

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

«Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням
виробничого приміщення з використанням технології IoT»
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВм-22-1
Ницета Вячеслав Євгенович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматики і комп'ютеризованих
технологій

освітньої програми Комп'ютерно-інтегровані технологічні
процеси і виробництва

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Косенко В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри


(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Я, Ницета Вячеслав Євгенович, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата: 23.01.2024 р.

Підпис: 

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	151 Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

(підпис)

« 01 » 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові

Нищети Вячеславу Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT

затверджена наказом по університету від

03.11. 2023 р.

№ 1287 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії

23.01. 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Розроблені схема підключення та програмний код; 3.2 Інтегрована технологія IoT в систему; 3.3 Обрана операційна система; 3.4 Обрані мова програмування та середовище розробки; 3.5 Проведені аналіз методологій та технологій проектування програмних засобів; 3.6 Проведений аналіз методів математичного моделювання.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ; 4.2 Аналіз предметної

області; 4.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів; 4.4 Розробка програмного забезпечення;

4.5 Експериментальні дослідження; 4.6 Висновки; 4.7 Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал (16 аркушів формату А4).

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1).

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Бронніков А.І.		23.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання кваліфікаційної роботи	01.09.2023 р.	
2	Аналіз завдання, літератури та аналогів з теми кваліфікаційної роботи	10.09.2023 р.	
3	Вибір засобів для розробки технічних вимог до програми	20.09.2023 р.	
4	Вибір середовища розробки програми	01.10.2023 р.	
5	Розробка програмного забезпечення	15.11.2023 р.	
6	Аналіз даних контрольного прикладу та тестування програми	05.12.2023 р.	
7	Оформлення пояснювальної записки та програмної документації	20.12.2023 р.	
8	Передзахист кваліфікаційної роботи	21.01.2024 р.	
9	Представлення на рецензування	22.01.2024 р.	
10	Представлення кваліфікаційної роботи в ДЕК	23.01.2024 р.	

Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Нищета В. Є.

(прізвище, ініціали)

проф. Косенко В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 102 с., 6 табл., 26 рис., 3 додатки, 34 джерела.

ВИРОБНИЧІ ПРИМІЩЕННЯ, КОНДИЦІОНУВАННЯ, INTERNET OF THINGS (IoT), МІКРОКОНТРОЛЕРИ, ДАВАЧІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ.

Об'єктом дослідження є процес впровадження системи інтелектуального керування кондиціонуванням з використанням технології IoT у виробничі приміщення.

Предметом дослідження є система інтелектуального керування кондиціонуванням виробничих приміщень, побудована на основі технології Internet of Things (IoT).

Метою дослідження є розробка інтегрованої системи інтелектуального керування кондиціонуванням для підвищення продуктивності, зменшення витрат енергії та поліпшення якості виробництва в умовах виробничих приміщень.

У роботі досліджено технічні аспекти системи інтелектуального керування кондиціонуванням, інтегруючи технології IoT та мікроконтролер ESP32. Використано датчики DHT22, MH-Z19, MQ-2, Adafruit Anemometer, SparkFun Photocell Sensor та кроковий двигун NEMA 17. Розроблено програмне забезпечення для оптимізації температурних умов та підвищення енергоефективності. Досліджено потенціал системи для покращення умов праці в промислових приміщеннях. Відзначено простий та зрозумілий інтерфейс системи, що не вимагає високих технічних навичок.

ABSTRACT

Explanatory Note: 102 pages, 26 figures, 6 tables, 3 appendices, 34 sources.

INDUSTRIAL FACILITIES, CONDITIONING, INTERNET OF THINGS (IoT), MICROCONTROLLERS, SENSORS, ENERGY EFFICIENCY, PRODUCTION PRODUCTIVITY, AUTOMATION, INTELLIGENT CONTROL SYSTEM.

The object of the research is the process of implementing an intelligent air conditioning control system using IoT technology in industrial premises.

The subject of the study is an intelligent air conditioning control system for industrial premises, built on the basis of Internet of Things (IoT) technology.

The aim of the research is to develop an integrated intelligent air conditioning control system to enhance productivity, reduce energy costs, and improve the quality of production in industrial premises.

The paper explores the technical aspects of the intelligent air conditioning control system, integrating IoT technologies and the ESP32 microcontroller. DHT22, MH-Z19, MQ-2, Adafruit Anemometer, SparkFun Photocell Sensor, and NEMA 17 stepper motor sensors were used. Software has been developed to optimize temperature conditions and improve energy efficiency. The potential of the system to enhance working conditions in industrial premises has been investigated. The system features a simple and user-friendly interface that does not require high technical skills.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	10
Вступ.....	11
1 Аналіз предметної області.....	13
1.1 Аналіз предметної галузі, що визначається роллю та зв'язком Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 з розробкою системи інтелектуального керування кондиціонуванням	13
1.1.1 Індустрія 4.0 та її значення для системи інтелектуального керування кондиціонуванням.....	13
1.1.2 Індустрія 5.0 та інтеграція людських навичок в передові технології.....	15
1.2 Мікроконтролери в автоматизації виробництв, їх використання.....	17
1.2.1 Розгляд мікроконтролера Arduino.....	19
1.2.2 Розгляд мікроконтролера ESP32	21
1.2.3 Розгляд мікроконтролера STM32.....	23
1.2.4 Розгляд мікроконтролера Raspberry Pi Pico	24
1.3 Давачі у технічних системах	26
1.3.1 Давачі вологості та температури.....	27
1.3.2 Давачі вимірювання рівнів CO ₂	29
1.3.3 Давачі для виявлення диму та газу	30
1.3.4 Давачі для виявлення швидкості вітру. Анемометри.....	32
1.3.5 Давачі для вимірювання інтенсивності світла	34
1.4 Роль крокового двигуна у системі інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення	36
1.4.1 Принцип використання та характеристики крокового двигуна	37

1.4.2	Інтеграція крокового двигуна в систему інтелектуального контролю кондиціонуванням	38
1.4.3	Роль крокового двигуна у регулюванні потоку повітря	41
1.5	Технологія IoT в індустрії	42
1.6	Постановка задачі.....	43
1.7	Висновки за розділом 1	46
2	Вибір та обґрунтування технічних засобів	48
2.1	Вибір технічних засобів.....	48
2.1.1	Мікроконтролери.....	48
2.1.2	Давачі.....	49
2.1.3	Платформи та інструменти.....	50
2.1.4	Інтеграція та взаємодія	51
2.2	Вибір інтегрованого середовища розробки (IDE) та бібліотек	52
2.2.1	Вибір інтегрованого середовища розробки	52
2.2.2	Використання бібліотек для ESP32	53
2.3	Розробка розрахункової моделі системи	55
2.3.1	Витрати енергії на кондиціонування.....	56
2.3.2	Тепловий баланс	58
2.3.3	Інтеграція IoT.....	59
2.4	Діаграма прецедентів	60
2.5	Розробка функціональної моделі системи	62
2.6	Висновки за розділом 2.....	66
3	Розробка програмного забезпечення.....	68
3.1	Створення блок-схеми алгоритму роботи програмного забезпечення.....	68

3.2 Розробка моделі системи інтелектуального управління кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології ІоТ.....	73
3.3 Розробка програмного забезпечення	76
3.3.1 Реалізація програмного коду у середовищі стимуляційної розробки Wokwi.....	76
3.3.2 Реалізація технології ІоТ у середовищі Blynk для взаємодії із системою	82
3.4 Техніка безпеки при експлуатації електричної апаратури в промисловості: принципи та застосування.....	86
3.5 Висновки за розділом 3.....	87
4 Експериментальні дослідження	89
4.1 Перевірка виконання завдання: контрольний аналіз	89
4.2 Висновки за розділом 4.....	94
Висновки	96
Перелік джерел посилання	98
Додаток А Текст програми	103
Додаток Б Демонстраційний матеріал.....	117
Додаток В Апробація результатів	133

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ARM – Advanced RISC Machine;

CASE – Computer–Aided Software Engineering;

DIY – Do It Yourself;

IDE – Integrated Development Environment;

IDEF0 – Icam DEFinition for Function Modeling;

ICAM — Integrated Computer Aided Manufacturing;

IoT – Internet of Things;

UML – Unified Modeling Language;

WCC – Wokwi Custom Chip.

ВСТУП

У сучасному світі виробництва є життєво важливим складником економіки, що забезпечує виробництво різноманітних товарів, необхідних для задоволення потреб суспільства.

Зростання конкуренції та швидкий розвиток технологій змушують підприємства вдосконалювати свої виробничі процеси і надавати якісну продукцію. У цьому контексті автоматизація виробництва стає ключовим фактором. Підприємства впроваджують різноманітні автоматичні системи для оптимізації процесів, зменшення витрат та підвищення продуктивності. Проте, разом із ростом автоматизації зростає і важливість створення та підтримки необхідних умов для найвищої ефективності цих систем [1].

Одним із аспектів, який потребує особливої уваги, є кондиціонування виробничих приміщень, де встановлені десятки та сотні машин та обладнання, що працюють в різних режимах та вимагають специфічних умов для найвищої ефективності та безпеки. У виробничих об'єктах надзвичайно важливо підтримувати сталі та специфічні умови, такі як температура, вологість та якість повітря, для забезпечення найвищої продуктивності та якості виробництва. Наприклад, у фармацевтичній галузі, навіть дрібний відхил від необхідних умов може призвести до втрати якості продукції або навіть загрожувати безпеці пацієнтів.

Важливість підтримки необхідних умов виробництва стала ще актуальнішою в контексті автоматизації виробництв. Автоматизація дозволяє підвищити продуктивність, зменшити витрати і підвищити якість виробництва. Однак вона також підвищує вимоги до точності та надійності систем керування, таких як кондиціонування виробничих приміщень.

Розробка системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення є актуальною задачею в сучасному виробничому середовищі. Використовуючи передові технології Internet of Things (IoT), така

система може автоматично реагувати на зміни у виробничому середовищі, забезпечуючи оптимальні умови для роботи обладнання та персоналу. Вона стає важливим інструментом для підприємств, які прагнуть досягти високої ефективності та сталості у виробництві.

Таким чином, підтримка оптимальних умов для виробництва стає важливим завданням для підприємств у всьому світі. Системи інтелектуального керування, засновані на технології IoT, можуть допомогти виробництвам досягти цих цілей, надаючи засоби для ефективного керування умовами та автоматичної реакції на зміни для забезпечення безпеки, комфорту та продуктивності виробничих процесів [2].

Основним об'єктом дослідження є виробничі приміщення та їхнє кондиціонування, які включають в себе комплекс умов, таких як температура, вологість, та якість повітря, необхідні для забезпечення оптимальних умов роботи обладнання та персоналу на підприємствах.

Метою дослідження є розроблення та впровадження системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення на основі технології IoT з метою підвищення продуктивності, зменшення енергоспоживання та поліпшення якості виробництва у різних галузях промисловості.

У даній роботі розглядається важливість розроблення та впровадження системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT. Детальне вивчення цієї теми та розробка практичного рішення відкривають можливості для покращення продуктивності, зменшення витрат та підвищення якості виробництва на підприємствах у різних галузях [3].

Дана дипломна робота була оформлена згідно ДСТУ та методичних вказівок [4-8].

Результати були опробувані на конференції сьомої міжнародної науково-технічної конференції “Виробництво & Мехатронні Системи 2023”, у вигляді тез доповідей [9].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз предметної галузі, що визначається роллю та зв'язком Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 з розробкою системи інтелектуального керування кондиціонуванням

В сучасному світі технологічні інновації мають суттєвий вплив на розвиток промисловості. Індустрія 4.0 та Індустрія 5.0 є двома ключовими поняттями, які характеризують еволюцію виробництва і виробничих процесів в новому технологічному контексті

Особливої уваги до питання розвитку Індустрії 4.0 та потенційної Індустрії 5.0 треба приділити через те, що в контексті Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології ІоТ вони грають принципову роль[10].

1.1.1 Індустрія 4.0 та її значення для системи інтелектуального керування кондиціонуванням

Індустрія 4.0 визначається як ключовий тренд четвертої промислової революції, що відбувається на наших очах. Цей перехід є логічним наступним кроком після третьої, цифрової революції, що почалася в другій половині минулого століття. Цифрова революція характеризувалася розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизацією та роботизацією виробничих процесів. Однак Індустрія 4.0 внесла значні зміни у спосіб функціонування виробничих підприємств та управління процесами в реальному часі.

Індустрія 4.0 відзначається повністю автоматизованими виробництвами, де керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням змінних зовнішніх умов. Це досягається завдяки кіберфізичним системам, які створюють віртуальні копії фізичних об'єктів та контролюють

фізичні процеси. Ці системи можуть об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в режимі реального часу, самоналагоджуватися та самонавчатися. Важливу роль відіграють інтернет-технології, які забезпечують комунікацію між персоналом та машинами.

Індустрія 4.0 включає в себе чотири базові технології, які змінюють усі аспекти виробництва та управління:

- інтернет речей (IoT) та промисловий інтернет речей (IIoT);
- цифрові екосистеми;
- аналітика великих даних (Big Data);
- цифрові платформи.

Технологія IoT використовує Інтернет для обміну інформацією не тільки між людьми, але і між машинами, пристроями та датчиками. IIoT відкриває прямий шлях до створення повністю автоматизованих виробництв. Вона розпочинається з оснащення ключових компонентів обладнання різними датчиками, виконавчими механізмами та контролерами. Зібрані дані обробляються та надсилаються до відповідних служб підприємства, що дозволяє персоналу приймати обґрунтовані рішення і навіть досягти повного автоматизованого виробництва на деяких ділянках.

Цифрові екосистеми об'єднують різні фізичні об'єкти, програмні системи та керуючі контролери, що дозволяють уявити їх як єдине ціле. Вони спрямовані на моніторинг та управління фізичними процесами з використанням технологій IIoT. Традиційні інженерні моделі гармонійно співіснують з комп'ютерними.

Величезні обсяги даних, що накопичуються завдяки IoT та IIoT, вимагають ефективної обробки, яку здійснюють комп'ютери, хмарні обчислення та штучний інтелект. В результаті, оператори систем отримують оброблені дані, які полегшують процес аналізу та прийняття рішень.

Цифрові платформи дозволяють інтегрувати різні технології та системи для кращого управління бізнес-процесами та аналізу даних. Вони є важливою складовою Індустрії 4.0 та підтримують інновації та ефективність.

Революція завершується успішно лише за умови належного організації та фінансування. Головні переваги від переходу до Індустрії 4.0 отримують ті, хто вчасно впроваджує технології, що змінюють виробництво та управління. За прогнозами, інвестиції у Індустрію 4.0 можуть призвести до значних економічних вигід. Це стосується як великих корпорацій, так і менших підприємств, які активно беруть участь у цьому процесі.

В Україні також спостерігається певний рух у напрямку переходу до Індустрії 4.0, незважаючи на проблеми, що почалися під час масового карантину, визваного пандемією коронавірусної хвороби 2019 (COVID-19), закінчуючи указом Президента України №64/2022 про введення воєнного стану, у зв'язку з військовою агресією Російської Федерації проти України, та реалії впливу на бізнес. Деякі компанії вже використовують інноваційні технології для оптимізації процесів та підвищення ефективності. Зокрема, деякі компанії в Україні вже використовують рішення, які відповідають вимогам Індустрії 4.0 і досягають відчутних конкурентних переваг.

1.1.2 Індустрія 5.0 та інтеграція людських навичок в передові технології

Індустрія 5.0 (п'ята промислова революція) - це концепція, що поєднує людські здібності, передові технології та турботу про екологію. Насупроти Індустрії 4.0, яка автоматизує виробництво, Індустрія 5.0 наголошує важливість ролі людей, соціальних аспектів та сталого розвитку. Концепція, яка не лише має потенціал допомогти країні після перемоги у війні, але й визначити нову еру розвитку виробництва та соціальних процесів. Ця концепція створена з метою поєднати передові технології, соціальну відповідальність та екологічну стійкість в одному синергічному підході. Порівнюючи її з Індустрією 4.0, важливий акцент робиться на поверненні людських цінностей і здібностей у виробництво [11].

Також, важливо розуміти, як саме інтеграція Індустрії 5.0 може допомогти змінити життя людства на краще, як по всьому світу, так і, конкретно, в Україні.

Головні цілі Індустрії 5.0 – створюють перспективи для країни після перемоги у війні:

- швидке реагування на виклики;
- зелене виробництво;
- розширення корпоративної відповідальності;
- зміцнення бази науково-технічних інновацій;
- освіта та економічне мислення.

Ситуації, які включають пандемії або воєнні конфлікти, потребують швидкого реагування та адаптації. Індустрія 5.0 надає можливість бути більш гнучким та адаптованим до несподіваних ситуацій. Стійкість країни після війни вимагає уваги до екології та зниження впливу на природу. Перехід до зеленого виробництва та циркулярної економіки допоможе зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Впровадження принципів Індустрії 5.0 включає в себе збільшену відповідальність корпорацій перед суспільством та довкіллям. Це може допомогти покращити відносини між бізнесом та громадськістю.

Розвиток наукових інновацій стає важливим аспектом після війни, оскільки вони можуть сприяти відновленню економіки та соціальних структур. Індустрія 5.0 створює попит на нові навички та освіту. Розвиток інтелектуальної роботи, критичного мислення та навичок, які вимагаються для співпраці з передовими технологіями, стає необхідним для успішного впровадження цієї концепції.

Впровадження Індустрії 5.0 вимагає активної підтримки з боку уряду та громадянського суспільства. Це включає стимулювання інвестицій у нові технології, створення сприятливого регулюючого середовища для зелених технологій, а також підтримку соціальної справедливості та рівного розподілу благ у суспільстві.

Україна може здійснити зелений перехід і впровадити Індустрію 5.0, проте це вимагатиме зусиль у напрямку збереження навколишнього

середовища, розвитку стійких ланцюгів поставок, інвестицій у інновації та розвитку освіти.

Після перемоги у війні, важливо розглядати Індустрію 5.0 як можливість не лише відновити економіку, а й створити стійку та сталу основу для майбутнього розвитку країни, де люди та технології співіснують у спільному синергічному процесі.

Здійснення принципів Індустрії 5.0 може сприяти повоєнній відбудові країни, підвищуючи стійкість та ефективність промисловості та враховуючи соціальні та екологічні аспекти. Уряд повинен активно сприяти інвестиціям у нові технології та забезпечити справедливий соціальний перехід.

1.2 Мікроконтролери в автоматизації виробництв, їх використання

Використання мікроконтролерів при автоматизації стає насущною потребою сучасного індустріального та технологічного середовища. Мікроконтролери представляють собою спеціалізовані обчислювальні пристрої, які знайшли застосування в керуванні та моніторингу різноманітних систем і процесів. Вони надають можливість автоматизувати операції, підвищити продуктивність, зменшити людську інтервенцію та підвищити рівень безпеки в різних галузях, включаючи промисловість, медицину, транспорт, сільське господарство, будівництво та інші.

В сучасних промислових системах мікроконтролери використовуються для керування різними аспектами виробництва, забезпечуючи автоматизоване управління механізмами, конвеєрами, роботами та іншими системами. Це допомагає підвищити продуктивність виробничих процесів та покращити ефективність виробництва. Крім того, мікроконтролери дозволяють моніторити параметри виробництва, такі як температура, вологість, тиск тощо, що сприяє зниженню відхилень від заданих стандартів.

Мікроконтролери можуть використовуватися для наступних елементів процесу автоматизації:

- контроль і моніторинг систем;
- керування механізмами та роботами;
- вбудовані системи;
- збір та обробка даних;
- застосування в інтернеті речей (IoT);
- програмовані керуючі системи;
- ефективність та економія ресурсів;
- безпека.

У промислових галузях мікроконтролери використовуються для керування механізмами, конвеєрами, роботами та іншими механічними системами, що допомагає підвищити точність та ефективність виробництва. Вони також грають важливу роль у системах контролю та моніторингу параметрів виробництва.

Мікроконтролери є невід'ємною частиною вбудованих систем, таких як смартфони, побутова техніка, автомобілі, медичні прилади та інші. Вони забезпечують виконання різних функцій, включаючи обробку сигналів, керування датчиками, забезпечення зв'язку та багато іншого.

Мікроконтролери використовуються для збору даних з різних датчиків та джерел інформації. Ці дані можуть бути подані у зручному для подальшого аналізу форматі та використовуватися для прийняття рішень. Вони також відіграють важливу роль в розвитку Інтернету речей, де різні пристрої можуть обмінюватися даними та взаємодіяти між собою, що відкриває нові можливості для покращення життя та роботи людей.

Однією з ключових переваг мікроконтролерів є можливість легко програмувати їх для виконання різних завдань. Це надає можливість гнучко адаптувати мікроконтролери до нових вимог та завдань, забезпечуючи надійну та швидку реакцію на зміни у виробництві та технологіях.

Використання мікроконтролерів при автоматизації сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів, зменшенню споживання енергії та забезпеченню надійності систем. Вони також відіграють важливу роль у

системах безпеки, таких як контроль доступу, моніторинг навколишнього середовища та виявлення вторгнень [12].

Використання мікроконтролерів є ключовим елементом сучасних систем автоматизації та інтеграції. Їх потужність та гнучкість роблять їх незамінними в індустрії 21 століття. Детальний огляд деяких найпопулярніших мікроконтролерів, таких як Arduino, ESP32, STM32 та Raspberry Pi Pico, дозволить краще розуміти їх можливості та використання в контексті створення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT. Надалі буде проведено докладний аналіз цих мікроконтролерів, який стане основою для подальшого дослідження та розробки.

1.2.1 Розгляд мікроконтролера Arduino

Arduino – це один із найпопулярніших мікроконтролерів, виготовлений компанією Arduino Software, використовуваних для DIY проєктів та автоматизаційних завдань. Arduino має простий та доступний для програмування інтерфейс. Arduino базується на мікроконтролерах AVR або ARM, в залежності від моделі, і надає простий та доступний інтерфейс для створення різних електронних пристроїв та систем (рисунок 1.1) [13].



Рисунок 1.1 – Мікроконтролер Arduino UNO

Модульність та розширюваність: Arduino має модульну структуру, що дозволяє розробникам підключати різні сенсори, модулі та розширювачі для виконання конкретних завдань. Існують десятки різних видів Arduino-сумісних плат, включаючи Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Mega, та інші, які можна вибирати в залежності від потреб проекту.

