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)

Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВм–22–1

Чернишов Денис Іванович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматики і комп'ютеризованних технологій

освітньої програми Комп'ютерно–інтегровані технологічні процеси і виробництва
(код і повна назва напряму)

Тип програми освітньо–професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Бронніков А.І.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри _____ Невлюдов І.Ш.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Я, Чернишов Денис Іванович, 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 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)
«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Чернишову Денису Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням 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 Розроблена схематична модель підключень;
3.2 Розроблений програмний код;
3.3 Підключена та настроїна технологію IoT;
3.4 Обрана операційна система;
3.5 Обрана мова програмування та середовище розробки;

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ;
4.2 Аналіз літератури;
4.3 Вибір і обґрунтуванням технічних засобів;
4.4 Розроблення програмного забезпечення;
4.5 Експериментальні дослідження з розробленим програмним забезпеченням;
4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів): Демонстраційний матеріал (13 аркуші формату А4)

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

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання кваліфікаційної роботи	01.09.2023 р.	Виконав
2	Аналіз завдання, літератури та аналогів з теми кваліфікаційної роботи	10.09.2023 р.	Виконав
3	Вибір засобів для розробки технічних вимог до програми	20.09.2023 р.	Виконав
4	Вибір середовища розробки програми	01.10.2023 р.	Виконав
5	Розробка програмного забезпечення	15.11.2023 р.	Виконав
6	Аналіз даних контрольного прикладу та тестування програми	25.12.2023 р.	Виконав
7	Оформлення пояснювальної записки та програмної документації	15.01.2023 р.	Виконав
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 _____ Чернишов Д. І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ доц. Бронніков А.І.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 112 с., 4 табл., 26 рис., 2 додатки, 52 джерела.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (ІОТ), СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОЗСУВНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ, МІКРОКОНТРОЛЕРИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ, ПЛАТФОРМА BLYNK

Мета даної роботи полягає в розробці системи автоматизованого керування розсувними конструкціями виробничого приміщення, використовуючи технологію Інтернету речей (IoT) та платформу Blynk.

Об'єктом розробки є виробниче приміщення, де передбачається впровадження системи автоматизованого керування.

Предметом розробки є алгоритмічне та програмне забезпечення, яке забезпечить ефективне та віддалене управління розсувними конструкціями через мобільний застосунок Blynk, використовуючи IoT–технології.

У роботі проведено аналіз технологічних рішень в галузі автоматизації виробничих процесів, зосереджуючись на використанні Інтернету речей. Досліджено імплементацію індустрії 4.0 та 5.0 та вибрано технічні засоби, включаючи мікроконтролери та датчики. Розроблено математичну модель для урахування руху крокового двигуна та механіки розсувних конструкцій.

Побудовано діаграму прецедентів та функціональну модель для модуля керування. Реалізовано алгоритм програмного забезпечення та впроваджено технологію IoT через платформу Blynk. Аналіз ефективності дозволив об'єктивно оцінити результати та виявити можливості для оптимізації, зокрема з урахуванням технічної безпеки в промисловості. Робота спрямована на розробку системи автоматизованого керування розсувними конструкціями виробничого приміщення за допомогою технології IoT та платформи Blynk.

ABSTRACT

The report consists: 112 pages, 26 figures, 4 tables, 3 appendices, 52 sources.

AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES, INTERNET OF THINGS (IOT), SLIDING STRUCTURE CONTROL SYSTEM, MICROCONTROLLERS AND THEIR USAGE, BLYNK PLATFORM

The objective of this work is to develop an automated control system for sliding structures in a manufacturing facility, utilizing Internet of Things (IoT) technology and the Blynk platform.

The object of development is the manufacturing facility where the implementation of an automated control system is envisaged.

The subject of development is the algorithmic and software solution that will enable efficient and remote control of sliding structures through the Blynk mobile application, using IoT technologies.

The report includes an analysis of technological solutions in the field of automation of production processes, focusing on the use of the Internet of Things. Implementation of Industry 4.0 and 5.0 is explored, and technical tools, including microcontrollers and sensors, are selected. A mathematical model is developed to account for the movement of stepper motors and the mechanics of sliding structures.

Precedent diagrams and a functional model for the control module are constructed. The software algorithm is implemented, and IoT technology is integrated through the Blynk platform. An efficiency analysis objectively evaluates the results and identifies opportunities for optimization, particularly in consideration of technical safety in industrial settings. The work aims to develop an automated control system for sliding structures in a manufacturing facility using IoT technology and the Blynk platform.

ЗМІСТ

Перелік скорочень 10

Вступ 11

1 Аналіз літератури 13

1.1 Індустрія 4.0 та Індустрія 5.0 у сучасному світі та зокрема у виробничих процесах 13

1.1.1 Індустрія 4.0 та її значення для модуля керування розсувними конструкціями 14

1.1.2 Індустрія 5.0 та інтеграція людських навичок в передові технології 16

1.2 Використання мікроконтролерів при автоматизації 18

1.2.1 Розгляд мікроконтролера STM32 20

1.2.2 Розгляд мікроконтролера ESP32 22

1.2.3 Розгляд мікроконтролера Arduino 23

1.2.4 Розгляд мікроконтролера Raspberry Pi Pico 25

1.3 Давачі у контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT 26

1.3.1 Огляд давачів опадів 27

1.3.2 Огляд давачів вологи та температури 30

1.3.1 Огляд давачів карбон діаксиду 32

1.4 Роль крокового двигуна у контексті модуля керування розсувними конструкціями 34

1.4.1 Принцип використання та характеристики крокового двигуна 35

1.4.2 Інтеграція крокового двигуна в модуль керування розсувними системами 39

1.5 IoT у контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення 40
1.6 Постановка задач 43
1.7 Висновки за розділом 1 46
2 Вибір і обґрунтуванням технічних засобів 49
2.1 Вибір технічних засобів 49
2.1.1 Вибір мікроконтролера 49
2.1.2 Вибір давачів 50
2.1.3 Вибір платформи програмування та моделювання 52
2.2 Вибір інтегрованого середовища розробки (IDE) та бібліотек 56
2.2.1 Вибір інтегрованого середовища розробки 57
2.2.2 Вибір бібліотек 58
2.3 Розрахункова модель 59
2.3.1 Рух крокового двигуна 60
2.3.2 Механіка розсувних конструкцій 61
2.3.3 Витрати на зміну положення даху 62
2.4 Діаграмма прецедентів 63
2.5 Розробка функціональної моделі модуля 65
2.6 Висновки за розділом 2 70
3 Розроблення програмного забезпечення 71
3.1 Створення блок–схеми алгоритму роботи програмного забезпечення . 71
3.2 Розробка моделі модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT 76
3.3 Створення програмного забезпечення 78
3.3.1 Етапи розробки програмного коду 79
3.3.2 Реалізація технології IoT у середовищі Blynk для взаємодії з системою 94

3.4 Технічна безпека при експлуатації електричної апаратури в промисловості 96
3.5 Висновок до розділу 3 98
4 Експериментальні дослідження з розробленим програмним забезпеченням 100
4.1 Аналіз ефективності вирішення встановленої задачі 100
4.2 Висновки до розділу 4 104
Висновки 105
Перелік джерел посилання 107
Додаток А Лістинг розробленної програми 113
Додаток Б Апробація результатів 126
Додаток В Демонстраційний матеріал 130

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 світі, який швидко розвивається, індустрія та виробництво відіграють важливу роль у забезпеченні наших потреб і комфорту. Проте, завдяки технологічному прогресу, ми стикаємося з невпинними викликами і можливостями для вдосконалення та трансформації виробничих процесів, і його ефективність та конкурентоспроможність стають ключовими факторами для успіху підприємств у різних галузях. У цьому контексті розсувні конструкції, такі як розсувні дахи, відіграють критичну роль в забезпеченні оптимальних умов для виробничих процесів. Вони забезпечують не тільки захист від погодних умов, але й освітлення та доступ до природного світла.

Зростання технологічного рівня сучасного виробництва вимагає не тільки ефективних рішень, але й збільшення автоматизації процесів. Модуль керування розсувними конструкціями виробничого приміщення стає критичним компонентом для досягнення цих цілей. Від нього залежать різні аспекти, такі як ефективне використання енергії, забезпечення безпеки та зручності для персоналу, а також можливість віддаленого керування та моніторингу стану виробничого приміщення.

Однак, традиційні системи керування розсувними конструкціями можуть бути обмеженими в своїх можливостях, і їх розвиток стає важливим завданням. В цьому контексті, Internet of Things (IoT) представляє собою одну з найбільш актуальних технологій нашого часу. Використання IoT в індустрії привносить нові можливості для збору та аналізу даних, автоматизації та віддаленого керування системами. Застосування IoT для керування розсувними дахами виробничого приміщення відкриває широкий спектр можливостей для оптимізації виробничих процесів, збільшення безпеки та підвищення енергоефективності.

Мета даної роботи полягає в розробці системи автоматизованого керування розсувними конструкціями виробничого приміщення, використовуючи технологію Інтернету речей (IoT) та платформу Blynk.

Об'єктом розробки є виробниче приміщення, де передбачається впровадження системи автоматизованого керування.

Предметом розробки є алгоритмічне та програмне забезпечення, яке забезпечить ефективне та віддалене управління розсувними конструкціями через мобільний застосунок Blynk, використовуючи IoT–технології.

Дана дипломна робота була оформлена згідно ДСТУ та методичних вказівок [1-4].

Результати були опрацьовані на конференції сьомої міжнародної науково-технічної конференції “ Виробництво & Мехатронні Системи 2023”, у вигляді тез доповідей [5].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Індустрія 4.0 та Індустрія 5.0 у сучасному світі та зокрема у виробничих процесах

В нашому сучасному світі технологічні інновації відіграють ключову роль у трансформації та розвитку промисловості. Поняття Індустрія 4.0 та Індустрія 5.0 відображають цю еволюцію виробництва та виробничих процесів в умовах нового технологічного середовища.

Зосереджуючись на розвитку Індустрії 4.0 та потенційному впливі Індустрії 5.0, важливо враховувати, що ці концепції стають важливими у контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT. Саме завдяки Індустрії 4.0 виробничі процеси стають більш автоматизованими та забезпечують велику кількість даних для аналізу. Індустрія 5.0, у свою чергу, покликана створити ще більш гнучке та ефективне виробництво, де людські навички та творчість інтегруються з передовими технологіями [6].

Ці дві індустріальні концепції не лише відображають еволюцію, але й активно впливають на спосіб, яким ми розуміємо та впроваджуємо технології в промисловому виробництві. Вони роблять акцент на збільшенні автоматизації, оптимізації виробництва, зборі та аналізі даних, а також впровадженні новаторських рішень для досягнення найкращої продуктивності та сталості.

Таким чином, питання розвитку Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 важливі, оскільки вони створюють той контекст та основу, на яких базується модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT.

1.1.1 Індустрія 4.0 та її значення для модуля керування розсувними конструкціями

Швидкий розвиток індустріальної революції, сьогодні відомої як Індустрія 4.0, відкриває перед сучасними підприємствами безмежні можливості на глобальному рівні. В сучасних умовах функціонування підприємств надзвичайно важливо вміти відповідати на виклики динамічного бізнес–середовища та швидко адаптуватися до них. Як прикладом, можна навести наступні тезиси: швидка зміна уподобань споживачів; поява нових конкурентів; орієнтація на енергозберігаючі технології, у контексті воєнного конфлікту між Росією та Україною, це стало особливо актуальним через те, що багато ракет, запущених Росією, наносять удари по електростанціях, що призводить до зниження виробництва електроенергії та, відповідно, до дефіциту електроенергії; розвиток екосистем; можливість дистанційної роботи, пандемія COVID–19 відзначила гостру необхідність, показавши наскільки важливим це стало. Ці тезиси являють собою потенційні виклики, які можуть постати перед сучасними підприємствами та бізнес–середовищами в умовах нестабільності. За таких умов з’являється необхідність підвищувати ефективність функціонування та розвивати підприємства можливо шляхом швидкої їх реакції на нові виклики, забезпечивши їм гнучкість та змінивши системи менеджменту, що базуються на активному впровадженні технологій, тобто інтеграції підприємств до цифрового світу. Саме такий підхід стає стандартом для усіх авторитетних організацій різних країн світу, незалежно від сфери їхньої діяльності та галузі промисловості. Це пояснюється тим, що в сучасному світі бізнесу спостерігається трансформація завдяки розвитку Четвертої промислової революції [7].

Четверта промислова революція – це поняття, яке означає неабиякий розвиток та злиття автоматизованого виробництва, обміну даними та виробничих технологій в цілісну саморегульовану систему де втручання людини у виробничий процес зменшується до мінімуму або взагалі відсутнє. Четверта промислова революція характеризується тим, що вона розмиває межі

між фізичною, цифровою та біологічною сферами, сприяючи інтеграції технологій. Індустрія 4.0 дозволяє нам збирати та аналізувати дані з різних машин, що призводить до більш швидких, ефективніших та більш гнучких процесів виробництва товарів вищої якості за нижчою собівартістю. Ця перетворююча епоха також викликала появу абсолютно нових бізнес–моделей, які сприятимуть радикально новим способам взаємодії в ланцюжку вартості.

До ключових технологій, що входять до арсеналу Індустрії 4.0, які відкривають можливості для цифрового розвитку та налаштування підприємств, належать [8]:

– штучний інтелект і машинне навчання – системи, що здатні навчатися та приймати рішення на основі даних, вдосконалюють процеси управління та виробництва, які раніше потребували людського інтелекту;

– інтернет речей (IoT) – об'єднання фізичних пристроїв та датчиків через мережу дає можливість віддалено контролювати та моніторити процеси);

– великі дані – обробка та аналіз великого обсягу даних допомагає виявляти тенденції та патерни для прийняття управлінських рішень;

– блокчейн – розподілена система реєстрації даних забезпечує надійність та безпеку угод;

– хмарні та периферійні обчисленн – забезпечують доступ до обчислювальних ресурсів та даних з будь–якого місця;

– роботи та коботи – роботизовані системи та співпраця між роботами та людьми підвищують ефективність виробництва;

– автономні транспортні засоби – безпілотні транспортні засоби спрощують логістику та перевезення;

– 5G – швидкий та надійний доступ до мережі дозволяє скоротити реальний час обміну даними;

– геноміка та редагування генів – ці технології використовуються в медицині для розробки індивідуальних лікувань та в сільському господарстві для створення більш продуктивних сортів рослин та тварин;

– квантові обчислення – нова галузь обчислювальної технології, яка використовує принципи квантової механіки для обробки інформаці, це дозволяє їм вирішувати деякі завдання значно швидше, що має великий потенціал для криптоаналізу, оптимізації, наукових досліджень та багатьох інших застосувань [9].

Індустрія 4.0 перетворила виробництво та ланцюгів постачання, розмістивши розумні технології в їх центрі . Використання інформаційних і цифрових технологій (IDT) Індустрії 4.0 породило нові можливості та виклики для проектування та управління підприємствами, вивівши їх на рівень розумних підприємств [10].

Отже, підсумовуючи доцільно зазначити, що впровадження технологій Індустрії 4.0 на сьогодні є надважливим питанням для підприємств різних країн світу, адже забезпечує сталий розвиток, допомагає підприємствам зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, розвиває процеси циклічної економіки, орієнтовані на зменшення споживання енергії, викидів парникових газів і відходів, а також уникнення виснаження та деградації природних ресурсів – це питання глобального характеру. На рівні промислового виробництва забезпечується високий ступінь міцності, що страхує від збоїв і здатний підтримувати критичну інфраструктуру під час кризи. Пандемія та війна в Україні підкреслили вразливість промисловості та важливість підвищення гнучкості та стійкості в ланцюгах постачання та інших компонентах виробництва, зокрема можливість його релокації як в межах країни, так і за її межі.

1.1.2 Індустрія 5.0 та інтеграція людських навичок в передові технології

Концепція Індустрії 5.0 визначає важливий етап еволюції виробництва, що передбачає більш глибоке і продуктивне співробітництво між людьми, екологією та автоматизованими системами. У порівнянні з Індустрією 4.0, яка акцентується на автоматизації виробництва, Індустрія 5.0 відзначає важливість ролі людей, соціальних аспектів та сталого розвитку. Ця концепція спрямована

на об'єднання передових технологій, соціальної відповідальності та екологічної стійкості в єдиному синергетичному підході, тому вона володіє значним потенціалом для трансформації виробничих та соціокультурних процесів. Ситуації, які включають пандемії або воєнні конфлікти, потребують швидкого реагування та адаптації. Індустрія 5.0 не лише може сприяти відновленню країни після конфлікту, але й змінити хід розвитку виробництва та соціальних структур. Ці системи здатні до аналізу свого навколишнього середовища та автоматичного навчання, що робить їх більш адаптивними до змінних умов виробництва. Наприклад, вбудовані датчики дозволяють спільним роботам виробництва реагувати на рухи та дії працівників з високою точністю та безпекою [11].

Основні цілі Індустрії 5.0 включають:

Швидке реагування на виклики: концепція Індустрії 5.0 дозволяє бути більш гнучким та адаптованим до несподіваних ситуацій, таких як пандемії або воєнні конфлікти.

– зелене виробництво: перехід до зеленого виробництва та циркулярної економіки допомагає зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та сприяє сталості природних ресурсів.

– розширення корпоративної відповідальності: інтеграція Індустрії 5.0 підсилює відповідальність корпорацій перед суспільством та довкіллям, що може покращити відносини між бізнесом та громадськістю.

– зміцнення бази науково–технічних інновацій: після війни розвиток наукових інновацій стає ключовим, оскільки він може сприяти відновленню економіки та соціальних структур [12].

– освіта та економічне мислення: впровадження Індустрії 5.0 створює попит на нові навички та освіту, включаючи інтелектуальну роботу, критичне мислення та навички, необхідні для співпраці з передовими технологіями.

Для України важливо розглядати Індустрію 5.0 як можливість не лише відновити економіку, а й створити стійку та сталу основу для майбутнього розвитку країни. Це вимагатиме поєднання зусиль у напрямку збереження

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

1.2 Використання мікроконтролерів при автоматизації

Мікроконтролери стали невід'ємною частиною сучасної технології та індустрії, перетворивши спосіб, яким пристрої функціонують і взаємодіють у різних аспектах нашого життя. Від вбудованих систем і автоматизованих контрольних систем до смартфонів і пристроїв Інтернету речей (IoT), мікроконтролери забезпечують обчислювальну потужність та контроль, необхідний для функціонування цих пристроїв [13].

