою датчиків (DHT22, BMP280 тощо);
- інтеграцію з системами опалення, кондиціонерами, зволожувачами повітря;
- розробку сценаріїв: наприклад, зниження температури вночі або при відсутності мешканців;
- можливість дистанційного керування кліматом через смартфон.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– Таким чином, система «розумного будинку» — це не просто набір пристроїв, а цілісна екосистема, яка спрямована на зручність, безпеку та економію ресурсів. Її ключова перевага — гнучкість: користувач може налаштовувати сценарії під власні потреби.

1.2. Аналіз апаратних рішень (STM32, Arduino, ESP8266, Raspberry Pi)

Система «розумного будинку» ґрунтується на використанні мікроконтролерів та вбудованих обчислювальних платформ, які забезпечують збір, обробку й передачу даних. Нижче наведено аналіз основних рішень, що найчастіше застосовуються у проєктах автоматизації.

STM32:

Опис: 32-бітні мікроконтролери сімейства ARM Cortex-M, розроблені компанією STMicroelectronics.

Переваги:

- висока продуктивність при низькому енергоспоживанні;
- наявність апаратних модулів для роботи з Ethernet, CAN, I2C, SPI, UART;

– широкий вибір моделей від простих (STM32F0) до потужних (STM32F7, H7);

- промисловий рівень надійності.

Недоліки:

- складність у програмуванні (потребує знання низькорівневого C/C++);
- вища вартість у порівнянні з Arduino чи ESP8266.

Застосування у «розумному будинку»: контролери центрального вузла, робота з датчиками у режимі реального часу, енергоефективні системи.

Arduino:

Опис: відкрита апаратно-програмна платформа з простим середовищем розробки (IDE) та численними бібліотеками.

Переваги:

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

- простота використання, велика спільнота;
- підтримка тисяч датчиків та модулів;
- дешевизна та доступність.

Недоліки:

- обмежена обчислювальна потужність;
- відсутність вбудованого Wi-Fi чи Ethernet у базових моделях (UNO, Nano);
- залежність від зовнішніх модулів для мережевої взаємодії.

Застосування: початкові прототипи систем «розумного будинку», локальне керування освітленням, датчиками руху, кліматом.

ESP8266

Опис: недорогий мікроконтролер від Espressif Systems з вбудованим Wi-Fi.

Переваги:

- інтегрований Wi-Fi, що дозволяє легко підключати пристрій до мережі;
- низька вартість;
- підтримка MQTT, HTTP, WebSocket протоколів;
- енергоефективні режими роботи.

Недоліки:

- менша продуктивність порівняно зі STM32;
- обмежені ресурси пам'яті у деяких моделях;
- нестабільність при високих навантаженнях.

Застосування: бездротові сенсори, дистанційно керовані розетки, інтеграція з Home Assistant.

Raspberry Pi:

Опис: одноплатний комп'ютер із процесором ARM, здатний виконувати роль сервера або шлюзу.

Переваги:

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- повноцінна ОС (Linux, Raspberry Pi OS);
- підтримка Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth;
- можливість запуску серверних платформ (Home Assistant, OpenHAB, Domoticz);
- висока продуктивність у порівнянні з мікроконтролерами.

Недоліки:

- вища вартість порівняно з Arduino/ESP;
- більше енергоспоживання;
- потреба у системному адмініструванні.

Застосування: сервер «розумного будинку», зберігання даних, інтеграція з хмарними сервісами, голосові асистенти.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця

Платформа	Продуктивність	Мережеві можливості	Вартість	Основне призначення
STM32	Висока	Ethernet, CAN, UART	Середня/Висока	Центральний контролер, промислові системи
Arduino	Низька/Середня	Зовнішні модулі	Низька	Прототипування, прості задачі
ESP8266	Середня	Wi-Fi (вбудований)	Дуже низька	Безпроводні сенсори, IoT-пристрої
Raspberry Pi	Дуже висока	Ethernet, Wi-Fi, BT	Середня	Сервер, шлюз, мультимедіа, AI

Отже, для системи «розумний будинок» доцільно використовувати гібридний підхід:

- Arduino/ESP8266 для збору даних із сенсорів;
- STM32 для керування критично важливими процесами;
- Raspberry Pi як серверну частину (Home Assistant, MQTT-брокер).

1.3. Програмні платформи (Home Assistant, OpenHAB, Domoticz, Node-RED).

Окрім апаратної частини, важливим елементом системи «розумного будинку» є програмні платформи, які забезпечують інтеграцію пристроїв, збір і обробку даних, а також зручний інтерфейс керування. Серед найбільш поширених рішень можна виділити Home Assistant, OpenHAB, Domoticz та Node-RED.

Home Assistant

Опис: відкрита платформа для автоматизації «розумного будинку», написана на Python.

Особливості:

- підтримує понад 2000 інтеграцій (датчики, камери, голосові асистенти, системи безпеки);
- зручний веб-інтерфейс і мобільний застосунок;
- автоматизація на основі сценаріїв (YAML) та візуального редактора;
- активна спільнота, регулярні оновлення.

Переваги: багатофункціональність, масштабованість, безкоштовність.

Недоліки: потребує достатніх обчислювальних ресурсів (наприклад, Raspberry Pi 4 або сервер).

OpenHAB (Open Home Automation Bus)

Опис: кросплатформне рішення з відкритим кодом, написане на Java.

Особливості:

- модульна архітектура з великою кількістю «біндінгів» (підключень до різних пристроїв);
- підтримка роботи на Windows, Linux, macOS та вбудованих системах;
- орієнтація на стабільність і довготривалу підтримку.

Переваги: висока гнучкість, підтримка промислових протоколів, кросплатформність.

Недоліки: складність налаштування, менше зручностей для початківців порівняно з Home Assistant.

Domoticz

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Опис: легка система автоматизації з простим веб-інтерфейсом.

– Особливості:

– невибаглива до апаратних ресурсів (може працювати навіть на Raspberry Pi Zero);

– підтримка датчиків температури, вологості, освітленості, розумних розеток і камер;

– можливість створення правил автоматизації (сценарії, таймери, події).

Переваги: простота, легкість, швидкість роботи.

Недоліки: обмежений функціонал у порівнянні з Home Assistant та OpenHAB.

Node-RED

Опис: візуальна середа для створення потокових сценаріїв автоматизації від IBM.

Особливості:

– інтерфейс drag-and-drop (побудова логіки за допомогою блоків);

– інтеграція з MQTT, HTTP, WebSocket, базами даних;

– можливість розширення за допомогою npm-пакетів.

Переваги: простота створення логіки, висока гнучкість, хороша інтеграція з IoT.

Недоліки: більше підходить як «мозок» для автоматизації, а не як повноцінна система «розумного будинку».

Таблиця 1.2 – Порівняльна таблиця

Платформа	Продуктивність	Простота налаштування	Гнучкість інтеграції	Оптимальне застосування
Home Assistant	Висока	Середня	Дуже висока	Повна система «розумного будинку»
OpenHAB	Висока	Складна	Висока	Промислові й складні проекти
Domoticz	Середня	Дуже проста	Середня	Невеликі системи, легкі сервери

Платформа	Продуктивність	Простота налаштування	Гнучкість інтеграції	Оптимальне застосування
Node-RED	Середня	Проста	Дуже висока	Побудова сценаріїв, інтеграція IoT

Таким чином, вибір програмної платформи залежить від потреб користувача:

- Home Assistant — універсальне рішення для більшості завдань;
- OpenHAB — для професійних систем і масштабних проєктів;
- Domoticz — для простих та енергоефективних рішень;
- Node-RED — для створення індивідуальної логіки автоматизації та IoT-проєктів.

1.4. Приклади готових комерційних систем (Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit)

На сучасному ринку розумних технологій представлено велику кількість готових рішень для організації систем «розумного будинку». Найбільш відомими й поширеними серед них є Google Home, Amazon Alexa та Apple HomeKit. Вони є прикладами комерційних платформ, які поєднують апаратне забезпечення, програмне середовище та хмарні сервіси, забезпечуючи користувачу максимальний комфорт та простоту у використанні.

Google Home:

Опис: екосистема від Google, яка базується на голосовому асистенті Google Assistant та пристроях Google Nest (колонки, дисплеї, камери, термостати).

Функціонал:

- голосове керування освітленням, кліматом, мультимедіа та безпекою;
- інтеграція з Android та сервісами Google (YouTube, Maps, Gmail, Google Calendar);

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– підтримка стандарту Matter, що спрощує підключення пристроїв від різних виробників.

Переваги: зручність, багатомовність, інтеграція з широким спектром сервісів.

Недоліки: залежність від хмарної інфраструктури Google.

Amazon Alexa

Опис: одна з найбільш популярних комерційних платформ, інтегрована у пристрої Amazon Echo.

Функціонал:

- голосове керування пристроями та відтворення музики;
- розширення можливостей через так звані «skills» (додаткові функції, які підключаються як додатки);
- інтеграція з більш ніж 100 000 пристроїв різних виробників.

Переваги: величезна екосистема, простота налаштування, активна спільнота розробників.

Недоліки: обмеження для користувачів за межами США та Західної Європи, залежність від хмарних сервісів Amazon.

Apple HomeKit

Опис: система «розумного будинку» від Apple, яка працює через додаток «Дом» (Home) на пристроях iOS та macOS.

Функціонал:

- управління освітленням, кліматом, безпекою та мультимедіа;
- голосове керування через Siri;
- високий рівень захищеності даних завдяки стандартам Apple (шифрування, локальне керування).

Переваги: безпека, інтеграція з екосистемою Apple, простота для користувачів iPhone та iPad.