Простота використання: Arduino має власну інтегровану розробницьку середу (IDE), яка надає можливість легко програмувати мікроконтролери. Використовуючи мову програмування C/C++, розробники можуть створювати код для керування сенсорами, актуаторами та іншими пристроями.

Загальнодоступна документація: Arduino має широку спільноту користувачів, яка активно ділиться інструкціями, прикладами та бібліотеками для використання. Це полегшує розробку та швидку інтеграцію нових пристроїв.

Різноманітність бібліотек: Існує велика кількість бібліотек для Arduino, які спрощують взаємодію з різними сенсорами, комунікаційними модулями та іншими пристроями. Це дозволяє розробникам швидко реалізовувати функціональність у своїх проектах.

Широке застосування: Arduino використовується в різних сферах, включаючи автоматизацію виробництва, системи моніторингу та керування, IoT-проекти, робототехніку, медичні пристрої та багато інших. Ця універсальність робить її застосовною в багатьох сценаріях, включаючи систему інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення.

Спільнота розробників: Існує активна глобальна спільнота розробників Arduino, яка надає підтримку, поради та рішення для різних завдань.

Використання Arduino може бути дуже корисним для розробки системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення. Використовувати продукти Arduino можна для зчитування даних з давачів температури, вологості та інших параметрів, а також для керування кондиціонерами та іншими пристроями з метою підтримки оптимальних умов

у приміщенні. З використанням Arduino можна продуктивно реалізувати цю функціональність та взаємодіяти з іншими платформами IoT, такими як ESP32.

1.2.2 Розгляд мікроконтролера ESP32

ESP32 – це потужний мікроконтролер, вироблений Espressif Systems, оснащений вбудованим Wi-Fi та Bluetooth, що робить його ідеальним вибором для проєктів IoT (рисунок 1.2) [14].



Рисунок 1.2 – Мікроконтролери серії ESP32

Мікроконтролер та Wi-Fi/Bluetooth модуль: ESP32 включає в себе двоядерний мікроконтролер Xtensa LX6, побудований на базі архітектури Tensilica. Однак його головна перевага - вбудований модуль Wi-Fi та Bluetooth. Це дозволяє легко підключати ESP32 до бездротових мереж Wi-Fi та взаємодіяти з іншими пристроями через Bluetooth.

Широкі можливості введення/виведення (I/O): ESP32 має значну кількість цифрових та аналогових виводів, що дозволяє підключати різноманітні датчики та пристрої для зчитування даних.

Висока продуктивність: Завдяки двом ядрам мікроконтролера та можливості роботи на високих частотах, ESP32 може ефективно обробляти обчислення та взаємодіяти з іншими пристроями у реальному часі.

Легкий доступ до Інтернету: Інтеграція Wi-Fi дозволяє підключати ESP32 до Інтернету, надсилати дані на сервери або зчитувати інформацію з хмарних джерел. Це робить його ідеальним вибором для розробки проєктів IoT, які вимагають бездротового зв'язку.

Споживання енергії: ESP32 має режими глибокої зупинки, що дозволяють значно зменшити споживання енергії. Це корисно для батарейних пристроїв та проєктів, де важлива тривалість роботи від одного заряду батареї.

Підтримка роботи з багатьма інтерфейсами: ESP32 підтримує різні інтерфейси, включаючи I2C, SPI, UART, GPIO, PWM тощо. Це дозволяє підключати до нього різноманітні сенсори та пристрої.

Спільнота розробників: Як і Arduino, ESP32 має велику та активну спільноту розробників, яка ділиться кодом, бібліотеками та досвідом у використанні цього мікроконтролера.

ESP32 може бути використаний для створення вузла IoT, який контролює кондиціонування виробничого приміщення та надсилає дані до центральної системи. Можна використовувати можливості ESP32 для зчитування даних про температуру та вологість з датчиків, керування кондиціонерами через Wi-Fi, а також надсилання даних на сервер для подальшого аналізу та керування. ESP32 дозволить легко інтегрувати IoT-функціональність у систему інтелектуального керування. ESP32 також підтримує мову програмування Arduino, що спрощує розробку.

1.2.3 Розгляд мікроконтролера STM32

Мікроконтролери STM32, вироблені компанією STMicroelectronics, відомі своєю високою продуктивністю та надійністю. Вони ідеально підходять для великих промислових автоматизаційних систем.

Архітектура ARM Cortex-M: Більшість мікроконтролерів STM32 базуються на архітектурі ARM Cortex-M, що робить їх дуже потужними та дозволяє виконувати складні операції в реальному часі.

Велика кількість моделей: STM32 пропонує різні лінійки мікроконтролерів, які відрізняються за рівнем продуктивності та функціональністю. Це дозволяє розробникам вибирати оптимальний мікроконтролер для свого конкретного проекту (рисунок 1.3) [15].

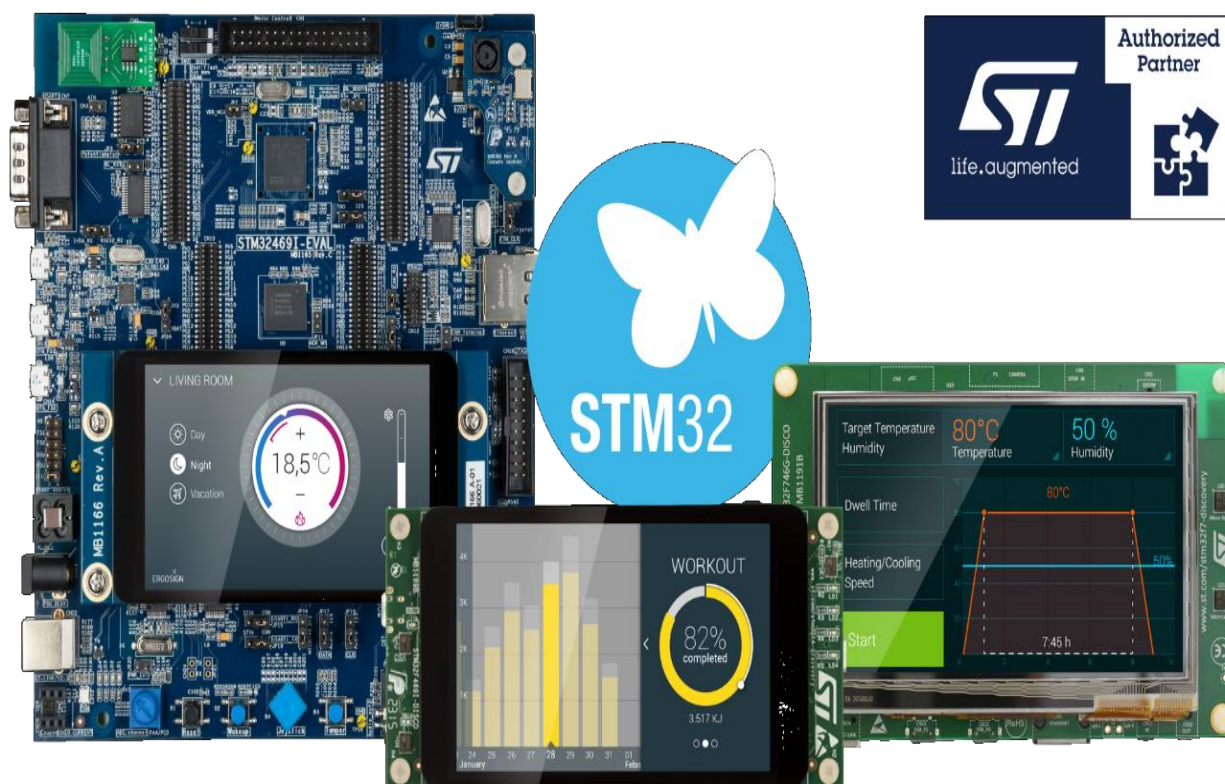


Рисунок 1.3 – Мікроконтролери серії STM32

Загальна кількість входів/виходів (GPIO): STM32 пропонують велику кількість GPIO-пінів, які можна використовувати для підключення до різних датчиків, пристроїв та інших компонентів.

Підтримка різних інтерфейсів: Вони підтримують різні комунікаційні інтерфейси, такі як UART, SPI, I2C, USB, і Ethernet, що робить їх ідеальними для розробки зв'язаних з мережами систем.

Широкий вибір периферійних пристроїв: STM32 мають різноманітні периферійні пристрої, такі як ADC (аналогово-цифровий конвертер), DAC (цифро-аналоговий конвертер), таймери, і багато інших, що розширює їхню функціональність.

Наявність розвинених інструментів розробки: STMicroelectronics надає вільне програмне забезпечення, таке як STM32CubeMX і інші, які спрощують розробку та програмування STM32.

Підтримка від спільноти: Існує активна спільнота розробників, яка ділиться досвідом та бібліотеками для STM32, що сприяє швидкій і простій інтеграції цих мікроконтролерів у проекти.

Мікроконтролери STM32 можуть бути цікавим варіантом для використання у системі інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення. Їх потужність та багатофункціональність дозволять реалізувати різні функції, включаючи збір та обробку даних, керування системою, і взаємодію з іншими компонентами системи IoT.

1.2.4 Розгляд мікроконтролера Raspberry Pi Pico

Raspberry Pi Pico – це мікроконтролер, розроблений фондом Raspberry Pi, який став популярним завдяки своєму доступному ціновому діапазону та потужним можливостям (рисунок 1.4) [16].



Рисунок 1.4 – Мікроконтролери серії Raspberry Pi Pico

Мікроконтролер RP2040: Raspberry Pi Pico використовує мікроконтролер RP2040, який був розроблений самим фондом Raspberry Pi. RP2040 має двоядерний ARM Cortex-M0+ процесор з тактовою частотою 133 МГц.

Загальне призначення: Raspberry Pi Pico призначений для широкого спектру, включаючи робототехніку, IoT-проекти, автоматизацію, сенсорні пристрої, та інші.

Багато функціональних виводів (GPIO): Raspberry Pi Pico має значну кількість цифрових та аналогових виводів, які можна використовувати для підключення до різних пристроїв та датчиків.

Підтримка мов програмування: Raspberry Pi Pico підтримує різні мови програмування, включаючи MicroPython, C/C++, та CircuitPython.

Вбудований USB-контролер: Raspberry Pi Pico має вбудований USB-контролер, що дозволяє підключати його до комп'ютера без додаткового адаптера.

Спільнота розробників: Raspberry Pi має велику та активну спільноту розробників, яка публікує багато корисних проектів, бібліотек та рішень для Raspberry Pi Pico.

Pi Pico можна використовувати для керування кондиціонуванням та зв'язку з IoT за допомогою веб-сервера або MQTT-протоколу.

1.3 Давачі у технічних системах

Сучасний світ відзначається стрімким розвитком технологій та зростанням інтересу до інтелектуальних систем управління, особливо в контексті промисловості та виробництва. Цей інтерес обумовлений бажанням підвищити продуктивність, підвищити безпеку, зменшити витрати та мінімізувати вплив на довкілля. Одним з ключових компонентів таких інтелектуальних систем є використання датчиків для збору даних з навколишнього середовища та об'єктів.

Далі буде розглянуто деякі датчики, які використовуються для створення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення в контексті Internet of Things (IoT) та автоматизації. Датчики є ключовими складовими у зборі даних, що стосуються температури, вологості, якості повітря та безлічі інших факторів, які впливають на робочий комфорт та продуктивність.

Правильний вибір та використання датчиків грає важливу роль у створенні надійних та ефективних систем, спрямованих на автоматизацію та покращення умов праці та середовища виробництва. Для огляду буде запропоновано мікроконтролер серії ESP32. Подальші датчики будуть обиратись з урахуванням їх підтримки мікроконтролерами серії ESP32 та можливістю інтеграції у систему інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT.

1.3.1 Давачі вологості та температури

Давачі вологості, також відомі як гігрометри, використовуються для вимірювання рівня вологості в навколишньому середовищі. Для мікроконтролера ESP32 можна використовувати різні типи датчиків вологості, але одними із найпопулярніших і поширених є датчики DHT, такі як DHT11, DHT22 (AM2302), і AM2320. Вони досить надійні і здатні вимірювати температуру та вологість (рисунок 1.5) [17].

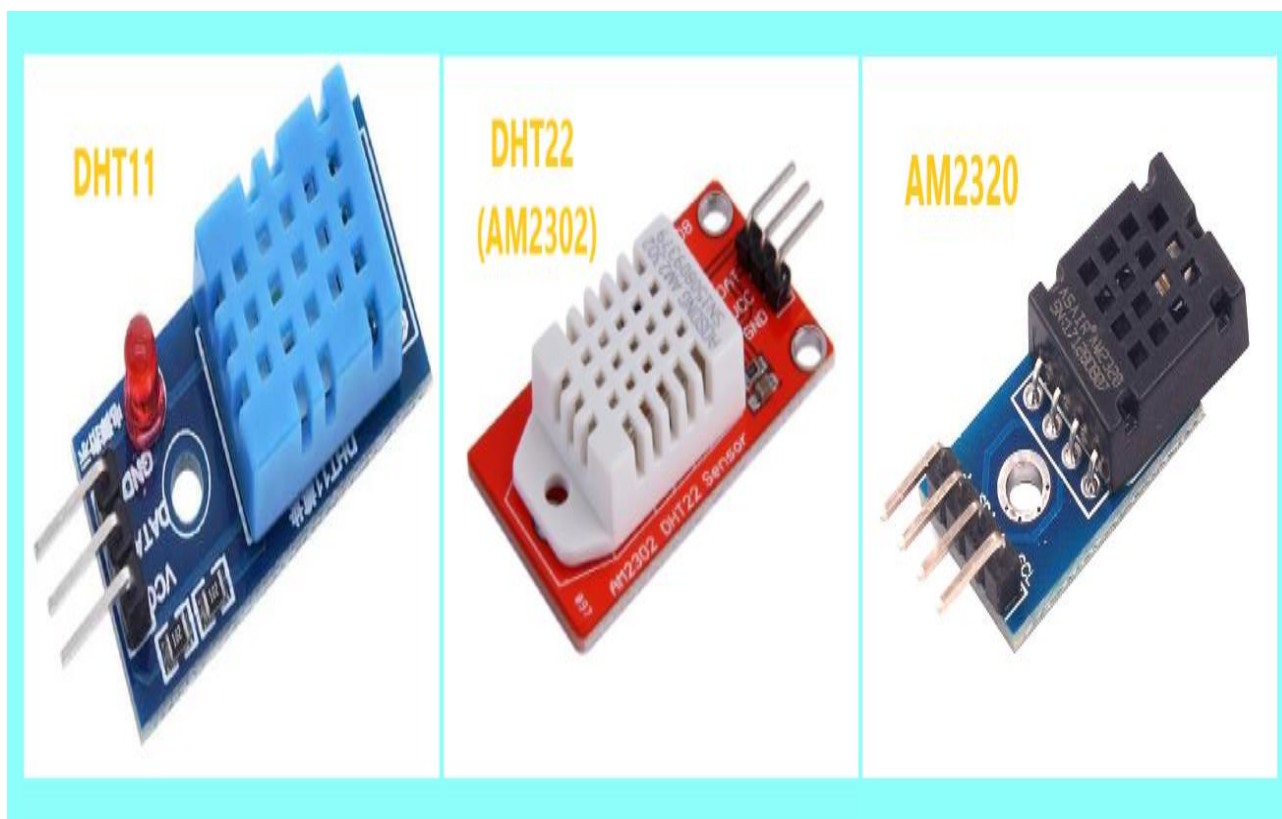


Рисунок 1.5 – Датчики вологості та температури DHT11, DHT22 (AM2302), і AM2320

Порівняння показників датчиків вологості та температури DHT11, DHT22 (AM2302), і AM2320 наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Загальна інформація про датчики вологості та температури

Моделі датчиків	DHT11	DHT22 (AM2302)	AM2320
Параметри датчиків			
Діапазон вимірювання температури	0°C - 50°C	-40°C - 80°C	-40°C - 80°C
Діапазон вимірювання вологості	20% - 80%	0% - 100%	0% - 99%
Точність температури	±2°C	±0.5°C	±0.5°C
Точність вологості	±5%	±2-5%	±2%
Інтерфейс з мікроконтролером	Цифровий (зазвичай однопровідний)	Цифровий (зазвичай однопровідний)	Цифровий (зазвичай I2C або однопровідний)
Частота опитування	не більше 1 Гц	не більше 1 Гц	не більше 1 Гц
Ідентифікація контактів	1. VCC (3-5в живлення); 2. Data Out - вивід даних; 3. NC - не використовується; 4. загальний.	1. VCC ↔ Напруга живлення 3.3V ~ 5.5V; 2. GND ↔ Загальний; 3. DOUT ↔ Інтерфейсний висновок (підключення до мікроконтролеру).	1. VCC ↔ Напруга живлення; 2. SDA – Serial Data, Di-directional port; 3. GND – Ground; 4. SCL – Serial clock access port.
Напруга живлення	3.5-5.5 В;	від 3.3В до 5.5 В.	3.3-5.5 В

1.3.2 Давачі вимірювання рівнів CO₂

Давачі CO₂ грають важливу роль у системі інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології Інтернету речей (IoT). Вимірювання та моніторинг рівнів CO₂ можуть бути ключовими для оптимізації споживання енергії, покращення якості повітря та створення більш комфортних умов для працівників [18].

На даному етапі буде розглянуто різні давачі CO₂, які можуть бути успішно інтегровані з мікроконтролером ESP32. В основі цього огляду будуть розглянуті три популярні моделі датчиків: MH-Z19, MG-811 та SenseAir S8. Кожен з цих датчиків відзначається своєю функціональністю, точністю вимірювань та можливостями комунікації, що робить їх привабливими для використання в проектах, де необхідно вимірювати та моніторити рівні CO₂.

Розглядаючи особливості кожного датчика, можна визначити, який саме датчик найкраще підходить для конкретного дослідження. Вивчення їх технічних характеристик та можливостей дозволить здійснити інформований вибір для подальшої інтеграції з мікроконтролером ESP32 та реалізації системи контролю рівнів CO₂ (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Давачі вимірювання рівнів CO₂: MH-Z19, MG-811 та SenseAir S8

Порівняння показників давачів вимірювання рівнів CO₂: MH-Z19, MG-811 та SenseAir S8 наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Загальна інформація про датчики вимірювання рівнів CO₂

Моделі датчиків CO ₂	MH-Z19	MG-811	SenseAir S8
Параметри датчиків CO ₂			
Опис	Розповсюджений датчик. Має високу точність і може вимірювати рівень CO ₂ в широкому діапазоні концентрацій.	Високоякісний датчик, розроблений для надточного вимірювання вмісту вуглекислого газу в повітрі.	Досить компактний датчик, який може бути легко інтегрований в різноманітні пристрої.
Діапазон вимірювання CO ₂	0-2000 ppm, 0-5000 ppm	0-5000 ppm, 0-10000 ppm	0-2000 ppm
Точність вимірювань	±50 ppm або ±3%	±50 ppm або ±3%	±30 ppm або ±3%
Інтерфейси комунікації	RS232, RS485, UART, PWM	UART, Аналоговий вихід	UART, Аналоговий вихід
Живлення	5 В постійного струму	6 В постійного струму	4,75-5,25 В постійного струму
Споживана потужність	<1,5 Вт	<1 Вт	<1 Вт
Час підйому	<3 хвилини (до досягнення точності)	<3 хвилини (до досягнення точності)	<3 хвилини (до досягнення точності)
Додаткові функції	Автоматична калібрування, NDIR	Наявність нагрівального елемента, калібрування	Компактний розмір, низька вартість, калібрування

1.3.3 Датчики для виявлення диму та газу

Зважаючи на задану тему дослідження, важливим елементом є виявлення різних газів та диму в промислових приміщеннях та просторах для забезпечення безпеки та здоров'я. У цьому контексті газові датчики грають важливу роль, адже вони здатні вчасно виявляти витіки газів та диму, що може попередити небезпечні ситуації.

Наразі одні з популярних типів давачів для виявлення диму та газу є газові сенсори, здатні реагувати на конкретні гази, такі як дим, метан, пропан і багато інших.

Робота розглядає можливість використання таких давачів в поєднанні з мікроконтролером ESP32 для створення інтелектуальної системи управління кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT. Це дозволить покращити умови праці та зменшити ризик для здоров'я людей шляхом автоматизованого виявлення небезпеки та вчасної реакції на неї.

У даному дослідженні буде розглянуто можливості використання газових давачів, зокрема MQ-2 та MQ-7, які вимірюють різні гази, у цьому контексті та проаналізовано їх технічні характеристики та можливості інтеграції з мікроконтролером ESP32 (рисунок 1.7) [19].



Рисунок 1.7 – Давачі для виявлення диму та газу MQ-2 та MQ-7

Детальну інформацію про MQ-2 та MQ-7 газові датчики буде наведено у таблиці 1.3.

Дана таблиця надає загальний огляд характеристик MQ-2 та MQ-7 газових датчиків, які можна використовувати з мікроконтролером ESP32 в умовах заданого дослідження. Обидва датчики дуже корисні для виявлення

диму та газів і можуть бути використані в системах безпеки або системах розумного будинку.

Таблиця 1.3 – Загальна інформація про датчі вимірювання рівнів CO₂

Характеристика	MQ-2	MQ-7
Тип	Газовий датчик	Газовий датчик
Вимірювані гази	Дим, метан, ацетилен, інші гази	Карбон моноксид (CO)
Принцип роботи	Зміна опору в залежності від газу	Зміна опору в залежності від CO
Діапазон вимірювань	Залежить від конкретної моделі	20 - 200 ppm (parts per million)
Інтерфейс з мікроконтролером ESP32	Аналоговий або цифровий вихід	Аналоговий або цифровий вихід
Напруга живлення	5 В	5 В
Потужність	< 1 Вт	< 0.8 Вт
Вимагає калібрування	Так	Так
Робоча температура	-10°C до 50°C	-10°C до 50°C
Розміри	Залежить від моделі	Залежить від моделі
Застосування	Виявлення різних газів в повітрі	Виявлення карбону моноксиду (CO)

1.3.4 Датчі для виявлення швидкості вітру. Анемометри

Сучасна індустрія та виробництво надзвичайно розвинулися завдяки використанню новітніх технологій, серед яких важливе місце відводиться системам автоматизації та контролю. При цьому, виробничі приміщення можуть мати відкриті зони або використовувати додаткові елементи вентиляції, такі як вікна чи інші випуски. У цьому контексті виникає питання

ефективного керування вентиляцією та вентиляторами під впливом змінних погодних умов, зокрема при сильних поривах вітру.