Мікроконтролери визначаються своєю здатністю виконувати програми, взаємодіяти з різними пристроями та датчиками, а також здійснювати контроль над різними процесами. Вони є ключовими компонентами для збору даних, таких як температура, вологість, тиск, освітлення та безпеку автоматизації та впровадження модуля керування. Завдяки росту інтернету речей та зростаючій потребі в автоматизації, зрозуміння ролі мікроконтролерів стає надзвичайно важливим.

Мікроконтролери відкривають безліч можливостей для автоматизації та контролю в різних сферах, включаючи [14]:

– контроль та моніторинг систем: мікроконтролери використовуються для створення систем, які можуть наглядати і керувати параметрами різних процесів. Це може включати в себе моніторинг температури, вологості, тиску, а також інших фізичних величин;

– керування механізмами та роботами: мікроконтролери використовуються для автоматизації механічних систем та роботів. Вони забезпечують точне та надійне керування рухом, що дозволяє підвищити продуктивність та знизити витрати;

– вбудовані системи: мікроконтролери грають ключову роль у вбудованих системах, таких як медичні пристрої, автомобільні системи, смартфони та багато інших. Вони забезпечують виконання різних завдань, від обробки сигналів до керування різними функціями;

– збір та обробка даних: мікроконтролери дозволяють збирати дані з різних датчиків та джерел інформації. Ці дані можуть бути подані у зручному для аналізу форматі та використовуватися для прийняття рішень;

– застосування в Інтернеті речей (IoT): мікроконтролери є невід'ємною частиною розвитку Інтернету речей, де різні пристрої можуть обмінюватися даними та взаємодіяти між собою. Вони забезпечують з'єднання між фізичними об'єктами та цифровим світом;

– програмовані керуючі системи: мікроконтролери можуть бути легко програмовані для виконання різних завдань. Це дає можливість створювати різноманітні керуючі системи з урахуванням конкретних потреб.

– ефективність та економія ресурсів: використання мікроконтролерів допомагає оптимізувати використання ресурсів, зменшити витрати енергії та матеріалів;

– безпека: мікроконтролери використовуються у системах безпеки, таких як контроль доступу, моніторинг навколишнього середовища та виявлення вторгнень, що допомагає забезпечити захист важливих систем та об'єктів.

На даному етапі дослідження проведемо огляд декількох найбільш популярних мікроконтролерів, які широко використовуються для розробки систем Інтернету речей (IoT) та автоматизованих керуючих систем. Ми ретельно розглянемо такі мікроконтролери, як Arduino, Raspberry Pi Pico, STM32 та ESP32, також проаналізуємо їх технічні характеристики, можливості програмування та області їх використання. Цей огляд дозволить нам збудувати необхідну основу для подальшого аналізу їх використання у модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT [15].

1.2.1 Розгляд мікроконтролера STM32

Мікроконтролери з родини STM32 від компанії STMicroelectronics є надзвичайно популярними серед розробників та інженерів у сфері автоматизації та Internet of Things (IoT) через високою продуктивністю, надійністю, та гнучкість. Тому вони ідеально підходять для промислових автоматизаційних систем (рисунок 1.1) [16].

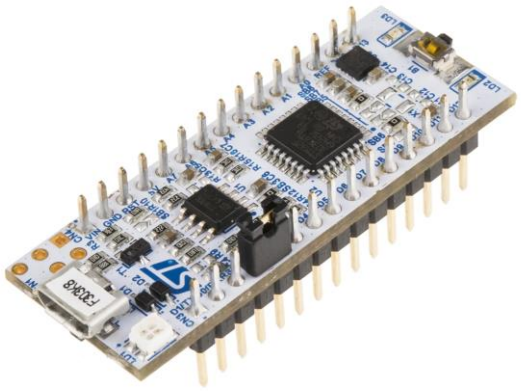

Рисунок 1.1 – Мікроконтролер STM32

Мікроконтролери STM32 базуються на базі архітектурі ARM Cortex–M, що що робить їх дуже потужними та дозволяє виконувати складні операції в реальному часі (рисунок 1.2). Далі буде наведено деякі основні переваги мікроконтролерів на базі STM32 у контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT:

Висока продуктивність: ARM Cortex–M дозволяє мікроконтролерам STM32 виконувати завдання з високою швидкістю та ефективністю завдяки оптимізованій роботі з пам'яттю та апаратним операціям. Це особливо важливо для задач, що вимагають обробки в реальному часі [17].

Ефективне енергоспоживання: Іншою важливою особливістю є здатність до низького споживання енергії, що робить STM32 ідеальними для пристроїв, які живляться від батареї або акумуляторів. Це особливо корисно в сучасних додатках IoT.

Рисунок 1.2 – Мікропроцесор серії STM32 на базі архітектурі ARM Cortex–M

Підтримка обробки переривань: Мікроконтролери STM32 мають вбудовану підтримку для обробки переривань, що робить їх ідеальними для взаємодії з різними периферійними пристроями та сенсорами. Вони можуть швидко реагувати на події та виконувати відповідні дії [18].

Розширюваність: Архітектура ARM Cortex–M має кілька версій, включаючи Cortex–M0, Cortex–M3 та Cortex–M4, що надає можливість вибирати мікроконтролер із відповідними характеристиками для конкретних завдань.

Зручність програмування: Для мікроконтролерів STM32 існують різноманітні середовища розробки, бібліотеки та інструменти для програмування, що спрощують розробку додатків та підтримку пристроїв.

Багатофункціональність: Мікроконтролери STM32 можуть виконувати різноманітні завдання завдяки підтримці різних інструкцій та операцій.

Активна спільнота та документація: STM32 має широку спільноту розробників і велику кількість документації, що полегшує розробку та підтримку пристроїв на їх базі.

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

Тому мікроконтролери STM32 можуть бути цікавим варіантом для використання у проекті, модернізації модуля керування розсувними

конструкціями. Їх значна обчислювальна потужність та широкий спектр функцій забезпечать можливість виконувати різноманітні завдання, такі як збір та обробка даних, управління системою та взаємодія з іншими компонентами системи IoT.

1.2.2 Розгляд мікроконтролера ESP32

ESP32 є потужним мікроконтролером, розробленим компанією Espressif Systems, і відзначається вбудованими модулями Wi–Fi та Bluetooth, що робить його ідеальним рішенням для проектів Інтернету речей (IoT) (рисунок 1.3) [19].

Основна перевага ESP32 полягає в наявності двоядерного мікроконтролера Xtensa LX6, базованого на архітектурі Tensilica, та вбудованого модуля Wi–Fi та Bluetooth. Це надає можливість легко підключати ESP32 до бездротових мереж Wi–Fi та взаємодіяти з іншими пристроями через Bluetooth.

ESP32 володіє широким спектром цифрових та аналогових виводів, що дозволяє підключати різноманітні датчики та пристрої для зчитування різних даних. Завдяки двом ядрам мікроконтролера та високій частоті роботи, ESP32 може ефективно обробляти обчислення та взаємодіяти з іншими пристроями у реальному часі [20].

Рисунок 1.3 – Мікроконтролер серії ESP32

Його інтегрований модуль Wi–Fi дозволяє легко з'єднувати ESP32 з Інтернетом, передавати дані на сервери та взаємодіяти з хмарними сервісами. Це робить його ідеальним вибором для проектів IoT, де важливий бездротовий зв'язок.

ESP32 має режими глибокої зупинки, що значно зменшує споживання енергії, що корисно для батарейних пристроїв та проектів, де важлива тривалість роботи від одного заряду батареї [21].

Підтримка різних інтерфейсів, таких як I2C, SPI, UART, GPIO, PWM тощо, дозволяє легко підключати до ESP32 різноманітні сенсори та пристрої. Крім того, ESP32 володіє великою та активною спільнотою розробників, що сприяє обміну кодом, бібліотеками та досвідом у використанні цього мікроконтролера.

Використовуючи ESP32 для створення вузла IoT, можна легко контролювати умови виробничого приміщення, збирати дані та надсилати їх для аналізу. Цей мікроконтролер володіє всіма необхідними характеристиками для ефективного впровадження у проекти, що вимагають безперервного та надійного бездротового зв'язку.

1.2.3 Розгляд мікроконтролера Arduino

Arduino є одним із найпопулярніших мікроконтролерів, розробленим компанією Arduino Software, і широко використовується для DIY–проектів та автоматизації завдань. Його привабливість для розробників полягає у простоті та доступності для програмування через власний інтерфейс [22].

Основні переваги мікроконтролерів Arduino включають модульність та розширюваність, що дозволяє легко підключати різні сенсори та модулі. Є різноманітні моделі Arduino–сумісних плат, такі як Arduino Uno, Nano, Mega тощо, що можна вибирати в залежності від конкретних потреб проекту (рисунок 1.4) [23 – 25].

Простота використання є ще однією перевагою, оскільки Arduino постачається з власною інтегрованою розробницькою середою (IDE), яка

полегшує програмування мікроконтролера мовами C/C++. Документація є загальнодоступною, завдяки широкій підтримці активної спільноти розробників.

Arduino також славиться різноманіттю бібліотек, що спрощують взаємодію з різними сенсорами та пристроями. Це дозволяє розробникам швидко реалізовувати функціональність у своїх проектах.

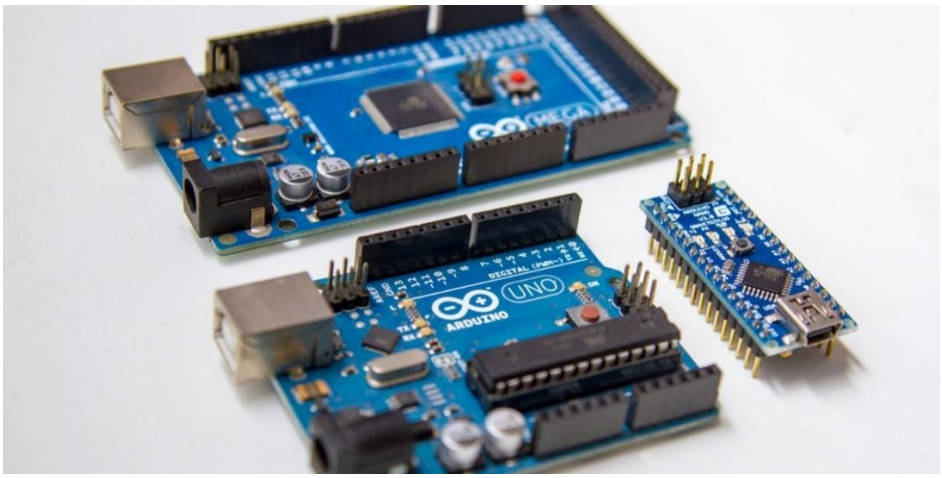

Рисунок 1.4 – Мікроконтролер Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Mega

Його універсальність дозволяє знаходити застосування в різних галузях, таких як автоматизація виробництва, системи моніторингу та управління, проекти IoT, робототехніка, медичні пристрої та інші. Використання Arduino в модулі керування розсувними конструкціями виробничого приміщення дозволяє легко зчитувати дані з різних датчиків та керувати різними пристроями для підтримки оптимальних умов.

Нарешті, активна глобальна спільнота розробників Arduino надає підтримку, поради та розв'язання для широкого спектру завдань. Узгоджений з ESP32, Arduino створює ефективні та інтегровані рішення для проектів IoT та систем інтелектуального керування.

1.2.4 Розгляд мікроконтролера Raspberry Pi Pico

Raspberry Pi Pico представляє собою доступний мікроконтролер, розроблений фондом Raspberry Pi, який завдяки своїм вражаючим можливостям та доступному ціновому діапазону отримав широку популярність (рисунок 1.5). Основою для цього мікроконтролера служить мікроконтролер RP2040, спеціально розроблений фондом Raspberry Pi, з двоядерним ARM Cortex–M0+ процесором, що працює на тактовій частоті 133 МГц.

Однією з ключових переваг Raspberry Pi Pico є підтримка різних мов програмування, таких як MicroPython, C/C++, та CircuitPython. Завдяки вбудованому USB–контролеру, Raspberry Pi Pico може легко підключатися до комп'ютера без потреби у додаткових адаптерах [26].

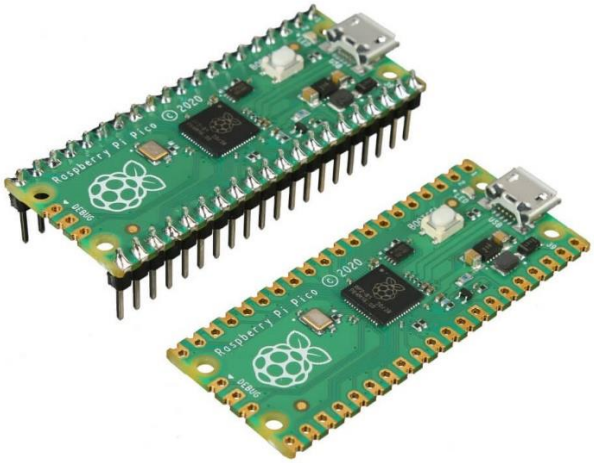

Рисунок 1.5 – Мікроконтролери серії Raspberry Pi

Активна та велика спільнота розробників Raspberry Pi забезпечує постійну підтримку та надає корисні проекти, бібліотеки та рішення для Raspberry Pi Pico.

Використання Raspberry Pi Pico може знайти в розсувних системах та спільної роботі з IoT–системами, використовуючи веб–сервери або MQTT–протокол для забезпечення зв'язку [27].

У контексті зазначених мікроконтролерів, включаючи ESP32, Arduino, та Raspberry Pi Pico, всі вони можуть успішно використовуватися для збору даних про температуру, вологість та інші параметри виробничого приміщення за допомогою різних датчиків. Ці мікроконтролери здатні обробляти отримані дані та приймати відповідні заходи для забезпечення комфортних умов у приміщенні.

Як Arduino, так і Raspberry Pi Pico вирізняються дружнім інтерфейсом та підтримкою активної спільноти користувачів, роблячи їх ідеальними для розробки та програмування.

1.3 Давачі у контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT

В епоху розцвіту інтернету речей (IoT), вирішення завдань автоматизації та контролю виробничих процесів стає все більш актуальним. Однак справжня сила IoT полягає в здатності збирати дані та взаємодіяти з навколишнім середовищем. Давачі стають невід'ємною складовою для досягнення цієї мети. Вони стають ключовими складовими вирішеннями для поліпшення ефективності, комфорту, безпеки та екологічної стійкості у різних сферах.

Давачі – це пристрої, які дозволяють вимірювати фізичні параметри або діяти на навколишнє середовище та перетворювати ці дії на електричні сигнали, які можна обробити та аналізувати. Залежно від специфікацій та потреб, існують давачі для вимірювання температури, вологості, тиску, руху, освітлення, газів, рівня рідини, відстані та багатьох інших параметрів [28].

У рамках цього розділу ми розглянемо можливості мікроконтролера з серії ESP32, а також виберемо та проаналізуємо датчики з урахуванням їх сумісності з мікроконтролерами ESP32 та можливістю їх інтеграції в модуль керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT.

Коректний вибір датчиків стає вирішальним чинником для успішної реалізації функціональності системи та оптимізації процесів. Наявність підтримки обраних датчиків мікроконтролерами ESP32 є однією з ключових умов для їх вибору. Окрім цього, здатність датчиків інтегруватися в систему IoT дозволить досягти максимальної ефективності та зручності в управлінні роботою виробничого приміщення [29].

1.3.1 Огляд давачів опадів

В сучасному промисловому виробництві, де автоматизація та точне керування виробничими процесами стають ключовими аспектами, датчики дощу стають невід'ємною частиною системи моніторингу та управління. Їхня роль у виробничому середовищі виявляється в низці аспектів, включаючи безпеку, ефективність та економію ресурсів.

У промисловому виробництві надійність і точність даних є критичними. Датчики дощу, взаємодіючи з автоматизованими системами, можуть служити для оперативного прийняття рішень на підприємстві. Їхня робота інтегрується з системами управління виробництвом та підтримує раціональне використання ресурсів. У рамках цієї роботи буде розглянуто такі датчики дощу, як MLX90393 [30] та MH–RD [31] (рисунок 1.6).

Рисунок 1.6 – Датчики дощу MLX90393 та MH–RD

Отже, в контексті промислового виробництва, датчики дощу визначаються не лише як елемент метеорологічного моніторингу, але і як ключовий компонент системи розумних технологій, що спрямовані на оптимізацію виробничих процесів, підвищення безпеки праці та ефективного управління енергетичними ресурсами.

За типом сигналу датчики дощу поділяються на:

Дискретний сигнал. Датчики дощу, які видають дискретний сигнал, мають два стани: ввімкнений і вимкнений. Увімкнений стан означає, що дощ іде, а вимкнений стан означає, що дощу немає.

Аналоговий сигнал. Датчики дощу, які видають аналоговий сигнал, видають сигнал, який пропорційний інтенсивності опадів.

Датчики дощу є ефективним засобом для забезпечення безпеки та функціонування розсувних конструкцій виробничого приміщення в умовах дощу. При виборі датчика необхідно враховувати такі фактори, як тип датчика, діапазон вимірювань, чутливість, стабільність, вартість, розміри та умови експлуатації.

Тип датчика. Тип датчика визначає принцип роботи датчика і його характеристики. Для використання в контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення доцільно використовувати механічні або фотоелектричні датчики [28].

За принципом роботи датчики дощу поділяються на три основні типи:

Механічні датчики. Механічні датчики дощу працюють за принципом зміни положення чутливого елемента під впливом крапель дощу.

Фотоелектричні датчики. Фотоелектричні датчики дощу працюють за принципом зміни інтенсивності світла, яке падає на чутливий елемент.

Інфрачервоні датчики. Інфрачервоні датчики дощу працюють за принципом зміни інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке падає на чутливий елемент.

Діапазон вимірювань. Діапазон вимірювань повинен бути достатнім для виявлення невеликих опадів, які можуть призвести до забруднення розсувних конструкцій. Тому оптимальний діапазон вимірювань становить від 0 до 10 мм.

Чутливість. Чутливість датчика повинна бути достатньою для виявлення навіть невеликих опадів.

Стабільність. Датчик повинен бути стабільним і нечутливим до перешкод. У таблиці 1.1 наведено датчиків MLX90393 та MH–RD, вона надає детальний огляд їхніх характеристик, що дозволяє зробити інформований вибір в залежності від конкретних потреб та вимог.