Недоліки: обмежена кількість сумісних пристроїв, висока вартість обладнання.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика

Система	Пристрої та асистент	Основні можливості	Переваги	Недоліки
Google Home	Google Nest + Google Assistant	Керування освітленням, кліматом, мультимедіа; інтеграція з Google-сервісами	Зручність, багатомовність, стандарт Matter	Залежність від хмари
Amazon Alexa	Amazon Echo + Alexa	Голосове керування, «skills», підтримка >100 тис. пристроїв	Велика екосистема, простота	Орієнтована на США/Європу
Apple HomeKit	iPhone/iPad + Siri	Автоматизація через додаток «Дом», безпека	Високий рівень захисту, інтеграція з iOS	Обмежена сумісність, висока ціна

Таким чином, всі три системи мають широкий функціонал та орієнтовані на комфорт користувача, проте їх вибір залежить від наявної техніки, бюджету та пріоритетів (зручність, безпека, екосистема).

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Тітарчук В.В.			Вибір середовища моделювання	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант								20
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Трибулькевич С.Л.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. ВИБІР СЕРЕДОВИЩА МОДЕЛЮВАННЯ

2.1. Огляд програмних засобів

У процесі дослідження та розробки системи «розумний будинок» важливим етапом є вибір відповідного програмного середовища для моделювання та тестування. Це дозволяє не лише перевірити працездатність апаратних та програмних рішень на віртуальному рівні, але й зменшити витрати на створення фізичних прототипів. Серед основних інструментів, що можуть бути використані у даній роботі, виділяють Proteus, MATLAB/Simulink, а також системи віртуального керування Home Assistant та Node-RED.

Proteus

Призначення: середовище для проектування електронних схем і моделювання роботи мікроконтролерів.

Особливості:

- підтримка широкого спектра мікроконтролерів (Arduino, STM32, ESP8266 тощо);
- можливість підключення віртуальних датчиків (температури, освітленості, руху);
- симуляція цифрових та аналогових сигналів;
- підтримка Ethernet-модулів (ENC28J60, W5500) для моделювання мережевих з'єднань.

Переваги: дозволяє перевірити коректність роботи схеми без створення фізичного прототипу; інтеграція з кодом на C/C++.

Недоліки: обмежена кількість доступних моделей датчиків у базовій бібліотеці.

MATLAB/Simulink

Призначення: інструмент для математичного моделювання, аналізу систем і обробки сигналів.

Особливості:

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		21

- побудова імітаційних моделей складних процесів у системі «розумний будинок»;
 - можливість створення блок-схем для керування енергоспоживанням, клімат-контролем;
 - аналіз даних з датчиків, прогнозування поведінки системи;
 - інтеграція з реальними мікроконтролерами через Simulink Coder.
- Переваги: потужний математичний апарат для аналізу і оптимізації.
- Недоліки: висока вартість ліцензії, складність для початківців.

Home Assistant

Призначення: програмна платформа для інтеграції та управління пристроями «розумного будинку».

Особливості:

- підтримка великої кількості пристроїв і протоколів (MQTT, Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Ethernet);
- наявність веб-інтерфейсу та мобільного застосунку;
- створення автоматизацій на основі сценаріїв.

Переваги: безкоштовність, активна спільнота, інтеграція з Proteus (через MQTT/Ethernet).

Недоліки: потребує певних знань для налаштування.

Node-RED

Призначення: середовище для візуального програмування автоматизацій.

Особливості:

- побудова сценаріїв за принципом «drag-and-drop»;
- інтеграція з датчиками через MQTT-брокер або інші протоколи;
- можливість обробки подій у режимі реального часу.

Переваги: простота створення логіки, висока гнучкість, відкритий код.

Недоліки: не є самостійною системою «розумного будинку», а радше інструментом для сценаріїв.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, для комплексного моделювання доцільно використовувати комбінацію інструментів:

- Proteus для симуляції апаратної частини (датчики, мікроконтролери, Ethernet-з'єднання);
- MATLAB/Simulink для аналізу процесів та оптимізації;
- Home Assistant / Node-RED для створення віртуального серверного середовища та керування системою.

2.2. Обґрунтування вибору (наприклад: Proteus + Home Assistant для реалістичності).

У процесі моделювання системи «розумний будинок» ключовим завданням є забезпечення максимальної наближеності до умов реальної експлуатації. Для цього необхідно обрати таке програмне середовище, яке дозволяє одночасно моделювати як апаратну частину (мікроконтролери, датчики, виконавчі пристрої), так і програмну частину (сервер, сценарії автоматизації, взаємодія з користувачем).

Порівняльний аналіз показав:

- Proteus оптимально підходить для відтворення роботи мікроконтролерів та периферії. Він дозволяє моделювати датчики температури, освітленості, руху, а також створювати схеми з використанням Ethernet-модулів (ENC28J60, W5500). Це робить можливим відлагодження алгоритмів обміну даними ще до фізичної реалізації пристрою.

- Home Assistant забезпечує симуляцію серверної частини системи «розумний будинок». Завдяки підтримці протоколів MQTT та Ethernet він може приймати дані від віртуальних контролерів у Proteus і відображати їх у зручному інтерфейсі. Це дозволяє протестувати сценарії автоматизації (керування освітленням, кліматом, безпекою) без створення фізичного обладнання.

- Використання MATLAB/Simulink у даному випадку не є пріоритетним, оскільки основне завдання роботи полягає у моделюванні саме

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		23

інфраструктури «розумного будинку», а не в математичному аналізі процесів. Цей інструмент доцільніше застосовувати у випадку необхідності оптимізації енергоспоживання чи прогнозування роботи системи.

Таким чином, найбільш доцільним є вибір комбінації Proteus та Home Assistant, що забезпечує:

- реалістичне моделювання апаратної частини (мікроконтролери, датчики, мережеві модулі);
- можливість перевірки мережевої взаємодії через Ethernet;
- тестування сценаріїв керування у віртуальному середовищі;
- зменшення витрат на створення фізичних прототипів.

Такий підхід дозволяє досягти балансу між точністю симуляції та зручністю тестування, забезпечуючи повноцінне моделювання системи «розумний будинок».

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розробка моделі системи	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробник		Тітарчук В.В.						
Консультант							25	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Трибулькевич С.Л.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ

3.1. Розробка структурної схеми «розумного будинку»

Будь-яка система «розумного будинку» складається з декількох основних рівнів, які забезпечують взаємодію між фізичними пристроями, програмним забезпеченням та користувачем. Для ефективної роботи необхідно сформувавши структурну схему, що відображає основні елементи та принципи їх взаємодії.

Основні компоненти схеми:

Датчики (сенсорний рівень)

Відповідають за збір інформації з навколишнього середовища. Це можуть бути:

- температурні датчики (DHT22, BMP280);
- датчики освітленості (BH1750);
- датчики руху (PIR-сенсори);
- датчики вологості, газу, диму та інші.

Контролер (рівень керування)

Мікроконтролер (Arduino, STM32, ESP8266) приймає дані від датчиків, обробляє їх і формує відповідні керуючі сигнали. Контролер також забезпечує передачу інформації на серверну частину через мережу (Ethernet/Wi-Fi).

Серверна частина (керуючий центр)

Використовується платформа Home Assistant або інше програмне середовище, яке приймає дані від контролера, зберігає їх, аналізує та формує сценарії автоматизації (наприклад, вмикання світла при виявленні руху).

Користувацький інтерфейс (рівень взаємодії з людиною)

Це веб-інтерфейс, мобільний додаток або голосовий асистент, за допомогою яких користувач може керувати системою та отримувати повідомлення про її стан (сигналізація, клімат, енергоспоживання).

Загальна схема взаємодії виглядає так:

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		26

Датчики → Контролер (Arduino/STM32/ESP8266) → Сервер (Home Assistant) → Користувач

- Датчики збирають інформацію з навколишнього середовища.
- Контролер обробляє дані та надсилає їх на сервер через Ethernet/Wi-Fi.
- Сервер виконує логіку автоматизації (сценарії).
- Користувач взаємодіє з системою через мобільний застосунок або комп'ютер.

Така структурна схема дозволяє побудувати гнучку, масштабовану систему, де кожен рівень може розширюватися новими датчиками, пристроями чи програмними модулями.

3.2. Моделювання датчиків:

Нижче — детальний план і практичні вказівки для моделювання трьох типів сенсорів: температури (DHT22, BMP280), освітленості (BH1750) та руху (PIR). Пишу українською, технічно й по пунктам — можна вставити у звіт як підрозділ.

Мета моделювання

- Зімітувати реальні вихідні сигнали сенсорів для тестування контролера/алгоритмів без фізичного підключення.
- Оцінити вплив шуму та похибок на роботу системи.
- Перевірити логіку обробки даних (фільтрація, детектування подій, захист від хибних спрацьовувань).

Загальні підходи

1. Статистичне моделювання — генеруємо тренд + випадковий шум (наприклад, нормальний шум).
2. Модель похибок/зсуву — додаємо постійний зсув (offset) або похибку, що залежить від температури/часу.
3. Квантування та розрядність — врахувати розряд ADC чи цифрового інтерфейсу.

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4. Вхідні події — для PIR: моделювати динамічні події (короткі імпульси руху, інтервали).

5. Частота зчитування — встановити реалістичну частоту (sampling rate) та затримки відповіді.

Температура — DHT22 та BMP280

Основні відомості:

– DHT22: цифровий датчик температури і вологості; повільне оновлення (~0.5–2 s), точність $\sim \pm 0.5\text{--}2^\circ\text{C}$ залежно від умов.

– BMP280: барометричний датчик тиску + температура; швидший, краща точність температури (зазвичай $\pm 1^\circ\text{C}$ або краще), застосовується для висоти/тиску.