Однією з ідей є включення анемометра до системи контролю виробничого приміщення. Ця інноваційна ідея полягає в тому, що анемометр буде вимірювати швидкість вітру, і коли він досягатиме певного позначення, вентилятори можуть автоматично вимикатися. Це може запобігти можливим пошкодженням обладнання, а також зменшити енергоспоживання у періоди підвищеної вітрової активності (рисунок 1.8) [20].



Рисунок 1.8 – Давачі для виявлення швидкості вітру

Проте, важливо зазначити, що ця функція може бути опціональною та залежати від конкретного проектування виробничого приміщення. Наприклад, якщо виробничі приміщення розраховані на використання відкритих зон або мають ефективну систему штучної вентиляції через вікна, анемометр може бути необов'язковим елементом.

У представленому дослідженні будуть розглянуті можливості використання анемометрів у контексті системи автоматизації виробничого приміщення та Інтернету речей (IoT). Для цього обрано три анемометри: Adafruit Anemometer Wind Speed Sensor w/Analog Voltage Output, DFRobot Wind Speed Sensor та SparkFun Weather Meter Kit, які будуть детально досліджені щодо їх можливостей та переваг використання у системах автоматизації виробничого приміщення.

Більш конкретна інформація з описом технічних характеристик представлених у дослідженні датчиків буде наведена у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Загальна інформація про датчики вимірювання швидкості вітру

Характеристики	Adafruit Anemometer	DFRobot Wind Speed Sensor	SparkFun Weather Meter Kit
Діапазон вимірювань швидкості вітру (м/с)	0.4 – 32.4	0.4 – 20	0 – 32
Точність вимірювань швидкості вітру (м/с)	±0.1 м/с	±0.2 м/с	±0.1 м/с
Діапазон вимірювань напрямку вітру (градуси)	0 – 360	0 – 360	0 – 359.9
Точність вимірювань напрямку вітру (градуси)	±3 градуси	±10 градусів	±5 градусів
Вихідний сигнал (Аналоговий або Цифровий)	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий (I2C)
Інтерфейс підключення	Аналоговий вихід	Аналоговий вихід	Цифровий (I2C)
Живлення	3.3 - 5 В	3.3 - 5 В	3.3 - 5 В
Споживана потужність	3.5 мА (середньо)	15 мА (максимум)	50 мА (максимум)
Робоча температура	-40°C до +80°C	-40°C до +80°C	-40°C до +70°C
Розміри	119 x 119 мм	69 x 69 мм	56 x 79 мм
Додаткові функції	-	-	Вбудований термометр

1.3.5 Датчики для вимірювання інтенсивності світла

Застосування фоторезисторів розповсюджене і варіюється від домашнього освітлення до промислових систем контролю. Вони дозволяють ефективно вимірювати та регулювати рівень світла в різних середовищах.

У цьому підрозділі буде розглянуто три різні датчики для вимірювання інтенсивності світла: SparkFun Photocell Sensor, DFRobot SEN0014 та KY-018. Ці датчики використовуються для вимірювання рівня освітленості в навколишньому середовищі та забезпечують надійні дані для контролю різноманітних процесів (рисунок 1.9) [21].



Рисунок 1.9 – Давачі вимірювання інтенсивності світла

Важливо зауважити, що давачі для вимірювання інтенсивності світла грають критичну роль в системах виявлення пожежі. Вони використовуються для реагування на надмірне збільшення інтенсивності світла, що може виникнути внаслідок вогню. Системи виявлення пожежі, в свою чергу, є необхідним елементом безпеки на будь-якому виробництві, в офісах, складах та інших об'єктах. Ці технології сприяють швидкому виявленню потенційно небезпечних ситуацій та вчасному вжиттю заходів для забезпечення безпеки приміщень та працівників.

Більш конкретна інформація з описом технічних характеристик представлених у дослідженні давачів буде наведена у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Інформація про давачі вимірювання інтенсивності світла

Датчик	SparkFun Photocell Sensor	DFRobot SEN0014	KY-018
Тип	Фотодіод	Фоторезистор	Фоторезистор
Робочий діапазон	400-1017 нм	760 - 1100нм	760 нм - 1100 нм
Напруга живлення	3.3V-5V	3.3V-5V	3.3V-5V
Вихідний сигнал	Аналоговий	Аналоговий	Аналоговий
Чутливість	Залежить від освітленості	Залежить від освітленості	Залежить від освітленості
Вбудований опторезистор	Так	Ні	Так
Розмір	Не вказано	30mm x 20mm	15.5mm x 13mm
Сумісність	Arduino, Raspberry Pi, ESP32	Arduino, Raspberry Pi, ESP32	Arduino, Raspberry Pi, ESP32

1.4 Роль крокового двигуна у системі інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення

У сучасному виробничому середовищі використання інноваційних технологій для забезпечення ефективності та безпеки стає домінуючим напрямком. Однією з ключових складових системи інтелектуального керування кондиціонуванням є кроковий двигун, який відіграє важливу роль у підтримці оптимальних умов у виробничому приміщенні (рисунок 1.10) [22].



Рисунок 1.10 – Крокові електродвигуни

Загальний перехід до автоматизованих систем управління створює потребу у високоефективних компонентах, які забезпечують точність та надійність роботи. Кроковий двигун, завдяки своїм унікальним характеристикам та можливостям, стає ключовим елементом в системах регулювання потоку повітря та забезпечення оптимальних умов для обладнання та персоналу.

Далі буде розглянуто приклади існуючих крокових двигунів, принципи роботи крокового двигуна, його інтеграцію в систему кондиціонування, а також визначено роль, яку він відіграє у створенні ефективних та стабільних умов у виробничих приміщеннях. Буде розглянемо його технічні характеристики, функції та переваги, що робить його важливим компонентом

для досягнення мети дослідження - розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням, що відповідає вимогам сучасного виробництва.

1.4.1 Принцип використання та характеристики крокового двигуна

Крокові двигуни представляють собою тип електричних двигунів, які використовуються для точного і контрольованого переміщення. Вони відрізняються від інших типів двигунів, оскільки рухаються окремими кроками або кроками, виконуючи точні рухи на задану кількість кроків. Особливості крокових двигунів:

- точність і контроль: крокові двигуни забезпечують високу точність переміщення, оскільки кожен крок може бути чітко визначений. Це робить їх ідеальними для застосувань, де необхідно досягти точного позиціонування або контролю кутового обертання;
- простота управління: вони керуються електричними імпульсами, що спрощує системи управління. Крокові двигуни здатні виконувати рухи відносно невеликими кроками, що робить їх ідеальними для застосувань, де потрібна висока роздільна здатність;
- безперервна робота: у порівнянні з іншими типами двигунів, крокові двигуни можуть тримати певне положення без постійного використання енергії. Це забезпечує економію електроенергії та можливість безперервної роботи.

У контексті дослідження, кроковий двигун використовується, як частина системи регулювання вентиляції. Він контролює вентилятор, забезпечуючи точне та ефективне регулювання об'єму подаваного повітря. Це дозволяє системі реагувати на зміни у виробничому середовищі та забезпечити оптимальні умови для роботи обладнання та персоналу. Кроковий двигун інтегрується в систему IoT, де можливе автоматичне адаптування режимів роботи в залежності від показників датчиків та умов виробництва.

Більш конкретна інформація з описом технічних характеристик представлених у дослідженні крокових двигунів буде наведена у таблиці 1.6

Таблиця 1.6 – Інформація про крокові двигуни

Характеристика	NEMO 17	NEMO 23	NEMO 14
Кількість полюсів	17	23	14
Кут повороту на один крок	1.8°	1.2°	1.8°
Тип	Біполярний	Біполярний	Біполярний
Фаза	Фазна	Фазна	Фазна
Номінальний струм	2.0 А	1.5 А	2.0 А
Номінальна напруга	12 V	12 V	12 V
Номінальний крутний момент	2.80 N·m	2.00 N·m	2.80 N·m
Максимальний крутний момент	4.00 N·m	3.00 N·m	4.00 N·m
Розміри (Ш x В x Д)	25 x 25 x 30 мм	30 x 30 x 30 мм	20 x 20 x 30 мм
Вага	170 г	250 г	150 г
Ціна	1000 грн	1200 грн	800 грн
Кількість кроків на оберт	200	150	200

Кроковий двигун є хорошим вибором для системи інтелектуального керування кондиціонуванням. Він пропонує ряд переваг, які роблять його економічним, надійним і точним рішенням.

1.4.2 Інтеграція крокового двигуна в систему інтелектуального контролю кондиціонуванням

Кроковий двигун є важливою частиною багатьох систем, включаючи систему інтелектуального керування кондиціонуванням. Для того, щоб кроковий двигун міг функціонувати в системі, він повинен бути правильно інтегрований з іншими компонентами системи.

Інтеграція крокового двигуна в систему включає в себе наступні етапи.

Вибір відповідного крокового двигуна. Першим кроком є вибір відповідного крокового двигуна для конкретного застосування. При виборі крокового двигуна необхідно враховувати такі фактори, як точність, крутний момент, швидкість та енергоспоживання.

Розробка схеми управління кроковим двигуном. Після вибору крокового двигуна необхідно розробити схему управління ним. Схема управління кроковим двигуном визначає, як двигун буде отримувати сигнали управління.

Схеми управління кроковими двигунами можуть бути різними, залежно від типу крокового двигуна і вимог системи. Найпростіша схема управління кроковим двигуном є двофазною. Ця схема управління використовує два сигнали управління для управління ротором двигуна.

Більш складні схеми управління кроковими двигунами можуть використовувати трифазні сигнали управління або інші методи управління. З'єднання крокового двигуна з іншими компонентами системи. Після розробки схеми управління кроковим двигуном необхідно підключити двигун до інших компонентів системи. Для цього необхідно використовувати електричні з'єднання, такі як проводи або кабелі.

Електричні з'єднання використовуються для передачі сигналів управління від одного компонента системи до іншого. У випадку з кроковим двигуном, електричні з'єднання використовуються для передачі сигналів управління від схеми управління до двигуна. Електричні з'єднання можуть бути виконані за допомогою проводів або кабелів. При виборі електричних з'єднань необхідно враховувати такі фактори, як:

- напруга: кроковий двигун має певну робочу напругу. Електричні з'єднання повинні бути виконані таким чином, щоб забезпечити подачу необхідної напруги на двигун;
- струм: кроковий двигун споживає певний струм. Електричні з'єднання повинні бути виконані таким чином, щоб витримати необхідний струм;
- захист: електричні з'єднання повинні бути захищені від перенапруги, короткого замикання та інших небезпек.

Крім електричних з'єднань, може знадобитися також механічне з'єднання крокового двигуна з механізмами системи. Механічне з'єднання може бути здійснено за допомогою шестерень, ланцюгів або інших механізмів.

Механічні з'єднання використовуються для передачі руху від одного компонента системи до іншого. У випадку з кроковим двигуном, механічні з'єднання використовуються для передачі руху від двигуна до механізму, який він керує.

При виборі механічних з'єднань необхідно враховувати такі фактори, як:

- крутний момент: кроковий двигун може забезпечити певний крутний момент. Механічні з'єднання повинні бути виконані таким чином, щоб передати весь необхідний крутний момент від двигуна до механізму;

- швидкість: кроковий двигун може забезпечити певну швидкість. Механічні з'єднання повинні бути виконані таким чином, щоб передати всю необхідну швидкість від двигуна до механізму;

- ефективність: механічні з'єднання повинні бути виконані таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність передачі руху.

Крім електричних і механічних з'єднань, кроковий двигун також може бути підключений до хмари. Це дозволяє дистанційно управляти двигуном з будь-якого місця, де є доступ до Інтернету.

Управління кроковим двигуном через хмару може здійснюватися за допомогою спеціального програмного забезпечення. Це програмне забезпечення дозволяє користувачам налаштовувати параметри роботи двигуна, а також отримувати інформацію про стан двигуна.

Управління кроковим двигуном через хмару може бути корисним для таких цілей, як:

- дистанційний контроль системи інтелектуального керування кондиціонуванням;

- збір даних про роботу системи інтелектуального керування кондиціонуванням;

- прогнозування збоїв системи інтелектуального керування кондиціонуванням.

Управління кроковим двигуном через хмару відкриває нові можливості для розвитку систем інтелектуального керування кондиціонуванням.

Взаємодія з іншими компонентами системи. Після інтеграції крокового двигуна в систему він починає взаємодіяти з іншими компонентами системи. Ця взаємодія визначається схемою управління кроковим двигуном.

У загальному випадку, кроковий двигун отримує сигнали управління від інших компонентів системи. Ці сигнали управління можуть визначати положення, швидкість або інші характеристики руху двигуна.

Кроковий двигун може взаємодіяти з іншими компонентами системи інтелектуального керування кондиціонуванням різними способами. Ця взаємодія визначається конкретною системою і її вимогами.

1.4.3 Роль крокового двигуна у регулюванні потоку повітря

Кроковий двигун відіграє важливу роль у регулюванні потоку повітря в системі інтелектуального керування кондиціонуванням.

За допомогою крокового двигуна можна точно контролювати стан вентиляції, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл повітря в приміщенні. Це важливо для забезпечення комфортних умов у приміщенні.

Кроковий двигун вирішує такі завдання для забезпечення оптимальних умов у приміщенні:

- рівномірний розподіл повітря: кроковий двигун забезпечує рівномірний розподіл повітря в приміщенні, що важливо для забезпечення комфортних умов;
- ефективність роботи системи: кроковий двигун може використовуватися для плавного запуску і зупинки компресора кондиціонування, що підвищує ефективність роботи системи;
- розширення функціональних можливостей: кроковий двигун може використовуватися для управління додатковими функціями системи кондиціонування, що розширює її можливості.

У цілому, кроковий двигун є важливим компонентом системи інтелектуального керування кондиціонуванням. Він дозволяє забезпечити комфортні умови в приміщенні, підвищити ефективність роботи системи і

розширити її можливості. При використанні крокового двигуна необхідно дотримуватися заходів безпеки і проводити регулярний контроль.

1.5 Технологія IoT в індустрії

Технологія Internet of Things (IoT) стала ключовим фактором трансформації промисловості та індустріального сектора. Вона відкриває нові можливості для покращення продуктивності, ефективності та конкурентоспроможності виробництва.

Технологія Internet of Things – це концепція, за якої фізичні об'єкти та пристрої здатні з'єднуватися до Інтернету та обмінюватися даними, щоб забезпечувати збільшену автоматизацію, моніторинг та контроль. Вона включає в себе використання сенсорів, збору даних, аналізу та взаємодії з об'єктами та системами через мережу. IoT дозволяє віддалено керувати та моніторити обладнання та машини в реальному часі. Це сприяє оптимізації виробничих процесів, підвищенню продуктивності та зменшенню витрат. Сенсори IoT дозволяють стежити за станом обладнання та передбачати можливі відмови чи поломки. Це сприяє попередженню невідкладних ремонтів та підвищує надійність системи. IoT дозволяє збирати дані про споживання енергії та інших ресурсів для зменшення витрат і підвищення ефективності. Збір та аналіз даних в реальному часі надає можливість приймати інформовані рішення та розробляти стратегії виробництва.

Переваги використання IoT в системах управління:

- підвищення продуктивності: завдяки автоматизації та оптимізації процесів, IoT допомагає підвищити продуктивність виробництва;
- зниження витрат: ефективне використання ресурсів, уникнення непередбачених збоїв та ремонтів дозволяють зменшити витрати;
- покращення якості продукції: IoT допомагає виявляти і усувати проблеми на ранніх стадіях, що веде до покращення якості продукції;

- збільшення безпеки: IoT включає системи моніторингу безпеки, що забезпечують безпеку працівників та обладнання;
- вдосконалення аналізу та прийняття рішень: Збір та аналіз даних допомагає управлінцям.

1.6 Постановка задачі

Завдання дипломної роботи полягає в створенні та моделюванні системи інтелектуального управління кондиціонуванням виробничого приміщення за допомогою технології IoT. Виконання завдання передбачає врахування основних вимог і обмежень, виконання функцій відповідно до встановлених умов, а також аналіз розробленої системи інтелектуального управління кондиціонуванням за заданими параметрами.

Розроблювана система призначена для впровадження в виробничих приміщеннях, підприємствах та інших місцях, де кондиціонування вважається ключовим і необхідним елементом забезпечення здорового і ефективного виробничого процесу.

Завдяки використанню розроблених компонентів, система інтелектуального керування кондиціонуванням отримає повну автоматизацію. Вона автоматично зчитуватиме дані з різних використовуваних датчиків і, відповідно до цих показників, самостійно визначатиме оптимальний режим для найефективнішого кондиціонування виробничого приміщення.

Система також інтегрована з інтернетом речей (IoT), що робить її зручною у використанні. Усі дані можна спостерігати в реальному часі на персональному комп'ютері, що має доступ до мережі Інтернет, або на смартфоні, який також з'єднаний з мережею Інтернет. Інформація виводиться через веб-браузер або спеціальний додаток.

Крім того, завдяки технології IoT, користувач може не лише спостерігати за показниками датчиків, підключених до системи, але й взаємодіяти з нею через ручне управління. Це особливо важливо в ситуаціях, коли датчики

можуть вийти з ладу або виникнути помилки, дозволяючи оперативно втрутитися та виправити ситуацію, задля безперервної роботи виробництва.

Задачі, що необхідно вирішити, під час виконання роботи можна описати наступним чином – необхідно детально сформулювати та уточнити функціональні вимоги до компонентів, що розробляються для системи інтелектуального керування кондиціонуванням. Передбачається розробка моделі даних для системи та проведення математичного моделювання її функціонування. Також потрібно створити модель схеми підключення мікроконтролера, датчиків та крокового двигуна, щоб забезпечити оптимальну взаємодію між компонентами системи. У цьому контексті важливо розробити ефективний код для управління системою, який відповідатиме визначеним вимогам та забезпечить правильну роботу інтелектуального керування кондиціонуванням. Крім того, важливо врахувати інтеграцію моделі Інтернету речей (IoT) у систему, щоб забезпечити можливість віддаленого контролю, аналізу даних та ефективного управління системою. Це дозволить користувачам здійснювати моніторинг та керування системою через Інтернет, забезпечуючи додаткові можливості збору і використання інформації для оптимізації роботи кондиціонування виробничого приміщення.

Автоматизація системи керування кондиціонуванням передбачає, що розроблена схема підключення, програмний код та інтеграція IoT повинні виконувати ряд ключових функцій:

Для, безпосередньо, системи керування кондиціонуванням:

- постійний збір актуальних даних з датчиків;
- передача цих даних до системи віддаленого доступу для моніторингу;
- автоматизоване управління кроковим двигуном відповідно до отриманих показників з датчиків;
- автоматизована зміна режимів управління двигуном на основі логічно налаштованих залежностей від зовнішнього середовища;
- вивід змін установлених режимів в IoT для зручного моніторингу;

- реалізація відображення збоїв та помилок у роботі системи через логічно налаштовані LED-датчики з подальшим передачею даних до системи віддаленого керування.

Для системи віддаленого моніторингу та керування за допомогою IoT:

- вивід змін установлених режимів в IoT для зручного моніторингу та управління;
- налаштування доступних та зрозумілих відображень даних та стану всіх датчиків та елементів системи;
- налаштування відображення збоїв та помилок системи через IoT;
- розробка простого та інтуїтивно зрозумілого користувацького інтерфейсу для зручного використання системи;
- реалізувати ручне управління в IoT, що дозволить користувачеві віддалено втручатися у систему інтелектуального керування кондиціонуванням у випадку виявлення помилок або збоїв, надаючи можливість вручну установлювати умови роботи системи до усунення проблеми.

Для виконання поставленої задачі необхідно розробити програмне забезпечення, вхідними даними до якого будуть: температура у приміщенні, вологість у приміщенні, значення вуглекислого газу у приміщенні, швидкість вітру за межами приміщення, напрям вітру за межами приміщення, порогове значення горючого газу та диму у приміщенні, значення LDR датчика.

Встановлені вхідні обмеження: обмеження на кількість заданих автоматизованих режимів роботи двигуна в залежності від отриманих показників з датчиків, у разі неузгодження даних із показників та встановленими за замовченням режимами – система виводить стан збою, запалює відповідний світлодіод та зупиняє роботу двигуна, до усунення збою, задля запобігання поломки комплектуючих.

Вихідними даними створеної системи керування кондиціонуванням повинні бути: виведені значення із показників до IoT, відповідно до значень із

показників – встановлені режими управління двигуном, відображення статусів збою у системі та IoT, справна робота ручного управління через IoT.

Розроблена програма повинна мати простий та інтуїтивний інтерфейс а також мати доступ до всіх заданих функцій.

1.7 Висновки за розділом 1

У результаті аналізу предметної галузі, визначеної в контексті Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0, встановлено, що розробка системи інтелектуального керування кондиціонуванням є важливою складовою для підтримки сучасних виробничих процесів. Поняття Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 визначають стратегічний напрямок впровадження технологічних інновацій у виробництво, включаючи автоматизацію та інтеграцію систем управління.

У виборі мікроконтролера для системи автоматизації було проведено аналіз кількох популярних пристроїв, таких як Arduino, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico. На основі вивчення характеристик та можливостей, було обрано ESP32 як найбільш підходящий для даного проекту мікроконтролер.

Досліджено використання різних типів датчиків у технічних системах, таких як давачі вологості, температури, рівнів CO₂, диму, газу, швидкості і напрямку вітру та інтенсивності світла. Обрано конкретні моделі датчиків: DHT22, MH-Z19, MQ-2, Adafruit Anemometer, SparkFun Photocell Sensor – відповідно, для використання в системі інтелектуального керування кондиціонуванням.

Висвітлено роль крокового двигуна у системі інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення. Обрано модель NEMA 17 як оптимальний вибір для реалізації завдань проекту.

Вивчено технологію Інтернету речей (IoT) та визначено її ключову роль у віддаленому моніторингу, аналізі даних та управлінні системою інтелектуального керування кондиціонуванням. Розглянуті завдання та

поставлені вимоги до системи IoT для забезпечення зручного та ефективного використання.

Було сформульовано завдання до дипломної роботи та визначено конкретні задачі для розробки системи інтелектуального керування кондиціонуванням. Поставлені завдання включають уточнення функціональних вимог, розробку моделі даних та математичне моделювання системи, а також розробку схеми підключення та програмного коду та інтеграцію з технологією IoT.