Таблиця 1.1 – Загальна інформація про датчики дощу

Характеристика	MLX90393	MH–RD
Тип датчика	Ефекту Доплера	Оптична
Діапазон вимірювань	0 –1000мм	0–1000мм
Чутливість	0,01 мм/сек	0,25 мм/сек
Вартість	$20	$5
Точність	±1 мм	±5 мм
Надійність	99,99%	99%
Вплив зовнішніх факторів	Впливає вітер	Впливає вітер
Застосування	Системи прогнозування погоди, автоматичні системи поливу	Сільськогосподарські системи, системи безпеки
Розміри	25 мм x 25 мм x 5 мм	15 мм x 15 мм x 5 мм
Вага	15 г	5 г
Живлення	5 В	5 В
Вихідний сигнал	Аналоговий	Аналоговий
Інтерфейс	Шина I2C	Шина I2C

Завершуючи розділ про датчики дощу в контексті промислового виробництва, важливо відзначити, що впровадження цих технологій вирішує не лише питання ефективності та безпеки виробництва, але й сприяє

створенню більш стійких та енергоефективних промислових систем. Використання сучасних датчиків дощу є ключовим елементом у вдосконаленні промислових процесів та підвищенні їхньої адаптивності до змінних умов навколишнього середовища.

1.3.2 Огляд давачів вологи та температури

Вологість, яка визначає кількість водяної пари в атмосфері, є ключовим фактором для промислових підприємств. Зокрема, врахування цього параметра важливе для виробництва, де ефективність та оптимальні умови грають критичну роль. У цьому контексті важливу роль відіграють датчики вологості та температури, що вимірюють параметри навколишнього середовища та дозволяють розумним системам адаптуватися до змін у реальному часі [32].

Зокрема, для мікроконтролера ESP32, який став неодмінною частиною сучасних IoT (Інтернет речей) проектів, використання датчиків вологості та температури, таких як DHT11 та DHT22 (AM2302) (рисунок 1.7), є актуальним та практично важливим завданням.

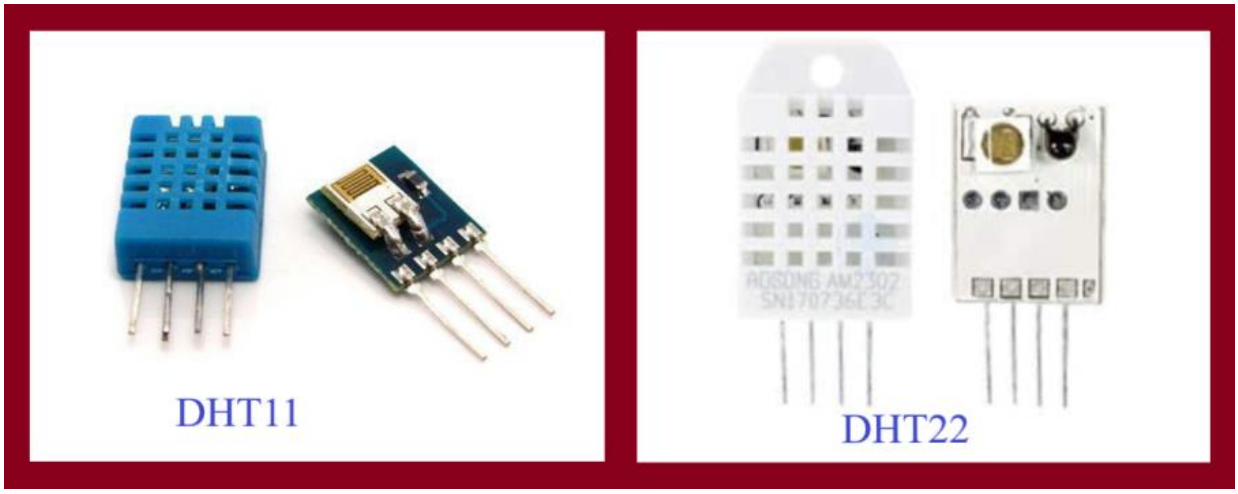

Рисунок 1.7 – Датчики вологості та температури DHT11, DHT22 (AM2302)

Ці датчики, завдяки своїй надійності та можливості вимірювати два важливі параметри – температуру та вологість, стали широко

використовуваними в різноманітних сценаріях від автоматизованих систем управління кліматом вдома до контролю умов вирощування рослин у сільському господарстві.

З метою дослідження та оптимізації використання даних від датчиків вологості та температури у контексті мікроконтролера ESP32, важливо розглядати особливості різних моделей датчиків. В даному випадку, давачі DHT11 та DHT22 (AM2302) виступають як об'єкт дослідження для визначення їхньої придатності та ефективності в різних умовах вимірювань.

Порівняння показників давачів вологості та температури DHT11, DHT22 (AM2302) наведено у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Загальна інформація про давачі вологості та температури

Моделі давачів	DHT11	DHT22 (AM2302)
Діапазон вимірювання температури	0°C – 50°C	–40°C – 80°C
Діапазон вимірювання вологості	20% – 80%	0% – 100%
Точність температури	±2°C	±0.5°C
Точність вологості	±5%	±2–5%
Інтерфейс з мікроконтролером	Цифровий (зазвичай однопровідний)	Цифровий (зазвичай однопровідний)
Частота опитування	не більше 1 Гц	не більше 1 Гц
Напруга живлення	3.5–5.5 В;	від 3.3В до 5.5 В.

Зазначені характеристики вимірювань є ключовими для визначення функціональності та ефективності давачів вологості та температури в різних умовах експлуатації, таких як використання з мікроконтролером ESP32 в умовах заданого дослідження.

1.3.1 Огляд давачів карбон діаксиду

В епоху стрімкого технологічного розвитку і Інтернету речей (IoT) сучасні виробничі приміщення стають все більше піддатливими впливу інновацій та автоматизації. Оптимізація виробничих процесів, забезпечення енергоефективності та створення комфортних умов для працівників вимагає використання передових технологій, зокрема датчиків та систем моніторингу.

На даному етапі дослідження ми розглянемо різні датчики CO2, які можуть ефективно інтегруватися з мікроконтролером ESP32. У цьому огляді ми детально розглянемо три відомі моделі датчиків: MH–Z19, MG–811 та SenseAir S8. Кожен із цих датчиків має свої унікальні особливості в функціональності, точності вимірювань та можливостях комунікації, що робить їх зручними для використання в різних проектах, де вимагається вимірювання та моніторинг рівнів CO2 [33].

Аналізуючи характеристики кожного датчика, ми зможемо визначити, який саме з них найбільш підходить для конкретного дослідження. Ретельне вивчення їх технічних параметрів та можливостей допоможе зробити обґрунтований вибір для подальшої інтеграції з мікроконтролером ESP32 та реалізації системи контролю за рівнями CO2 (рисунок 1.8).

Рисунок 1.8 – Датчики вимірювання рівнів CO2: MH–Z19, MG–811 та SenseAir S8

В таблиці 1.3 наведено ретельне порівняння основних характеристик давачів для вимірювання рівнів CO2 – MH–Z19, MG–811 та SenseAir S8

Таблиця 1.3 – Загальна інформація про давачі вимірювання рівнів CO2

Моделі давачів CO2	MH–Z19	MG–811	SenseAir S8
Діапазон вимірювання CO2	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 елементу, калібрування	Компактний розмір, низька вартість, калібрування

Ця таблиця надає зведений огляд параметрів датчиків для вимірювання рівнів CO2, таких як MH–Z19, MG–811 та SenseAir S8. Ці дані можна

застосовувати при інтеграції з мікроконтролером ESP32 у рамках визначених умов дослідження.

1.4 Роль крокового двигуна у контексті модуля керування розсувними конструкціями

У сучасному промисловому середовищі, розсувні конструкції виробничих приміщень відіграють ключову роль у забезпеченні оптимальних умов для ведення виробничих процесів. Їхнє призначення не лише обмежується захистом від погодних умов, але й освітлення та забезпечення доступу до природного світла. З урахуванням стрімкого технологічного розвитку, виникає необхідність в удосконаленні та автоматизації управління розсувними конструкціями для забезпечення оптимальних умов праці та підвищення продуктивності.

Проте, управління розсувними конструкціями стикається з рядом викликів, серед яких важливими є точність позиціонування, швидкість руху та можливість віддаленого керування. Відповідно, для вирішення цих викликів використання крокових двигунів стає важливим елементом вдосконалення модулів керування. Крокові двигуни, завдяки своїй точності та можливості контролю кроку, можуть забезпечити ефективне та точне позиціонування розсувних конструкцій, що є критичним для оптимальної роботи виробничих приміщень.

В даному дослідженні розглядається проблема модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням крокових двигунів. Метою дослідження є розробка та впровадження інтелектуальної системи керування, спрямованої на оптимізацію використання розсувних конструкцій у виробничому середовищі. Результати цього дослідження сприятимуть підвищенню ефективності та продуктивності виробничих процесів, зменшенню витрат та забезпеченню безпеки на підприємствах у різних галузях [34].

1.4.1 Принцип використання та характеристики крокового двигуна

Кроковий двигун – це тип електродвигуна, який перетворює електричну енергію в механічну обертальну енергію шляхом дискретних кроків в данному проекті будуть розглянуті такі крокові двигуни як NEMA 17, NEMA 23 та NEMA 34, двигуни NEMA – це тип крокових двигунів, які мають стандартизовані розміри та характеристики. Це робить їх легко замінюваними та сумісними з різним обладнанням (рисунок 1.9) [35].

Робочий принцип крокового двигуна заснований на взаємодії постійних магнітів і обмоток. У полярних крокових двигунах постійні магніти розташовані на роторі, а обмотки – на стаціонарному статорі. У неполярних крокових двигунах обмотки розташовані як на роторі, так і на статорі.

Коли до обмоток подається електричний струм, вони створюють магнітне поле. Це магнітне поле взаємодіє з постійними магнітами на роторі, викликаючи його обертання.

Рисунок 1.9 – Крокові двигуни NEMA 17, NEMA 23 та NEMA 34

Кожен раз, коли до обмоток подається електричний струм, ротор обертається на один крок. Кількість кроків, які може зробити кроковий двигун, визначається його конструкцією.

Основними компонентами крокового двигуна є:

– ротор: це рухлива частина крокового двигуна, яка обертається під дією магнітного поля.

– статор: нерухома частина крокового двигуна, яка містить обмотки.

– обмотки: котушки проводу, які створюють магнітне поле.

– підшипники: підтримують ротор і дозволяють йому обертатися без тертя.

Технічні характеристики крокових двигунів є важливою основою для розуміння їхнього функціоналу та можливостей у різних сценаріях застосування. Давайте розглянемо основні параметри та їх вплив на продуктивність цих двигунів. Основні технічні характеристики при обранні крокового двигуна виступають:

– крок (Step Size): кроковий двигун виконує оберт на певний кут при подачі одного сигналу. Малий крок, наприклад, 1.8 градусів на крок, забезпечує високу точність та дозволяє мікрорухи для деталізованих завдань;

– кутова швидкість (Angular Velocity): це кількість градусів або кроків, які може здійснити двигун за одиницю часу. Значення кутової швидкості визначає, наскільки швидко кроковий двигун може виконати рух, що є важливим для динамічних застосувань;

– кількість кроків (Step Count): загальна кількість кроків для завершення повного оберту. Визначає роздільну здатність та дозволяє налаштовувати рух у конкретних одиницях виміру, наприклад, кількість міліметрів на оберт;

– крутний момент (Torque): сила, яку може застосувати двигун для обертання робочого валу. Важливий для визначення здатності двигуна працювати з великими або важкими навантаженнями;

– струм холостого ходу (No–Load Current): споживання струму при відсутності навантаження. Високий струм холостого ходу може призводити до зайвого споживання енергії і підвищення температури двигуна;

– опір (Resistance): електричний опір обмоток двигуна. Визначає ефективність перетворення електроенергії та може впливати на теплові втрати.

– тип двигуна (Motor Type): вид двигуна, такий як уніполярний або біполярний. Вибір типу може впливати на крутний момент, точність та

складність управління. У таблиці 1.4 наведено порівняння основних характеристик крокових двигунів NEMA 17, NEMA 23 та NEMA 34

Таблиця 1.4 – порівняння характеристик крокових двигунів NEMA 17, NEMA 23 та NEMA 34

Характеристика	NEMA 17	NEMA 23	NEMA 34
Крок (Step Size)	1,8°	1,8°	1,8°
Кутова швидкість	До 10000 об/хв	До 5000 об/хв	До 3000 об/хв
Кількість кроків	200 шагів на повний оборот	400 шагів на повний оборот	800 шагів на повний оборот
Крутний момент	До 1 Нм	До 5 Нм	До 10 Нм
Струм холостого ходу	0,3 А	0,5 А	1 А
Опір	30 Ом	50 Ом	75 Ом
Тип двигуна	біполярний	біполярний	біполярний
Шум	30 дБ	35 дБ	40 дБ
Тепловіддача	5 Вт	10 Вт	20 Вт
Вага	220 г	470 г	1000 г
Розміри	42 мм	57 мм	86 мм

Ці технічні характеристики роблять крокові двигуни унікальними інструментами для автоматизації та позиціонування у різних областях від промисловості до науки. Розуміння цих параметрів дозволяє вибрати оптимальний двигун для конкретного завдання та забезпечити його ефективну роботу.

Крокові двигуни використовуються в різних сферах, таких як промисловість, медицина та наука. Вони використовуються для переміщення різних механізмів, таких як конвеєри, верстати та робототехнічні пристрої.

Крокові двигуни мають кілька переваг перед іншими типами електродвигунів, зокрема:

– висока точність позиціювання: крокові двигуни можуть забезпечити високу точність позиціювання, оскільки вони можуть зупинитися в будь–якому положенні.

– плавність руху: крокові двигуни можуть забезпечити плавний рух, оскільки вони можуть обертатися з будь–якою швидкістю.

– можливість реверсування: крокові двигуни можуть реверсуватися, щоб змінити напрямок руху.

Точність позиціювання крокового двигуна визначається його кількістю кроків. Більше кроків означає більш точне позиціювання.

Плавність руху крокового двигуна визначається його частотою обертання. Більша частота обертання означає більш плавний рух.

Загалом, крокові двигуни є ефективним і економічним рішенням для широкого спектру застосувань, де потрібні точність позиціонування, плавний рух і висока надійність.

Крокові двигуни, в залежності від конструкції обмоток та методу подачі струму, поділяються на уніполярні та біполярні. Кожен з цих типів має свої особливості та властивості, які можуть впливати на їхню ефективність у конкретних застосуваннях [36].

Уніполярні крокові двигуни мають два полюси, які розташовані на роторі. Обмотки двигуна розташовані на статорі і мають по два висновки.

Для того, щоб ротор уніполярного крокового двигуна повернувся на один крок, необхідно подати струм до однієї з обмоток. При цьому ротор повернеться на кут, який відповідає полюсу, до якого підключена обмотка.

Біполярні крокові двигуни мають чотири полюси, які розташовані на роторі. Обмотки двигуна розташовані на статорі і мають по чотири висновки.

Для того, щоб ротор біполярного крокового двигуна повернувся на один крок, необхідно змінити напрямок струму в одній з обмоток. При цьому ротор повернеться на кут, який відповідає полюсу, до якого підключена обмотка.

До вибору типу крокового двигуна потрібно ставитися відповідально. Якщо важлива простота і низька вартість, то можна використовувати уніполярні крокові двигуни. Однак слід враховувати, що уніполярні двигуни мають менший крутний момент і точність позиціонування, ніж біполярні двигуни.

Якщо важливі крутний момент і точність позиціонування, то слід використовувати біполярні крокові двигуни. Однак слід враховувати, що біполярні двигуни складніше у виготовленні і мають більшу вартість.

1.4.2 Інтеграція крокового двигуна в модуль керування розсувними системами

В сучасному індустріальному середовищі, де важлива автоматизація та оптимізація робочих процесів, використання крокових двигунів разом із системами Інтернету речей (IoT) виявляється надзвичайно перспективним. Розглянемо ключові аспекти ролі крокових двигунів у модернізації керування розсувними конструкціями та їх інтеграції з IoT [37].

Крокові двигуни володіють високою точністю позиціювання, що є критичним для розсувних конструкцій. Завдяки точному керуванню кроковими двигунами можна досягти плавного та прецизійного руху, забезпечуючи точне розміщення конструкцій.

Застосування IoT дозволяє створювати розумні системи, які можуть здійснювати віддалене моніторинг та управління. Крокові двигуни можуть бути інтегровані в ці системи, де дані щодо їх стану, руху та робочої продуктивності можуть передаватися через мережу IoT для аналізу та управління.

Крокові двигуни можуть бути управляні таким чином, щоб мінімізувати енергоспоживання у режимі очікування. Інтеграція з IoT дозволяє вдало керувати активацією та деактивацією двигунів відповідно до потреби.

З використанням IoT, керування розсувними конструкціями може бути налаштоване динамічно відповідно до змінюваних умов виробничого

середовища. Крокові двигуни забезпечують точне програмне керування, що важливо для оптимізації руху конструкцій [38].

Вирішення завдань координації та синхронізації рухів розсувних конструкцій стає ефективнішим завдяки використанню крокових двигунів, які можуть точно виконувати програмовані кроки та оберти.

Інтеграція з IoT дозволяє проводити моніторинг стану крокових двигунів у реальному часі. Системи можуть надсилати повідомлення про стан, виявлені несправності та попередження щодо обслуговування.

У випадку виробничих приміщень безпека є пріоритетом. Завдяки IoT, можна вдало реалізувати системи віддаленого моніторингу та управління, забезпечуючи вчасну реакцію на будь–які проблеми.

Модернізація модуля керування розсувними конструкціями із застосуванням крокових двигунів та IoT не лише підвищить ефективність виробничого процесу, але й створить гнучку та інтелектуальну систему, спрямовану на оптимізацію використання приміщення. Це 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 IoT у контексті модернізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення

Сучасні розсувні конструкції представляють собою важливий компонент виробничих приміщень та складів, які допомагають підприємствам оптимізувати їхнє просторове розташування та раціонально використовувати обмежену площу. Вони відіграють рішучу роль у забезпеченні продуктивності та безпеки виробничих процесів [7].

Значущість розсувних конструкцій у виробничому середовищі проявляється у кількох ключових аспектах:

– функціональність і регулювання простору: розсувні конструкції надають підприємствам можливість ефективно організовувати робочі простори, дозволяючи змінювати їх розмір та конфігурацію відповідно до потреб виробництва. Це дозволяє мінімізувати втрати простору та максимізувати його використання;

– забезпечення безпеки: розсувні конструкції грають ключову роль у забезпеченні безпеки працівників та матеріалів виробничого процесу. Вони можуть служити бар'єром між небезпечними зонами та робочими областями, а також дозволяють швидко втручатися в ситуації, коли це необхідно;

– збереження енергії: деякі сучасні розсувні конструкції оснащені технологіями енергозбереження, які допомагають підприємствам зменшити витрати на опалення та охолодження приміщень, залишаючи невикористані зони відокремленими від робочих зон;

– відповідність стандартам: у багатьох галузях існують строгі стандарти щодо безпеки та регулювань. розсувні конструкції допомагають підприємствам відповідати цим вимогам та представити доступ до різних зон.