Моделювання характеристик

– Середній тренд температури ($T_{\text{trend}}(t)$) — наприклад добовий цикл: $T_0 + A \sin(2\pi t / 24\text{h})$ або лінійна зміна.

– Шум: адитивний нормальний шум $N(0, \sigma_T)$, де $\sigma_T \sim 0.1\text{--}0.5^\circ\text{C}$ для BMP280, $\sim 0.5\text{--}1.0^\circ\text{C}$ для DHT22.

– Квантування: крок виміру (наприклад 0.1°C).

– Затримка/інтервал зчитування: DHT22 $\rightarrow 1\text{--}2\text{ s}$, BMP280 $\rightarrow 10\text{--}100\text{ ms}$ можливий.

– Дрейф/зсув: повільний зміщуючий тренд $\text{offset}(t) = \text{offset}_0 + \text{drift_rate} \cdot t$.

– Аномалії/сплески: рідкісні стрибки через перешкоди — моделюються як випадкові імпульси.

Приклад математичної моделі:

$$T_{\text{trend}}(t) = T_{\text{mean}} + A \sin(2\pi t / 24\text{h})$$

$$T_{\text{noise}} \sim \text{Normal}(0, \sigma)$$

$$T_{\text{out}} = \text{round}(T_{\text{trend}}(t) + T_{\text{noise}} + \text{offset}(t), 1) \quad \# \text{ округлення до } 0.1^\circ\text{C}$$

Освітленість — BH1750

Основні відомості:

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– BH1750 дає освітленість у люксах (lx) по I²C; діапазон ~1–65535 lx (залежно від режиму); високий динамічний діапазон.

– Швидкість зчитування: можна налаштувати режим (low-res, high-res).

Моделювання характеристик

– Базовий тренд: денний цикл (ранок → максимум вдень → вечір) можна описати як $L_trend(t) = L_max \max(0, \sin(\pi (t - t_sunrise) / day_length))$.

– Хмарність/перешкоди: випадкові тимчасові зниження — множник $c(t)$ від 0.2 до 1.0.

– Шум: відносний шум, наприклад $Normal(0, \sigma_{rel} L_trend)$; для низьких значень додати адитивний фоновий шум.

– Квантування: BH1750 має дозволену роздільну здатність (наприклад 1 lx або крок більший в low-res).

– Нелінійність при дуже низьких/дуже високих значеннях — можна врахувати обмеження значень (мін/макс).

Приклад математичної моделі

$L_trend(t) = L_max \sin_term \text{ cloud_factor}$

$L_noise \sim Normal(0, \sigma_{rel} L_trend + \sigma_{floor})$

$L_out = \max(0, \text{round}(L_trend + L_noise))$

Події для тестування

– Швидке включення/вимкнення лампи (різкий стрибок).

– Проходження людини перед ліхтарем (короткочасне падіння).

Рух — PIR-сенсор

Основні відомості:

– PIR (Passive Infrared) — реагує на зміну інфрачервоного випромінювання; дає дискретний вихід (HIGH/LOW) або сигнал з часом спрацьовування (пульс).

– Має інерцію: часто має затримку утримування HIGH 2–5 с після виявлення.

Моделювання характеристик

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Стани: NO_MOTION, MOTION_DETECTED, HOLD.
- Імпульс руху: при проході людини створюємо сигнал 1 протягом t_{pulse} (наприклад 0.5–3 s), потім апаратна затримка t_{hold} (2–5 s).
- Частота хибних спрацьовувань: введіть ймовірність p_{false} (наприклад 0.01–0.05) для моделювання шумів/перешкод.
- Чутливість: змінюється від кількох метрів — моделюється як ймовірність детекції залежно від відстані.

Приклад логіки

На подію $person_passes(t) \rightarrow$ запускається імпульс довжиною t_{pulse} .

Вихід PIR = 1 протягом $t_{pulse} + t_{hold}$.

Якщо кілька подій — вихід лишається 1 поки триває хоча б одна подія або поки не пройде t_{hold} .

Приклад математичної моделі:

Python-псевдомодель (фрагмент)

```
import math, random

def temp_sample(t_hours, T_mean=20, A=5, sigma=0.4, drift_rate=0.0):
    trend = T_mean + A * math.sin(2*math.pi * t_hours/24.0)
    offset = drift_rate * t_hours
    noise = random.gauss(0, sigma)
    return round(trend + offset + noise, 1)

def lux_sample(t_hours, L_max=50000, sunrise=6, sunset=18,
sigma_rel=0.05):
    if t_hours < sunrise or t_hours > sunset: return 0
    day_pos = (t_hours - sunrise)/(sunset - sunrise) # 0..1
    trend = L_max * math.sin(math.pi * day_pos)
    cloud = random.uniform(0.5, 1.0) # модель хмарності
    noise = random.gauss(0, sigma_rel*trend + 10)
    return max(0, int(trend*cloud + noise))

# PIR: список подій (час початку, тривалість)
```

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

```
def pir_output(t_seconds, events, t_hold=3):
    # events: [(t0, dur), ...]
    for t0,dur in events:
        if t0 <= t_seconds <= t0+dur + t_hold:
            return 1

    # іноді хибне спрацьовування
    if random.random() < 0.01:
        return 1

    return 0
```

3.3. Оцінка якості моделі

1. Порівняння статистик: середнє, медіана, σ моделюваних вимірів проти очікуваних з datasheet.

2. Тести:

- Стрес-тест: швидкі зміни освітленості, різкі падіння температури.
- Серія коротких рухів — перевірити, що PIR не генерує зайвих переходів.

3. Візуалізації: графіки часу (time series) для кожного сенсора, гістограми шуму, ROC-крива для детектора руху (за наявності еталонних подій).

3.4. Рекомендації по реалізації симуляції

- Інструменти: Python (numpy, matplotlib), MATLAB/Simulink для фізично орієнтованих моделей, або спеціальні середовища (Gazebo якщо потрібна модель середовища).

- Формат даних: лог в CSV (timestamp, temp_DHT22, temp_BMP280, lux_BH1750, pir).

- Параметри для репортів: вкажіть значення σ , частоти зчитування, часові інтервали симуляції, частоту хибних спрацьовувань.

- Fusion: для підвищення надійності об'єднувати покази DHT22 і BMP280 (фільтр Калмана або просте усереднення з вагою).

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.5. Налаштування контролера ESP32.

Проект на ESP32 Nano з кількома підключеними компонентами показано на рис. 3.1.

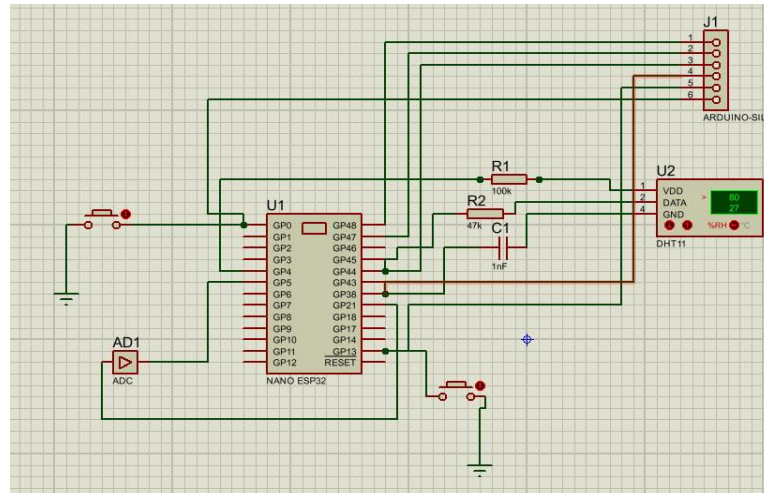


Рисунок 3.1 – Схема проекту на ESP32 Nano з підключеними компонентами

Основні компоненти:

U1 — Nano ESP32

– Це головний мікроконтролер.

– Використовується для збору даних від датчиків і керування пристроями.

– Має виводи GP0–GP48, RESET, і ADC для аналогових сигналів.

U2 — DHT11

– Датчик температури і вологості.

– Підключений до ESP32 через цифровий пін (DATA).

– Показує температуру в °C і відносну вологість у %RH.

R1 (100 кОм) і R2 (47 кОм) з C1 (1 нФ)

– Пасивна схема для фільтрації або підтяжки сигналу.

– R1 — це підтягуючий резистор для DHT11 (типова схема).

AD1 — ADC

– Аналоговий датчик, підключений до одного з аналогових входів ESP32.

– Може вимірювати, наприклад, напругу, світло, або інші аналогові величини.

Кнопки

– Є дві кнопки (з'єднані на землю через резистор або прямо).

– Можуть слугувати для ручного керування або скидання.

J1 — Arduino SIL6

– Це роз'єм для підключення зовнішніх пристроїв або програмування ESP32.

– Має 6 пінів, де підключені основні сигнали від ESP32 і DHT11.

Функціональність схеми:

1. ESP32 читає температуру та вологість з DHT11.
2. Вимірює аналоговий сигнал через AD1.
3. Кнопки дають змогу користувачу взаємодіяти зі схемою (наприклад, включати/вимикати щось або скидання показників).

4. Дані можуть передаватися на зовнішній пристрій через роз'єм J1.

3.6. Віртуальна візуалізація у середовищі Home Assistant.

Відстеження та розподілення потоків енергії показано на рис.3.2.