Загалом, результати аналізу у розділі 1 надали чітке уявлення про основні аспекти розробки системи інтелектуального керування кондиціонуванням та визначили ключові напрямки подальших досліджень та розробки.

2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Вибір технічних засобів

2.1.1 Мікроконтролери

ESP32 – високофункціональний мікроконтролер для інтеграції в систему інтелектуального керування кондиціонуванням. ESP32 був обраний в якості основного мікроконтролера для системи інтелектуального керування кондиціонуванням з ряду обґрунтувань:

- високі технічні характеристики: ESP32 відзначається високою продуктивністю, потужністю та швидкістю, що робить його ідеальним вибором для вимогливих задач системи керування;
- широкі можливості підключення: мікроконтролер має вбудований Wi-Fi модуль, що є важливим плюсом для забезпечення безперервного зв'язку з Інтернетом. Це відкриває можливості для віддаленого моніторингу та керування через IoT;
- зручність розробки: ESP32 підтримує популярні інтегровані середовища розробки (IDE), що робить його доступним та зручним для програмістів;
- широке спільнота та документація: існує широка та активна спільнота розробників, а також детальна документація, що спрощує використання та вирішення можливих проблем.

Обрання ESP32 дозволяє ефективно поєднати потужність та гнучкість мікроконтролера з можливостями вбудованого Wi-Fi для оптимального впровадження системи інтелектуального керування кондиціонуванням.

2.1.2 Давачі

Використання оптимальних давачів для забезпечення ефективного керування системою. У системі інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення вибір датчиків відіграє ключову роль у забезпеченні точності та надійності отриманих даних. Обрано ряд давачів, що оптимально взаємодіють з ESP32 та відповідають вимогам поставленого завдання:

- DHT22 для вимірювання температури та вологості: DHT22 надійно вимірює температуру та вологість, і володіє високою точністю. Його протокол комунікації є сумісним із засобами ESP32, що робить його ідеальним для інтеграції в систему;

- MH-Z19 для Вимірювання Рівнів CO₂: MH-Z19 надає точні та стабільні вимірювання рівнів CO₂, що важливо для забезпечення безпечної якості повітря в приміщенні. Його протокол комунікації також підтримується ESP32;

- MQ-2 для Виявлення Диму та Газу: MQ-2 визначається високою чутливістю до диму та різних газів, що є критичним для забезпечення безпеки на виробництві та уникнення потенційної пожежі. Співпрацює з SparkFun Photocell Sensor для виявлення світіння, характерного для вогню;

- Adafruit Anemometer для вимірювання швидкості вітру: Adafruit Anemometer надає надійні вимірювання швидкості вітру та напрямку. Його використання дозволяє вчасно виявляти зміни в напрямку вітру, що може уникнути поломок вентиляційного обладнання та забезпечити стабільну роботу системи;

- SparkFun Photocell Sensor для вимірювання інтенсивності світла: SparkFun Photocell Sensor гарантує точне вимірювання інтенсивності світла. Реагує на характерне для вогню світіння, сприяючи ранньому виявленню можливих пожеж;

- кроковий двигун NEMA 17 для реалізації автоматизованого керування: кроковий двигун NEMA 17 обраний через його високу точність та надійність, що є важливим для автоматизованого управління системою

кондиціонування. Вбудований Wi-Fi модуль ESP32 дозволяє легко інтегрувати його в систему зв'язку та управління, забезпечуючи стабільну та ефективну роботу.

Вибір цих датчиків та інструментів обґрунтований їхньою сумісністю з ESP32, високою точністю вимірювань та відповідністю вимогам для ефективного контролю параметрів кондиціонування виробничого приміщення.

2.1.3 Платформи та інструменти

Використання ефективних засобів для розробки та віддаленого керування. Розробка системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення включає в себе вибір ефективних платформ та інструментів для розробки, симуляції та віддаленого керування. Обрано наступні платформи та інструменти:

- Wokwi – симуляція та Розробка Мікроконтролерів: Wokwi надає зручне середовище для симуляції мікроконтролерів, зокрема ESP32. Це дозволяє визначити та виправити помилки ще до фізичної реалізації системи. Симуляція дозволяє швидше визначати проблеми та оптимізувати код без необхідності втрат часу на фізичне тестування [23];

- Blynk – платформа для IoT та віддаленого керування: Blynk дозволяє створювати зручний інтерфейс для віддаленого керування. Його інтеграція з ESP32 забезпечить зручний моніторинг та управління. Використання Blynk дозволяє не лише отримувати дані в реальному часі, але і взаємодіяти з системою, встановлюючи параметри кондиціонування з будь-якої точки світу[24];

- Blynk – додаток для смартфона: використання додатку Blynk на смартфоні дозволить користувачеві зручно відстежувати та керувати системою в режимі реального часу, незалежно від місця знаходження. Завдяки інтуїтивному інтерфейсу, користувач може легко взаємодіяти зі системою, змінювати налаштування та контролювати режими роботи;

– персональний комп'ютер та доступ до інтернету: для розробки, програмування та моніторингу системи необхідно мати персональний комп'ютер з доступом до мережі Інтернету. Це дозволяє використовувати інструменти розробки, завантажувати програми на мікроконтролер, а також отримувати та аналізувати дані в режимі реального часу.

Обрано ці платформи та інструменти з урахуванням їхньої зручності, ефективності та сумісності з ESP32. Wokwi і Blynk дозволяють зробити розробку та взаємодію з системою більш ефективною, смартфон допоможе зі зручним моніторингом даних системи інтелектуального керування кондиціонуванням з будь-якої точки світу а персональний комп'ютер зі з'єднанням до Інтернету є необхідним для всіх етапів роботи з проектом.

2.1.4 Інтеграція та взаємодія

Для забезпечення оптимальної взаємодії між компонентами системи вибрано технічні засоби, які не лише відповідають поставленим завданням, але і взаємодіють між собою ефективно.

Вибір мікроконтролера ESP32 з вбудованим Wi-Fi модулем дозволяє забезпечити безпроблемну комунікацію з платформою Blynk та іншими пристроями через Інтернет. Це відкриває можливості для віддаленого моніторингу та керування системою.

Використання платформи Wokwi для симуляцій дозволяє вирішити проблеми взаємодії та сумісності на ранніх етапах розробки. Це дозволяє уникнути потенційних проблем під час реального взаємодії компонентів.

Забезпечення сумісності різних компонентів системи є ключовим аспектом ефективної роботи. Для цього були обрані наступні підходи:

– використання одного протоколу комунікації: усі вибрані датчики та пристрої для системи використовують спільні протоколи комунікації, такі як I2C, UART або додатково власні бібліотеки для ESP32. Це забезпечує сумісність та швидку інтеграцію;

- інтеграція з платформою Blynk: Blynk, як платформа для IoT, об'єднує в собі засоби для взаємодії з різними пристроями та мікроконтролерами, що полегшує роботу з системою та дозволяє інтегрувати нові компоненти ефективно.

Завдяки правильному вибору технічних засобів та використанню засобів для забезпечення сумісності, система демонструє високу ефективність в роботі та легко інтегрує нові компоненти.

2.2 Вибір інтегрованого середовища розробки (IDE) та бібліотек

2.2.1 Вибір інтегрованого середовища розробки

При виборі Інтегрованого середовища розробки (IDE) для проекту системи інтелектуального керування кондиціонуванням, були враховані наступні критерії:

- сумісність із ESP32: обране IDE повинно підтримувати роботу з мікроконтролерами ESP32, які використовуються у проекті;
- зручність та інтерфейс: Інтерфейс IDE має бути зручним та інтуїтивно зрозумілим для полегшення розробки та налагодження;
- підтримка мови програмування: обране середовище повинно підтримувати мову програмування, яка використовується для розробки програмного забезпечення для ESP32;
- можливості налагодження та відлагодження: інструмент повинен забезпечувати ефективні засоби для налагодження та відлагодження коду.

Після уважного розгляду критеріїв було вирішено використовувати Arduino IDE для розробки системи інтелектуального керування кондиціонуванням через наступні переваги, такі як:

- Arduino IDE підтримує ESP32 і забезпечує зручні інструменти для роботи з цим мікроконтролером. Інтерфейс Arduino IDE є простим та легким для використання, ідеально підходить для розробки проектів IoT;

- підтримка мови програмування: Arduino IDE підтримує мову програмування C++, яка широко використовується для програмування мікроконтролерів[25];

- можливості налагодження та відлагодження: Arduino IDE має зручний інтерфейс для налагодження коду та відлагодження програм.

Вибір Arduino IDE був здійснений на основі його зручності, широкої підтримки ESP32 та легкості використання для проектів Інтернету речей [26].

2.2.2 Використання бібліотек для ESP32

У розробці системи інтелектуального керування кондиціонуванням використовуються наступні бібліотеки для ESP32, кожна з яких грає ключову роль у забезпеченні необхідних функціональностей:

- AccelStepper: ця бібліотека використовується для керування кроковими двигунами. Вона надає зручний інтерфейс для реалізації різних режимів руху, включаючи відстаневий, кутовий та мікрокроковий режими. Крокові двигуни використовуються у системі для точного та плавного керування рухом, що є ключовим для оптимального регулювання системи кондиціонування;

- BlynkSimpleEsp32 та WiFi: ці бібліотеки дозволяють ESP32 взаємодіяти з мережею Wi-Fi та інтегруватися з платформою Blynk для віддаленого керування та моніторингу. Забезпечення зв'язку через Wi-Fi та інтеграція з Blynk важливі для віддаленого керування та моніторингу системи;

- DHT22 та DHT sensor library for ESPx: ці бібліотеки використовуються для взаємодії з датчиком температури та вологості DHT22. DHT22 вимірює температуру та вологість, що є ключовими параметрами для ефективного керування кондиціонуванням;

- MQUnifiedsensor: ця бібліотека спрощує використання різноманітних датчиків, таких як MQ-2, для вимірювання рівнів газів. Датчик MQ-2 використовується для виявлення диму та газів, що є важливим для забезпечення безпеки та вчасного реагування на потенційні небезпеки;

– **TaskScheduler**: ця бібліотека дозволяє планувати та виконувати завдання в реальному часі, що важливо для синхронізації роботи різних компонентів системи. Розподіл та планування завдань допомагає оптимізувати роботу системи та уникнути конфліктів між різними компонентами;

– **Wire та Arduino**: ці бібліотеки забезпечують роботу з шиною I2C та основні функціональності Arduino. **Wire** використовується для взаємодії з пристроями через шину I2C, а **Arduino** надає базові функції для програмування мікроконтролера;

– **DHTesp**: ця бібліотека розширює можливості роботи з датчиками DHT, забезпечуючи додаткові функції та підтримку. **DHTesp** допомагає оптимізувати та розширювати взаємодію з датчиками температури та вологості для отримання надійних даних;

– **Wokwi Custom Chip Library**: бібліотека **Wokwi Custom Chip** спрощує симуляцію та віртуалізацію на **Wokwi**, емуляторі для розробки та тестування ардуіно-проектів онлайн. Для зручності та швидкої віртуалізації проекту в середовищі **Wokwi**, де розробляється симуляція системи кондиціонування. Вона забезпечує можливість створення та налаштування власних чіпів та елементів. Дозволяє користувачам використовувати власні моделі та симулювати їхню взаємодію в онлайн середовищі. Допомагає розробникам ефективно тестувати та відлагоджувати код, не виходячи за межі віртуальної середовища. **Wokwi Custom Chip Library** є ключовим елементом у віртуальній розробці та тестуванні проекту. Забезпечуючи зручний інтерфейс для симуляції різних чіпів та елементів, вона робить можливим швидко та ефективно віртуалізацію системи кондиціонування виробничого приміщення.

Кожна з цих бібліотек вибирається на основі своєї унікальної функціональності та важливості для виконання конкретних завдань у системі кондиціонування.

2.3 Розробка розрахункової моделі системи

Розробка розрахункової моделі системи є ключовим етапом у дослідженні, спрямованому на створення ефективної та інтелектуальної системи керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT. У даному підрозділі буде розглянуто математичні аспекти та моделі, які визначають функціонування запропонованої системи.

Цей етап не лише визначає архітектуру математичного опису системи, але і розглядає кілька ключових математичних моделей, які є визначальними для функціонування описуваної системи. Буде докладно розглянуто ряд розрахункових моделей, що включають в себе:

- витрати енергії на кондиціонування: ця модель дозволить визначити ефективність системи витрат енергії при охолодженні повітря виробничого приміщення враховуючи теплофізичні параметри та динаміку системи;
- тепловий баланс: буде розглянуто тепловий баланс як ключовий аспект, визначаючи взаємодію тепла в системі та враховуючи теплоізоляцію приміщення;
- інтеграція IoT: буде зосереджено увагу на математичних аспектах взаємодії з технологією IoT, визначаючи параметри обміну даними та керування через цю систему.

Розрахункова модель є фундаментальним інструментом у проектуванні та оптимізації системи керування. Її важливість полягає в здатності відображати фізичні взаємодії та динаміку системи, а також у визначенні оптимальних параметрів для досягнення поставлених цілей [27].

Створення розрахункової моделі дозволяє розглядати вплив різних факторів на ефективність та енергоефективність системи кондиціонування. Буде враховано теплофізичні параметри приміщення, інтегровано аспекти

ізоляції та теплового балансу, а також враховано вплив інтелектуальних технологій ІоТ.

Ця частина визначає вагомість розрахункової моделі у розробці системи, де точність та надійність є вирішальними факторами. Розробка ефективної розрахункової моделі стане основою для подальших аналізів, оптимізації та удосконалення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технологій ІоТ [28].

2.3.1 Витрати енергії на кондиціонування

В сучасних умовах інтенсивного використання виробничих приміщень та комерційних об'єктів, ефективне управління кондиціонуванням повітря стає ключовим фактором для забезпечення комфорту, безпеки та оптимальних умов для діяльності. Одним із важливих аспектів цього управління є розрахунок витрат енергії на кондиціонування, який включає в себе ряд факторів, таких як початкова температура повітря, бажана температура, ізоляція та теплоємність приміщення.

Ця розрахункова модель описує витрати енергії на кондиціонування виробничого приміщення з урахуванням різниці між початковою температурою повітря (T_i) та бажаною температурою в приміщенні (T_o). Основні параметри моделі включають масу повітря (m), коефіцієнт теплопровідності матеріалів ізоляції та стін (R), та теплоємність повітря (C).

Рівняння моделі виглядає наступним чином, (2.1):

$$E = \frac{m \cdot (T_i - T_o)}{R \cdot C}, \quad (2.1)$$

де E – витрати енергії на кондиціонування (у ватах або кіловатах), m – маса повітря, яке потрібно охолодити (у кількості кілограмів або літрах), T_i – початкова температура повітря в приміщенні (у градусах Цельсія), T_o – бажана температура в приміщенні (у градусах Цельсія), R – коефіцієнт

теплопровідності матеріалів ізоляції та стін (у ваттах на метр на градус Цельсія), C – теплоємність повітря (у джоулях на кількість теплоносія).

Ця формула використовується для розрахунку енергії, необхідної для кондиціонування виробничого приміщення з врахуванням різниці у температурі, ізоляції та теплоємності повітря.

Значення використаних показників можуть бути обчислені наступним чином:

– m – маса повітря, яке потрібно охолодити, може бути обчислена за (2.2):

$$m = \rho * V, \quad (2.2)$$

де ρ – густина повітря (у кількості кілограмів на кубічний метр), V – об'єм приміщення (у кубічних метрах);

– R – коефіцієнт теплопровідності матеріалів ізоляції та стін, може включати коефіцієнти теплопровідності різних шарів матеріалів (наприклад, стін, ізоляції тощо), (2.3):

$$R = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{k_i}\right)}, \quad (2.3)$$

де n – кількість шарів, d_i - товщина i -го шару (у метрах), k_i - коефіцієнт теплопровідності i -го шару (у ваттах на метр на градус Цельсія);

– C - теплоємність повітря, може бути розрахована як (2.4):

$$C = \rho_a * V * c_p, \quad (2.4)$$

де ρ_a – густина повітря (у кількості кілограмів на кубічний метр), c_p - специфічна теплоємність повітря при постійному тиску (у джоулях на кількість теплоносія).

2.3.2 Тепловий баланс

Тепловий баланс є важливою складовою системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології ІоТ. Тепловий баланс є основним інструментом для керування тепловими процесами у приміщенні, враховуючи теплові витрати та надходження з різних джерел.

Тепловий баланс включає врахування теплопередачі через стіни, теплопередачі від обладнання та тепловитрат через вентиляцію. Врахуємо також роботу кондиціонера та теплопродукцію обладнання (2.5):

$$C * \frac{dT}{dt} = Q_{in} - Q_{out}, \quad (2.5)$$

де C – теплоємність приміщення, T – температура, t – час, Q_{in} – сумарний тепловий потік, який надходить у приміщення, Q_{out} – сумарний тепловий відтік з приміщення.

Тепер розглянемо компоненти Q_{in} та Q_{out} , (2.6 – 2.7):

$$Q_{in} = Q_{heating} + Q_{equipment} + Q_{AC}, \quad (2.6)$$

$$Q_{out} = Q_{wall} + Q_{ventilation}, \quad (2.7)$$

де $Q_{heating}$ – тепловий потік від системи опалення, $Q_{equipment}$ – тепловий потік від обладнання, Q_{AC} – тепловий потік від кондиціонера, Q_{wall} – тепловий потік через стіни, $Q_{ventilation}$ – тепловитрати через вентиляцію.

Тепер можна розширити тепловий баланс, враховуючи ці компоненти, (2.8):

$$C * \frac{dT}{dt} = (Q_{heating} + Q_{equipment} + Q_{AC}) - (Q_{wall} + Q_{ventilation}), \quad (2.8)$$

2.3.3 Інтеграція IoT

Важливою частиною дослідження є розгляд математичних аспектів взаємодії нашої системи з Інтернетом речей (IoT). Цей аспект інформаційного обміну є ключовим для ефективного та інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення.

В рамках розгляду важливо розібратися, як система інтегрує отриману інформацію від пристроїв IoT протягом певного періоду часу. Для цього ми використовуємо концепцію інтеграції, що призводить до (2.9):

$$IoT_{integration} = \int_{t_0}^t f(IoT_{input})dt, \quad (2.9)$$

де $IoT_{integration}$ – накопичена величина інтеграції IoT без врахування сигналу керування, t_0 – початковий момент часу, t – поточний момент часу, $f IoT_{input}$ – функція, що визначає внесок IoT у систему з урахуванням різних факторів (параметрів).

Інтеграл позначає накопичення величини $f IoT_{input}$ від початкового моменту часу t_0 до поточного моменту часу t . Функція $f IoT_{input}$ визначає внесок технології Інтернету речей (IoT) у систему.

Ця інтеграція може включати в себе різноманітні аспекти взаємодії з IoT, такі як зчитування даних, моніторинг параметрів, аналіз інформації тощо. Кожний маленький приріст $f IoT_{input}$ додається до накопиченої величини протягом розглянутого інтервалу часу. Інтеграція IoT є важливим елементом для врахування взаємодії системи з зовнішнім середовищем та визначення її динаміки в часі.

2.4 Діаграма прецедентів

Діаграма прецедентів є одним із видів діаграм в язиці моделювання UML (Unified Modeling Language), який використовується для візуалізації функціональності системи та взаємодій між її різними елементами. Діаграма прецедентів дозволяє моделювати, як користувачі (актори) взаємодіють з системою через виклики дій (прецеденти). Основні компоненти діаграми прецедентів:

- актори (Actors): актори представляють зовнішні сутності або ролі, які взаємодіють з системою. Це може бути користувач, інша система або будь-яка інша сутність, яка взаємодіє з системою;
- прецеденти (Use Cases): прецеденти представляють конкретні функції або дії, які система виконує для задоволення потреб акторів. Кожен прецедент є взаємодією між актором і системою;
- взаємодії (Associations): взаємодії визначають зв'язки між акторами та прецедентами. Це може бути виклик прецеденту актором або реакція системи на виклик актора;
- система (System): система — це контейнер, що вміщує всі прецеденти та актори, які моделюються на діаграмі. Система визначає область застосування моделі.

Діаграма прецедентів допомагає розуміти функціональність системи з точки зору зовнішніх користувачів та їх взаємодій з системою. Вона є потужним інструментом для аналізу та проектування системи, а також для спілкування з різними учасниками проекту[29].

Випадки використання системи визначають область її функціональності та охоплюють граничні умови її застосування (рисунок 2.1) [30].