Загалом, розсувні конструкції стали невід'ємною частиною сучасних виробничих приміщень і відіграють стратегічну роль у забезпеченні їхньої функціональності та продуктивності. Таким чином, вдосконалення управління цими конструкціями за допомогою сучасних технологій, зокрема IoT, є актуальним завданням, яке може призвести до значних переваг для підприємств, розсувні конструкції можуть бути підключені до мережі Інтернет речей, що відкриває перед нами можливості віддаленого керування та моніторингу обладнання та розсувних конструкцій в реальному часі, що сприяє оптимізації виробничих процесів і зменшенню витрат.

Сенсори IoT дозволяють стежити за станом обладнання та передбачати можливі відмови чи поломки, попереджаючи невідкладні ремонти та підвищуючи надійність системи. Збір та аналіз даних в реальному часі надає можливість приймати інформовані рішення та розробляти стратегії виробництва [9].

Використання IoT–вирішень для управління розсувними конструкціями виробничих приміщень вносить важливі питання безпеки та захисту даних, що стають залежними від надійності та нерухомості функціонування виробничого процесу. Такі як:

– кібератаки та несанкціонований доступ: завдяки підключенню до мережі Інтернет речей, системи керування розсувними конструкціями можуть стати об'єктом кібератак. Це включає в себе спроби несанкціонованого доступу до системи, ведення вірусів або зловживання правами доступу [11];

– перехоплення та злам зв'язку: зловмисники можуть намагатися перехопити комунікацію між IoT–пристроями та серверами, що може призвести до витоку конфіденційних даних або навіть контролю над системою. Нападники можуть використовувати IoT–пристрої для відправлення спаму, фішингових повідомлень або розсилки вірусів;

– неактуальне програмне забезпечення: багато IoT–пристроїв мають обмежені ресурси та можуть бути вразливими до атак, якщо не отримують регулярних оновлень і вдосконалень вони можуть бути використанні зловмисниками.

Щоб зменшити ризики кібератак та несанкціонованих доступім можна використовувати:

– шифрування: всі дані, які передаються між IoT–пристроями та серверами, мають бути зашифрованими для захисту від перехоплення та читання третіми особами;

– аутентифікація та авторизація: для доступу до системи потрібно встановити суворі процедури аутентифікації та авторизації, щоб перешкоджати несанкціонованому входу.

Для запобігання перехоплення та зламу зв’язку можна використовувати моніторинг, резервне копіювання, ізоляція мережі та створення білих списків. Моніторинг та виявлення загроз. Важливо мати системи моніторингу, які виявляють незвичайну активність та можливі загрози та сповіщають адміністраторів.

Важливо постійно оновлювати програмне забезпечення та встановлювати нові патчів для виправлення виявлених вразливостей, це допомагає утримувати систему в безпеці [13].

В сучасному світі, де IoT знаходить широке застосування в виробництві, безпека та захист даних стають критично важливими аспектами. Застосування вищезазначених стратегій та заходів допомагає зменшити ризик і забезпечує надійну захищеність виробничих IoT–систем.

1.6 Постановка задач

Мета даної дипломної роботи полягає в удосконаленні та моделюванні модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням технології IoT. Виконання завдання передбачає урахування основних вимог і обмежень, виконання функцій відповідно до встановлених умов, а також аналіз розробленої системи інтелектуального управління розсувними конструкціями з урахуванням заданих параметрів.

Розроблений модуль керування розсувними конструкціями має стратегічне призначення для впровадження в різноманітних промислових та виробничих об'єктах. Основною метою використання цієї системи є створення оптимальних та ефективних умов для робочого середовища, що впливає на забезпечення безперебійного та продуктивного виробничого процесу.

Використання розроблених компонентів дозволить модулю керування розсувними конструкціями автоматизувати весь процес. Система буде автоматично зчитувати дані з використовуваних датчиків та, відповідно до цих показників, самостійно визначатиме оптимальний режим для ефективного управління розсувними конструкціями у виробничому приміщенні.

Крім того, враховуючи актуальні тенденції в галузі технологій, система передбачає інтеграцію з інтернетом речей (IoT), що надає користувачам надзвичайну зручність у використанні та моніторингу. Ця інтеграція дозволяє отримувати доступ до усіх зібраних даних в режимі реального часу не лише

через стаціонарний комп'ютер, але й через мобільний пристрій, такий як смартфон, за допомогою веб–браузера чи спеціального додатка.

Цей аспект системи інтелектуального керування розсувними конструкціями не лише спрощує моніторинг умов виробничого приміщення, але і надає користувачам можливість здійснювати віддалене керування та взаємодію з системою. Завдяки технології IoT, користувач матиме можливість не лише відстежувати показники 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, забезпечуючи оперативну можливість втрутитися та виправити ситуацію для неперервної роботи виробництва.

Задачі, що необхідно вирішити, під час виконання роботи можна описати наступним чином:

– детальна формулювання та уточнення функціональних вимог до компонентів, що розробляються для модуля керування розсувної системи;

– розробка моделі даних для системи та проведення розрахункового моделювання її функціонування;

– створення моделі схеми підключення мікроконтролера, датчиків та крокового двигуна для забезпечення оптимальної взаємодії між компонентами системи.

У цьому контексті важливо розробити ефективний код для управління системою, який відповідатиме визначеним вимогам та забезпечить правильну роботу модуля керування розсувними конструкціями. 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 модуля.Автоматизація модуля керування розсувною системою передбачає, що розроблена схема

підключення, програмний код та інтеграція IoT повинні виконувати ряд ключових функцій:

Саме для модуля керування:

– 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 сценаріїв в залежності від зовнішнього середовища;

– вивід зміну положення розсувної конструкції через IoT для зручного моніторингу.

Для системи віддаленого моніторингу та керування за допомогою IoT:

– налаштування доступних та зрозумілих відображень даних та стану всіх датчиків та елементів системи;

– налаштування відображення збоїв та помилок системи через IoT;

– вивід зміну положення розсувної конструкції через IoT для зручного моніторингу та управління;

– розробка простого та інтуїтивно зрозумілого користувацького інтерфейсу для зручного використання системи;

– реалізація ручного управління в IoT, що дозволятиме користувачеві віддалено втручатися у модуль керування розсувної конструкції у випадку виявлення помилок або сбоїв, надаючи можливість вручну установлювати умови роботи модуля до усунення проблеми.

Для виконання поставленої задачі необхідно розробити програмне забезпечення, вхідними даними до якого будуть: значення показань з датчика відображення дощу, вологість у приміщенні, температура у приміщенні, температура за межами приміщення, значення вуглекислого газу у приміщенні.

Встановлені вхідні обмеження, такі як 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 та зупиняє роботу двигуна до усунення збою для запобігання поломок комплектуючих.

Вихідними даними створеного модуля керування розсувною конструкцією повинні бути виведені значення з датчиків до IoT, встановлення положення розсувною системою за допомогою двигуна, відображення статусів збою у системі та IoT, та можливість справної роботи 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 сучасному світі, де технології стрімко розвиваються, індустріальні процеси та виробничі системи переживають суттєві трансформації. Індустрія 4.0 та новітні підходи Індустрії 5.0 не просто визначають новий етап у розвитку виробництва, а й ставлять перед підприємствами низку завдань, що потребують високих технічних рішень. Відокремлені системи та ручне управління вже не можуть повністю задовольнити вимоги швидкозмінюваних умов ринку та високих стандартів продуктивності.

У нашому проекті ми докладаємо зусиль для впровадження сучасних технологій в керування розсувними конструкціями виробничих приміщень, зосереджуючись на використанні IoT, мікроконтролерів та крокових двигунів. Цей проект є відповіддю на виклики, які стоять перед промисловим сектором, і спрямований на вдосконалення автоматизованих систем управління та моніторингу.

Вибір конкретних мікроконтролерів для імплементації в проекті визначається врахуванням різних аспектів, які включають технічні можливості, ефективність, інтегровані можливості та вартість.

Мікроконтролери, такі як STM32, Arduino, ESP32 і Raspberry Pi, мають свої унікальні характеристики, і кожен з них може забезпечити різні можливості для конкретних завдань.

У даному проекті, акцент зробленний на використанні ESP32 свідчить про стратегічний підхід у виборі технології. Відзначається не лише його технічні можливості, але і врахування його потенціалу для підтримки бездротового зв'язку, що є ключовим в аспекті збільшення гнучкості та мобільності в системі.

Дослідження ролі датчиків IoT в процесі модернізації виробничих приміщень підкреслює важливість системного підходу до моніторингу та контролю умов праці. Вибір конкретних датчиків, таких як DHT22 для вимірювання вологості, MH–RD для детектування дощу та MH–Z19 для визначення рівня CO2, відображає усвідомлену стратегію забезпечення найважливіших параметрів робочого середовища.

Обрані датчики відповідають конкретним функціональним вимогам проекту та надають детальні дані, необхідні для раціонального управління виробничими умовами. Їх інтеграція з мікроконтролерами та іншими елементами системи IoT дозволяє не лише моніторити, але й реагувати на зміни в реальному часі, що забезпечує високий рівень ефективності та безпеки виробничого середовища. Такий комплексний підхід до системи контролю дозволяє вдосконалити управління та робочі процеси в промисловому середовищі, покращуючи якість виробництва та забезпечуючи високий стандарт умов праці.

Крововий двигун, зокрема обраний NEMA 17, виступає не просто як елемент керування, але як ключова ланка в системі управління розсувними конструкціями виробничого приміщення. Враховуючи особливості NEMA 17, такі як висока точність позиціонування та плавний рух, він ідеально підходить для забезпечення прецизійного керування рухомими елементами.

Інтеграція крокового двигуна в контексті модуля керування розсувними конструкціями створює можливість плавного та точного переміщення. Це є

ключовим аспектом у виробничих приміщеннях, де точність та надійність керування рухом є вирішальними для оптимального функціонування систем.

Використання Інтернету речей (IoT) для модернізації виробничих приміщень додає нові рівні ефективності та інтелектуальності. Забезпечуючи зв'язок крокового двигуна з системою IoT, можливо здійснювати дистанційне керування та моніторинг рухомих елементів в режимі реального часу. Це відкриває можливість оптимізації робочих процесів, виходячи за межі стандартних обмежень, а також створює умови для розумної адаптації до змін виробничого середовища.

Були сформульовані завдання для дипломної роботи, в яких конкретно визначені задачі щодо розробки модуля керування розсувними конструкціями. Ці завдання охоплюють уточнення функціональних вимог, розробку моделі даних та математичне моделювання системи, а також створення схеми підключення, написання програмного коду та інтеграцію з технологією IoT.

За результатами цього дослідження можна зробити висновок, що сучасні технології виробництва та їхнє обґрунтоване використання в конкретному проекті дозволяють створити ефективне та інтелектуальне виробниче середовище. Це відкриває нові перспективи для оптимізації бізнес–процесів, підвищення продуктивності та зниження витрат, забезпечуючи виробництво, яке готове до майбутніх викликів та інновацій.

2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯМ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Вибір технічних засобів

При розробці та впровадженні системи автоматизованого керування станом даху виробничого приміщення, ключовим етапом стає вибір технічних засобів. Цей процес вимагає комплексного підходу та ретельного аналізу, оскільки правильно підібрані технічні рішення визначають ефективність та надійність функціонування системи. Надійний вибір технічних засобів є ключовим фактором у створенні ефективної та довговічної системи керування, готової відповідати вимогам в сучасному виробничому процесі.

2.1.1 Вибір мікроконтролера

В галузі розробки систем інтелектуального управління, однією з ключових рішень є вибір мікроконтролера для реалізації функціональності. Серед численних доступних варіантів, ESP32 вирізняється своєю унікальністю та великим спектром можливостей. Давайте розглянемо, чому ESP32 є відмінним вибором для реалізації інтелектуального управління [19]:

– висока продуктивність та енергоефективність: ESP32 обладнаний потужними ядрами Tensilica LX6, які забезпечують високу продуктивність при обробці завдань реального часу. Водночас, його енергоефективність робить його ідеальним вибором для батарейних пристроїв або систем, які працюють в умовах обмеженого живлення;

– вбудований Wi–Fi та Bluetooth: ESP32 має вбудовані модулі Wi–Fi та Bluetooth, що відкриває безліч можливостей для підключення до Інтернету та інших пристроїв. Це важливо для систем IoT, які вимагають зв'язку та обміну даними в реальному часі;

– розширена інтеграція та широкий вибір периферійних пристроїв: ESP32 підтримує різноманітні периферійні пристрої, включаючи сенсори,

камери, LCD–дисплеї та інші. Це робить його гнучким для впровадження в різноманітні системи управління;

– зручний розробницький інтерфейс: ESP32 має дружній інтерфейс для розробників, існує широка спільнота, яка регулярно надає оновлення та допомогу. Це забезпечує простоту розробки та відладки програмного забезпечення;

– можливість програмування у Python та Arduino IDE: ESP32 підтримує популярні мови програмування, такі як Python та Arduino, що робить його доступним для розробників з різним досвідом;

– низька вартість та доступність: ESP32 є бюджетним рішенням, що робить його доступним для широкого кола проектів та розробок.

Узагальнюючи, ESP32 варто обрати завдяки своїм вражаючим технічним характеристикам, високій продуктивності та широкому функціоналу, що відкриває нові можливості для розробників систем інтелектуального управління.

2.1.2 Вибір давачів

Вибір правильних датчиків визначає надійність та точність систем інтелектуального управління. Серед різноманітних варіантів на ринку, деякі датчики відзначаються особливо високою надійністю та функціональністю. Обрано ряд давачів що підходять до мікроконтролеру ESP32 та відповідають умовам поставленних завдань: DHT22 для вимірювання температури та вологості, MH–RD для обліку опадів та MH–Z19 для вимірювання рівня CO2 [28].

Датчик дощу MH–RD визначений для ефективного виявлення опадів, що може мати стратегічне значення у виробничих процесах, де необхідно вчасно реагувати на зміни у погодних умовах [31]. Основними перевагами цього датчика є:

– антикорозійне покриття: датчик оснащений антикорозійним покриттям, що робить його довговічним та надійним при використанні в умовах дощу та вологості;

– легка інтеграція: MH–RD може легко взаємодіяти з мікроконтролерами та іншими елементами системи, дозволяючи ефективно використовувати інформацію про дощ для відповідного управління;

Датчик вологості DHT22 використовується для надання точних даних про рівень вологості виробничого приміщення [32]. Це особливо важливо в промислових умовах, де контроль вологості може впливати на якість продукції та безпеку працівників. Основними перевагами такого давача виступають:

– точність вимірювань: DHT22 відомий своєю високою точністю вимірювань температури та вологості, забезпечуючи надійні дані для подальшого аналізу та управління умовами в приміщенні;

– широкий діапазон вимірювань: датчик охоплює значний діапазон температур і вологості, що робить його ідеальним вибором для різних кліматичних умов;

– зручний інтерфейс: DHT22 легко інтегрується з мікроконтролерами та має зручний цифровий інтерфейс, що спрощує процес зчитування даних.

Датчик CO2 MH–Z19 визначений для моніторингу рівня вуглекислого газу, що може слугувати показником якості повітря в приміщенні та важливим елементом для забезпечення здоров'я працівників [33]. Основними перевагами такого давача виступають:

– надійні вимірювання: MH–Z19 забезпечує точні та стабільні вимірювання рівня CO2 в повітрі, що є важливим для контролю якості повітря та забезпечення безпеки в приміщенні;

– широкий діапазон вимірювань: Датчик охоплює широкий діапазон концентрацій CO2, роблячи його корисним для різних приміщень та застосувань;

– інтерфейс для зв'язку: MH–Z19 має інтерфейс для зв'язку, що полегшує передачу даних та інтеграцію з системою інтелектуального управління.

Вибір саме цих давачів пов’язано з їхньою сумісністю з мікроконтролером ESP32, а також датчики DHT22, MH–RD та MH–Z19 відзначаються своєю надійністю, точністю та зручністю в інтеграції, роблячи їх чудовим вибором для забезпечення ефективного та інтелектуального контролю над умовами приміщень та навколишнього середовища.

2.1.3 Вибір платформи програмування та моделювання

В сучасному світі інженерні розробки вимагають глибокого розуміння вибору правильних інструментів для успішної реалізації проекту. Під час вибору платформи програмування та моделювання для модуля керування розсувними конструкціями, ми доклали максимум зусиль для того, щоб забезпечити ефективність, гнучкість та найвищий рівень функціональності. Тому було обрано наступні платформи програмування та інструменти як Wokwi, Blynk, мобільний додаток Blynk та персональний комп'ютер.

Вибір інтерактивної платформи Wokwi в нашому проекті є стратегічним і обумовленим передовими можливостями, які ця платформа пропонує у сфері віртуального моделювання електронних схем [39]. Wokwi надає нам неперевершені переваги, що визначають ефективність та успішність нашої розробки, такі як [40]:

– інтерактивне моделювання: Wokwi дозволяє нам взаємодіяти з електронними схемами в режимі реального часу. Ми можемо тестувати різні аспекти схеми, відлагоджувати та аналізувати їхню роботу, спостерігаючи за відповідями на різні сценарії та вхідні дані;

– ефективність у відладці: завдяки інтерактивному моделюванню, Wokwi дозволяє нам виявити та виправити помилки ще до фізичної реалізації схеми. Це значно зменшує час, який витрачається на відладку та забезпечує більш високу надійність системи;

– зменшення ймовірності помилок: глибоке вивчення та аналіз схем віртуально дозволяє виявити потенційні помилки та недоліки ще на етапі проектування. Це допомагає збільшити точність та надійність системи;

– економія часу та ресурсів: застосування Wokwi дозволяє нам оптимізувати процес розробки, зекономити час та ресурси, які можна витратити на додаткові ітерації у фізичному вигляді схеми;

– оптимальна робота системи: віртуальне моделювання у Wokwi допомагає нам забезпечити оптимальну роботу системи ще до її впровадження, що робить її більш адаптованою та відповідальною до поставлених завдань;

– додавання нових елементів: в ході розробки модуля керування розсувними конструкціями, неперервне удосконалення та розширення функціоналу виявляється надзвичайно важливим. Додавання нових елементів таких як давачі чи інші – це стратегічний крок для покращення ефективності та розширення можливостей системи.