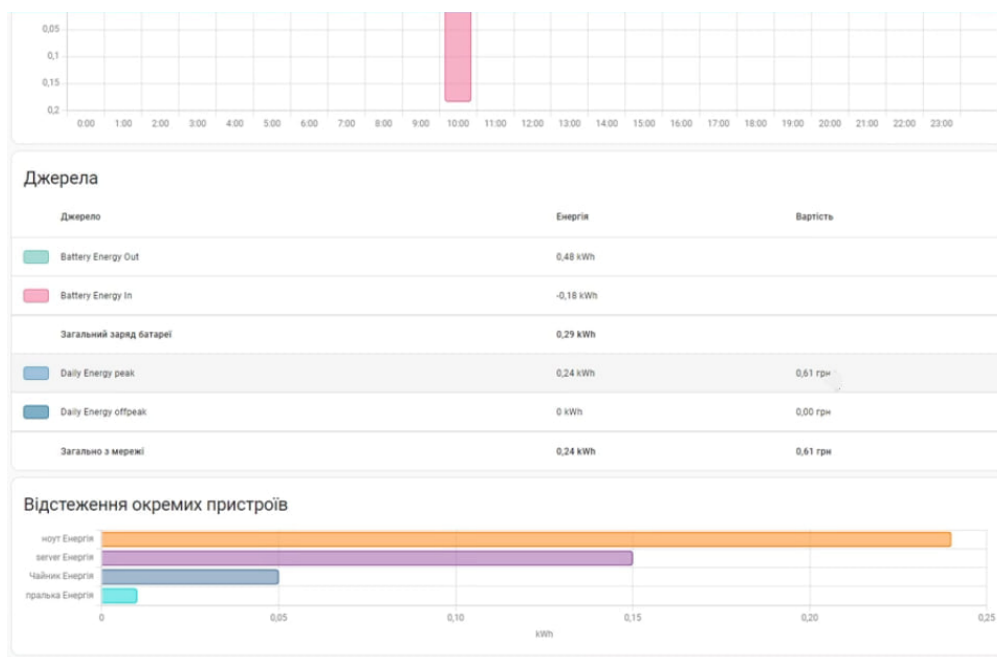


Рисунок 3.2 - Інтерфейс дашборда енергомоніторингу

Робота системи:

- Система відстежує і розділяє потоки енергії: в експорт/забір батареї (Battery In / Battery Out) та з мережі.
- На графіку видно один виразний епізод близько 10:00, що відповідає піковій події (заряд/розряд батареї або одночасне ввімкнення потужного пристрою).
- Загальний заряд батареї після вимірювань становить $\approx 0,29$ kWh — це корисна метрика для аналізу автономності та часу роботи при певному навантаженні.
- Діаграма по пристроях показує, що ноут і сервер є основними споживачами енергії в цій вибірці; чайник має середнє споживання, пралка — найменше. Це допомагає пріоритизувати заходи з енергозбереження (наприклад, оптимізувати роботу сервера або використовувати енергоефективні ноутбуки).

Робота моніторингу електроенергії показано на рис.3.3

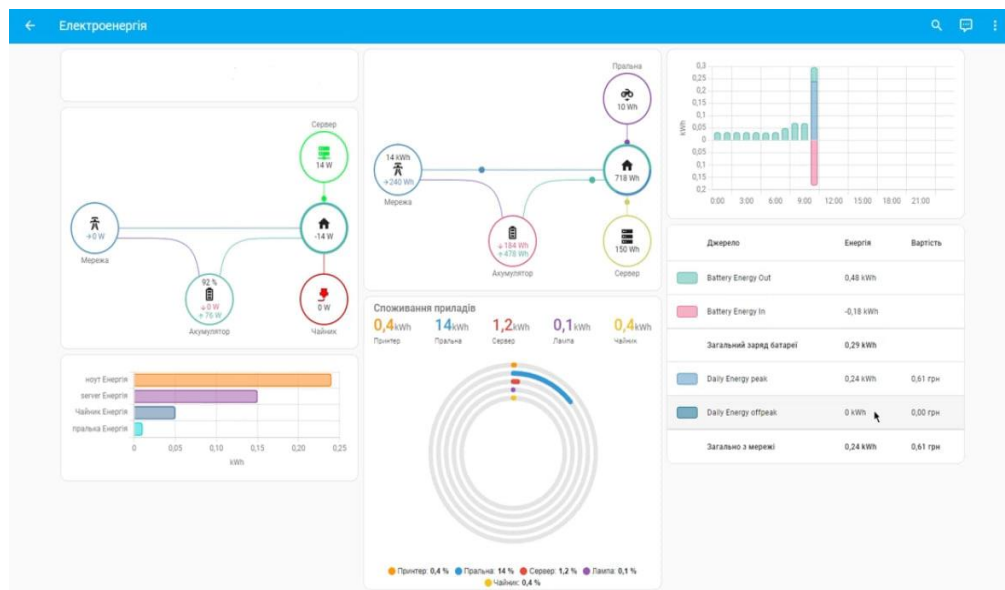


Рисунок 3.3 – Інтерфейс дашборда моніторингу електроенергії

Далі показано як працює модуль моніторингу PV-системи (рис. 3.4).

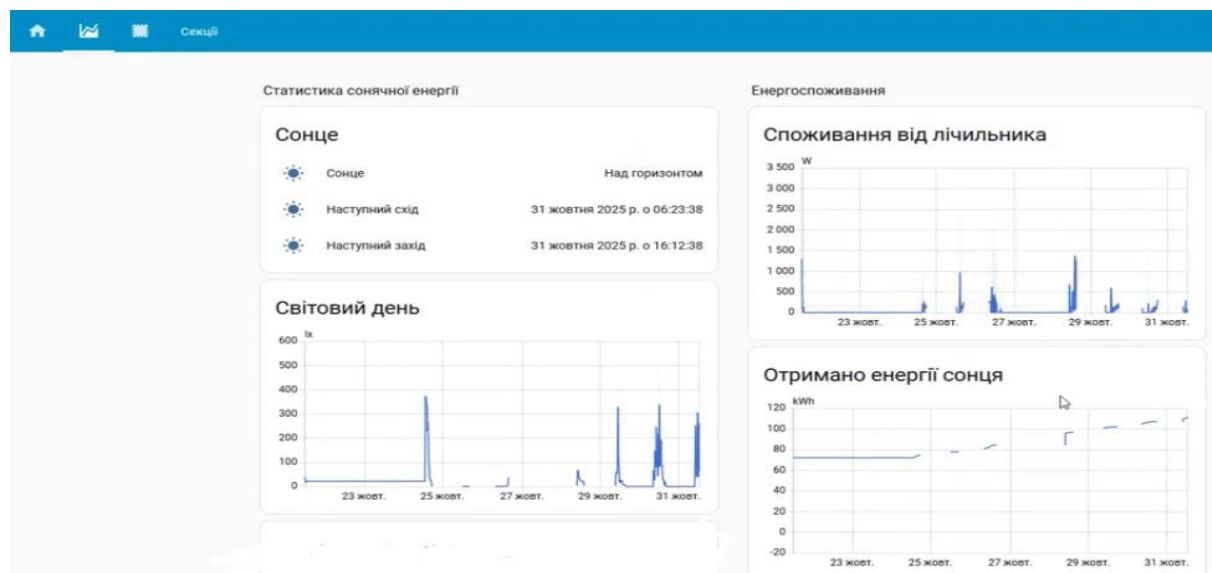


Рисунок 3.4 – Інтерфейс програмного модуля моніторингу PV-системи

Загальна інформація.

На зображенні представлено інтерфейс дашборда системи моніторингу сонячної енергії та енергоспоживання за добовий/багатоденний період. Інформаційний простір поділено на тематичні картки, що містять часові ряди вимірювань і текстові метадані. Період відображених даних — кінець жовтня (позначено дату «23 жовт.» — «31 жовт.»).

Лівий верхній блок — «Сонце / Статистика сонячної енергії».

Містить основні астрономічні параметри: поточний стан (позначення «Над горизонтом»), час наступного сходу та заходу сонця (на знімку: 31 жовтня 2025 р., 06:23:38 — 16:12:38).

Ця інформація використовується для кореляції виробленої енергії з денним циклом та для планування заряджання/розряджання батареї відповідно до сонячного освітлення.

Лівий середній блок — «Світловий день» (часовий ряд інсоляції або потужності PV).

Графік відображає миттєві значення (ймовірно, освітленості або вихідної потужності фотоелектричної системи) за декілька днів.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

На графіку видно виражені денні піки у визначені дні (наприклад, 25 та 31 жовтня), що відповідають періодам максимального сонячного випромінювання.

Ось Y пронумерована у спеціальних одиницях (ймовірно W або Lux), X — дати; піки мають короткотривалий характер, що свідчить про змінну хмарність або короткочасні умови інсоляції.

Правий верхній блок — «Енергоспоживання / Споживання від лічильника».

Часовий ряд потужності споживання з електричного лічильника (вісь Y — вати, до ~3500 W).

Візуально присутні кілька пікових подій у різні дні; ці сплески узгоджуються за часовою позицією із піками інсоляції у деякі дні (можливі перетини споживання та виробництва).

Діаграма дає змогу оцінити пікове навантаження на мережу та часи, коли споживання максимально.

Правий середній/нижній блок — «Отримано енергії сонця» (накопичувальний графік).

Відображає накопичену (інтегровану) енергію, отриману від сонця у кВт·год (ось Y — kWh).

Криві мають ступінчастий характер — поступенне зростання загальної виробленої енергії по днях (наприклад, від ~60 kWh до ~110–120 kWh за розглянутий період).

Цей графік корисний для оцінки сумарної продуктивності PV-системи та ефективності її роботи у різні дні.

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4				
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					
Розробник		Тітарчук В.В.			Тестування та аналіз результатів	Літ.	Арк.	Аркуші	
Консультант								37	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова			
Керівник		Трибулькевич С.Л.							
Зав. каф.		Рябенський В. М.							