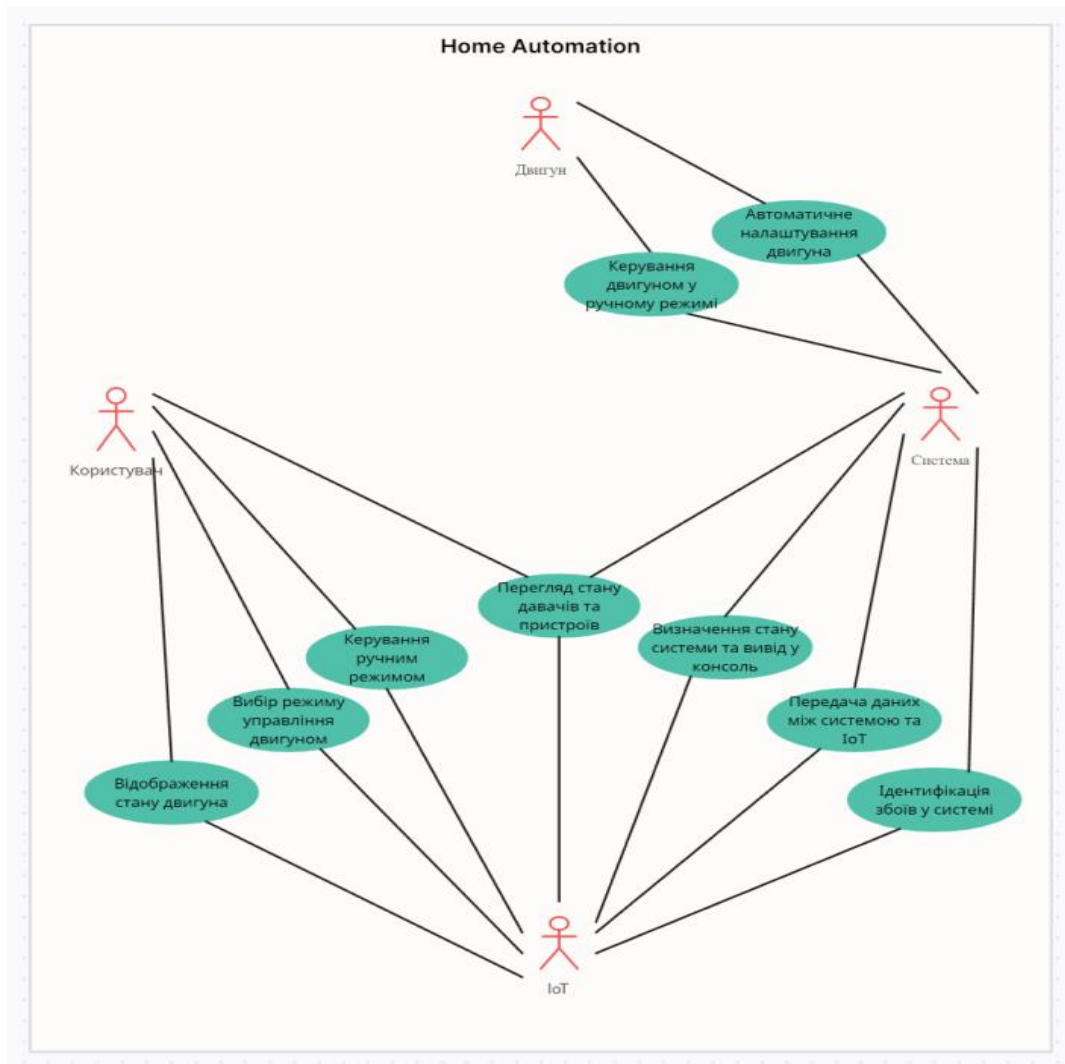


Рисунок 2.1 – Діаграма прецедентів

Прецедент 1 – Управління пристроєм кондиціонування виробничого приміщення через IoT. Основний виконавець: Користувач.

Зацікавлені особи та їх вимоги:

- користувач прагне використовувати IoT для керування кондиціонуванням виробничого приміщення.

Передумови. Вхід у програму виконано успішно.

Результати. Вибрані параметри режиму кондиціонування збережені. Стан системи кондиціонування змінено відповідно до вказаних користувачем налаштувань. Інформацію про виконане управління виведено на екран.

Основний успішний сценарій:

- користувач успішно виконав вхід у програму IoT;

- користувач увімкнув режим ручного управління;
- після вибору параметрів та режиму кондиціонування, користувач підтверджує свій вибір;
- після підтвердження користувачем параметрів, система IoT передає команди до пристрою кондиціонування;
- система передає вказівки, щодо режиму управління, двигуну;
- зміни в стані кондиціонування відображаються на екрані, підтвержуючи успішне управління.

2.5 Розробка функціональної моделі системи

Ключовим аспектом в реалізації завдання, пов'язаного із розробкою системи інтелектуального управління кондиціонуванням виробничого приміщення за допомогою технології IoT, є глибокий аналіз функціональної взаємодії об'єктів автоматизації. Здебільшого, отримані результати цього аналізу узагальнюються у вигляді функціональної моделі програмного забезпечення. Архітектура цієї моделі в значній мірі піддається впливу контексту конкретного проекту та може бути представлена різними документами, включаючи текстові та графічні ресурси [31].

Функціональна модель призначена для докладного опису процесів обробки даних відповідно до заданого програмного забезпечення, ураховуючи, при цьому, різні перспективи.

Ramus – це CASE-засобна програма, яка служить для розробки функціональних моделей систем. Однією з основних характеристик Ramus є реалізація IDEF0 (Integrated Definition for Function Modeling) - стандартного методу функціонального моделювання. IDEF0 надає зручний та стандартизований спосіб представлення функціональної структури системи [32].

IDEF0 є методологією функціонального моделювання, яка дозволяє візуалізувати структуру та функції системи. IDEF0 використовується для

створення зрозумілих та конкретних функціональних моделей системи, розкриваючи взаємодії між різними компонентами. Функціональне моделювання Ramus дозволяє зручно використовувати метод IDEF0 для створення функціональних моделей, що включають у себе взаємодію між об'єктами автоматизації, які в даному випадку можуть бути пов'язані з інтелектуальним керуванням кондиціонуванням виробничого приміщення за допомогою технології IoT. Ramus дозволяє використовувати концепцію декомпозиції для детального розгляду окремих елементів системи, розбиваючи їх на менші, більш зрозумілі компоненти.

Особливості та Зручності:

- CASE-засіб: Ramus є CASE-засобом, що вказує на його використання в процесі розробки комп'ютерних систем;
- стандартизований метод IDEF0: Застосування стандарту IDEF0 у Ramus забезпечує єдність та зрозумілість моделей, сприяючи кращому розумінню функціональних взаємодій системи;
- графічний інтерфейс: Ramus забезпечує зручний графічний інтерфейс для створення та редагування функціональних моделей.

Використання методу IDEF0 в Ramus буде корисним для точного та структурованого аналізу функціональної взаємодії об'єктів автоматизації в контексті проекту з інтелектуальним керуванням кондиціонуванням. Результатом застосування Ramus з методом IDEF0 буде функціональна модель програмного забезпечення, яка конкретизує процеси обробки даних та взаємодії компонентів системи. Декомпозиція дозволить розглянути окремі елементи системи детальніше, сприяючи зрозумінню їхнього внеску у загальну функціональність.

Таким чином, використання Ramus і методу IDEF0 дозволить ефективно створювати, аналізувати та оптимізувати функціональні моделі системи інтелектуального керування кондиціонуванням у виробничому приміщенні.

Проаналізуємо стадію конструювання моделі IDEF0, що визначає аналіз та призначення системою інтелектуального керування кондиціонуванням

виробничого приміщення оптимального режиму роботи вентилятора (рисунок 2.2).

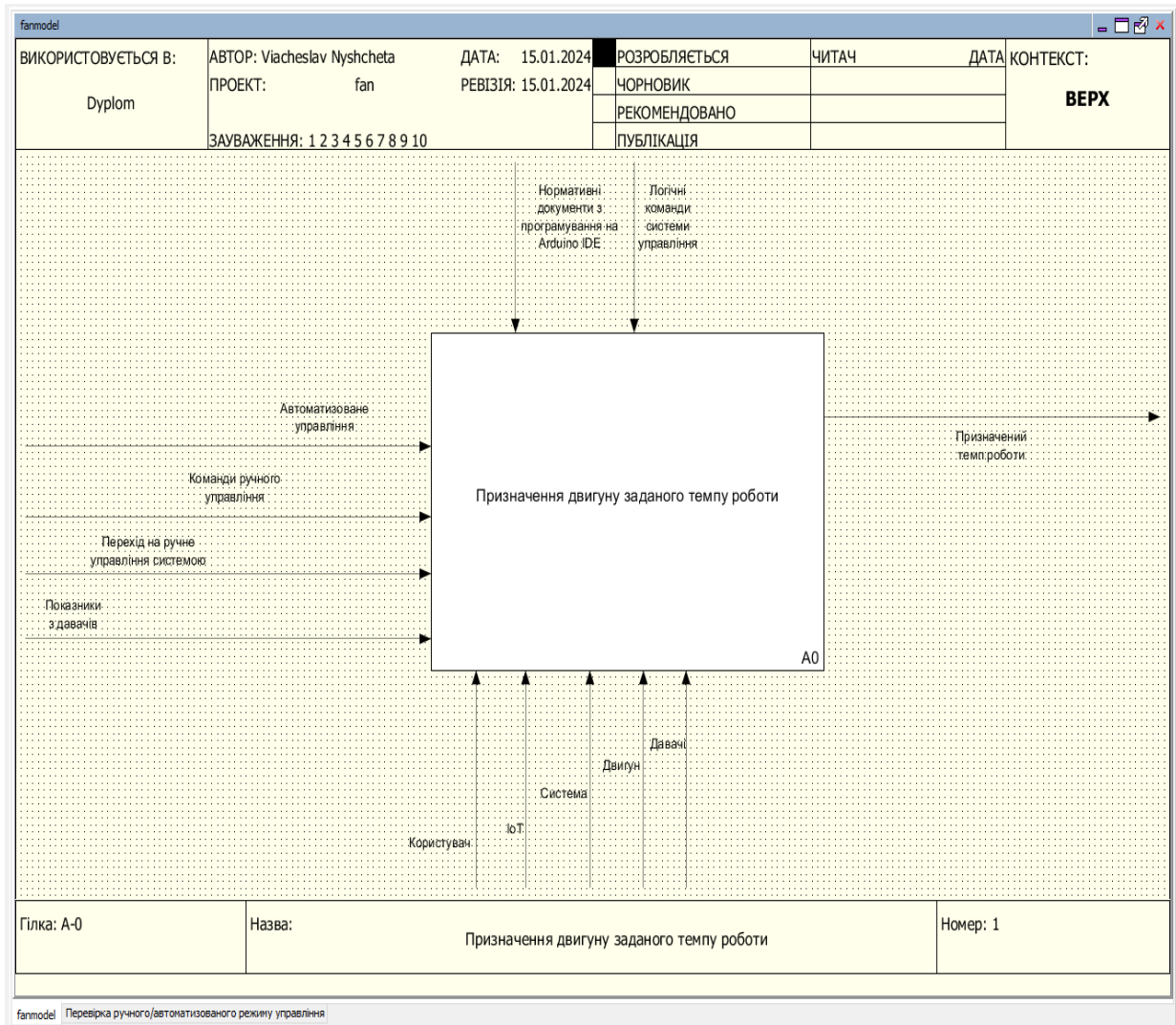


Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма

Основною функцією двигуна є приймання вказівок від системи та встановлення, у залежності від різноманітних факторів, необхідного режиму роботи. На наступному рівні декомпозиції бізнес-процесу аналіз та призначення системою інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення оптимального режиму роботи вентилятора, система запускає процес ініціалізації даних з датчиків, виконує їх обробку, здійснює підключення до сервісів Інтернету речей (IoT) та обмін даними, а також

перевіряє активність підключення до ручного управління користувачем. З урахуванням вхідних даних система призначає двигуну відповідний режим роботи, відповідно до визначених логічних умов, ураховуючи температуру та статус роботи (рисунок 2.3).

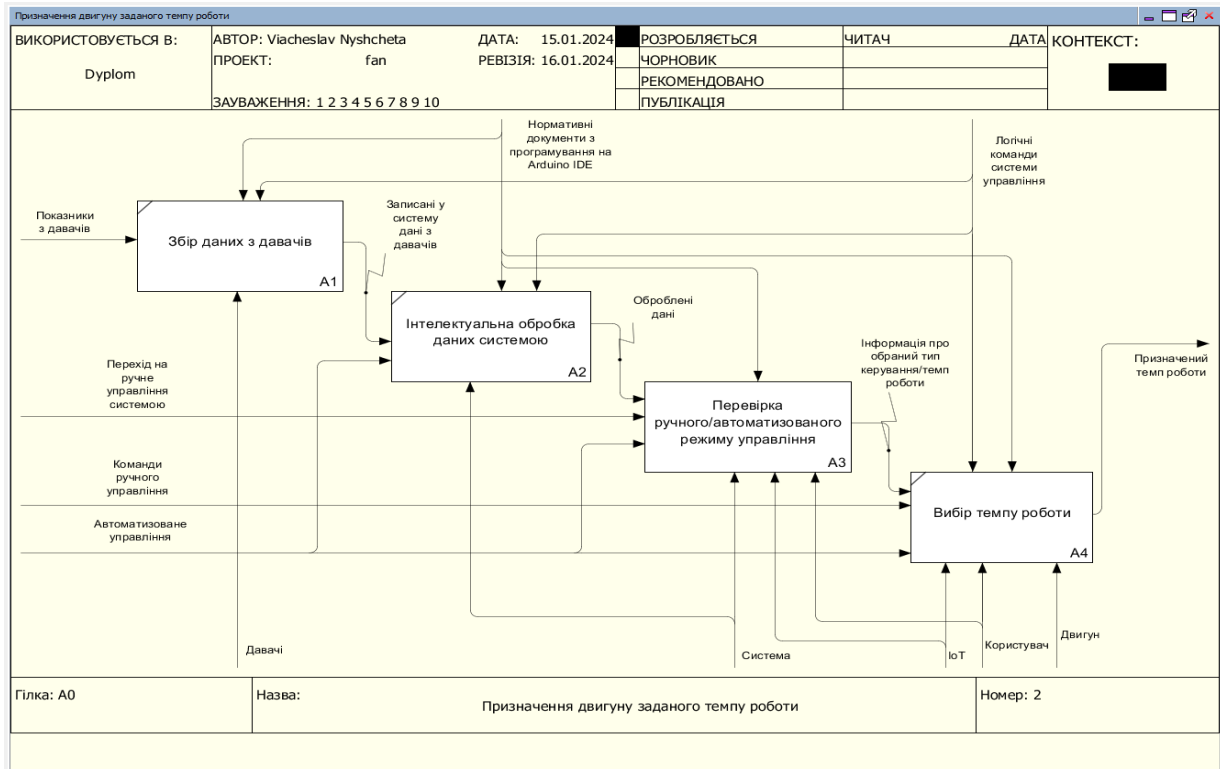


Рисунок 2.3 – Процес призначення темпу роботи

Один із ключових бізнес-процесів, що суттєво впливає на ефективність виробництва для якого впроваджується система інтелектуального керування кондиціонуванням, – це перехід до ручного управління вентилятором. У випадку непередбачуваних обставин, таких як критичні збої або помилки, важливо мати можливість призупинити автоматизовану роботу системи та переключити управління системою в ручний режим.

У системі встановлено інтелектуальні заходи безпеки для виявлення непередбачуваних обставин та їх ідентифікації. У разі спрацювання цих заходів, система IoT автоматично повідомляє користувача, дозволяючи йому

приймати відповідні заходи. Після сповіщення система перевіряє, чи вже ініційовано перехід на ручне управління.

Залежно від стану ручного управління, система призначає тип керування та встановлює необхідний темп роботи для двигуна - чи то автоматизований, чи ручний. Цей підхід дозволяє забезпечити надійність та гнучкість в управлінні кондиціонуванням, забезпечуючи оптимальні умови роботи виробничого приміщення в умовах непередбаченості та надзвичайних ситуаціях (рисунок 2.4).

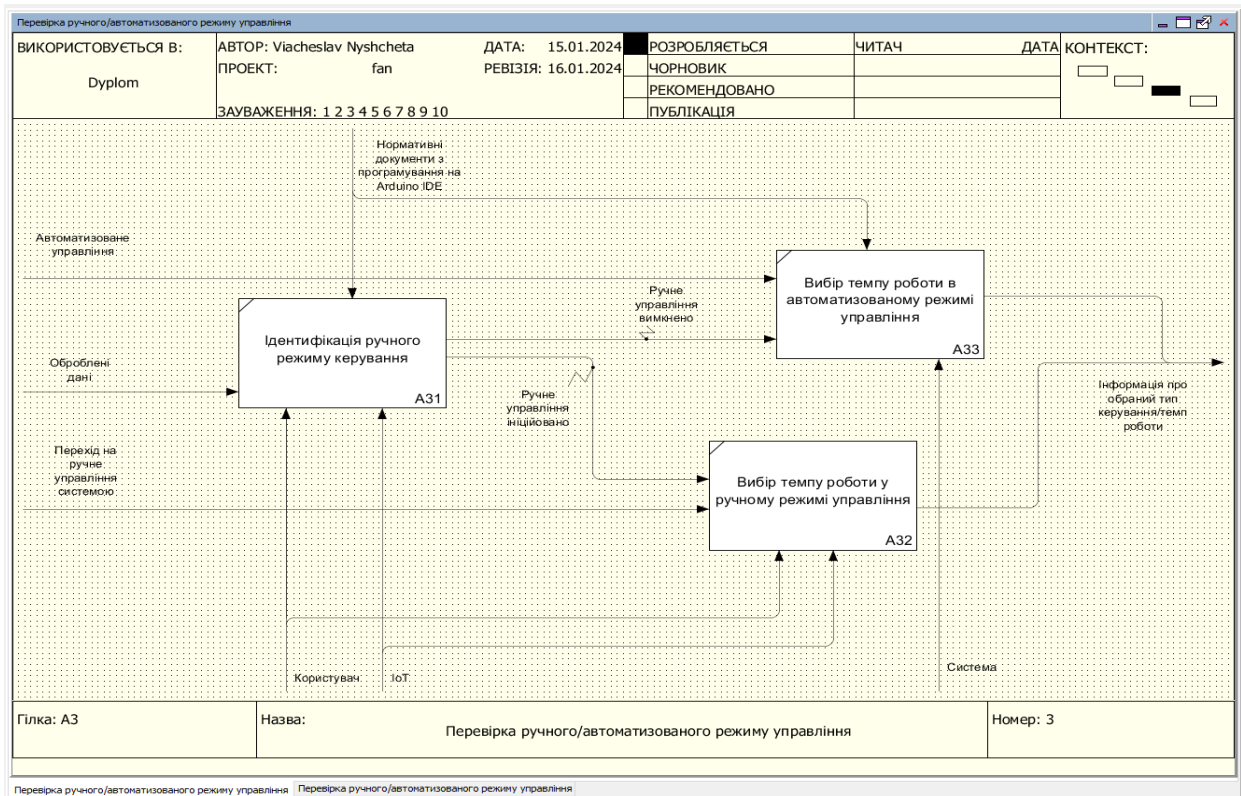


Рисунок 2.4 – Ідентифікація типу керування та темпу роботи

2.6 Висновки за розділом 2

В даному розділі проведено комплексний аналіз технічних аспектів, що стосуються вибору та інтеграції технічних засобів у проект системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з

використанням технології IoT. Розглянуті вибори та питання технічної реалізації мають критичне значення для успішності та ефективності проекту.

У підрозділі 2.1, вибір технічних засобів, визначені та оцінені мікроконтролери, датчики, платформи та інструменти з точки зору їхньої відповідності вимогам проекту та забезпечення оптимальної функціональності.

Підрозділ 2.2, вибір інтегрованого середовища розробки (IDE) та бібліотек, висвітлив ключові аспекти вибору середовища розробки та використання бібліотек для платформи ESP32, що є стратегічним вибором для оптимальної продуктивності та швидкості розробки.

Підрозділ 2.3, розробка математичної моделі системи, зосередив увагу на створенні математичних моделей для аналізу теплового балансу, витрат енергії на кондиціонування та інтеграції даних від IoT-пристроїв. Ці моделі є ключовими для глибшого розуміння та оптимізації функціонування системи.

У підрозділах 2.4 і 2.5, діаграма прецедентів та розробка функціональної моделі системи, детально проаналізовано взаємодію користувача з системою, та системою із компонентами. Висвітлено ключові процеси та функціональність системи.

Наведені висновки надають необхідний фундамент для подальшого розвитку та успішної імплементації системи інтелектуального керування кондиціонуванням у виробничому середовищі, враховуючи сучасні вимоги технічної ефективності та функціональності.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

3.1 Створення блок-схеми алгоритму роботи програмного забезпечення

Створення блок-схеми алгоритму роботи програмного забезпечення визначає етап розробки, який виявляє важливі аспекти впровадження системи керування кондиціонуванням у виробничому приміщенні. Блок-схема алгоритму є ключовим інструментом для візуалізації та формалізації логіки програмного забезпечення, яке визначає принципи функціонування системи управління.

Створення блок-схеми визначає можливості розробників та інженерів зрозуміти логіку програмних процесів, ідентифікувати можливі проблеми та вдосконалити алгоритмічні рішення. Цей етап визнається як ключовий у впровадженні надійної та ефективної системи управління, оскільки блок-схема дозволяє урахувати всі аспекти взаємодії компонентів програмного забезпечення.

Далі буде детально розглянуто процес створення блок-схеми для алгоритмів, пов'язаних із системою кондиціонування, включаючи управління температурою, вентиляцією, інтеграцію IoT та інші аспекти роботи системи. Здійснено аналіз логічних зв'язків, взаємодії модулів та оптимізації алгоритмів з метою досягнення максимальної ефективності.

Вивчення цього питання дозволить глибше ознайомитися з архітектурою програмного забезпечення системи, обґрунтованість вибору конкретних алгоритмів та їх взаємодію з апаратною частиною системи управління кондиціонуванням.

Алгоритми в сучасному інформаційному середовищі представляють собою деталізовані набори інструкцій та процедур, які визначають послідовність дій для вирішення конкретної задачі чи досягнення певної мети.

Вони є фундаментальною складовою будь-якої програми або системи та відіграють ключову роль у визначенні їхньої ефективності та коректності.

Мета алгоритмів:

- розв'язання задач: алгоритми надають структурований підхід до вирішення конкретних завдань або задач, будь то сортування даних, пошук шляху в графі, аналіз великих обсягів інформації та інше;
- оптимізація ресурсів: хороші алгоритми дозволяють оптимізувати використання ресурсів, таких як час виконання програми чи використання пам'яті, що важливо в сучасних інформаційних системах;
- автоматизація процесів: алгоритми стають основою для автоматизації великої кількості завдань та процесів, що дозволяє зменшити людські помилки та забезпечити стабільність у виконанні рутинних операцій.

Класифікація алгоритмів:

- сортування та пошук: включає алгоритми для впорядкування масивів даних та здійснення пошуку конкретного елемента;
- графові алгоритми: використовуються для роботи з графами, що може бути корисним у задачах маршрутизації, мережевого планування та інших сценаріях;
- динамічне програмування: використовується для оптимізації задач, які можуть бути розбиті на менші підзадачі;
- штучний інтелект: включає алгоритми для розв'язання завдань, пов'язаних з машинним навчанням, класифікацією об'єктів та інтелектуальним аналізом даних.

Важливість алгоритмів:

- ефективність програм: вибір правильного алгоритму може суттєво вплинути на швидкість та ефективність виконання програми;
- надійність систем: вірно розроблені алгоритми допомагають досягти високого рівня надійності та стабільності функціонування систем та програм;

– інноваційний розвиток: у галузі штучного інтелекту, обробки даних та інших областей важко уявити прогрес без розробки та вдосконалення алгоритмів.

Також алгоритми можна розрізняти за типами, розглядаючи їх за різними критеріями.