Рішення про інтеграцію Blynk у наш модуль керування є обґрунтованим та стратегічним. Цей вибір вносить суттєвий внесок у розробку зручного та високоефективного інтерфейсу для користувачів, забезпечуючи ряд ключових переваг, які надають вагомі переваги нашому проєкту [41]:

– мобільність та віддалений доступ: Blynk надає нам можливість створювати інтерфейси для мобільних додатків, що забезпечує зручний та ефективний віддалений доступ до системи. Це дозволяє користувачам з легкістю контролювати розсувні конструкції з будь–якого місця через смартфони чи планшети;

– гнучкість в реалізації інтерфейсів: Blynk дає можливість швидко розробляти та впроваджувати різні інтерфейси, призначені для специфічних завдань управління. Ця гнучкість дозволяє налаштовувати і персоналізувати інтерфейси відповідно до вимог та зручності користувачів;

– швидка розробка та легка інтеграція:і нтуїтивний інтерфейс розробки Blynk спрощує процес інтеграції з системою управління. Готові візуальні елементи та функціонал дозволяють ефективно розробляти та впроваджувати нові функції;

– реальний час та оновлення: Blynk забезпечує миттєвий обмін даними у реальному часі, що є ключовим для забезпечення швидкої реакції системи на команди користувачів та актуальну інформацію з датчиків;

– безпека та надійність: Blynk гарантує захист даних та безпеку зв'язку, що робить його надійним рішенням для віддаленого управління. Захищений доступ до системи забезпечує конфіденційність та цілісність даних.

Використання мобільного додатку Blynk у нашій системі інтелектуального керування розсувними конструкціями є ключовим етапом для забезпечення мобільності та миттєвого доступу до управління. Цей мобільний додаток відіграє стратегічну роль у реалізації через ряд переваг:

– зручний та інтуїтивний інтерфейс: мобільний додаток Blynk пропонує зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє користувачам легко та ефективно взаємодіяти з системою. Ергономічний дизайн і чітка структура роблять управління простим та приємним;

– можливості дистанційного керування: мобільний додаток дозволяє вам керувати розсувними конструкціями з будь–якого місця, де є доступ до Інтернету. Це важливо для забезпечення комфорту та контролю над системою, навіть коли ви далеко від дому;

– гнучкі налаштування та програмування: мобільний додаток Blynk дозволяє налаштовувати та програмувати функції управління відповідно до індивідуальних потреб користувача. Це важливо для створення персоналізованого та оптимального досвіду користувача;

– моніторинг та звітність: додаток надає можливості моніторингу та отримання звітів про роботу системи. Користувач може відстежувати стан розсувних конструкцій, отримувати повідомлення про події та статус системи у режимі реального часу;

– система оповіщень: використання мобільного додатку дозволяє налаштовувати систему оповіщень для отримання повідомлень про важливі події чи зміни у роботі системи. Це забезпечує оперативну реакцію на потреби користувача.

В процесі розробки системи інтелектуального керування розсувними конструкціями, велику увагу було приділено вибору оптимального персонального комп'ютера для роботи з електронними схемами, програмним забезпеченням та моделюванням. Низка критеріїв та особливостей були враховані під час цього вибору;

– швидкодія та продуктивність: важливим параметром став високий рівень продуктивності та швидкодії для безперебійного виконання завдань моделювання та програмування. Висока потужність обчислень дозволяє ефективно використовувати інструменти для віртуального моделювання схем.

– обсяг та швидкість оперативної пам'яті: обсяг оперативної пам'яті і швидкість доступу до неї є ключовими для запуску та оптимальної роботи програм розробки та моделювання. Велика кількість оперативної пам'яті дозволяє вільно працювати з об'ємними електронними схемами та програмами;

– потужність графічної карти: враховуючи використання графічних програм та інтерфейсів для моделювання, важливо мати потужну графічну карту, яка забезпечить відмінну якість зображення та покращений візуальний досвід;

– масштабованість та розширюваність: обрано комп'ютер, який має можливість масштабування та розширення, щоб забезпечити сумісність із зростанням обсягу роботи та розвитком проектів;

– оперативна система та сумісність з ПЗ: враховано сумісність обраного персонального комп'ютера з операційною системою, необхідною для роботи з обраною платформою програмування та моделювання;

– наявність необхідних портів та з'єднань: обрано комп'ютер з необхідним набором портів та з'єднань для підключення до різноманітних пристроїв та інтерфейсів, що використовуються у розробці;

– надійність та тривалість роботи: велику увагу приділено надійності та тривалості роботи комп'ютера для забезпечення стабільної та неперервної роботи протягом тривалого часу.

Обираючи інструменти для розробки системи інтелектуального керування розсувними конструкціями, ми доклали максимум зусиль для забезпечення успішної та ефективної реалізації проекту. Використання інтерактивної платформи Wokwi дозволило нам ефективно моделювати електронні схеми та віртуально перевіряти їхню працездатність.

Інтеграція Blynk та використання мобільного додатку цієї платформи стали стратегічними рішеннями, що принесли значний внесок у створення зручного та високоефективного інтерфейсу для користувачів, а також надали мобільність та доступність управління.

При виборі персонального комп'ютера ми врахували ключові критерії, такі як продуктивність, обсяг оперативної пам'яті та інші, щоб забезпечити оптимальні умови для розробки та моделювання.

Усі обрані інструменти і платформи взаємодіють між собою, створюючи високоефективну систему керування розсувними конструкціями. Цей комплексний підхід дозволяє досягти максимального рівня функціональності та задоволення від використання системи.

2.2 Вибір інтегрованого середовища розробки (IDE) та бібліотек

В невпинному стрімкому розвитку індустрії автоматизації та систем керування, правильний вибір інтегрованого середовища розробки (IDE) та бібліотек для створення програмного забезпечення стає стратегічно важливим завданням. У цьому контексті розробка програмного забезпечення для системи керування станом даху виробничого приміщення має вирішальне значення для досягнення ефективності та надійності всієї системи [15].

Вибір оптимального інструментарію є вирішальним кроком для створення продуктивної, надійної та легко розширюваної програмної частини системи керування, і ми розглянемо цей процес як стратегічну перспективу розробки.

2.2.1 Вибір інтегрованого середовища розробки

У процесі визначення Інтегрованого середовища розробки (IDE) для реалізації проекту модуля керування розсувними конструкціями, ми врахували ряд ключових критеріїв, щоб обрати оптимальний інструмент для наших потреб [42]:

– 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 ретельного аналізу вимог та врахування різних критеріїв було встановлено, що найбільш відповідним інструментом для розробки модуля керування розсувними конструкціями буде Arduino IDE. Це рішення було ухвалено через наступні переваги:

– 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;

– 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.

2.2.2 Вибір бібліотек

У розробці модуля керування розсувними конструкціями було обрано та використано низку ключових бібліотек для мікроконтролера ESP32. Кожна з цих бібліотек виконує важливі функції, необхідні для успішної реалізації функціоналу системи. Давайте розглянемо кожну бібліотеку окремо:

– AccelStepper: ця бібліотека використовується для керування крокovими двигунами, забезпечуючи точний та плавний рух розсувних конструкцій. Вона надає інтерфейс для реалізації різних режимів руху, включаючи відстаневий, кутовий та мікрокроковий режими.

– BlynkSimpleEsp32 та WiFi: ці бібліотеки дозволяють ESP32 взаємодіяти з мережею Wi–Fi та інтегруватися з платформою Blynk для віддаленого керування та моніторингу. Це є ключовим для забезпечення віддаленого доступу та контролю над системою.

– DHT22 та DHT sensor library for ESPx: ці бібліотеки використовуються для взаємодії з датчиком температури та вологості DHT22. Вимірювання цих параметрів є важливим для ефективного регулювання модуля керування розсувними конструкціями.

– DHTesp: дана бібліотека розширює можливості роботи з датчиками DHT, надаючи додаткові функції та підтримку. Вона допомагає оптимізувати та розширювати взаємодію з датчиками температури та вологості для отримання надійних

– TaskScheduler: ця бібліотека дозволяє планувати та виконувати завдання в реальному часі, що важливо для синхронізації роботи різних компонентів системи. Вона допомагає уникнути конфліктів та оптимізувати роботу системи.

– Wire та Arduino: дані бібліотеки забезпечують роботу з шиной I2C та основні функціональності Arduino. Вони важливі для взаємодії з пристроями та програмування мікроконтролера.

– WCC Library: бібліотека WCC спрощує процес симуляції та віртуалізації на платформі Wokwi, яка є онлайн емулятором для розробки та

тестування ардуіно–проектів. Вона розроблена для полегшення та прискорення віртуалізації проекту в середовищі Wokwi, де відбувається симуляція модуля керування розсувною конструкцією. Бібліотека дозволяє легко створювати та налаштовувати власні чіпи та елементи, що спрощує віртуалізацію проекту. Ця бібліотека дозволяє користувачам використовувати власні моделі та симулювати їх взаємодію в онлайн середовищі. Важливим аспектом WCC Library є її здатність полегшувати та прискорювати віртуальний процес розробки, а також дозволяти ефективно тестувати та відлагоджувати код без необхідності виходу за межі віртуальної середи. Ця бібліотека є ключовим елементом у віртуальному розвитку та тестуванні проектів, забезпечуючи зручний інтерфейс для симуляції різних чіпів та елементів, що робить швидку та ефективну віртуалізацію модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення.

Обрані бібліотеки не лише допомагають вирішити конкретні завдання в рамках проекту, але й забезпечують зручний та ефективний інструментарій для розробників, що сприяє успішній інтеграції та оптимізації системи управління розсувними конструкціями виробничого приміщення.

2.3 Розрахункова модель

В умовах постійного розвитку технологій та високих вимог до точності та ефективності виробничих процесів, створення розрахункової моделі стає ключовим етапом у розробці та оптимізації систем управління. Розділ Розрахункова модель надає глибший інсайт у фізичні та математичні аспекти функціонування розробленого модуля керування для розсувних конструкцій виробничого приміщення [43].

Використання розрахункової моделі є важливою складовою для досягнення високої точності та передбачуваності роботи системи. Побудова розрахункової моделі не тільки забезпечить докладний аналіз фізичних процесів у системі керування, але також стане основою для подальших кроків

в реалізації алгоритмів керування на мікроконтролері ESP32 та інтеграції датчиків IoT. При розробці та вдосконаленні систем автоматизованого управління такими конструкціями важливо враховувати їхню механіку, рух крокового двигуна і т.д. для досягнення найвищої ефективності та безпек [42].

2.3.1 Рух крокового двигуна

У виробничих процесах важливо мати точні та ефективні методи керування рухом обладнання. Одним з ключових елементів є кроковий двигун, який забезпечує плавне та точне обертання. Розрахункова модель руху крокового двигуна є необхідним інструментом для прогнозування та оптимізації його роботи.

Рух крокового двигуна можна описати за допомогою кутового положення у функції часу. Враховуючи початкове кутове положення, кутову швидкість, та кутове прискорення, розрахункова модель руху виглядає наступним чином (2.1):

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega(t) + \frac{1}{2}\alpha t^2, \tag{2.1}$$

де θ_0 – початкове кутове положення, вказує на початкове положення крокового двигуна в обраній системі координат. Вимірюється в радіанах (rad); ω – кутову швидкість, визначає швидкість обертання крокового двигуна. Вимірюється в радіанах на одиницю часу (секунду), (rad/s); α – кутове прискорення, вказує на темп зміни кутової швидкості та визначає, наскільки швидко змінюється обертання. Вимірюється в радіанах за квадрат секунди (rad/s²).

Для повного розуміння руху необхідно також розглянути взаємозв'язок між кутовою і лінійною швидкістю. Співвідношення між кутовою і лінійною швидкістю може бути виражено за (2.2):

$$\omega(t) = \frac{v(t)}{R}, \tag{2.2}$$

де $v(t)$ – лінійна швидкість – це швидкість точки на кроковому двигуні. Вимірюється у відстанях за одиницю часу (м/с); R – радіус, що представляє відстань від центру обертання крокового двигуна до точки, для якої вимірюється швидкість. Вимірюється у метрах (м).

Якщо уявляєти собі точку на кроковому двигуні, яка рухається в коловому русі, буде відстанню від центру обертання до цієї точки. Співвідношення показує, що кутова швидкість цієї точки є відношенням лінійної швидкості до радіусу. Це рівняння показує, що кутова швидкість є результатом ділення лінійної швидкості на радіус.

Тоді кінцева формула для розрахунку руху крокового двигуна виглядатиме як (2.3):

$$\theta(t) = \theta_0 + \frac{v(t)}{R} + \frac{1}{2}\alpha t^2, \tag{2.3}$$

Ця розрахункова модель надає основу для аналізу та прогнозування руху крокового двигуна, що є важливим в контексті оптимізації виробничих процесів.

2.3.2 Механіка розсувних конструкцій

Механіка розсувних конструкцій може бути визначена рядом фізичних законів та рівнянь, які враховують такі фактори, як маса конструкції, коефіцієнт тертя, зовнішні сили та інші параметри. Використання розрахункових моделей у цьому контексті дозволяє не тільки прогнозувати рух розсувних конструкцій, але й розробляти ефективні стратегії автоматизованого управління. Основні рівняння механіки розсувної конструкції включають, (2.4):

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -\mu\frac{dx}{dt} - F, \tag{2.4}$$

де m – маса розсувної конструкції, вимірюється у кілограмах (кг); $\frac{d^2x}{dt^2}$ – прискорення розсування, вимірюється у метрах за секунду в квадраті $м/с^2$; μ – коефіцієнт тертя; $\frac{dx}{dt}$ – швидкість розсування вимірюється у метрах за секунду (м/с); F – зовнішня сила, прикладена до конструкції вимірюється в ньютонах (Н).

Це рівняння враховує різні аспекти, такі як маса конструкції, тертя, зовнішні сили та інші фактори, що впливають на її рух. Розглядання цих фізичних величин у контексті розрахункових моделей є ключовим етапом при розробці та оптимізації систем управління, спрямованих на підвищення продуктивності та комфорту в робочих середовищах.

2.3.3 Витрати на зміну положення даху

У виробничих приміщеннях, особливо тих, де використовуються розсувні конструкції, автоматизація відкривання та закривання грат, дахів чи вікон може забезпечити не тільки зручність, але й ефективність в управлінні простором. Одним із важливих аспектів цього управління є розрахунок витрат енергії на змінення положення даху.

Ця розрахункова модель описує витрати енергії на зміну положення даху виробничого приміщення. Рівняння моделі виглядає наступним чином, (2.5):

$$E = P * t, \tag{2.5}$$

де E – витрачена електроенергія, в джоулях; P – потужність двигуна, в ватах; t – час, в секундах.

Для більш точного результату можна використати додаткові фактори, які можуть впливати на споживання електроенергії шаговим двигуном.

Наприклад, можна врахувати наступні фактори:

– втрати в електромережі – ці втрати можуть бути викликані опором кабелів, трансформаторів та інших елементів мережі;

– ефективність двигуна – ефективність двигуна показує, яку частину електричної енергії він перетворює в механічну енергію;

– втрати на тертя – ці втрати виникають при русі рухомих частин двигуна.

У такому випадку формула для розрахунку витраченої електроенергії буде виглядати наступним чином, (2.6):

$$E = P * t * (1 – k) * (1 – f) * (1 – t) \quad (2.6)$$

де k – коефіцієнт втрат в електромережі; f – коефіцієнт ефективності двигуна; t – коефіцієнт втрат на тертя.

Використання ускладненої формули дозволяє отримати більш точне значення витраченої електроенергії.

В цілому, розрахунок витрат енергії на зміну положення даху є важливим етапом модернізації модуля керування розсувними системами виробничого приміщення з використанням IoT. Це дозволяє підвищити ефективність управління простором і знизити витрати на електроенергію.

2.4 Діаграмма прецедентів

Діаграмма прецедентів є одним з видів UML–діаграм, який використовується для моделювання функціональності системи з точки зору її користувачів (акторів) та способу взаємодії між ними. Основною метою діаграм прецедентів є визначення основних функціональних можливостей системи та взаємодій між акторами та цими можливостями [45].

Основні елементи діаграмми прецедентів включають:

– актори – представляють ролі або сутності, які взаємодіють з системою. Наприклад, це можуть бути користувачі, зовнішні системи або інші сутності, які взаємодіють з системою.

– прецеденти – визначають окремі функціональні можливості або послуги, які надає система. Кожен прецедент є конкретним випадком використання системи.

– відносини між акторами та прецедентами – вказують на те, як актори взаємодіють з прецедентами. Зазвичай це можуть бути відносини включення, виключення та асоціації.

Діаграми прецедентів використовуються для забезпечення високорівневого огляду функціональності системи та взаємодій між її частинами. Вони є корисним інструментом на ранніх етапах розробки для визначення вимог до системи та взаємодії з її користувачами.

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

Рисунок 2.1 – Діаграма прецедентів

Прецедент 1 – Керування станом даху при дощі в автоматичному режимі.

Основний виконавець: Користувач (автоматичне управління).

Зацікавлені особи та їх вимоги:

– користувач (автоматичне управління) – прагне зачинити дах тому що датчик показав наявність опадів.

Передумови: вхід у програму виконано успішно.

Результати: Дані користувача та параметри автоматичного режиму збережені. Система автоматичного управління виконує закриття даху при виявленні дощу. Інформація про виконане управління виводиться на екран.

Основний успішний сценарій:

– користувач успішно виконав вхід у програму автоматичного управління;

– після входу, користувач обрав автоматичний режим управління дахом;

– система автоматичного управління періодично зчитує дані від датчиків, включаючи інформацію про дощ;

– система аналізує отримані дані та визначає наявність дощу;

– за виявлення дощу система ініціює команду на закриття даху;

– зміни в стані даху відображаються на екрані, підтверджуючи успішне управління;

– користувач отримує повідомлення про успішне автоматичне закриття даху під час дощу.

2.5 Розробка функціональної моделі модуля

У процесі вдосконалення модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення за допомогою IoT важливим етапом є глибокий аналіз функціональної взаємодії автоматизованих об'єктів. Результати цього аналізу, зазвичай, концентруються в функціональній моделі програмного забезпечення. Архітектура цієї моделі значно визначається контекстом конкретного проекту і може бути відображена в різних документах, включаючи текстові та графічні ресурси.

Функціональна модель створена для детального опису процесів обробки даних відповідно до встановленого програмного забезпечення, враховуючи при цьому різні точки зору та перспективи [46].

Ramus – це комп'ютерно–допоміжна система (CASE), спрямована на розробку функціональних моделей систем. Однією з основних характеристик Ramus є впровадження методології IDEF0 (Integrated Definition for Function Modeling) – стандартного методу функціонального моделювання. IDEF0 надає стандартизований та зручний спосіб візуалізації функціональної структури системи [47].