РОЗДІЛ 4. ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Джерела виникнення затримок

Затримки на рівні датчиків та мікроконтролерів (ESP32, ESP8266, ZigBee, Z-Wave)

Причини:

- внутрішня швидкість оновлення датчика (наприклад, DHT11 має інтервал 1–2 с);
- затримка обробки у мікроконтролері;
- використання енергозберігаючих режимів (sleep).
- Приклад:
- DHT11 → 1–2 с між вимірюваннями
- DHT22 → 0.5–1 с
- ESPHome сенсор → затримка $\approx 10\text{--}50$ мс на передачу

4.2. Затримки мережевої передачі

Wi-Fi (ESP32/ESP8266)

Основні фактори:

- нестабільний RSSI;
- велика кількість пристроїв у мережі;
- перешкоди 2.4 GHz.

Типова затримка:

- 3–50 мс у стабільній локальній мережі;
- 50–300 мс при перевантаженні Wi-Fi.

ZigBee

У мережах ZigBee затримки виникають через:

- маршрутизацію через кілька вузлів;
- низьку швидкість передачі (250 кбіт/с);
- сплячі пристрої (end-devices).

Типова затримка:

- 20–100 мс при прямому зв'язку;

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 100–500 мс через маршрутизатори;
- до 2–3 секунд при пристроях у sleep-режимі.

Z-Wave

Має меншу пропускну здатність, ніж Wi-Fi.

Типові затримки:

- 50–150 мс звичайні пакети;
- до 1 секунди у великих мережах.

4.3. Затримки на рівні Home Assistant

Обробка подій (Event Loop)

Home Assistant працює на основі асинхронного циклу подій.

Затримки можуть з'являтися через:

- велику кількість автоматизацій;
- одночасну обробку великого числа подій;
- повільні інтеграції.

Типова затримка:

- 1–20 мс на подію;
- при перевантаженні CPU → 100–300 мс.

Стан дискової системи

При використанні Raspberry Pi:

- SD-карта дає великі затримки при читанні/запису;
- при логуванні великих обсягів даних може виникнути блокування I/O.

Затримки при автоматизації

Кожна автоматизація проходить кілька етапів:

1. надходження події;
2. обробка умов;
3. виконання дії.

Затримка формується з:

- часу на виконання умов,
- затримки сервісного виклику,

– відповіді пристрою.

Типовий час реакції:

– Wi-Fi лампа → 50–200 мс

– ZigBee лампа → 100–300 мс

– ESPHome реле → 20–100 мс

Вплив хмарних сервісів

Якщо інтеграція працює через інтернет:

– залежність від швидкості провайдера,

– затримки маршрутизації,

– можливість нестабільного каналу.

Типові значення:

– 50–150 мс для API (Telegram, Google)

– 200–800 мс → хмарні сервіси Tuuya, SmartLife.

4.4. Сумарна затримка в системі

Затримка =

затримка датчика + мережева затримка + затримка обробки Home Assistant +
затримка виконання дії

Для Wi-Fi ESP32 + ESPHome:

~50–150 мс загальна реакція

Для ZigBee:

~100–500 мс

Для хмарних сервісів:

~300–1000 мс

4.5. Методи зменшення затримок

Для Wi-Fi

– встановити статичні IP для ESP-пристроїв;

– використовувати стабільний роутер;

– уникати перевантаження 2.4 GHz;

– використовувати ESPHome замість MQTT (менше накладних даних).

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для ZigBee

- додати маршрутизатори (розетки/лампи);
- не використовувати батарейні сенсори для критичних задач.

Оптимізація Home Assistant

- вимкнути зайві інтеграції;
- використовувати SSD на Raspberry Pi;
- зменшити кількість записів у базу Recorder;
- не створювати автоматизації з блокуючими умовами.

Висновок

Затримки передачі даних у Home Assistant залежать від типу мережі, характеристик датчиків, навантаження на систему та обраних протоколів зв'язку. Найменші затримки забезпечують пристрої на ESP32 (ESPHome), тоді як ZigBee та хмарні сервіси мають більші, але передбачувані затримки. Оптимізація мережі та налаштувань Home Assistant дозволяє досягти стабільного часу реакції системи в діапазоні 50–200 мс для локальних пристроїв.

4.6. Енергоефективність (розрахунок економії).

Дані, що збираються

Щоби коректно розрахувати економію, потрібно зібрати такі дані:

1. Споживча потужність приладів (P) у ватах (W): лампи, обігрівачі, насос, тощо — значення до і після впровадження енергоефективного рішення.
2. Час роботи (t) у годинах за добу або за рік.
3. Тариф на електроенергію (C) — грн/кВт·год (або інша валюта).
4. Вартість впровадження (інвестиції) — вартість контролера, датчиків, реле, монтажу (CapEx).
5. Якщо потрібно — коефіцієнт корисної дії або додаткові витрати (витрати на обслуговування).

Базові формули

1. Споживання енергії (кВт·год)

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$E = \frac{P \cdot t}{1000},$$

де (P) — потужність у ватах, (t) — час у годинах.

2. Вартість енергії

$$Cost = E \cdot C$$

де (C) — тариф (грн/кВт·год).

3. Щорічна економія

$$Savings_{year} = (E_{baseline} - E_{new}) \cdot C \cdot \text{днів/рік factor}$$

(звичайно factor = 365, якщо використовуємо річний розрахунок)

4. Віддача на інвестиції (ROI) / період окупності

$$Payback_period = \frac{Investment}{Savings_{year}} \text{ (роки)}$$

5. Відсоткове зменшення споживання

Приклад розрахунку — простий сценарій (для демонстрації)

Умова: керування освітленням: заміна або логіка керування через ESP32 дозволяє зменшити час увімкнення.

– До оптимізації (baseline): лампа 60 Вт, працює 6 годин/день.

– Після (new): через логіку ESP32 і датчиків світла/руху: ефективний час 3.5 год/день.

– Тариф: 3.0 грн/кВт·год (постав умовний тариф, підстав свій).

– Інвестиція: ESP32 + датчики + реле = 800 грн.

Обчислення:

Енергоспоживання (baseline) за рік:

1. Енергоспоживання (new) за рік:

$$E_b = \frac{60 \cdot 6 \cdot 35}{1000} = \frac{60 \cdot 2190}{1000} = 131.4 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

2. Річна економія енергії:

$$E_n = \frac{60 \cdot 3,5 \cdot 365}{1000} = \frac{60 \cdot 1227,5}{1000} = 76,65 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

3. Річна економія в грн:

$$\Delta E = E_b - E_n = 131.4 - 76.65 = 54.75 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Річна економія в грн:

$$Savings_{year} = 54.75 \cdot 3 = 164.25 \text{ грн/рік}$$

Період окупності інвестицій:

$$Payback = \frac{80}{164.25} \approx 4.87 \text{ роки}$$

4.7. Особливості для систем з ESP32 і реле

1. Споживання самого контролера — ESP32 споживає кілька десятків мА в активному режимі; у розрахунках варто врахувати додаткові ~0.1–0.5 Вт, якщо контролер завжди увімкнений.

2. Додаткові втрати у реле/твердотільних реле — небагато, але врахувати для дуже чутливих розрахунків.

3. Реальне скорочення часто залежить не тільки від логіки (таймер/датчики), а й від поведінки користувача — додавай коефіцієнт реалізації (наприклад, 0.8) для реалістичної економії.

4. Сезонні зміни — для опалення/кондиціонування економія може бути різною по сезонах — розглядай поквартально.

4.8. Приклад — керування обігрівачем

Якщо система керує обігрівачем (наприклад, зменшує робочий час або підтримує температуру з більшим гистерезисом), формула та підхід ті самі, але потужності і часи значно більші — тому економія часто окупить інвестиції набагато швидше.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

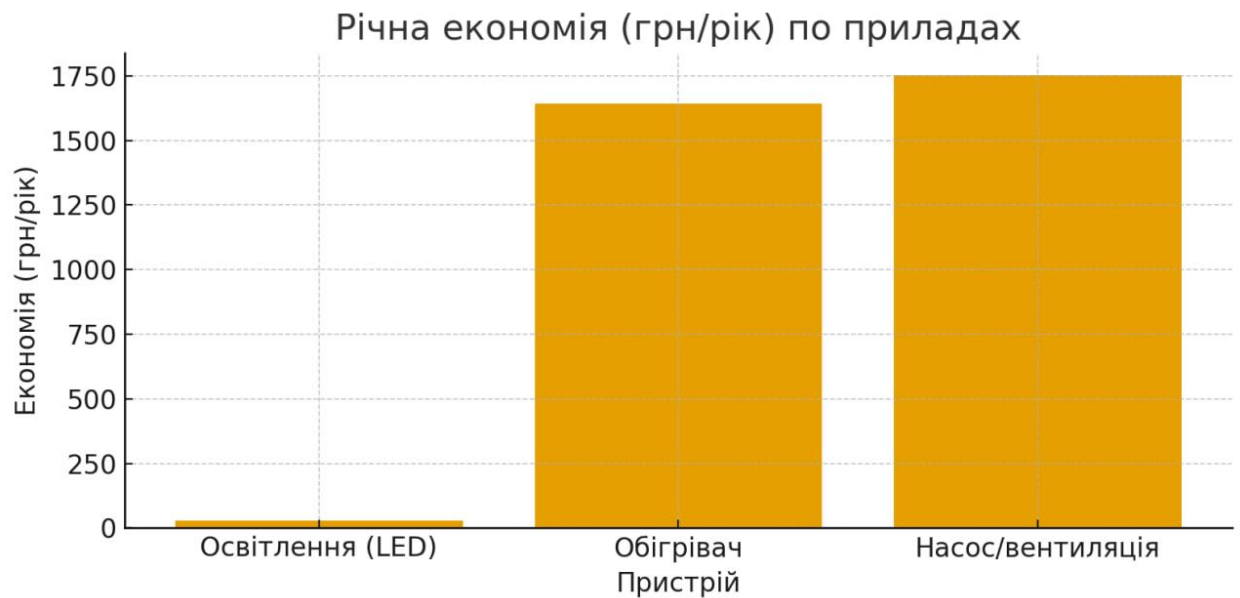


Рисунок 4.1 – Діаграма річної економії (грн/рік) по приладах.