За способом виконання:

– лінійні алгоритми: виконуються послідовно, без розгалужень чи повторень;

– розгалужені алгоритми: містять умови (розгалуження), які визначають, які інструкції виконувати в залежності від певних умов;

– множинний вибір алгоритмів: містять умови, які можуть призводити до вибору різних шляхів виконання в залежності від певних умов. Включають конструкції типу `switch` або `case` в багатьох програмних мовах програмування;

– циклічні (ітеративні) алгоритми: містять повторювані блоки коду, що дозволяє виконувати певні інструкції багато разів.

За методом розв'язання задачі:

– прямий (напрявлений) алгоритм: розв'язує задачу безпосередньо і заздалегідь знає, як це зробити;

– ітеративний алгоритм: використовує ітерації, тобто повторює дії до досягнення бажаного результату, найчастіше з використанням циклів.

За типом даних:

– числові алгоритми: розв'язують задачі, пов'язані з числовими значеннями;

– текстові алгоритми: орієнтовані на операції з рядками чи символами;

– графічні алгоритми: використовуються для обробки графічних даних.

Таким чином, алгоритми є важливим інструментом для інженерів та розробників, які спрямовані на вирішення складних завдань та оптимізацію функціональності програм та систем [33].

Розглянемо низку алгоритмів, які визначають функціональну роботу інформаційної системи (рисунок 3.1 – 3.2).

Розглянемо алгоритм автоматизованої роботи системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT. В результаті такого підходу до автоматизації систем кондиціонування виробничих приміщень, досягається значний рівень ефективності, що відображається у зменшенні енерговитрат, поліпшенні умов праці та підвищенні загальної продуктивності приміщень.

Процедура автоматизованої експлуатації інтелектуальної системи керування кондиціонуванням за допомогою Internet of Things (IoT) розпочинається із зчитування показників, які реєструються датчиками, що інтегровані з даною системою. Вимірювані значення зберігаються та транслюються в режимі реального часу через мережеве середовище IoT.

У випадку виявлення надзвичайних ситуацій, передбачених логікою системи, остання ідентифікує природу подій і припиняє операцію системи. При цьому вона також надсилає повідомлення про виникнення події за допомогою системних світлодіодних сигналів та інфраструктури IoT.

Якщо надзвичайна ситуація не зафіксована, система автоматично визначає параметри оточуючого середовища та, враховуючи логічно обчислені величини, встановлює необхідний режим роботи кондиціонування. Система також проводить розрахунки енерговитрат процесів та взаємодіє з мережевим середовищем IoT з метою оптимізації ефективності системи (рисунок 3.1).

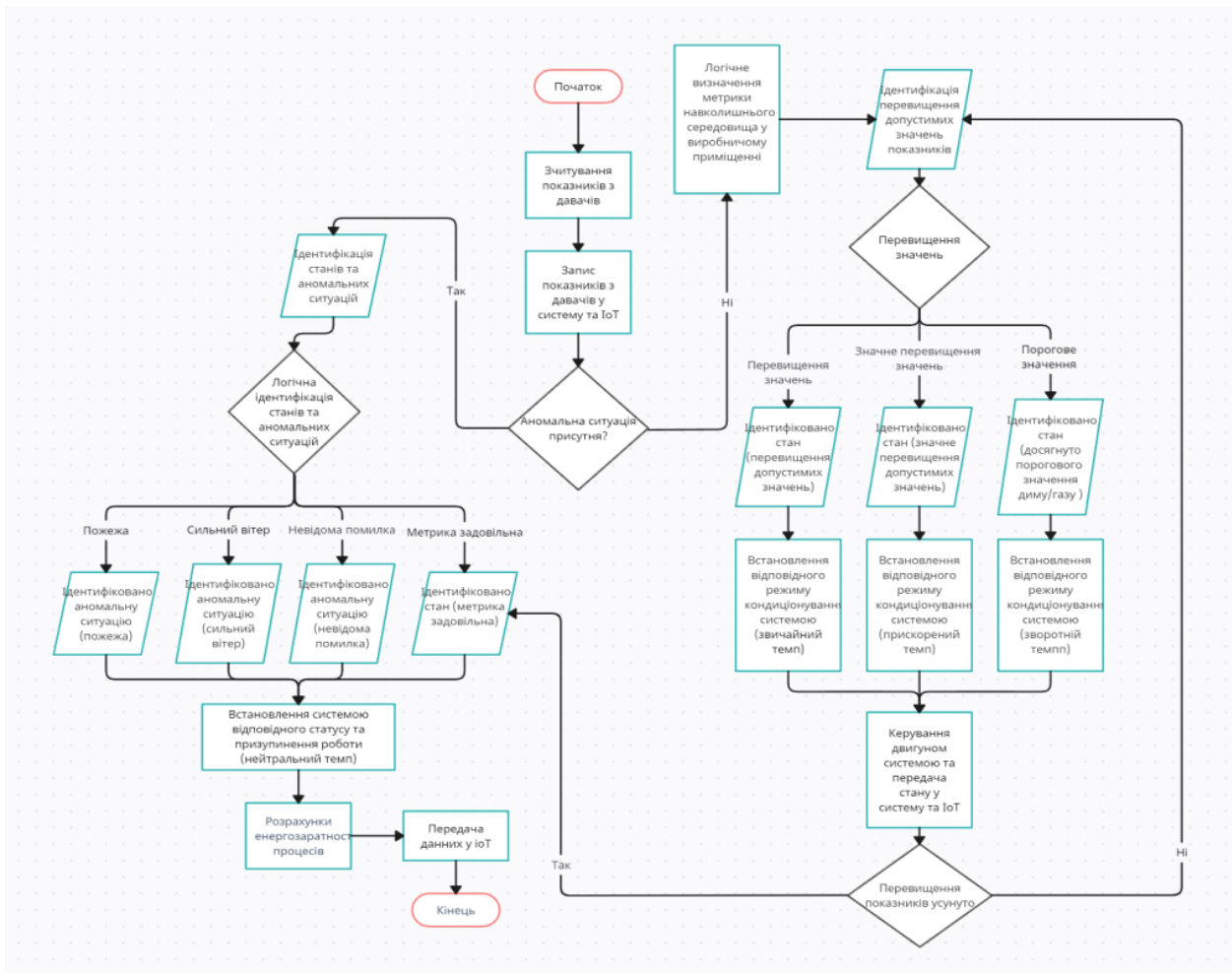


Рисунок 3.1 – Алгоритм автоматизованої роботи інтелектуальної системи керування кондиціонуванням

Далі буде розглянуто алгоритм взаємодії користувача із системою IoT та виконання переходу на ручне управління (рисунок 3.2).

Спочатку користувач повинен пройти ініціалізацію у системі Internet of Things (IoT). Після успішної ініціалізації йому стає доступною вся інформація про роботу системи: вимірювання з датчиків, системні обчислення, стан системи та режим роботи кондиціонування. У випадку виявлення користувачем помилок або несправностей системи, він може взяти управління кондиціонуванням на себе, скориставшись ручним керуванням. Користувач ініціює ручне управління, встановлює необхідні режими роботи, після чого система переходить у режим ручного управління та передає відповідні команди керування кондиціонуванням (рисунок 3.2).

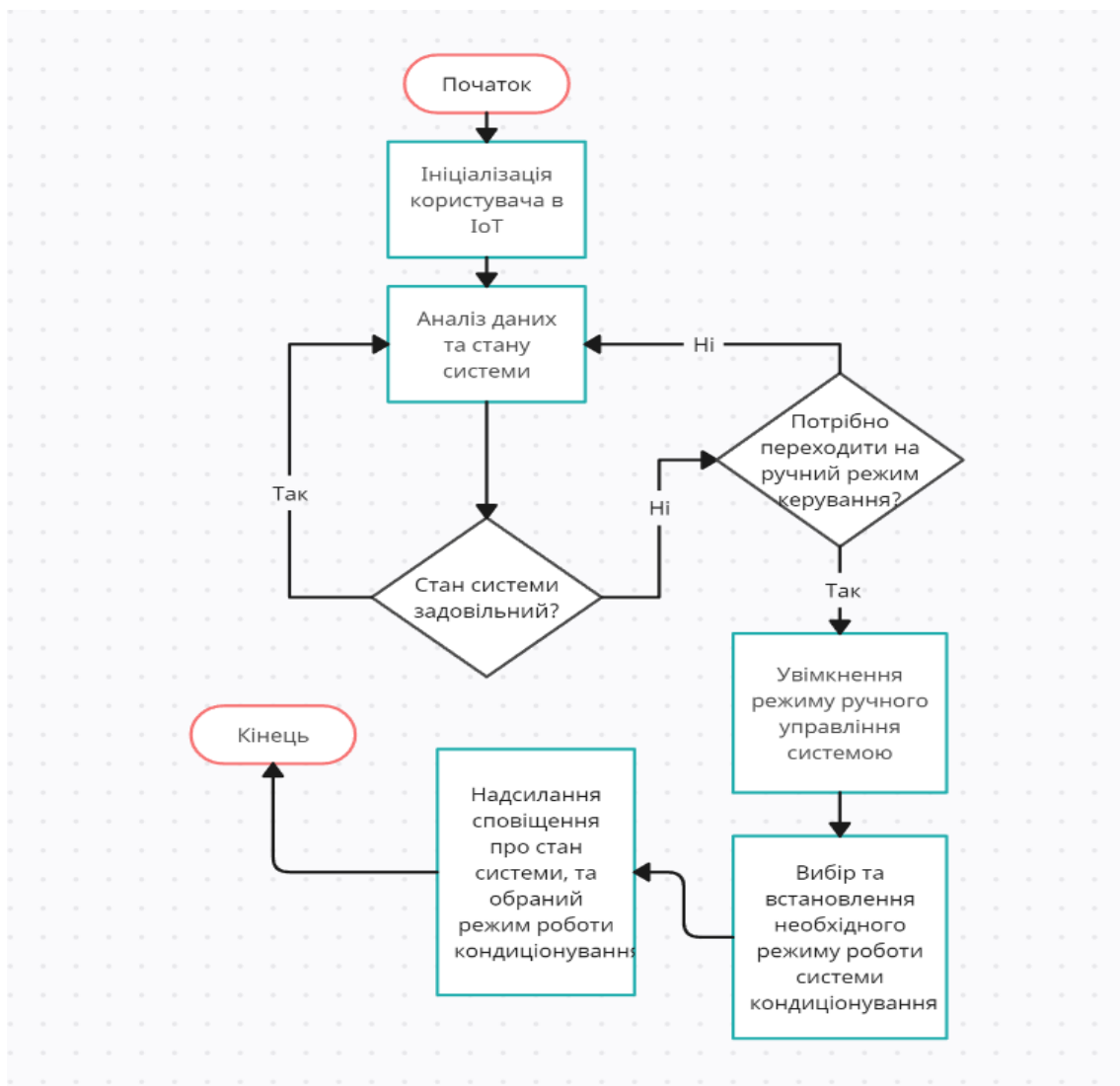


Рисунок 3.2 – Алгоритм ручного управління системою за допомогою технологій IoT

3.2 Розробка моделі системи інтелектуального управління кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT

Розробка моделі системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення на базі платформи Wokwi визначається як комплексний технічний процес, спрямований на створення ефективного та автоматизованого механізму регулювання мікроклімату в приміщенні. Використання технології IoT дозволяє поєднати апаратне та програмне забезпечення для оптимального управління кондиціонуванням, забезпечуючи

зручний моніторинг та управління системою через хмарні сервіси. Далі буде розглянуто ключові етапи створення моделі, важливість використання платформи Wokwi, а також короткий огляд основних функціональних аспектів розробленої системи.

В сучасному інженерному процесі створення систем інтелектуального керування, особливо у сфері кондиціонування виробничих приміщень, симуляція моделей відіграє надзвичайно важливу роль. Спроби удосконалити та оптимізувати роботу таких систем в реальних умовах можуть бути вкрай витратними та часозатратними. Таким чином, перевага надається створенню та тестуванню віртуальних моделей з використанням сучасних платформ, таких як Wokwi.

Симуляція моделі системи інтелектуального керування в Wokwi дозволяє інженерам та розробникам проводити експерименти та тестувати різноманітні аспекти функціонування системи без прив'язки до реального обладнання. Це забезпечує можливість ефективного аналізу та оптимізації алгоритмів управління, оцінки витрат енергії та температурних параметрів, що дозволяє вдосконалити систему ще до її фізичної реалізації.

Такий підхід сприяє прискоренню процесу розробки, скороченню термінів внесення змін у програмний код та апаратне забезпечення, а також зменшенню витрат на випробування та вдосконалення системи. Така інноваційна стратегія дозволяє розробникам систем кондиціонування ефективно вирішувати технічні завдання та вдосконалювати продукт ще на етапі віртуального моделювання.

Модель системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології IoT наведено на рисунку 3.3.

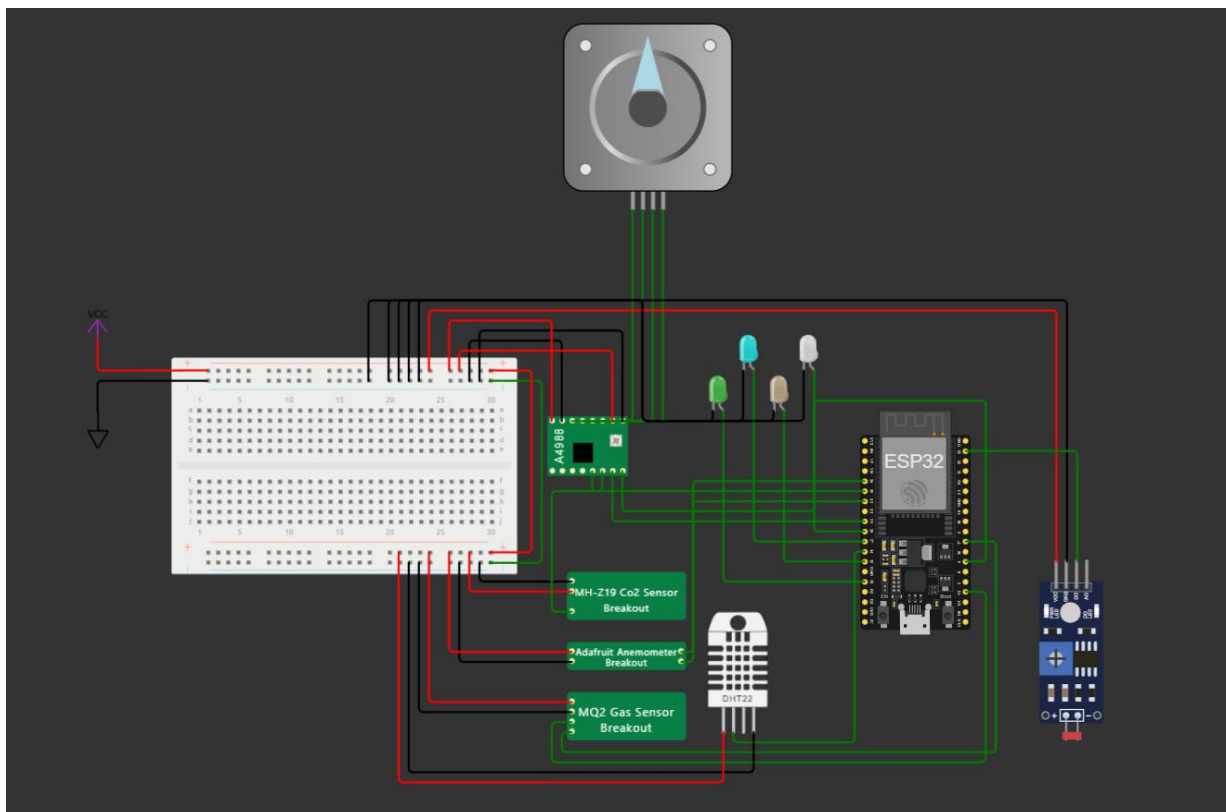


Рисунок 3.3 – Модель системи у середовищі моделювання Wokwi

На даній моделі реалізовано апаратну платформу, яка включає ключові компоненти, зазначені у попередньому описі, такі як мікроконтролер, датчики, кроковий двигун, світлодіоди та додаткова плата підключення. Зображені інтерфейси введення та виведення для живлення та заземлення, відповідно, а також інтегроване підключення всіх компонентів за допомогою кабельної мережі. Ця конфігурація реалізує взаємодію між апаратними блоками, надаючи можливість взаємодії та обміну інформацією між компонентами системи керування кондиціонуванням.

У даній апаратній моделі використано інноваційні технології симуляції та віртуалізації, що дозволяють ефективно тестувати та оптимізувати розроблену систему інтелектуального керування кондиціонуванням. Використання сучасних інструментів, зокрема Wokwi, надає можливість не лише моделювання роботи апаратної платформи, але й аналізу взаємодії всіх компонентів в умовах реального виробничого середовища. Це сприяє

підвищенню надійності та ефективності розробленої системи перед її впровадженням у реальних умовах експлуатації.

3.3 Розробка програмного забезпечення

3.3.1 Реалізація програмного коду у середовищі стимуляційної розробки Wokwi

У сучасному інформаційному суспільстві створення програмного забезпечення відіграє ключову роль у розвитку технологій та вирішенні різноманітних завдань. Створення програмного забезпечення є важливою складовою даного дослідження, в якому розглядаються аспекти розробки та оптимізації програмного забезпечення для інтелектуальної системи керування кондиціонуванням виробничого приміщення.

Проведена розробка відбувалась у високопродуктивному середовищі моделювання Wokwi, що надає зручність та ефективність у роботі з мікроконтролерами. Мова програмування C++ в поєднанні з платформою ESP32 та використанням Arduino IDE надали необхідні інструменти для створення стабільного та ефективного програмного забезпечення.

У даному розділі детально аналізуються етапи створення програмного забезпечення, використані технології та алгоритми, які забезпечують ефективну та надійну роботу системи. Також висвітлюється важливість симуляції та моделювання в розробці програмного забезпечення, що дозволяє ефективно вирішувати завдання автоматизації та оптимізації роботи інтелектуальних систем.

Створення програмного коду для інтелектуальної системи керування кондиціонуванням включало в себе декілька етапів, кожен з яких мав свою унікальну роль у розвитку та оптимізації функціональності системи. Нижче подано розширений опис кожного етапу розробки:

– макроси BLYNK_TEMPLATE_ID, BLYNK_TEMPLATE_NAME,
BLYNK_AUTH_TOKEN: макроси BLYNK_TEMPLATE_ID,

BLYNK_TEMPLATE_NAME, та BLYNK_AUTH_TOKEN визначають ідентифікатор та назву шаблону проекту в Blynk, а також токен автентифікації, який використовується для підключення пристрою до облікового запису Blynk. Ці значення унікальні для кожного проекту і використовуються для встановлення зв'язку між пристроєм та сервером Blynk;

- підключення бібліотек і визначення об'єктів: у цьому етапі використовуються директиви #include, щоб підключити різні бібліотеки, необхідні для функціонування коду. Основні бібліотеки включають AccelStepper для роботи з кроковим двигуном, Wire для роботи з I2C, WiFi для забезпечення підключення до мережі Wi-Fi, BlynkSimpleEsp32 для взаємодії з платформою Blynk, та DHTesp для роботи з датчиком температури та вологості, Wokwi Custom Chip, що спрощує симуляцію та віртуалізацію на Wokwi, для реалізації та симуляції будь-яких інших датчиків та їх гнучкого налаштування і програмування;

- визначення констант і змінних: тут визначаються константи та змінні, які використовуються для роботи коду. Наприклад, константи для визначення віртуальних пінів Blynk, об'єкти датчиків, параметри мережі та інші;

- ініціалізація Blynk і датчиків:

```
BlynkTimer timer;
```

```
DHTesp dhtSensor;
```

```
const int DHT_PIN = 14;
```

```
const int WD_PIN = 32;
```

```
const int WS_PIN = 34;
```

```
const int MQ2_ANA = 17;
```

```
const int MQ2_DIG = 15;
```

```
const int CO2_PIN = 35;
```

```

const int LUX_PIN = 23;
const int GREEN = 13;
const int BURNED = 12;
const int BLUE = 27;
const int WHITE = 26;

```

```

const int DIR_PIN = 4;
const int STEP_PIN = 25;
AccelStepper stepper(AccelStepper::FULL4WIRE, STEP_PIN, DIR_PIN);

```

На цьому етапі визначається токен автентифікації для підключення до сервера Blynk, а також параметри мережі Wi-Fi. Ініціалізується об'єкт таймера Blynk та об'єкт датчика DHT та інших;

– оголошення класу SensorData:

```

class SensorData
{
public:
    struct Info
    {
        float temperature;
        float humidity;
        int wspeed;
        int wdirection;
        int tgl;
        int cdiox;
        int lux;
        int fire;
        float Ti;
    };
};

```

```

Info getSensorData()
{
    Info data;

    // Отримання даних від датчиків
    data.temperature = dhtSensor.getTemperature();
    data.humidity = dhtSensor.getHumidity();
    // ... інші датчики

    return data;
}
};

```

Тут визначається клас `SensorData`, який включає в себе структуру `Info` для зберігання даних від датчиків, а також метод `getSensorData()`, який повертає об'єкт структури з поточними даними від датчиків;

- оголошення глобальних змінних: оголошуються глобальні змінні, які використовуються для зберігання даних від датчиків, часових параметрів, стану пристрою тощо;

- оголошення констант і масивів для світлодіодів: тут визначаються константи та масиви, які використовуються для керування світлодіодами. Наприклад, масив `LED_PINS` містить піни для світлодіодів, а `LED_VPINS` - віртуальні піни `Blynk` для відображення стану світлодіодів;

- оголошення переліку `FanSpeed` та інших констант: оголошується перелік `FanSpeed` для визначення режимів роботи вентилятора та інші константи, які використовуються для управління швидкістю вентилятора;

- функції `BLYNK_WRITE` та інші функції керування пристроєм:

```

BLYNK_WRITE(perform_manual_action_switch)
{
    manualMode = param.asInt();
    if (manualMode)

```

```

{
  stepper.setSpeed(TEMPNeutralSpeed);
  stepper.runSpeed();
}
}

```

```

BLYNK_WRITE_DEFAULT() {
  // ... обробка даних від Blynk
}

```

Описуються функції, які викликаються при отриманні відповідних сигналів від платформи Blynk. Наприклад, функція BLYNK_WRITE(perform_manual_action_switch) реагує на зміну стану вимикача вручну.