IDEF0 є методологією функціонального моделювання, яка дозволяє зображувати структуру та функції системи. Ramus використовує цей метод для створення чітких та конкретних функціональних моделей, які розкривають взаємодії між різними компонентами. За допомогою функціонального моделювання Ramus можна зручно використовувати метод IDEF0 для створення моделей, які включають в себе взаємодію об'єктів автоматизації. У даному випадку, це може бути пов'язано з модулем керуванням розсувними конструкціями виробничого приміщення з технологію IoT.

Основні переваги та характеристики Ramus:

– комп'ютерно–допоміжна система (CASE): Ramus є CASE–засобом, що вказує на його використання в процесі розробки комп'ютерних систем;

– стандартизований метод IDEF0: використання стандарту IDEF0 у Ramus гарантує єдність та зрозумілість моделей, сприяючи кращому розумінню функціональних взаємодій системи;

– графічний інтерфейс: Ramus надає зручний графічний інтерфейс для створення та редагування функціональних моделей.

Застосування методу IDEF0 в Ramus стане важливим етапом для проведення точного та структурованого аналізу функціональної взаємодії об'єктів автоматизації у рамках проекту з модулем керуванням розсувними конструкціями. В результаті використання Ramus з методом IDEF0 отримаємо деталізовану функціональну модель програмного забезпечення, яка

конкретизує процеси обробки даних та взаємодії компонентів системи. Шляхом декомпозиції можна ретельніше розглянути окремі елементи системи, що сприятиме кращому розумінню їхнього внеску у загальну функціональність.

Отже, використання Ramus разом з методом IDEF0 ефективно дозволить створювати, аналізувати та оптимізувати функціональні моделі модуля керування розсувними конструкціями у виробничому приміщенні.

Давайте розглянемо етап конструювання моделі IDEF0, який охоплює аналіз та визначення модулем керування оптимального режиму роботи для зміни положення даху на відчинено або зачинено (рисунок 2.2).

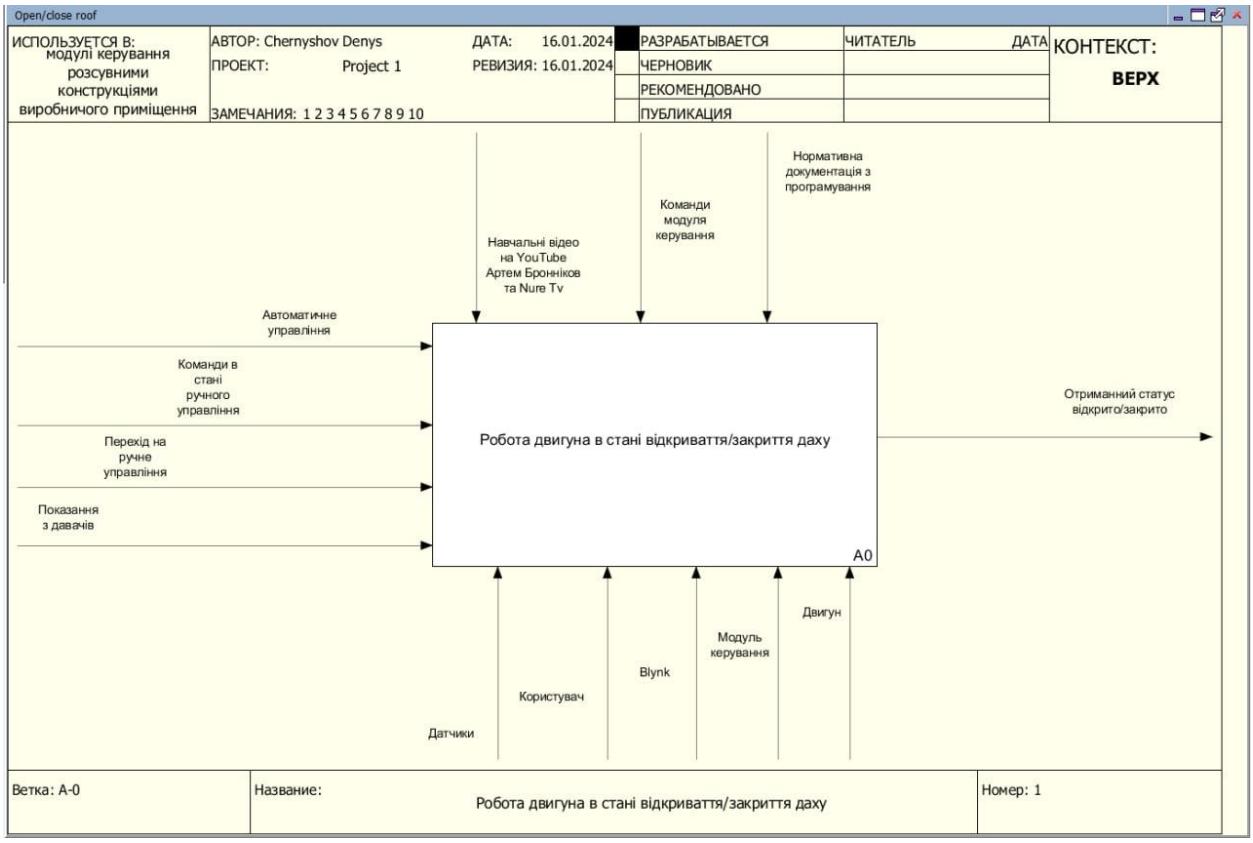

Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма

На одному з ключових етапів функціонування двигуна, система отримує вказівки від контролюючого модуля та встановлює стан даху відповідно до різних факторів. На більш детальному рівні аналізу бізнес–процесу, який

охоплює аналіз та визначення оптимального режиму роботи для зміни стану даху через модуль керування розсувними конструкціями виробничого приміщення, система запускає процес ініціалізації даних з давачів. Під час цього процесу система обробляє отримані дані, встановлює з'єднання з сервісами Інтернету речей (IoT) для обміну даними та перевіряє можливість ручного керування користувачем. Враховуючи вхідні дані, система призначає відповідний режим роботи двигуна, відповідно до зазначених логічних умов і показників з давачів, перевіряючи статус роботи та активність підключення. (рисунок 2.3).

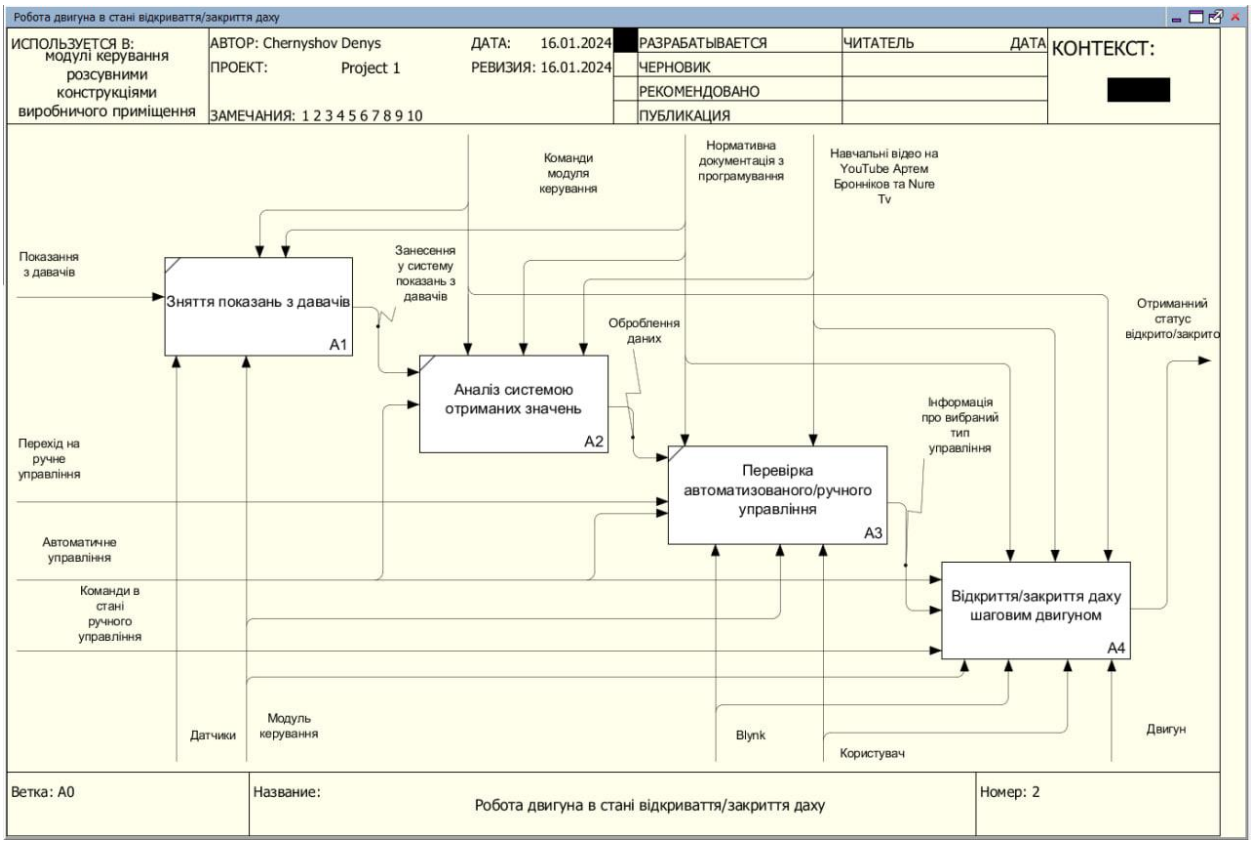

Рисунок 2.3 – Процес призначення стану відчинено/зачинено

Один із ключових бізнес–процесів, що визначає ефективність виробництва і впровадження модуля керування станом даху, – це перехід до відкриття або закриття даху за допомогою крокового двигуна. На цьому етапі система визначає який тип управління – автоматичний або ручний. Залежно

від типу управління , система призначає команди на відкриття або закриття даху. У разі спрацювання цих заходів відбувається відкриття/закриття даху за командою:

Якщо обрано автоматичне управління, система запускає відповідні алгоритми для автоматизованого відкриття або закриття даху.

У разі вибору ручного управління, система чекає команди від користувача.

У цей час система взаємодіє з кроковим двигуном та датчиками, визначаючи поточний стан даху. Отримана інформація про стан (відчинено/зачинено) повертається системі.

Цей цикл дозволяє ефективно та надійно керувати станом даху, забезпечуючи оптимальні умови виробничого приміщення відповідно до вибраного режиму управління та урахуванням непередбачених обставин (рисунок2.4).

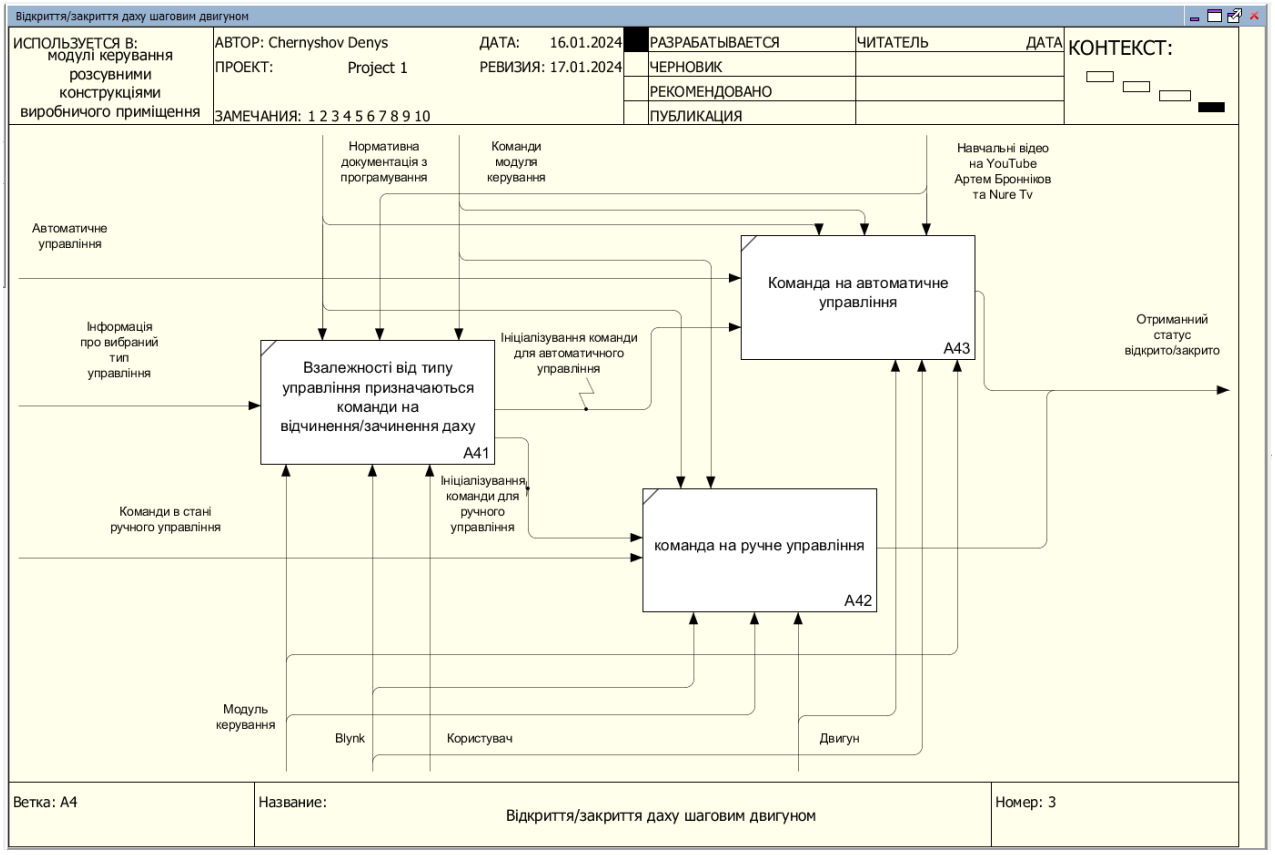

Рисунок 2.4 – Отримання статусу дахом за допомогою крокового двигуна

2.6 Висновки за розділом 2

В сучасному виробничому середовищі важливим аспектом є оптимізація та автоматизація процесів для підвищення продуктивності та комфорту. У цьому контексті, розробка та впровадження інтегрованих систем керування розсувними конструкціями стає актуальним завданням. Використання технологій Інтернету речей (IoT) та автоматизованих рішень дозволяє забезпечити ефективне управління станом дахів у виробничих приміщеннях.

Таким чином, розділ 2 присвячений обгрунтуванню технічних рішень та вибору інструментів для реалізації системи керування розсувними конструкціями. Вибір мікроконтролера, давачів, платформи програмування, інтегрованого середовища розробки та розрахункової моделі розглядаються для створення підґрунтя для подальшого проектування та реалізації. Також висвітлено процес розробки функціональної моделі та діаграми прецедентів, що дозволяє визначити основні функціональні можливості системи та взаємодії користувачів.

Акцентуючи увагу на технічних аспектах вибору та розробки, розділ 2 становить технічний фундамент для подальшого проектування та реалізації системи керування розсувними конструкціями. Враховуючи обрані технічні рішення та розрахункові моделі, система обіцяє ефективне та надійне управління, сприяючи оптимізації виробничих процесів та забезпечуючи комфортне робоче середовище.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Створення блок–схеми алгоритму роботи програмного забезпечення

Створення програмного забезпечення для модуля управління розсувними конструкціями вимагає ретельної проробки алгоритму, який забезпечить оптимальність та стабільність системи. Досягнення цієї мети виявляється у створенні блок–схеми, що виступає не тільки інструментом графічного подання послідовності операцій, але й засобом структурування та аналізу складних алгоритмів програмного забезпечення.

Блок–схема є ефективним засобом для візуалізації логіки програми та створення взаємозв'язків між різними етапами розробки. Вона виступає ключовим інструментом команди проекту, сприяючи розумінню внутрішньої структури програмного забезпечення та спрощенню виявлення можливих покращень чи аналізу недоліків [48].

1.1 Розділ Створення блок–схеми алгоритму роботи програмного забезпечення наддасть глибокий огляд процесу розробки блок–схеми для модуля керування розсувними конструкціями, розглядаючи важливі етапи та взаємозв'язки між різними компонентами програми. Аналітичний підхід до блок–схеми дозволить визначити оптимальні стратегії впровадження функціональності та гарантує високу ефективність створеного програмного продукту.

Алгоритми є систематизованим набором інструкцій чи кроків, які визначають послідовність дій для виконання конкретного завдання чи розв'язання певної проблеми. Вони є важливим елементом в областях програмування, комп'ютерних наук, інженерії та інших галузях. Алгоритми можуть приймати різні форми, такі як математичні формули, блок–схеми, логічні конструкції або код програм [49].

Класифікація алгоритмів може здійснюватися за різними критеріями. Ось одна з можливих класифікацій, яка враховує призначення та властивості алгоритмів:

1. За призначенням:

– бульбашкове сортування: простий алгоритм сортування, який базується на порівнянні та обміні елементів з метою досягнення відсортованості;

– швидке сортування: алгоритм, який використовує стратегію розділяй та владарюй для швидкої та ефективної сортування;

– сортування злиттям: метод об'єднання двох відсортованих масивів з метою створення нового;

– лінійний пошук: процес послідовного перегляду елементів для визначення місця розташування шуканого значення;

– бінарний пошук: ефективний метод пошуку в відсортованих масивах, що базується на принципі поділу піввіток;

– пошук в ширину: алгоритм, який систематично відвідує всі вершини на даному рівні графа перед переходом на наступний рівень;

– пошук в глибину: проникає глибше в граф, доки не досягне кінцевої вершини чи не виявить відсутності шляху;

– алгоритм дейкстри: використовується для пошуку найкоротших шляхів у напівзважених графах.

2. За природою виконання:

– однокрокові алгоритми: виконання кроків послідовно, де кожен наступний крок починається після завершення попереднього;

– паралельні алгоритми: організація одночасного виконання на різних обчислювальних ресурсах чи процесорах.

3. За видом даних:

– алгоритми числового аналізу: орієнтовані на обробку числових значень з метою розв'язання математичних задач;

– логічні алгоритми: використовуються для маніпуляцій булевими значеннями та керування логікою програми;

– алгоритми обробки рядків: спрямовані на ефективну обробку та маніпуляції текстовими даними.

4. За складністю:

– прості алгоритми: з характером простої логіки та призначені для базових задач;

– складні алгоритми: призначені для розв'язання складних завдань та можуть містити багатоетапні процедури.

5. За архітектурою:

– централізовані алгоритми: обчислення виконуються на єдиному обчислювальному вузлі;

– розподілені алгоритми: застосовують кілька вузлів для виконання різних обчислювальних завдань.