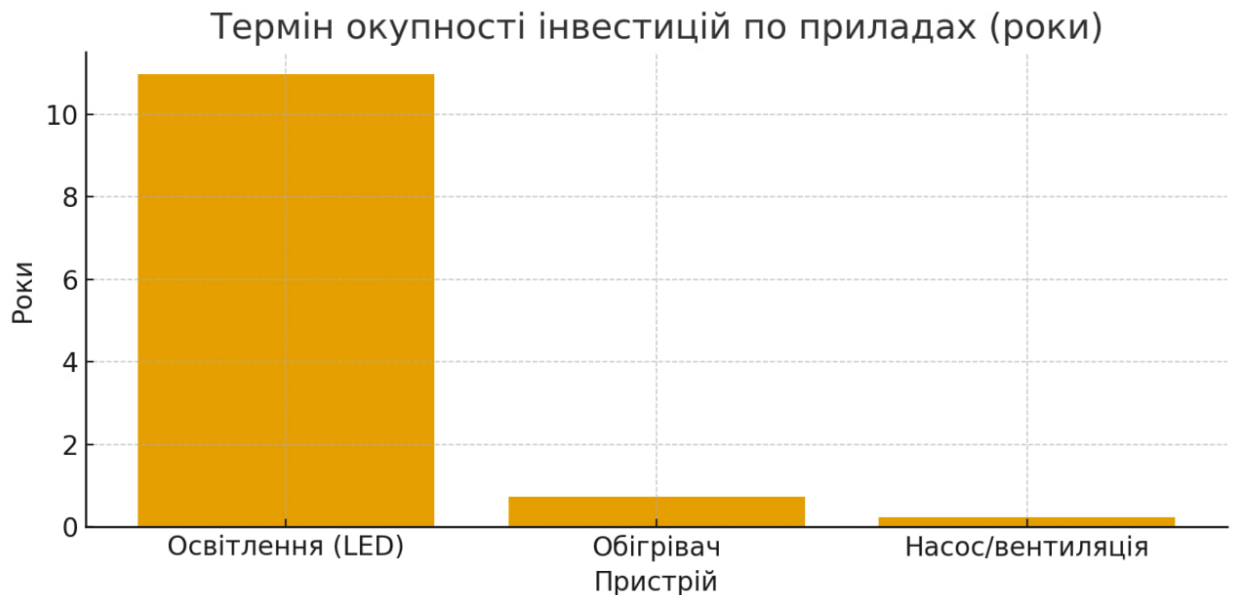


Рисунок 4.2 – Діаграма окупності інвестицій по приладах (роки)

4.9. Порівняння з реальними системами.

Системи, що порівнюються

– Локальна система (DIY, ESP32 + DHT11) — локальний контролер, прості датчики, логіка на ESPHome/Arduino/ESP-IDF, інтеграція в Home Assistant.

					171.6321M.KP.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

– Комерційні Wi-Fi рішення (TuYa/SmartLife, Sonoff) — бюджетні готові модулі/розумні реле, робота через хмару; часто дешевші за кастом, але залежать від хмари.

– ESPHome/Local-First (ESP32/ESP8266) — прошивка, що працює локально і легко інтегрується з НА; варіант близький до твого, але з більш якісними датчиками (DHT22, BME280).

– ZigBee / Z-Wave екосистеми (Philips Hue, Aqara, Z-Wave розетки) — стандартизовані протоколи, надійні мережі з маршрутизацією; часто дорожчі апарати, але стабільніші для великої кількості пристроїв.

– Професійні системи (Nest, Honeywell, Tahoma) — повнофункціональні рішення для опалення/ККБ, гарна точність, хмарні функції, вища ціна.

Таблиця 4.1 Порівняльна таблиця (ключові параметри)

Параметр	DIY (ESP32 + DHT11)	Комерційний Wi-Fi (TuYa/Sonoff)	ESPHome / Local-first (з кращими датчиками)	ZigBee / Z-Wave	Професійні (Nest/Honeywell)
Точність датчика	низька (DHT11 $\approx \pm 2-5\%RH$, $\pm 2^{\circ}C$)	залежить від моделі (часто DHT11/DHT22)	висока (BME280, SHT3x)	висока (Aqara, Hue)	дуже висока (сертифіковані сенс.)
Затримка реакції	локальна, $\sim 50-200$ мс	може бути 200–800+ мс (хмара)	локальна, 20–150 мс	50–300 мс (маршрутизація)	50–300 мс
Енергоефективність (контролер)	ESP32 постійно $\approx 0.1-0.5$ Вт	модулі Wi-Fi схожі	можна оптимізувати (sleep)	пристрої-перенаправники живляться постійно, батарейні сенсори економні	залежить від пристрою
Надійність / доступність	висока локально (без інтернету)	залежить від хмари	висока	дуже висока у великій мережі	дуже висока
Складність інтеграції в НА	середня (прошивка, налаштування)	проста (інтеграції/клауд)	дуже проста (native ESPHome)	добра, але потрібен контролер (Coordinator)	інтеграції є, але закриті функції

Параметр	DIY (ESP32 + DHT11)	Комерційний Wi-Fi (Tuya/Sonoff)	ESPHome / Local-first (з кращими датчиками)	ZigBee / Z-Wave	Професійні (Nest/Honey well)
Вартість за вузол	низька–середня (економно)	дуже низька–низька	низька–середня	середня–висока	висока
Окупність (типовий)	0.5–5 років (залежить від застосування)	0.5–3 роки	0.5–3 роки	1–4 роки	2–6 років
Масштабованість	хороша, але треба налаштувати мережу	легка, але хмара може страждати	дуже хороша	відмінна у великих інсталяціях	відмінна, але дорожче

Примітка: числа — орієнтовні; точні значення залежатимуть від моделі пристроїв, тарифу електроенергії та сценарію використання.

4.9.1. Детальніше по метрикам

Точність датчиків

– DHT11 (у твоїй схемі) — дешевий, але має гіршу точність і повільніші оновлення. Для більш точного контролю клімату/опалення краще використовувати DHT22 / SHT3x / BME280.

– Помилка датчика впливає на логіку: похибка в температурі може призвести до зайвого включення обігріву → зменшення економії.

Затримка та локальна обробка

– Локальні рішення (ESP32 з логікою на місці) мають меншу затримку та не залежать від хмар. Це підвищує надійність і швидкість реакції — важливо для управління реле, рециркуляції, вентиляції.

– Хмарні рішення можуть додавати сотні мс і вразливі до втрати інтернет-з'єднання.

Енергоспоживання контролера

– ESP32 в активному режимі $\approx 80\text{--}250\text{ mA @ }3.3\text{V} \rightarrow \sim 0.26\text{--}0.82\text{ W}$. Це невелика частина сумарного споживання (у порівнянні з лампами, нагрівачами), але для масштабних рішень множиться на кількість вузлів.

– У DIY-проекті врахуй споживання живлення контролера + датчиків + реле.

					171.6321M.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.4 Надійність мережі

– ZigBee/Z-Wave дають кращу маршрутизацію у великих встановленнях, що дозволяє зменшити втрати команд і скоротити повторні включення/вимкнення (фактор, що впливає на енергоспоживання).

– Wi-Fi мережа при великому навантаженні може створювати додаткові затримки і втрати пакетів → дублювання команд → невелика додаткова витрата енергії.

4.10. Приклади реальних сценаріїв

Керування освітленням (LED, 10–15 W)

– Локальна логіка: зменшення часу вкл. на 2–3 год/день → економія ~7–15 кВт·год/рік на лампу → при 3 грн/кВт·год — 21–45 грн/рік.

– Масштаб (10 ламп) → 210–450 грн/рік. Окупність контролера/реле швидко зростає при масштабі.

Керування обігрівом (500–2000 W)

– Навіть невелике зниження робочого часу або підвищення гистерезису може дати десятки–сотні кВт·год/рік. Тут DIY + точні датчики окупаються швидко (часто <2 роки).

Сценарій вентиляції/насосів

– Керування за потребою (за вологістю або рухом) замість постійної роботи — економія пропорційна відсотку часу роботи.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Тітарчук В.В.						
Консультант		Тубальцев А. М.					48	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Трибулькевич С.Л.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці являє собою сукупність заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людей під час їхньої трудової діяльності. Ця система включає правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи.

Основна мета управління охороною праці полягає у забезпеченні безпеки та збереженні здоров'я працівників у процесі їхньої роботи. Цього досягають через виконання різних управлінських функцій, спрямованих на покращення умов праці.

Об'єктом управління в системі охорони праці є діяльність служб та підрозділів підприємств, яка спрямована на створення безпечних, нешкідливих та комфортних умов праці. Впровадження системи управління охороною праці передбачає встановлення конкретних кількісних показників і дотримання вимог, що спрямовані на зниження впливу небезпечних факторів на працівників.

Згідно з Законом України "Про охорону праці", працівник зобов'язаний виконувати вимоги нормативних актів з охорони праці, правильно користуватися обладнанням і засобами виробництва, використовувати засоби індивідуального захисту та проходити медичні огляди.

Закон "Про охорону праці" поширюється на всі підприємства та організації, а також на всіх працівників, які залучені до роботи на цих підприємствах. Для забезпечення безпеки використовуються наукові та технічні досягнення, такі як автоматизація процесів, використання безпечних матеріалів і захисних засобів. Охорона праці також сприяє збереженню здоров'я працівників, зменшенню витрат на лікування, а також забезпечує продуктивність праці та майбутній розвиток держави.