– функції для розрахунку швидкості вентилятора та роботи світлодіодів:

```

int getSpeedForMode(int mode)
{
  // ... логіка визначення швидкості вентилятора
}

```

```

FanSpeed determineFanSpeed()
{
  // ... логіка визначення режиму вентилятора
}

```

```

void adjustFanSpeed() {
  // ... налаштування швидкості вентилятора
}

```

```

void controlLEDs() {

```

```
// ... керування світлодіодами
}
```

```
bool determineLEDState(int index) {
// ... логіка визначення стану світлодіода
}
```

Описуються функції, які визначають швидкість вентилятора, його режими роботи, а також роботу світлодіодів в залежності від даних від датчиків та стану пристрою;

- функції `setup` та `loop`:

```
void setup()
{
// ... ініціалізація пристрою та підключення до мережі Wi-Fi та сервера Blynk
}
```

```
void loop()
{
// ... виклик функцій у циклі, зчитування та аналіз даних від датчиків
}
```

У функції `setup` виконується ініціалізація пристрою, підключення до мережі Wi-Fi та сервера Blynk. У функції `loop` викликаються основні функції програми, такі як виконання коду Blynk (`Blynk.run()`), зчитування та аналіз даних від датчиків;

- функція `sendSensorData`:

```
void sendSensorData()
{
// ... відправка даних на сервер Blynk та виведення інформації у консоль
}
```

Ця функція відповідає за надсилання даних від давачів на сервер Blynk та виведення інформації у консоль. Також розраховується і виводиться енергоспоживання для системи кондиціонування повітря;

Кожен етап розробки детально розглядається з метою забезпечення ефективності та надійності роботи інтелектуальної системи керування кондиціонуванням, а також для спрощення розширення функціональності в майбутньому.

3.3.2 Реалізація технології IoT у середовищі Blynk для взаємодії із системою

Інтернет речей (IoT) є ключовим аспектом технологічного прогресу, трансформуючи звичайні об'єкти навколишнього середовища у розумні пристрої, які можуть взаємодіяти та обмінюватися даними через мережу Інтернет. Ця технологія відкриває безліч можливостей для оптимізації та автоматизації різних аспектів нашого повсякденного життя, від домашнього оточення до промислового виробництва.

Blynk є передовою платформою для впровадження проєктів IoT. Цей інноваційний сервіс дозволяє розробникам швидко та ефективно створювати пристрої IoT. Унікальні можливості Blynk дозволяють створювати інтуїтивно зрозумілі інтерфейси для віддаленого керування та моніторингу пристроїв через мобільні додатки.

Blynk відрізняється простотою використання та широким функціоналом, підтримуючи різні мікроконтролери і платформи. Завдяки готовим елементам інтерфейсу, вбудованим сервісам для взаємодії з хмарними послугами та активною спільнотою користувачів, Blynk є потужним інструментом для швидкої розробки та управління IoT-проєктами.

У контексті інженерної задачі використання інфраструктури Blynk визначено як ключовий аспект для забезпечення функціональності системи. У ньому реалізовано відображення даних від датчиків та вивід інформації у термінали, що відтворює стани та режими операційної системи. Надається

можливість моніторингу стану системи та причин зупинення роботи двигуна. Також реалізовано вивід результатів розрахунків з енергоспоживання системи та створено модуль для ручного управління функціоналом системи.

Інтеграція з Vlynk дозволяє в режимі реального часу спостерігати за станом системи через термінал, забезпечуючи оперативний контроль за пристроєм. Крім того, вивід інформації щодо розрахунків енергоспоживання системи надає операторам та інженерам значущі дані для аналізу та підвищення продуктивності.

У контексті системи ручного керування, Vlynk виступає як надійний інтерфейс для операторів, спрощуючи взаємодію та реагування на зміни в системі. Гнучкість та легкість інтеграції Vlynk роблять його невід'ємною частиною проекту з великим потенціалом для подальшого розвитку та удосконалення.

Тривале використання Vlynk можливе як на персональних комп'ютерах через мережу інтернет, за допомогою браузера, так і в мобільних додатках для смартфонів, що значно полегшує роботу та надає додатковий рівень зручності у взаємодії з системою (рисунки 3.4 – 3.6).

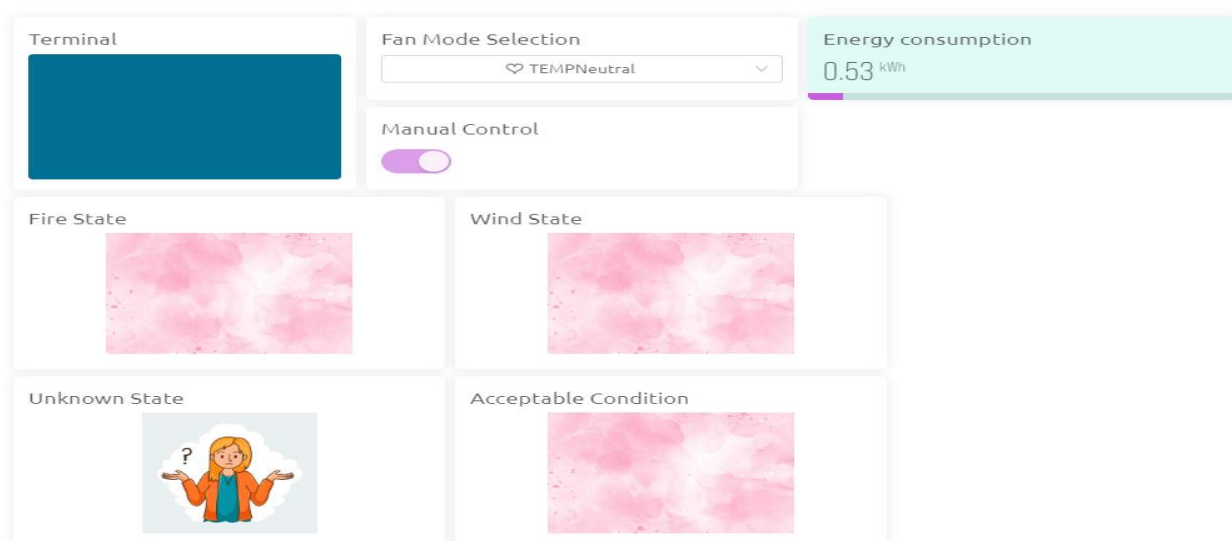


Рисунок 3.4 – Відображення терміналу, модулів ручного управління, показника енергоспоживання та статусів відмов і причин припинення роботи двигуна

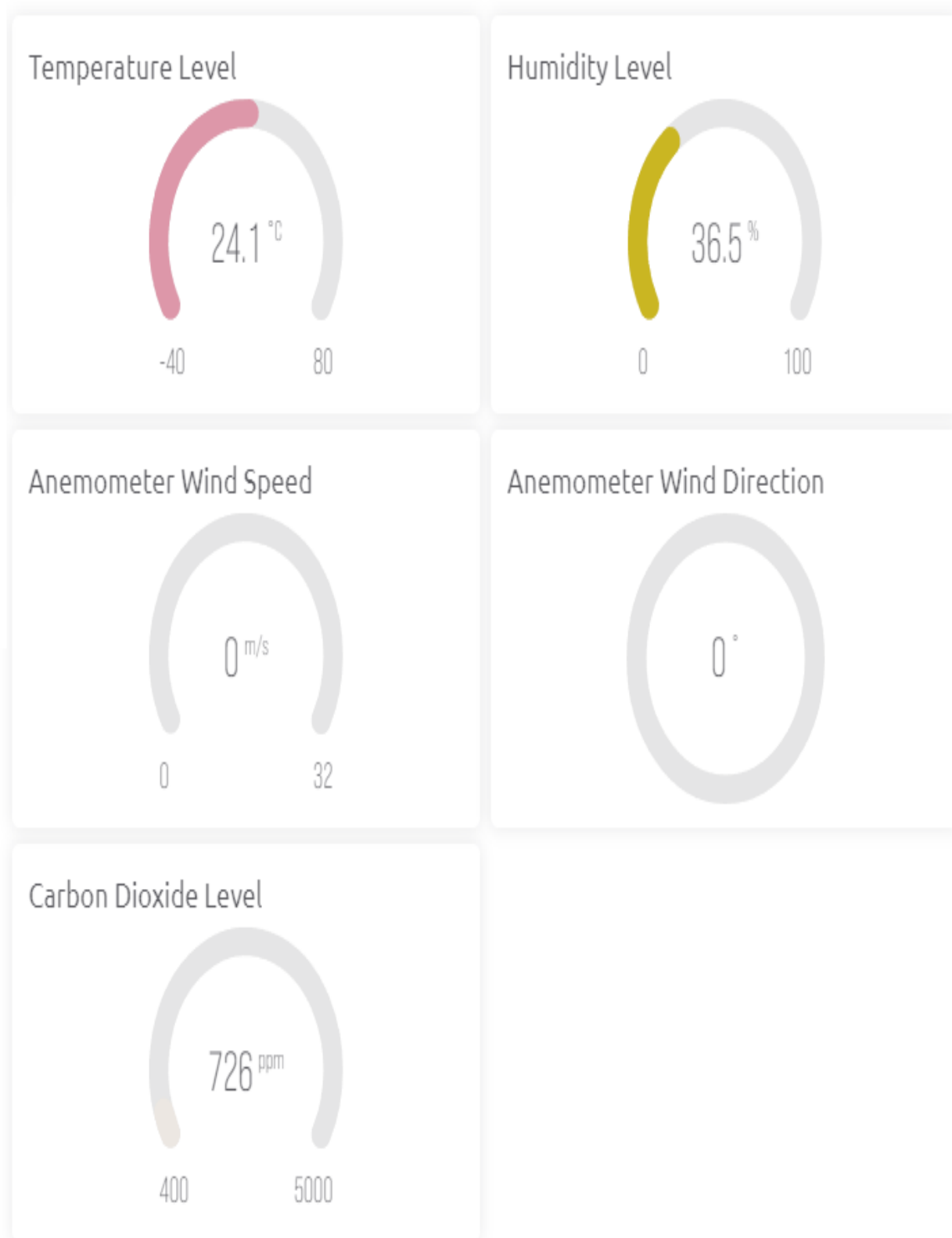


Рисунок 3.5 – Відображення значень з датчиків

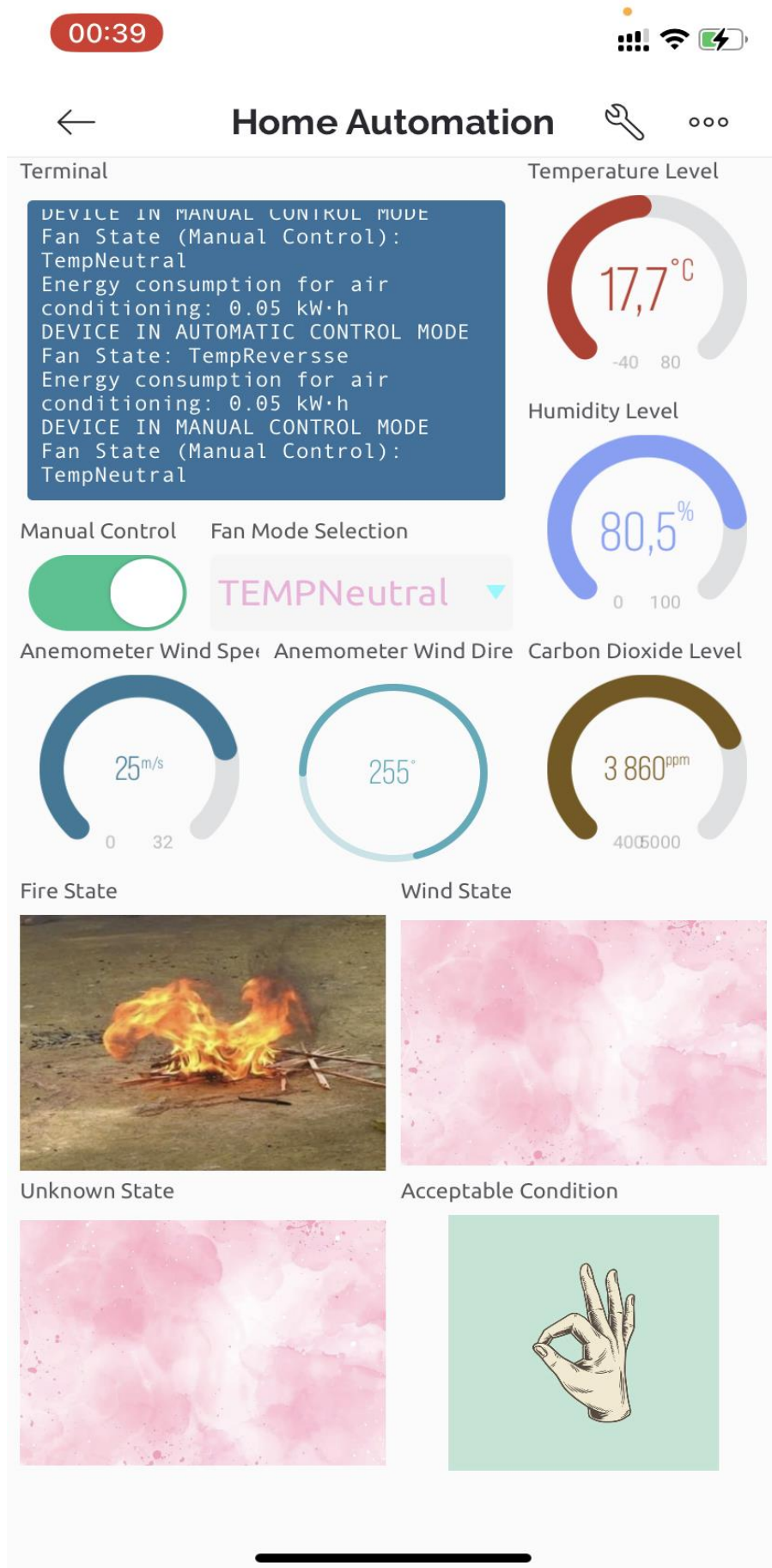


Рисунок 3.6 – Відображення інтерфейсу Vlynk через мобільний додаток

3.4 Техніка безпеки при експлуатації електричної апаратури в промисловості: принципи та застосування

У рамках вирішення завдань з технічної безпеки при взаємодії з електричною апаратурою, належна увага приділяється використанню принципів та практик, що допомагають уникнути травматичних ситуацій та забезпечують безпечні умови праці. Зокрема, важливими аспектами є:

- вивчення та виконання правил: співробітники повинні бути адекватно освічені стосовно нормативів та директив щодо експлуатації електричної техніки. Ретельне виконання цих вимог є критичним для забезпечення безпеки персоналу;

- використання засобів захисту: правильний вибір та використання захисного знаряддя, включаючи ізоляційні рукавички, взуття та інші елементи, дозволяє ефективно запобігти травматичним наслідкам та потенційним небезпекам від електричного струму;

- процедури відключення та заблокування: обов'язковим етапом перед початком будь-яких робіт із зазначеними електричними пристроями є їх відключення від електромережі та використання блокувальних пристроїв для запобігання ненавмисному включенню;

- регулярне технічне обслуговування: систематичне технічне обслуговування та відповідальний контроль за станом електричного обладнання гарантують вчасне виявлення та усунення потенційних несправностей до можливих аварій;

- створення безпечних робочих місць: організація робочого простору та встановлення відповідної сигналізації створюють безпечні умови для праці та попереджають можливі ризики;

- постійне навчання та тренування: регулярні навчання та тренування персоналу з використання технічних засобів безпеки сприяють підвищенню свідомості та ефективності в управлінні можливими небезпеками.

Ці аспекти техніки безпеки становлять основоположний аспект у розділі дипломної роботи та детально досліджуються з метою підвищення рівня захищеності працівників під час роботи з електричною апаратурою[34].

3.5 Висновки за розділом 3

У розділі 3 розробка програмного забезпечення було проведено комплексний аналіз та реалізацію ключових аспектів системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення, базованої на технології Internet of Things (IoT). Детально розглянуті етапи включали створення блок-схеми алгоритму роботи програмного забезпечення, розробку моделі системи управління та саму реалізацію програмного коду відповідно до визначених вимог.

Створена блок-схема алгоритму слугує ключовою складовою системного проекту, де чітко визначені логічні взаємозв'язки та операційні послідовності. Це сприяє ефективній реалізації функціоналу та загальній стабільності системи.

Модель системи інтелектуального управління, розроблена з використанням технології IoT, ретельно враховує різні аспекти, такі як оптимізація температурних умов, підвищення енергоефективності та забезпечення комфорту працівників. Використання IoT в цьому контексті дозволяє інтегрувати систему в мережу, надаючи їй властивості віддаленого моніторингу та управління.

Реалізація програмного коду в середовищі стимуляційної розробки Wokwi та використання технології IoT за допомогою платформи Blynk представляють собою етапи, що демонструють високий рівень технічної компетентності. Це дозволяє системі ефективно взаємодіяти з фізичним обладнанням та іншими технічними середовищами.

Контрольний аналіз, проведений у розділі, забезпечив відстеження відповідності виконаних завдань поставленим вимогам, і виявив можливі аспекти для подальшої оптимізації та вдосконалення системи.

Необхідність та важливість розробленої системи виражаються у високій мірі відповідності її функціоналу сучасним вимогам ефективності та енергоефективності в індустріальному контексті. Отримані результати підтверджують актуальність і великий потенціал використання даної системи для підвищення якості управління кондиціонуванням виробничого приміщення та зменшення енерговитрат.

Загальна технічна безпека, яка ретельно враховується, визначається як важлива складова успішної експлуатації системи в індустріальному середовищі та свідчить про високий інженерний стандарт розробленої системи.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Перевірка виконання завдання: контрольний аналіз

У даному розділі буде проведено систематичну оцінку та аналіз ступеня відповідності результатів розробки програмного забезпечення вимогам та специфікаціям, визначеним на початкових етапах дослідження. Цей етап виокремлюється як критичний у процесі реалізації системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення на основі технології IoT.

Використовуючи підходи та методи контрольного аналізу, в цьому підрозділі здійснюється системний огляд розробленого програмного забезпечення, орієнтований на перевірку його функціональності, ефективності та стійкості до можливих аномалій. Окрім того, враховуються питання, пов'язані з безпекою та відповідністю програмних рішень стандартам промислової технічної безпеки.

Важливим аспектом цього аналізу є спрямованість на визначення відмінностей між очікуваними та фактичними результатами, що сприяє вчасній ідентифікації можливих недоліків та їх подальшій корекції. Контрольний аналіз є необхідним етапом, щоб забезпечити високу якість та надійність системи, а також визначити можливості для оптимізації та покращення функціоналу.

Далі буде ретельно розглянуто процеси валідації та верифікації програмного забезпечення, визначено його відповідність встановленим вимогам, а також детально розглянуті результати тестування та аналізу продуктивності. Все це має на меті підкреслити ефективність та готовність розробленого програмного забезпечення для подальшої інтеграції у виробниче середовище.

У сценарії, де метрика навколишнього середовища має невеликі відмінності від встановленого бажаного рівня, система виявляється здатною логічно адаптувати робочі параметри кондиціонування. За допомогою відповідних алгоритмів, система розраховує оптимальний режим роботи двигуна, що відповідає поточним умовам. Після виконання цих розрахунків система автоматично встановлює необхідний темп для ефективного функціонування кондиціонування.

У процесі обчислень система враховує всі важливі показники та параметри, які впливають на роботу кондиціонування відповідно до заздалегідь визначених критеріїв. Отримані результати передаються до платформи Vlynk, використовуючи технологію IoT, забезпечуючи можливість віддаленого моніторингу та управління.

Зафіксовані етапи описує рисунок 3.7 – 3.8, де зображена відображення процесу взаємодії системи з навколишнім середовищем та передачі відповідних даних через мережу IoT. Цей механізм визначає гнучкість та високий рівень інтеграції системи, що дозволяє їй ефективно адаптуватися до змін у навколишньому середовищі та забезпечувати оптимальні умови функціонування (рисунок 3.7 – 3.8).