6. За ступенем абстракції:

– алгоритми низького рівня: зорієнтовані на конкретну машину чи мову програмування;

– алгоритми високого рівня: абстраговані від конкретної машини чи мови програмування та орієнтовані на вирішення завдань.

Використання алгоритмів в програмуванні дозволяє структурувати та організувати процес розв'язання завдань, що полегшує розробку програмного забезпечення. Вони допомагають автоматизувати виконання конкретних операцій, що робить програми більш ефективними та швидкими. Алгоритми також використовуються для вирішення різноманітних завдань, таких як сортування даних, пошук шляхів у графах, обробка сигналів, шифрування та багато інших.

Поняття алгоритмів також застосовується в інших областях, наприклад, у розробці апаратних систем, де алгоритми використовуються для управління різними пристроями та вирішення різноманітних технічних завдань.

Загально кажучи, алгоритми є ключовим інструментом для розв'язання проблем та виконання завдань у світі комп'ютерних наук та інженерії, забезпечуючи ефективність та точність виконання завдань в різних областях застосування [50].

Розглянемо декілька алгоритмів, які визначають функціональну роботу системи.

Розглянемо алгоритм роботи в ручному режимі, модуля керування розсувними конструкціями в виробничому приміщені з використанням IoT (рисунок 3.1). Основний метою цього режиму є забезпечення користувачеві можливості вручну контролювати відкриття та закриття даху в залежності від його потреб або вимог у конкретний момент часу.

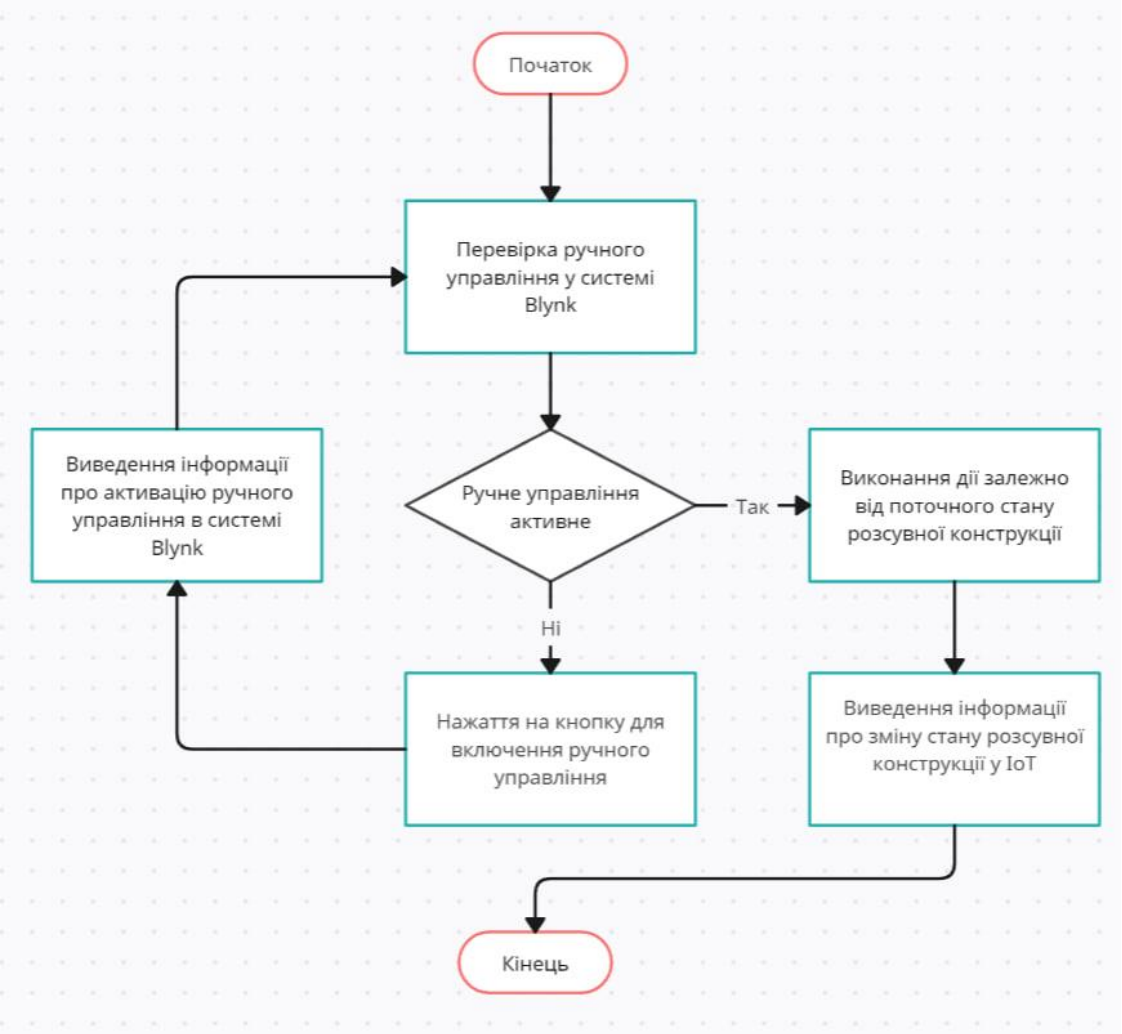

Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи у ручному режимі

Процедура експлуатації ручного режиму модуля управління розсувними конструкціями в промисловому приміщенні за використання технології Інтернету речей (IoT) розпочинається з ініціалізації користувача у системі Blynk. В цьому контексті користувач має можливість отримати повний доступ до інформації, отриманої з датчиків, відображення режиму роботи та поточного положення розсувної конструкції. У випадку виявлення користувачем аномалій або виникнення помилок у роботі системи, він отримує можливість перейти до ручного управління модулем. Ініціюючи цей режим, користувач здійснює зміну режиму роботи на ручне управління як у системі Blynk, так і в модулях управління. Тепер користувач може втручатися у процес управління та регулювати положення розсувної конструкції відповідно до встановлених завдань.

Далі буде розглянута робота модуля керування в автоматичному режимі (рисунок 3.2).

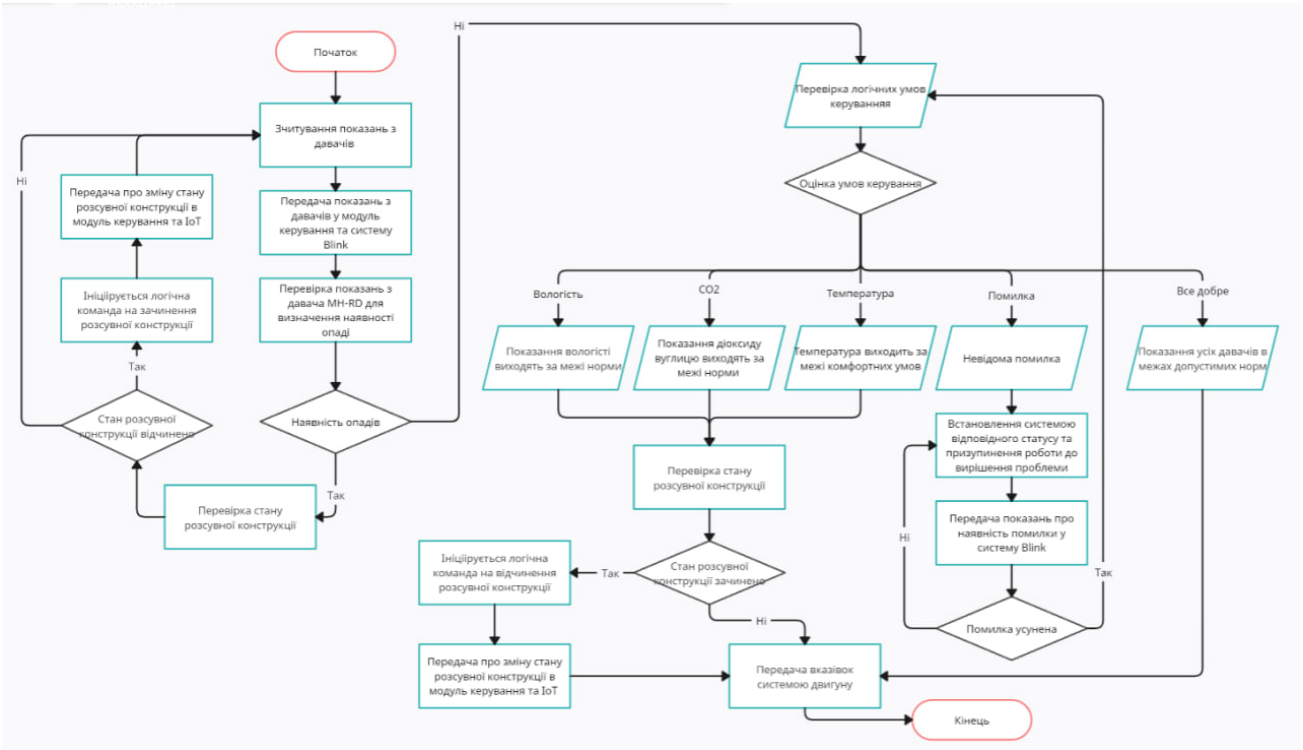

Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи у автоматичному режимі

Процедура автоматизованої роботи модуля керування розсувними конструкціями в промисловому приміщенні, яка базується на технології Інтернету речей (IoT), розпочинається із зчитування показників від датчиків, що подальше передаються у систему Blynk для подальшого використання. Значення, які вимірюються, зберігаються та транслюються в режимі реального часу через мережеве середовище IoT.

Початковим етапом є перевірка наявності опадів за допомогою датчика MH–RD, після чого проводиться оцінка положення даху. В залежності від цих вимірів ініціалізуються логічні операції для перешкоджання потрапляння опадів у приміщення, а отримані дані передаються системі Blynk. У випадку відсутності опадів система аналізує параметри оточуючого середовища та, враховуючи логічно обчислені величини, визначає положення розсувної конструкції відповідно до встановлених умов.

Якщо система не може визначити подальші дії або виникає неправильність у зібраних даних, робота модуля призупиняється, і відповідна інформація передається у систему IoT до виправлення несправності. У випадку, коли всі умови відповідають нормативам, положення даху змінюється на зачинено.

3.2 Розробка моделі модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT

У контексті стрімкого розвитку технологій та зростаючої автоматизації виробничих процесів, важливість симуляції моделі модуля керування розсувними конструкціями виробничих приміщень, зокрема в умовах Інтернету речей (IoT), стає беззаперечною. Все більше підприємств вибирають інтеграцію сучасних систем управління, щоб оптимізувати робочі процеси та забезпечити ефективну роботу.

Важливість симуляції полягає в тому, що вона надає інженерам та розробникам можливість вивчати та тестувати функціонал модуля керування в

умовах віртуального середовища, що дозволяє виявити й усунути можливі несправності та недоліки перед впровадженням в реальному виробничому середовищі.

Особливу вагомість набуває використання середовища Wokwi для створення та симуляції моделі. Це дає можливість не лише відтворювати реальні умови управління розсувними конструкціями, а й визначати оптимальні стратегії функціонування та взаємодії з іншими системами у віртуальному просторі.

Враховуючи величезний потенціал IoT в сучасній промисловості, моделювання та аналіз роботи модуля керування є необхідністю. Це дозволяє підготувати систему до викликів сучасного виробництва та гарантує, що вона буде адаптована до різноманітних умов та завдань, що стають перед сучасними виробництвами.

Модель модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT наведено на рисунку 3.3.

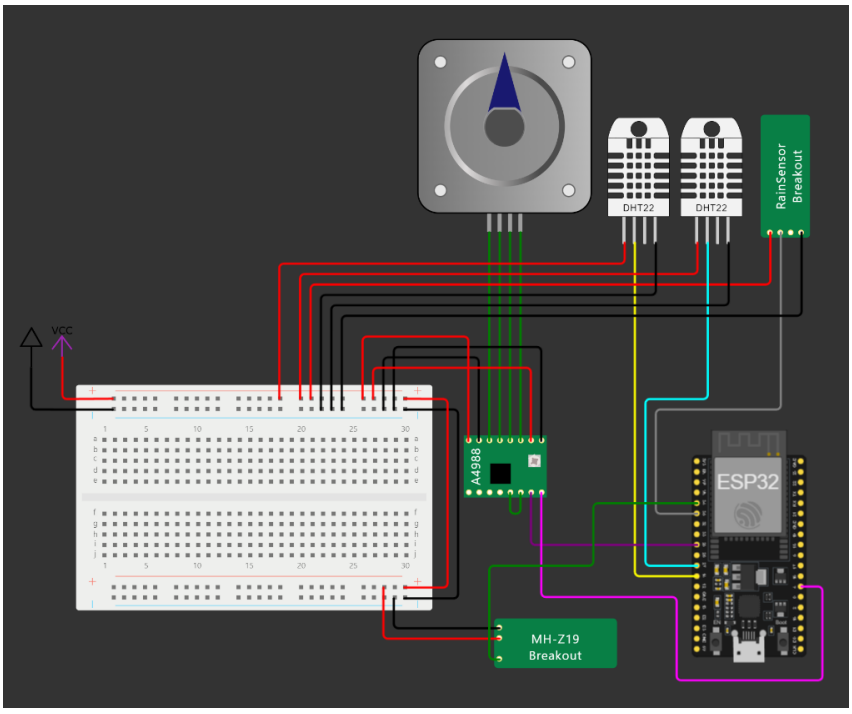

Рисунок 3.3 – Модель модуля керування у середовище моделювання Wokwi

Модель модуля керування для розсувних конструкцій виробничого приміщення, створена для використання у середовищі Wokwi, охоплює компоненти, що відтворюють реальні параметри та функції системи. Основними елементами даної моделі виступають:

– два датчики вологості DHT22: відтворюють функції датчиків вологості, забезпечуючи системі інформацію про вологість виробничого приміщення та за ним;

– давач дощу/опадів MH–RD: симулює вплив погодних умов на систему, визначаючи операції в залежності від наявності опадів;

– давач CO2 MH–Z19: моделює функції датчика CO2, що дозволяє системі реагувати на рівень вуглекислого газу у приміщенні;

– плата мікроконтролера ESP32: обробляє інформацію від датчиків та видає команди для управління розсувними конструкціями;

– шаговий двигун і драйвер A4988: симулюють рух розсувної конструкції відповідно до команд мікроконтролера;

– Breadboard: Забезпечує з'єднання та розміщення компонентів на віртуальній дошці;

– елемент живлення та елемент заземлення: відтворюють живлення та заземлення системи.

Ця інтегрована модель слугує засобом для комплексного аналізу та тестування реального функціоналу системи керування розсувними конструкціями в умовах віртуального середовища, що дозволяє вдосконалювати та перевірити роботу системи перед її реальним впровадженням.

3.3 Створення програмного забезпечення

В епоху стрімкого технологічного розвитку та постійних інновацій, які постійно розширюють межі технічно можливого, розробка програмного забезпечення набуває важливості у вдосконаленні функціональності

промислових систем. У цьому контексті велике значення приділяється створенню програмного забезпечення для вирішення різноманітних завдань, зокрема, управління розсувними конструкціями виробничих приміщень з використанням IoT. Такий підхід спрямований на покращення ефективності виробничих процесів, раціональне використання ресурсів та підвищення рівня екологічної стійкості.

Розробка даного проекту відбулася в інноваційному середовищі Wokwi, де використання мови програмування C++ в поєднанні з Arduino IDE забезпечило оптимальну швидкодію та ефективність програмного забезпечення. Проект відзначається застосуванням вдумливих інженерних рішень, спрямованих на автоматизацію та оптимізацію управління розсувними конструкціями виробничих приміщень.

Основна мета даного дослідження полягає в створенні не лише ефективного та надійного, але й високофункціонального засобу управління, що враховує усі вимоги індустріального виробництва. Проект спрямований на розробку інтелектуальної системи, яка може ефективно взаємодіяти з динамічними умовами виробничого середовища та забезпечувати оптимальний рівень автоматизації та контролю.

У даному розділі будуть детально розглянуті етапи розробки програмного забезпечення, використані технології та алгоритми, які гарантують ефективну та надійну роботу системи.