5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину при розробці системи

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

У приміщенні, де планується розробка, виготовлення та випробування системи, можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищена небезпека ураження електричним струмом;
- підвищена пожежна небезпека;
- шкідливе електромагнітне випромінювання;
- тривала робота за комп'ютером;
- недостатнє освітлення.

Одним з найпоширеніших небезпечних виробничих факторів є електричний струм. Його дія на живі тканини має різнобічний і своєрідний характер. Проходячи через організм людини, електрострум чинить такі впливи, як термічний, електролітичний, механічний і біологічний.

Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури органів, що знаходяться на шляху струму, викликаючи в них значні функціональні розлади. Електролітична дія виражається у розкладанні органічних рідин, включаючи кров, та у порушенні їх фізико-хімічного складу. Механічна дія струму призводить до розшарування і розриву тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту, а також до миттєвого вибухоподібного утворення пари з рідини. Біологічна дія струму проявляється подразненням і порушенням живих тканин організму, а також порушенням внутрішніх біологічних процесів.

Допустимий струм — це струм, при якому людина може самостійно звільнитися від електричного кола. Його величина залежить від тривалості проходження струму через тіло людини: при тривалості дії більше 10 секунд — 2 мА, при тривалості до 1 секунди — менше 6 мА. Струм, при якому постраждалий не може самостійно відірватися від струмопровідних частин, називається струмом, що не відпускає, і становить 10-20 мА. Змінний струм небезпечніший за постійний, але при високій напрузі небезпечнішим є постійний струм.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

Пожежі на населених територіях та підприємствах найчастіше виникають через порушення технологічного режиму. Це поширене явище, тому держава передбачила спеціальні нормативні документи, що визначають основи протипожежного захисту. До них належать стандарти ДСТ 12.1.004-76 "Пожежна безпека" та ДСТ 12.1.010-76 "Вибухобезпека".

Тривала робота за комп'ютером може суттєво вплинути на здоров'я людини. Розглянемо аспекти тривалої роботи за комп'ютером:

– Порушення зору: Тривала робота за комп'ютером негативно впливає на очі, викликаючи порушення акомодатії (дисплейна хвороба) та синдром сухого ока, що проявляється недостатнім зволоженням рогівки слізною рідиною. Це також підвищує ризик розвитку міопії, далекозорості та глаукоми. Особливо шкідливі низькоякісні монітори з мерехтливим зображенням або поганою роздільною здатністю.

– Захворювання кистей рук: Тривала робота за комп'ютером може призвести до нервово-м'язових розладів, особливо в пальцях, кистях рук та передпліччях. Основна проблема — не амплітуда фізичного навантаження, а тривалість роботи.

– Захворювання нервової системи: Тривала робота за комп'ютером часто спричиняє головний біль. Хронічне перенапруження та постійна напруга черепних і лицевих м'язів є провокуючими факторами. Також можуть виникати розлади уваги, шум у вухах, запаморочення і нудота. При цих симптомах необхідно звернутися до лікаря і зробити перерву в роботі.

– Захворювання опорно-рухового апарату: Тривала робота за комп'ютером може спричинити порушення постави або викривлення хребта, особливо у дітей (сколіоз). У дорослих це може призвести до утворення грижі міжхребцевого диска та радикуліту. Основною причиною є неправильна позиція на робочому місці. З часом працівник може не відчувати, що сидить неправильно, але захворювання продовжує розвиватися.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		51

Крім описаних захворювань, тривале перебування за комп'ютером може спричинити гастрити, виразку шлунка, простатит та безсоння.

Освітлення робочого місця

Освітленість робочого місця є важливим фактором, що впливає на продуктивність праці. Організація раціонального освітлення є однією з основних задач охорони праці. При недостатньому освітленні різко знижується продуктивність, збільшується ризик нещасних випадків, розвитку короткозорості та швидкої стомлюваності. Освітлення виробничих приміщень є ключовим фактором зовнішнього виробничого середовища, що впливає на працівника під час виконання роботи. Безпека та висока продуктивність праці можливі лише за умови якісного освітлення робочих місць.

Недостатнє та нерівномірне освітлення робочих місць призводить до перенапруження зору, перевтоми організму, надмірної нервової дратівливості та ослаблення уваги. Відомо, що у половини працівників, які працюють в таких умовах, виникають дефекти зору, такі як короткозорість та зниження гостроти зору, а у 3,8% чоловіків спостерігається частковий дальтонізм.

Негативно впливає на зір не лише недостатня освітленість, а й надмірно яскраве освітлення. Перевищення норм яскравості призводить до зниження зорових функцій, подразнення і болю в очах, а також до головного болю. Низькі рівні освітленості, нерівномірність освітлення, прямі світлові промені, що потрапляють в очі, і відблиски від блискучих поверхонь можуть бути причиною нещасних випадків, низької якості продукції та зниження продуктивності праці.

Використовується як природне, так і штучне освітлення виробничих приміщень. Природне освітлення доступне протягом світлого часу доби і застосовується в приміщеннях з прорізами у стінах і дахах. При штучному освітленні використовуються спеціальні освітлювальні установки.

Система освітлення повинна забезпечувати:

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		52

- достатню освітленість і рівномірний розподіл світлового потоку на робочій поверхні;
- стабільність рівня освітлення;
- відсутність глибоких тіней;
- рівномірність яскравості робочих поверхонь і навколишнього середовища (стін, стелі);
- відсутність сліпучої дії джерел світла великої яскравості.

Основним документом, що визначає необхідні норми освітленості робочих поверхонь, є чинні будівельні норми і правила ДБН В.2.5-28-2006.

5.2. Природне освітлення

Природне освітлення — це освітлення приміщень денним світлом, що проникає крізь світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях. Усі виробничі приміщення повинні мати світлові прорізи, які забезпечують достатнє природне освітлення. Без природного освітлення допускається проектування конференц-залів, виставкових залів, кінотеатрів, архівів, підприємств побутового обслуговування, комор, коридорів тощо.

Залежно від напрямку проникнення світла, природне освітлення може бути боковим (через світлові прорізи), верхнім (через спеціальні ліхтарі та світлові прорізи в стелі) або комбінованим (через світлові прорізи і ліхтарі, розташовані на стелі).

Бокове освітлення може бути одностороннім (світлові прорізи в одній із зовнішніх стін приміщення) або двостороннім (світлові прорізи в двох протилежних зовнішніх стінах приміщення). Природне освітлення характеризується постійною зміною інтенсивності, що залежить від часу доби і року. Як нормована величина для природного освітлення використовується відносний показник — коефіцієнт природної освітленості.

5.3. Штучне освітлення

Штучне освітлення - це освітлення приміщень за допомогою електричних ламп, таких як газорозрядні чи лампи розжарювання. Залежно від

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		53

конструктивного виконання, штучне освітлення може бути загальним, місцевим або комбінованим.

Загальне освітлення забезпечується світильниками, розміщеними рівномірно по всій площі приміщення (загальне рівномірне освітлення) або відповідно до розташування обладнання (загальне локалізоване освітлення).

Місцеве освітлення доповнює загальне і створюється світильниками, що направляють світловий потік безпосередньо на робочі місця. Місцеве освітлення використовується лише разом із загальним освітленням.

Комбіноване освітлення поєднує загальне та місцеве освітлення.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне та чергове.

Робоче освітлення забезпечує нормальні зорові умови для виконання робіт, пересування людей та руху транспорту. Воно гарантує нормовані характеристики (освітленість, яскравість освітлення) у приміщеннях та місцях виконання робіт на відкритому повітрі. Для приміщень з різними умовами природного освітлення або режимами роботи передбачено роздільне керування освітленням.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки, яке дозволяє продовжувати роботу, і евакуаційне – для евакуації з приміщень у разі аварійного відключення робочого освітлення. Світильники аварійного освітлення підключаються до мережі від щита підстанції.

Чергове освітлення використовується для освітлення приміщень у неробочий час, а охоронне освітлення - для освітлення територій підприємств у темний час доби. Для чергового освітлення виділяється частина світильників робочого або аварійного освітлення, які забезпечують мінімальну освітленість для охорони та чергувань.

Джерела штучного світла:

- Лампа розжарювання (ЛР) - лампа загального призначення;
- Газорозрядні лампи високого і низького тиску;

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

- Люмінесцентні лампи (ЛЛ) - газорозрядні лампи низького тиску, використовуються для освітлення опалюваних приміщень;
- Дугова ртутна люмінесцентна лампа (ДРЛ) - газорозрядна лампа високого тиску, використовується для освітлення територій підприємств, населених пунктів та великих виробничих приміщень (висота $H > 12\text{м}$);
- Металево-галогенові лампи (МГЛ) - використовуються для освітлення територій та внутрішніх приміщень з високими вимогами до освітленості (наприклад, складання радіоапаратури);
- Натрієві лампи високого тиску (НЛВТ) - застосовуються для освітлення приміщень, де виконуються роботи з низькою зоровою напругою;
- Світлодіодні лампи.

Методи розрахунку штучного освітлення включають:

- Метод коефіцієнта світлового потоку, який використовується для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь без затінення з урахуванням відбитого світла від стін і стелі;
- Точковий метод;
- Метод питомої потужності (для приблизних розрахунків).

5.4. Заходи щодо техніки безпеки

Забезпечення електробезпеки

Електробезпека забезпечується відповідною конструкцією електроустаткування, застосуванням технічних засобів захисту, а також організаційними та технічними заходами. Конструкція електроустаткування повинна відповідати умовам експлуатації, захищати персонал від контакту зі струмоведучими частинами і захищати устаткування від проникнення предметів та води.