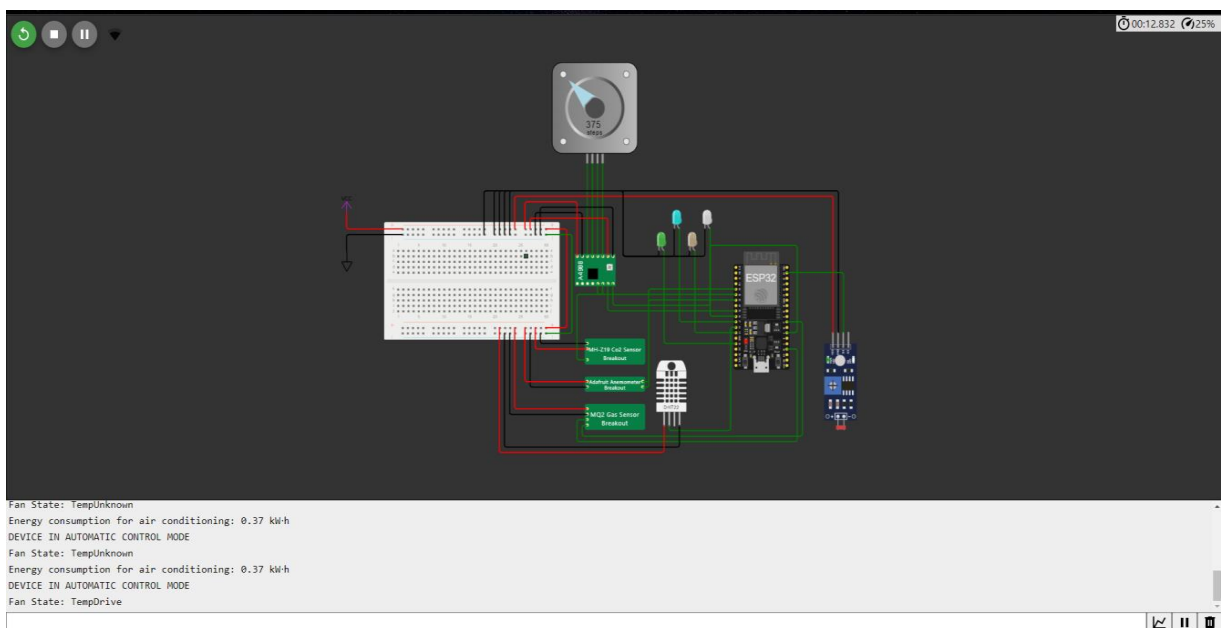


Рисунок 3.7 – Модель системи. Двигун у режимі Temp Drive

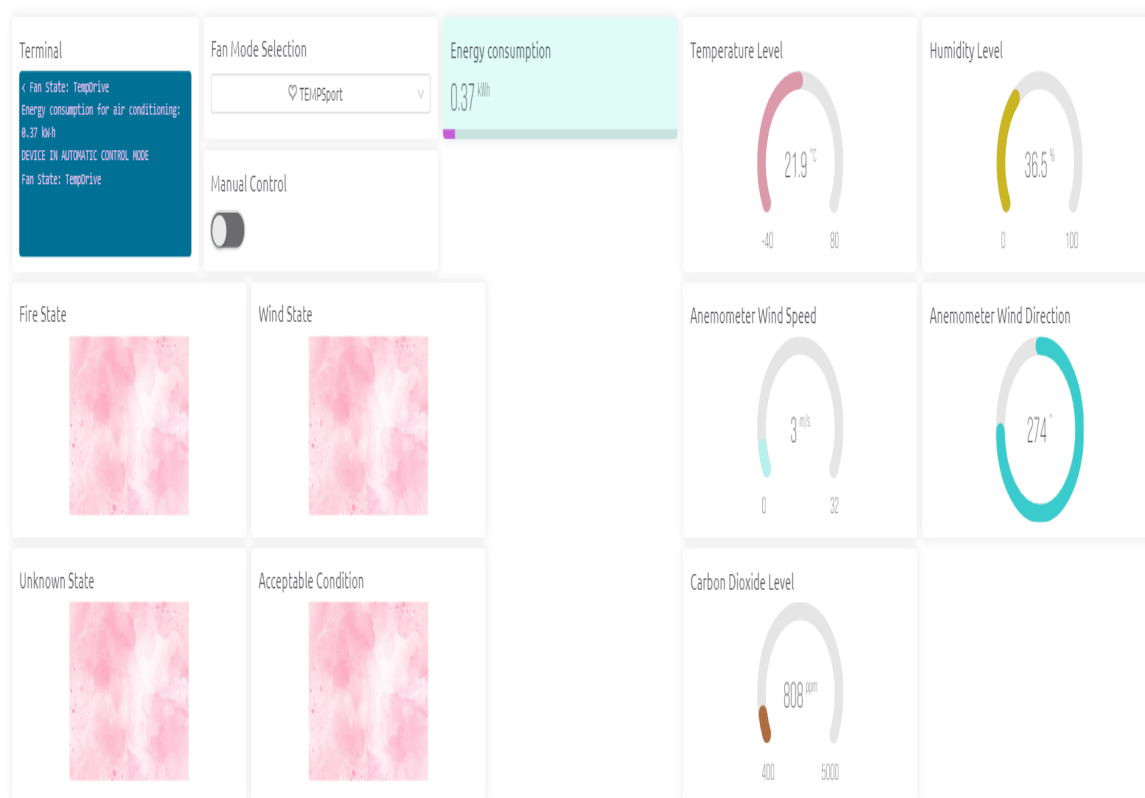


Рисунок 3.8 – Відповідні відображення даних у системі Blynk

На наступному етапі передбачено аналіз ситуацій, при яких система логічно ідентифікує аномалії у функціонуванні або специфічні умови, що вимагають негайного припинення роботи двигуна.

Після вдалої ідентифікації подій, система автоматично переводить двигун у режим Temp Neutral, тим самим відключаючи його від активних режимів роботи. Паралельно інтегровані світлодіоди використовуються для візуального повідомлення про виникнення відповідних помилок, а отримані дані транслюються в реальному часі до платформи Blynk для подальшого моніторингу та аналізу.

Цей механізм визначає високий рівень автоматизації та інформативності системи, спрямований на забезпечення надійності та безпеки функціонування усього комплексу (рисунок 3.9 – 3.10).

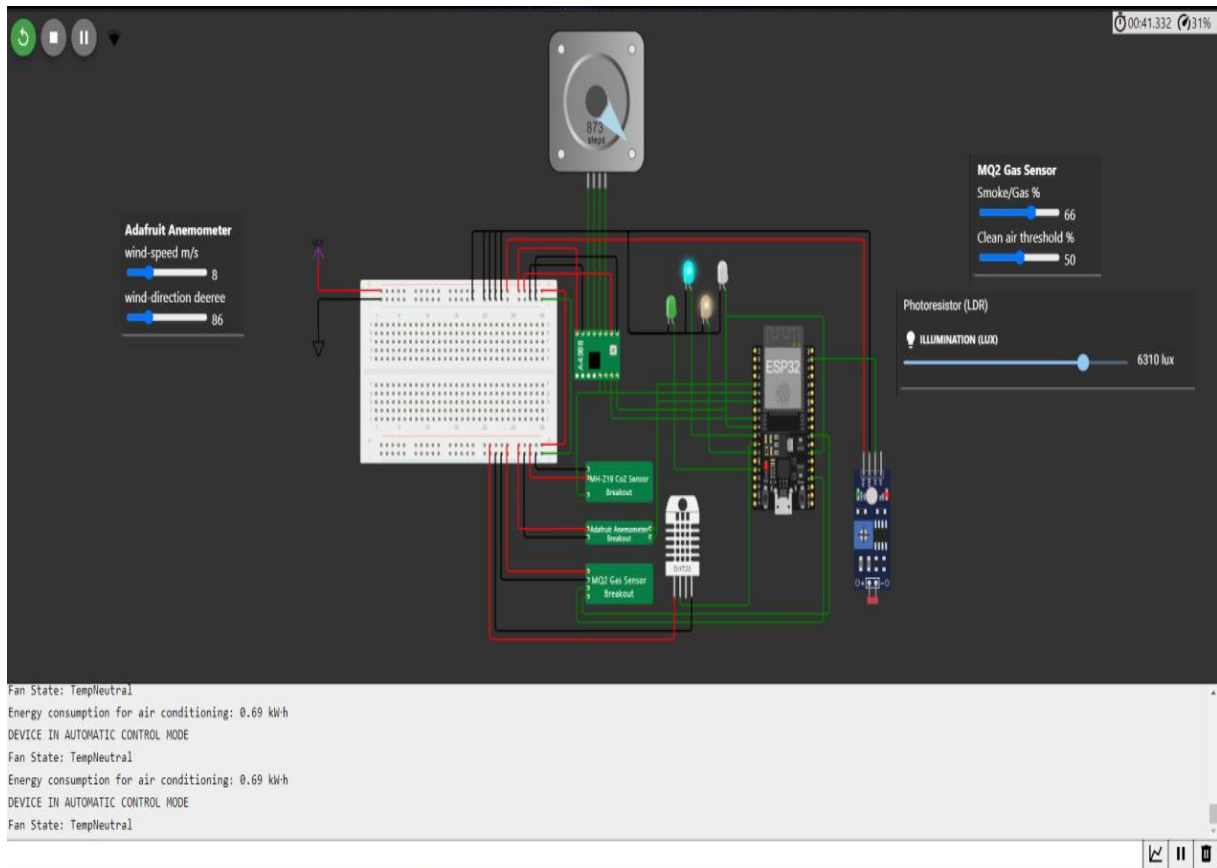


Рисунок 3.9 – Модель системи. Ідентифікація надзвичайних подій

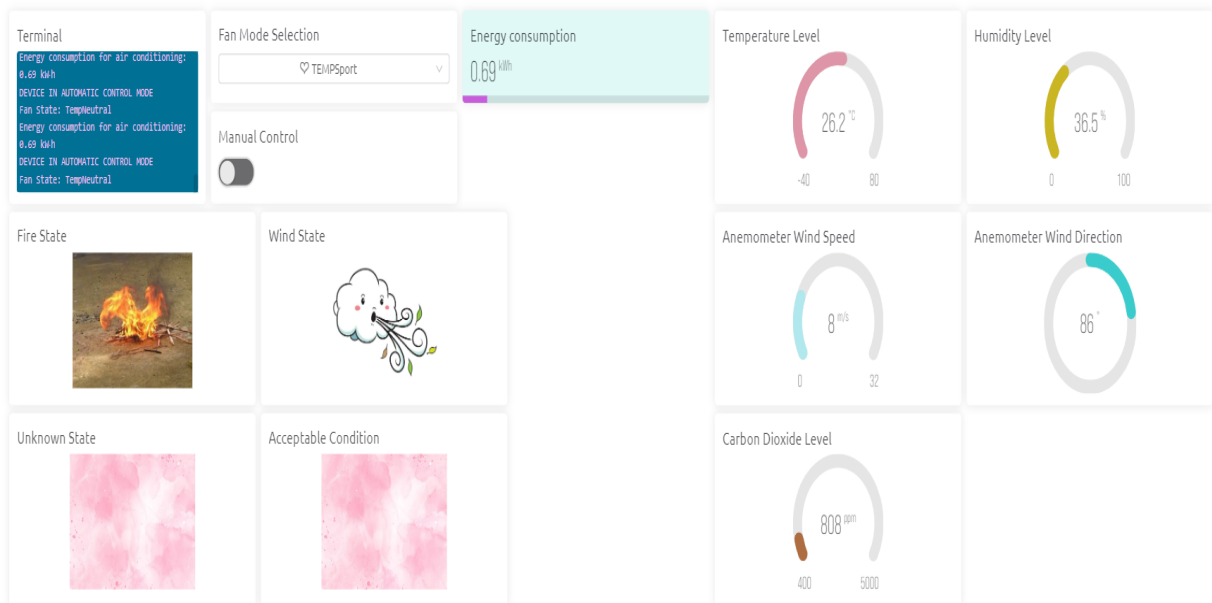


Рисунок 3.10 – Виведення відповідних помилок у Vynk

Наступним етапом виконання експериментальних процедур передбачено перевірку ефективності ручного управління системою. При цьому враховується, що в даний момент обертання двигуна призупинено. Датчики забезпечили збір певних даних, які система піддала обробці та логічній ідентифікації станів, пов'язаних із загрозою пожежі та збільшеним вітром. Враховуючи ці умови, доцільно вжити заходів індикації для припинення роботи двигуна, з метою уникнення подальшого розповсюдження вогню та запобігання пошкодження лопатей вентилятора (рисунок 3.11 – 3.12).

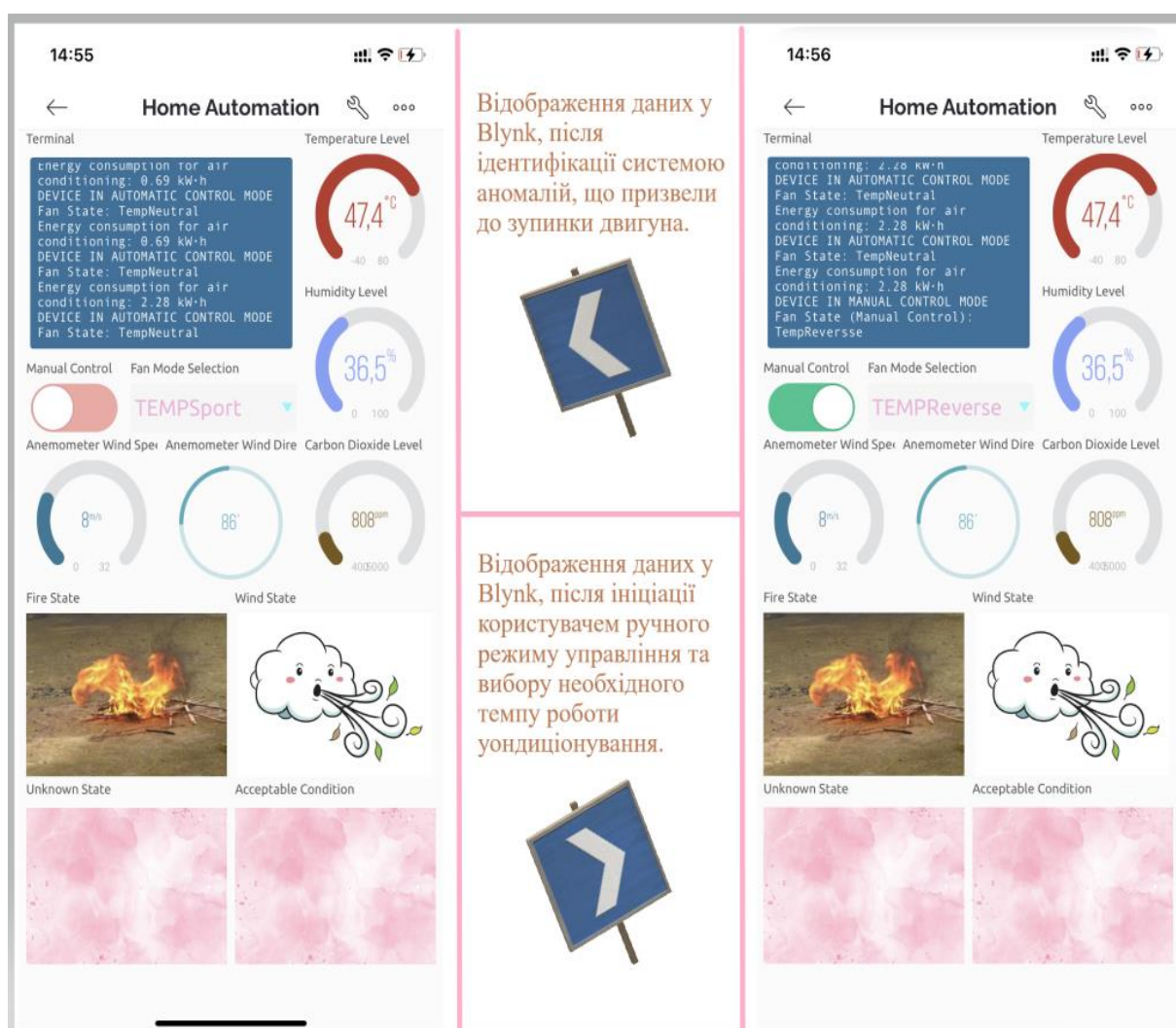


Рисунок 3.11 – Інтерфейс Vlynk у мобільному застосунку

розробленої системи інтелектуального керування кондиціонуванням з використанням технології IoT.

Перевірка виконання завдань підтвердила відповідність розробленого програмного забезпечення встановленим вимогам. Процеси валідації та верифікації дозволили підтвердити ефективність системи, а отримані результати тестування вказують на його готовність до інтеграції у виробниче середовище.

Аналіз продуктивності системи підтвердив її спроможність оптимізувати температурні умови, зменшувати витрати енергії та покращувати якість виробництва в умовах виробничих приміщень. Отримані результати свідчать про потенціал системи для покращення умов праці у виробничих приміщеннях.

Цей розділ становить важливий внесок у вивчення та розвиток систем інтелектуального керування кондиціонуванням на основі технології IoT, підтверджуючи його перспективи для застосування в промисловому середовищі.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу технічних аспектів, пов'язаних з розробкою системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення в контексті Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0, можна зробити наступні висновки.

Перш за все, виявлено, що розробка такої системи є важливою для підтримки сучасних виробничих процесів, оскільки концепції Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 визначають стратегічний напрямок впровадження технологічних інновацій у виробництво.

У виборі технічних засобів для реалізації проекту проведено аналіз мікроконтролерів, датчиків та крокового двигуна. Обрано оптимальні моделі, такі як ESP32, DHT22, MH-Z19, MQ-2, Adafruit Anemometer, SparkFun Photocell Sensor та NEMA 17 відповідно для забезпечення ефективного функціонування системи.

Досліджено використання технології Internet of Things (IoT) і визначено її ключову роль у віддаленому моніторингу, аналізі даних та управлінні системою інтелектуального керування кондиціонуванням. Поставлені завдання до розробки системи включають уточнення функціональних вимог, розробку математичної моделі та програмного коду, а також інтеграцію з технологією IoT.

У другому розділі проведено комплексний аналіз вибору технічних засобів, від IDE до мікроконтролера, враховуючи їхню відповідність вимогам проекту та оптимальну функціональність. Ці вибори та питання технічної реалізації визначають критичне значення для успішності та ефективності проекту.

У третьому розділі детально розглянуті етапи реалізації програмного коду з використанням технології IoT. Створена блок-схема алгоритму та модель системи інтелектуального управління ретельно враховують різні аспекти, включаючи оптимізацію температурних умов та підвищення енергоефективності.

Отримані результати свідчать про високий рівень технічної компетентності в розробці системи інтелектуального керування кондиціонуванням. Зокрема, використання IoT, аналіз та реалізація програмного коду відповідають сучасним вимогам технічної ефективності та функціональності.

Загальна технічна безпека системи свідчить про важливу складову її успішної експлуатації в індустріальному середовищі. Розроблена система інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення відповідає сучасним вимогам ефективності та енергоефективності, підтверджуючи її необхідність та великий потенціал для підвищення якості управління та зменшення енерговитрат.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Полозова Т. В. Система показників оцінки економічної ефективності діяльності підприємства / Полозова Т. В., Обейд Лара Ходор // Економічні та безпекові виклики сучасного бізнес-середовища: колективна монографія / За заг. ред. д.е.н., проф. Т. В. Полозової. Харків: ХНУРЕ, 2020. - С. 274-281.

2. Джеджула, В. В. Д 40 Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів : навчальний посібник / Джеджула В. В. – Вінниця : ВНТУ, 2021. 71 с.

3. Інтелектуальні системи управління: Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярошук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.

4. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.

5. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. Київ, 2018. 320 с.

6. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипченко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

7. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Комп'ютерні системи управління рухомими об'єктами" для студентів усіх форм навчання напряму 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / упоряд. : А. І. Бронніков, О. М. Цимбал ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2016. – 32 с.

8. ДСТУ 7093:2009 Бібліографічний запис. Скорочення слів і словосполук, поданих іноземними європейськими мовами (ГОСТ 7.11-2004 (ИСО 832:1994), MOD ; ISO 832:1994, MOD).

9. Бронніков А.І., Ницета В. Є. Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології ІоТ. В: Виробництво & Мехатронні Системи 2023: матеріали VII-ої Міжнародної конференції, Харків, 19–20 жовтня 2023 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].–Харків: [електронний друк], 2023 – 163с. С. 12-13.

10. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.

11. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Renda, A., Schwaag Serger, S., Tataj, D. et al., Industry 5.0, a transformative vision for Europe – Governing systemic transformations towards a sustainable industry, Publications Office of the European Union, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322>

12. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М. П44 Основи мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. 226 с.

13. Глухов О.В., Кравчук О.О., Левченко Є.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник для студентів ВНЗ. Харків: ХНУРЕ, 2019. – 192 с.

14. Over The Air Updates (OTA) – ESP32 | ESP-IDF Programming Guide latest documentation – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.espressif.com/projects/espidf/en/latest/esp32/api-reference/system/ota.html>.

15. Програмування мікроконтролерів STM32 в середовищі STM32CubeIDE в прикладах і задачах: Навч. посіб. / О. В. Зубков, І. В. Свид, О. В. Воргуль, В. В. Семенець. Дніпро : ЛІРА ЛТД, 2022. 144 с.

16. V. Bharadwaja, R. Ananmy, S. Nikhil, K. V. Vineetha, J. Shah, and D. G. Kurup, “Implementation of Artificial Neural Network on Raspberry Pi for Signal Processing Applications,” in 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2018, pp. 1488-1491.

17. Narayan kalaburgi. Inside-DHT11-DHT22-AM2302-Temperature Humidity-Sensor – [Електронний ресурс] – / Narayan kalaburgi // Nerdy Electronics. – 2020. – Режим доступу: [www/ URL: https://nerdyelectronics.com/working-ofdht-sensor-dht11-and-dht22/inside-dht11-dht22-am2302-temperature-humiditysensor/](http://www/URL:https://nerdyelectronics.com/working-ofdht-sensor-dht11-and-dht22/inside-dht11-dht22-am2302-temperature-humiditysensor/) – Назва з екрану

18. MH-Z14 CO2 Module – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.futurlec.com/Datasheet/Sensor/MH-Z14.pdf> – Мова: англ. – Назва з екрану

19. TECHNICAL DATA MQ-2 GAS SENSOR – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mouser.com/datasheet/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf> – Назва з екрану

20. Anemometer Wind Speed Sensor w/Analog Voltage Output – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.verical.com/datasheet/adafruit-misc-sensors-1733-5037306.pdf> – Назва з екрану

21. APDS-9301 Miniature Ambient Light Photo Sensor with Digital (I2C) Output – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/assets/3/2/c/0/8/AV02-2315EN0.pdf> – Назва з екрану

22. Stepper Motor NEMA 17 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pages.pbclinear.com/rs/909-BFY-775/images/Data-Sheet-Stepper-Motor-Support.pdf> – Назва з екрану

23. Ресурс Wokwi – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://wokwi.com> – Назва з екрану

24. Ресурс Blynk – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://blynk.io/> – Назва з екрану

25. C++ language documentation – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/?view=msvc-170> – Назва з екрану

26. Arduino IDE Guide – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Guide> – Назва з екрану

27. Математичні моделі та новітні технології управління Конспект лекцій дисципліни «Математичне моделювання» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/ Упоряд. В.В. Безкорвайний. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 120 с.

28. Братута, Е.Г. та ін.Б87 Кондиціонування та вентиляція повітря[Текст]: текст лекцій / Е.Г.Братута, А.М.Ганжа, О.В.Круглякова, В.В.Чубарова –Харків: НТУ «ХП», 2009. –128с.

29. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з проектування UML діаграм в ході виконання курсових робіт з дисципліни «Об'єктноорієнтоване програмування» для студентів спеціальності 121 – «Інженерія програмного забезпечення» [Електронний ресурс] / Уклад. Д. І. Кательніков, О. О. Дудник, А. В. Денисюк – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 28 с.

30. Creately – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://creately.com/it/home/> – Назва з екрану

31. Лабораторний практикум з курсу «CASE-технології» / Укл. С. В. Мінухін, О. М. Беседовський – Харків: Вид. ХНЕУ, 2005. – 135 с.
32. Справочна система Ramus Educational 1.2.8.1
33. Algorithms: Design and Analysis by Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein.
34. Дзюндзюк, Е. М. Методичні вказівки до розділу „Безпека життя і діяльності людини у дипломних проектах” для студентів факультета АКТ / Упоряд.: Б. В. Анпілогов, Є. Т. Стищенко – Харків: ХНУРЕ, 2012 – 28 с.