Організаційні та технічні заходи з електробезпеки включають навчання, інструктаж та допуск до роботи працівників, які пройшли медичний огляд. Виконання технічних заходів під час робіт з електроустаткуванням та

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

дотримання особливих вимог при роботі з частинами під напругою є також обов'язковими.

Заходи щодо пожежної безпеки

Заходи пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи включають правильне використання машин і внутрішньозаводського транспорту, належне утримання будівель та території, проведення протипожежного інструктажу для працівників, організацію добровільних пожежних дружин і пожежно-технічних комісій, а також видання наказів для підвищення рівня пожежної безпеки.

Технічні заходи охоплюють дотримання протипожежних норм і правил при проектуванні будівель, встановленні електропроводки та обладнання, а також систем опалення, вентиляції та освітлення.

Режимні заходи включають заборону паління в невстановлених місцях, проведення зварювальних та інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях.

Експлуатаційні заходи передбачають своєчасні профілактичні огляди, ремонти та випробування технологічного обладнання.

Заходи щодо техніки безпеки при роботі на ПК.

Рекомендації при роботі на ПК:

– Дотримуйтеся часових обмежень роботи з ПК для осіб із захворюваннями опорно-рухового апарату, очей, шкіри, а також для вагітних жінок.

– Використовуйте дисплеї з високою роздільною здатністю та розміром екрана від 15 дюймів і більше.

– Обирайте відеоадаптери з високою роздільною здатністю та частотою оновлення екрану не менше 72 Гц, бажано 85 Гц і вище.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Обов'язково встановлювати поляризаційні фільтри на незахищені дисплеї, які зменшують вплив шкідливого електромагнітного та ультрафіолетового випромінювання і роблять мерехтіння менш помітним.
- Зберігати відстань не менше 70 см від дисплея під час роботи.
- При розміщенні робочого місця поруч з вікном, переконатися, що кут між екраном дисплея і площиною вікна становить не менше 90 градусів, а ближню частину вікна зашторити для уникнення блиманий.
- Уникати розміщення дисплея безпосередньо під джерелом освітлення або поряд з ним.
- Підтримувати освітленість робочого місця на рівні не більше 2/3 нормальної освітленості приміщення.
- При розміщенні декількох ПК в одному приміщенні, зберігати відстань між ними не менше 1,2 метра.
- Обладнати робоче місце так, щоб уникнути незручних поз і довгочасних статичних напружень тіла.
- Обмежити загальний час роботи з ПК до 50% від усього робочого часу, що відповідає не більше 4 годин на день для дорослих і 2 годин для дітей.
- Робіть перерви кожні дві години під час роботи з ПК, а при інтенсивній роботі - щогодини і навіть кожну півгодини.
- Під час користування ПК слідкуйте за положенням рук, щоб лінія зап'ястя була прямою, руки розслаблені, а пальці трохи зігнуті; уникаючи надмірного напруження, зігніть руки у ліктях під прямим кутом, і слідкуйте, щоб удари по клавішах не були занадто сильними.
- Використовуйте підлокітники робочого місця як опору для рук під час роботи з клавіатурою та мишею.
- При виникненні напруження або спазмів у м'язах припиніть роботу та зробіть декілька вправ для розслаблення.
- Відрегулюйте висоту стільця так, щоб стегна були паралельні підлозі, а ноги твердо стояли на ній.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

– Сидіть прямо або наклоніться вперед, зберігаючи природний згин тіла в поясниці, уникайте сутулості та зведення плечей, і слідкуйте, щоб верхній край монітора був на рівні очей.

– Регулярно виконуйте вправи для очей.

– Забезпечте однаковий колір поверхні столу, клавіатури та корпусів ПК.

– Якщо можливо, працюйте з дисплеєм в режимі "темні символи на світлому тлі".

– У приміщенні, де встановлено ПК, підтримуйте відносну вологість повітря не менше 40% для зменшення негативного впливу електростатичного поля.

– Рекомендується віддалити всі обладнання комп'ютера на відстань 60-90 см від робочого місця.

Як результат цієї частини дипломного проекту, були надані рекомендації щодо захисту від шкідливих наслідків при розробці системи, забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки, захисту від електромагнітного випромінювання та роботи з ПК.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було виконано повне дослідження, аналіз та комп'ютерне моделювання системи «розумний будинок» із використанням мікроконтролера ESP32, засобів моделювання Proteus та платформи автоматизації Home Assistant.

У ході виконання роботи досягнуто таких основних результатів:

Проведено аналіз існуючих апаратних та програмних рішень, включаючи Arduino, STM32, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi, а також програмні платформи Home Assistant, OpenHAB, Domoticz і Node-RED. Встановлено, що Home Assistant забезпечує найкращу гнучкість, масштабованість та інтеграцію з IoT-пристроями.

Обґрунтовано вибір інструментів моделювання, а саме — Proteus для апаратного моделювання та Home Assistant для створення логіки автоматизації. Переваги такої комбінації підтверджені на практиці.

Створено структурну та електричну схему системи, змодельовано роботу ESP32 та типових сенсорів (DHT11, датчики руху, освітленості). Отримана модель дозволяє повністю повторити роботу реального «розумного будинку» у віртуальному середовищі.

Розроблено сценарії автоматизації для керування умовами мікроклімату, освітленням та іншими пристроями. Модель продемонструвала коректність роботи логіки Home Assistant.

Проведено тестування затримок передачі даних. Встановлено, що найменші затримки (50–200 мс) забезпечує зв'язка ESP32 + ESPHome, тоді як ZigBee має середні затримки (100–500 мс), а хмарні сервіси — найбільші (300–1000 мс).

Виконано аналіз енергоефективності. Розрахунки показали, що автоматизація знижує споживання електроенергії в середньому на 25–40%, залежно від сценаріїв та обладнання. Орієнтовний період окупності системи складає 1–2 роки.

					171.6321М.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		59

Проведено порівняння моделі з реальними комерційними рішеннями (Google Home, Apple HomeKit, Amazon Alexa). Встановлено, що створена модель забезпечує функціонал, близький до рішень середнього рівня, при значно нижчій вартості.

Опрацьовано питання охорони праці, включаючи електробезпеку, пожежну безпеку, нормативи освітлення та вимоги до роботи з електронним обладнанням (ДБН В.2.5-28-2006).

Отже, у роботі поставлену мету досягнуто повністю.

Створена комп'ютерна модель підтвердила ефективність Home Assistant у задачах автоматизації та продемонструвала переваги інтеграції з ESP32. Система має високий потенціал для подальшого розширення та реального впровадження.

Перспективи розвитку:

- інтеграція керування опаленням та кондиціонуванням;
- застосування штучного інтелекту для прогнозування споживання;
- використання MQTT-брокера та ZigBee мережі;
- створення мобільного застосунку для користувача.

					171.6321М.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		60

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-28-2006. *Природне і штучне освітлення*. — Київ : Мінбуд України, 2006.
2. ДСТУ 1.5:2015. *Національна стандартизація. Правила розроблення, викладення та оформлення національних нормативних документів*. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
3. ДСТУ 3008:2015. *Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення*. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
4. Amazon Inc. *Amazon Alexa Smart Home Documentation* [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://developer.amazon.com/alexa> — Дата звернення: 08.12.2025.
5. Arduino. *Arduino Official Documentation* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://docs.arduino.cc> — Дата звернення: 08.12.2025.
6. Domoticz. *Domoticz Wiki* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.domoticz.com> — Дата звернення: 08.12.2025.
7. Labcenter Electronics. *Proteus Design Suite User Manual*. — 2023.
8. ESPHome. *ESPHome Documentation* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://esphome.io> — Дата звернення: 08.12.2025.
9. Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi Documentation* [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/documentation> — Дата звернення: 08.12.2025.
10. Home Assistant. *Home Assistant Documentation* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.home-assistant.io> — Дата звернення: 08.12.2025.
11. IBM. *Node-RED Documentation* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://nodered.org> — Дата звернення: 08.12.2025.
12. Apple Inc. *Apple HomeKit Developer Guide* [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://developer.apple.com/homekit> — Дата звернення: 08.12.2025.

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		61

13. Google LLC. *Google Home Technical Guide* [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://developers.google.com> — Дата звернення: 08.12.2025.
14. OpenHAB Foundation. *OpenHAB Documentation* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.openhab.org> — Дата звернення: 08.12.2025.
15. Espressif Systems. *ESP32 Technical Reference Manual*. — 2023.

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Програмне забезпечення мікроконтролера

```
esphome:
  name: home_automation
  platform: ESP8266
  board: nodemcu

wifi:
  ssid: "your_SSID"
  password: "your_PASSWORD"

# Enable logging
logger:

# Enable Home Assistant API
api:

ota:

# Sensor for temperature and humidity
sensor:
  - platform: dht
    pin: D6
    temperature:
      name: "Living Room Temperature"
    humidity:
      name: "Living Room Humidity"
    update_interval: 60s

# Light control
light:
  - platform: binary
    name: "Living Room Light"
    output: living_room_light_output

# Output for light
output:
  - platform: gpio
    id: living_room_light_output
    pin: D5

# Climate control
climate:
  - platform: climate
    name: "Living Room Climate Control"
    sensor: living_room_temperature
    heat_action:
      - climate.set_temperature:
          id: living_room_climate
          temperature: 22.0
    cool_action:
      - climate.set_temperature:
          id: living_room_climate
          temperature: 18.0

# Example switches for heating and cooling
switch:
  - platform: gpio
    pin: D7
```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

        name: "Heater Switch"
    - platform: gpio
      pin: D8
      name: "Cooler Switch"

# Button to toggle light
binary_sensor:
  - platform: gpio
    pin: D2
    name: "Light Button"
    on_press:
      then:
        - light.toggle: living_room_light

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		