3.3.1 Етапи розробки програмного коду

Створення програмного коду для модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення включає в себе декілька єтапів, кожен з яких має свою унікальну роль. Далі подано розширенний опис кожного з етапів:

– оголошення та імпорт бібліотек – початковий етап розробки визначає ключовий інструментарій шляхом оголошення та імпорту необхідних бібліотек з ідентифікатором #define. На цьому єтапі використовуються такі

бібліотеки для функціональності взаємодії з апаратними та програмними компонентами, як AccelStepper для забезпечення плавного руху крокового двигуна з можливістю контролю швидкості та прискорення, Wire для роботи з I2C (Inter–Integrated Circuit) для спрощеного обміну даними між пристроями, WiFi, яка забезпечує можливість підключення до мережі Wi–Fi для отримання та відправлення даних, BlynkSimpleEsp32 для інтеграції з платформою Blynk, що надає зручний спосіб віддаленого моніторингу та керування, DHTesp, яка надає функціональність для роботи з датчиками температури та вологості DHT. Ці бібліотеки становлять основу для подальшої розробки та забезпечують необхідні можливості для ефективного управління та моніторингу системи керування розсувними конструкціями. Приклад такого коду:

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4TGIDOOwR"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Project1"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "Jnra1bhfnSZKN-ORibtio8yMBKyd52S9"
#include <AccelStepper.h>
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <Arduino.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include "DHTesp.h"
#define BLYNK_PRINT Serial
```

– визначення пінів та змінних – на данному етапі проводиться конфігурація пінів мікроконтролера ESP32 для встановлення з'єднань з різними пристроями. Також виконується оголошення змінних, які будуть використовуватися для зберігання різноманітної інформації, такої як аутентифікаційний токен, дані з датчиків та індикатори стану системи. На

цьому етапі забезпечується належна конфігурація мікроконтролера для подальшої ефективної роботи системи керування. Приклад такого коду:

```
#define humidity_vpin V1
#define temperature_vpin V2
#define co2_vpin V8
#define rain_vpin V6
#define temperature2_vpin V7

#define manual_mode_button V4
#define perform_manual_action_button V5

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "Wokwi-GUEST";
char pass[] = "";

BlynkTimer timer;

DHTesp dhtSensor;
DHTesp dhtSensor2;
#define CO2_PIN 34
#define RAIN_PIN 35

const int dirPin = 4;
const int stepPin = 25;
const int stepsPerRevolution = 200;
```

– ініціалізація об'єктів та змінних – на данному етапі відбувається створення та ініціалізація об'єктів, які відіграють ключову роль у взаємодії з різними пристроями системи керування розсувними конструкціями виробничого приміщення такі як: stepper для ефективного керування кроковим двигуном розсувної конструкції, dhtSensor та dhtSensor2 для зчитування даних

від датчиків температури та вологості, SensorData, який містить внутрішній клас TempAndHumidity для структурованого зберігання та передачі даних від давачів, manualStep змінна, яка визначає кількість кроків для ручного керування крововим двигуном, timer для регулярного виклику функцій управління та зчитування даних. Приклад такого коду:

```
AccelStepper stepper(AccelStepper::FULL4WIRE, stepPin, dirPin);
class SensorData {
public:
  struct TempAndHumidity {
    float temperature;
    float humidity;
    int co2;
    int rain;
    float temperature2;
    float humidity2;
  };
  TempAndHumidity getSensorData() {
    TempAndHumidity data;
    data.temperature = dhtSensor.getTemperature();
    data.humidity = dhtSensor.getHumidity();
    data.temperature2 = dhtSensor2.getTemperature();
    data.humidity2 = dhtSensor2.getHumidity();
    int16_t co2Value = analogRead(CO2_PIN);
    int16_t rainValue = analogRead(RAIN_PIN);
    data.co2 = co2Value * 2;
    data.rain = rainValue;
    return data;
  }
};
```

– визначення стану та параметрів – на цьому етапі встановлюються стани системи та параметри, які є важливими для прийняття рішень системою керування. Концептуалізація станів дозволяє системі адаптуватися до різних умов та забезпечує ефективне управління розсувними конструкціями виробничого приміщення, врахування різних станів дозволяє системі ефективно реагувати на зовнішні умови та автоматично приймати рішення для забезпечення оптимальної роботи розсувних конструкцій. Також введений режим Ручне управління дає можливість користувачеві втручатися у роботу системи вручну, вибираючи стан конструкції за його власним бажанням у разі необхідності;

```
enum RoofState {
  CLOSED,
  OPENING,
  OPEN,
  CLOSING,
  MANUAL
};

String getRoofStateString(RoofState state) {
  switch (state) {
    case CLOSED:
      return "Closed";
    case OPENING:
      return "Opening";
    case OPEN:
      return "Open";
    case CLOSING:
      return "Closing";
    case MANUAL:
      return "Manual";
```

```
    default:
      return "Unknown";
  }
}

RoofState roofState = CLOSED;
RoofState prevRoofState = CLOSED;

int manualModeStatus = 0;
int manualActionStatus = 0;
bool manualControlEnabled = false;

float voltage = 1;
SensorData sensorData;
SensorData::TempAndHumidity data;

unsigned long previousMotorMillis = 0;
const long motorInterval = 1000;
const int roofDistance = 1600;

unsigned long previousSensorMillis = 0;
const long sensorInterval = 2000;

const int manualStep = 400;

void controlRoof();
void openRoof();
void closeRoof();
void manualControl();
```

– функція BLYNK_WRITE_DEFAULT() – ця функція дозволяє керувати ручним та автоматичним режимами розсувних конструкцій, відкривати і закривати їх, а також взаємодіяти з іншими системами чи елементами, пов'язаними із збереженням та передачею даних через платформу Blynk. Код представлено далі:

```
BLYNK_WRITE_DEFAULT() {
  int pin = request.pin;
  int value = param.asInt();
   if (pin == manual_mode_button) {
    manualModeStatus = value;
    Blynk.virtualWrite(manual_mode_button, manualModeStatus);
    Serial.println("Manual Mode: " + String(manualModeStatus));

    manualControlEnabled = (manualModeStatus == 1);
  } else if (pin == perform_manual_action_button && manualControlEnabled) {
    manualActionStatus = value;
    Blynk.virtualWrite(perform_manual_action_button, manualActionStatus);
    Serial.println("Manual Action: " + String(manualActionStatus));
    if (manualActionStatus == 1) {
     closeRoof();
    } else if (manualActionStatus == 0) {
      openRoof(); }
    manualActionStatus = 0;
  } else if (pin == perform_manual_action_button && !manualControlEnabled &&
value == 1) {
управление не активировано и нажата кнопка V4
    if (manualModeStatus == 1) {
      if (roofState == OPEN) {
        closeRoof();
      } else if (roofState == CLOSED) {
```

```
    openRoof();
  }}}}
```

– налаштування та ініціалізація – у функції setup() визначається ініціалізація та налаштування мікроконтролера ESP32 для ефективної роботи системи керування розсувними конструкціями. Це включає встановлення з'єднання з Wi–Fi мережею, ініціалізацію датчиків температури та вологості, а також підключення до платформи Blynk для забезпечення дистанційного моніторингу та управління. Крім того, встановлюється таймер для регулярного виклику функції контролю стану системи, ініціалізуються параметри рухового механізму та виводиться початковий стан системи на монітор для відладки:

```
void setup() {
 Serial.begin(115200);
 Blynk.begin(auth, ssid, pass);

Blynk.virtualWrite(V0, String(roofState));

 dhtSensor.setup(14, DHTesp::DHT22);
 dhtSensor2.setup(27, DHTesp::DHT22);

 sensorData = SensorData();
 timer.setInterval(2000L, controlRoof);
 pinMode(stepPin, OUTPUT);
 pinMode(dirPin, OUTPUT);
 digitalWrite(dirPin, HIGH);
 stepper.setAcceleration(400);
 stepper.setMaxSpeed(2000);}
```

– основний цикл та логіка роботи – у функції loop() відбувається постійне виконання коду, яке забезпечує неперервну роботу системи керування розсувними конструкціями. Основний цикл включає в себе виклик функцій для зчитування та обробки даних з датчиків, контролю стану розсувних

конструкцій, а також взаємодії з платформою Blynk. При цьому відбувається виконання необхідних операцій, таких як рух розсувних конструкцій, надсилання даних на сервер Blynk та інше. Функція loop() викликається постійно, забезпечуючи постійну обробку даних та управління системою:

```
void loop() {
  Blynk.run();
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - previousSensorMillis >= sensorInterval) {
    previousSensorMillis = currentMillis;
    data = sensorData.getSensorData();
    sendSensorData();
    controlRoof();
  }

  if (roofState == OPENING || roofState == CLOSING || roofState == MANUAL) {
    stepper.run();
  }
}
```

– функції керування та обробки даних – на даному етапі реалізується функції для керування кроковим двигуном та опис функцій для отримання та обробки даних з датчиків, такі як: void sendSensorData() відповідає за відправку даних з датчиків на платформу Blynk та виведення їх у консоль, void manualControl() для ручного керування розсувними конструкціями. Залежно від стану кнопки на інтерфейсі Blynk та режиму роботи (автоматичний чи ручний), вона викликає функції відкривання або закривання розсувних конструкцій, void openRoof() відповідає за відкриття розсувних конструкцій, void closeRoof() відповідає за закриття розсувних конструкцій, void controlRoof() має на меті автоматичне управління розсувними конструкціями

відповідно до умов, зчитаних з датчиків, вона визначає, чи потрібно відкривати, закривати або залишати конструкції в поточному стані.

```
void controlRoof() {
  Blynk.run();
  Serial.println("Roof State: " + getRoofStateString(roofState));

  if (roofState != prevRoofState) {
    Blynk.virtualWrite(V0, "Roof State: " + getRoofStateString(roofState));
    prevRoofState = roofState;
  }

  if (manualControlEnabled) {
    manualControl();
    return;
  }

  int rainValue = analogRead(RAIN_PIN);
  data = sensorData.getSensorData();

  Serial.println("Rain Value: " + String(rainValue));
  Serial.println("Temperature: " + String(data.temperature));
  Serial.println("Humidity: " + String(data.humidity));
  Serial.println("CO2: " + String(data.co2));

  if (rainValue >= 512) {
    if (roofState != CLOSED) {
      Serial.println("Closing roof because of rain");
      closeRoof();
    }
  } else {
```

```
Serial.println("No rain, checking other conditions...");

if (data.temperature >= 18 && data.temperature <= 24) {
  if (data.humidity >= 30 && data.humidity <= 60) {
    if (data.co2 < 1000) {
      if (roofState == OPEN || roofState == OPENING) {
        Serial.println("Closing roof because of conditions");
        closeRoof();
      }
    } else {
      if (roofState != OPEN) {
        Serial.println("Opening roof because of high CO2");
        openRoof();
      }
    }
  } else {
    if (roofState != OPEN) {
      Serial.println("Opening roof because of low humidity");
      openRoof();
    }
  }
} else {
  if (rainValue < 512) {
    if (data.temperature > 24) {
      if (data.humidity >= 30 && data.humidity <= 60) {
        if (data.co2 < 1000) {
          if (roofState == OPEN || roofState == OPENING) {
            Serial.println("Closing roof because of high temperature");
            closeRoof();
          }
```

```
        } else {
          if (roofState != OPEN) {
            Serial.println("Opening roof because of high temperature and high CO2");
            openRoof();
          }
        }
      } else {
        if (roofState != OPEN) {
          Serial.println("Opening roof because of high temperature and low humidity");
          openRoof();
        }
      }
    } else if (data.temperature < 18) {
      if (data.humidity >= 30 && data.humidity <= 60) {
        if (data.co2 < 1000) {
          if (roofState == OPEN || roofState == OPENING) {
            Serial.println("Closing roof because of low temperature");
            closeRoof();
          }
        } else {
          if (roofState != OPEN) {
            Serial.println("Opening roof because of low temperature and high CO2");
            openRoof();
          }
        }
      } else {
        if (roofState != OPEN) {
          Serial.println("Opening roof because of low temperature and low humidity");
```

```
          openRoof();
        }
      }
    } else if (data.temperature > 24) {
      if (data.humidity >= 30 && data.humidity <= 60) {
        if (data.co2 < 1000 && data.temperature2 > 24) {
          if (roofState == OPEN || roofState == OPENING) {
            Serial.println("Closing roof because of high temperature, low humidity, low CO2, and high secondary temperature");
            closeRoof();
          }
        } else {
          if (roofState != OPEN) {
            Serial.println("Opening roof because of high temperature, low humidity, low CO2, and high secondary temperature");
            openRoof();
          }
        }
      } else {
        if (roofState != OPEN) {
          Serial.println("Opening roof because of high temperature, low humidity, and high secondary temperature");
          openRoof();
        }
      }
    } else if (data.temperature > 24) {
          if (data.humidity < 30 || data.humidity > 60 || data.co2 > 1000 || data.temperature2 < 24) {
      if (roofState != OPEN) {
```

```
            Serial.println("Opening roof because of high temperature, out-of-range humidity, high CO2, or low secondary temperature");
            openRoof();
          }
        }
      } else if (data.temperature < 18) {
        if (data.humidity >= 30 && data.humidity <= 60) {
          if (data.co2 < 1000 && data.temperature2 < 18) {
            if (roofState == OPEN || roofState == OPENING) {
              Serial.println("Closing roof because of low temperature, normal humidity, low CO2, and low secondary temperature");
              closeRoof();
            }
          } else {
            if (roofState != OPEN) {
              Serial.println("Opening roof because of low temperature, normal humidity, low CO2, and low secondary temperature");
              openRoof();
            }
          }
        } else {
          if (roofState != OPEN) {
            Serial.println("Opening roof because of low temperature, out-of-range humidity, low CO2, or low secondary temperature");
            openRoof();
          }
        }
      } else {
        if (roofState != OPEN) {
          Serial.println("Opening roof for general conditions");
```

```
            openRoof();}}}}}}
void sendSensorData() {
  SensorData::TempAndHumidity data = sensorData.getSensorData();
  Serial.println("---");
  Serial.println("Temp: " + String(data.temperature, 2) + " C");
  Serial.println("Humidity: " + String(data.humidity, 1));
  Serial.println("CO2: " + String(data.co2));
  Blynk.virtualWrite(humidity_vpin, data.humidity);
  Blynk.virtualWrite(temperature_vpin, data.temperature);
  Blynk.virtualWrite(co2_vpin, data.co2);
  Blynk.virtualWrite(rain_vpin, data.rain);
  Blynk.virtualWrite(temperature2_vpin, data.temperature2);
}
void openRoof() {
  digitalWrite(dirPin, LOW);
  if (roofState != OPENING) {
    roofState = OPENING;
    stepper.moveTo(roofDistance);
  }
}
void closeRoof() {
  digitalWrite(dirPin, HIGH);
  if (roofState != CLOSING) {
    roofState = CLOSING;
    stepper.moveTo(0);
  }
}
void manualControl() {
  if (manualModeStatus == 1) {
    if (manualActionStatus == 1) {
```

```
    if (roofState == CLOSED) {
      digitalWrite(dirPin, LOW);
      stepper.moveTo(roofDistance);
      roofState = OPEN;
    } else if (roofState == OPEN) {
      digitalWrite(dirPin, HIGH);
      stepper.moveTo(0);
      roofState = CLOSED;
    }
  }
  manualActionStatus = 0;
  roofState = MANUAL;
} else {
  Serial.println("Manual Mode is disabled. Cannot perform manual actions.");}}
```

Кожен етап розробки детально розглядається з метою забезпечення ефективності та надійності роботи модуля керування розсувними конструкціями, а також для спрощення розширення функціональності в майбутньому.

3.3.2 Реалізація технології IoT у середовищі Blynk для взаємодії з системою

У сучасному технологічному контексті взаємодія з Інтернетом речей (IoT) стає ключовою у сфері автоматизації та моніторингу різноманітних систем. Ця технологія відкриває широкі перспективи для оптимізації та автоматизації різних аспектів повсякденного життя, від побутових потреб до промислового виробництва.

Однією із ключових платформ для успішної реалізації проектів IoT є Blynk. Ця платформа надає зручний та ефективний інструментарій для віддаленого керування та моніторингу пристроїв через мобільні додатки або

веб–інтерфейс. Її унікальні можливості дозволяють розробникам створювати інтуїтивно зрозумілі інтерфейси для управління та моніторингу пристроїв без глибоких знань у програмуванні та дизайні.

Blynk вирізняється простотою використання та потужним функціоналом. Розробники можуть створювати інтерактивні мобільні додатки для віддаленого керування та моніторингу, не володіючи високим рівнем експертизи у програмуванні чи дизайні. Blynk підтримує різноманітні мікроконтролери та платформи, роблячи його універсальним інструментом для широкого спектру розробників.

У рамках поставленого завдання в інфраструктурі Blynk ефективно відбувається моніторинг та візуалізація даних від датчиків, що сприяє зручному контролю системних параметрів. Також реалізується модуль для ручного керування функціоналом системи, що дозволяє здійснювати взаємодію з пристроями у режимі реального часу (рисунок 3.4 – 3.5).

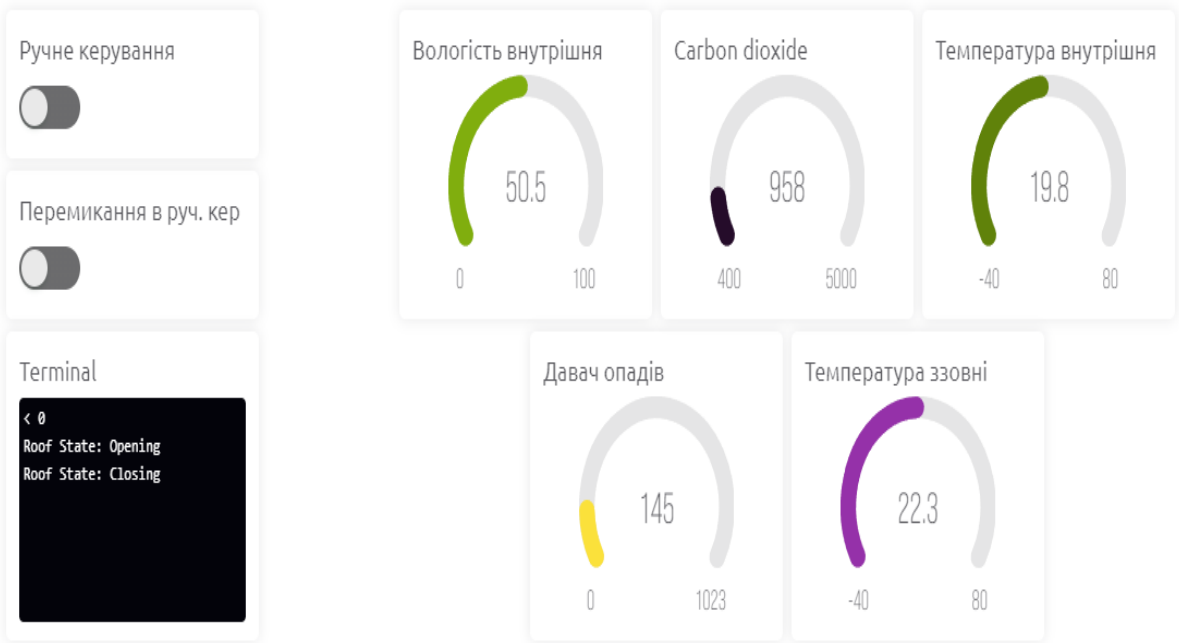

Рисунок 3.4 – Відображення інтерфейсу середовища Blynk в версії при моніторингу з веб–додатку

Рисунок 3.5 – Відображення інтерфейсу середовища Blynk в версії при моніторингу з мобільного додатка

3.4 Технічна безпека при експлуатації електричної апаратури в промисловості

У контексті реалізації будь–якого проекту, включаючи технічні розробки та програмування, питання охорони праці визнається не лише щоденним аспектом робочого процесу, але й невід'ємною складовою загального успіху та стабільності. Важливість системи охорони праці полягає в забезпеченні безпечного та здорового робочого середовища для всіх учасників процесу розробки та експлуатації [50].

Забезпечення безпеки праці визначається не лише законодавчими вимогами, але й моральними та етичними аспектами, оскільки здоров'я та безпека працівників є головними активами будь–якої організації. Спрямовуючись на важливість охорони праці, можна визначити кілька ключових моментів:

– здоров'я та безпека працівників: здоров'я та безпека працівників стає основною пріоритетною метою охорони праці в контексті програмування та технічних розробок. Сидячий спосіб життя, що є характерним для цих видів діяльності, може призводити до проблем із здоров'ям, а систематичні перерви та правильне облаштування робочого місця можуть запобігти подібним проблемам;

– автоматизація процесів: використання автоматизованих інструментів та скриптів для рутинних завдань може зменшити монотонність роботи та відсутність концентрації, сприяючи тим самим зниженню ризику помилок та стресових ситуацій;

– регулярні перерви та фізична активність: впровадження регламентованих перерв для фізичної активності допомагає підтримувати фізичний стан працівників та запобігає проблемам, пов'язаним із сидячим способом життя;

– безпечні методи роботи з обладнанням: надання працівникам відповідної інструкції та тренінгів з правил безпеки при використанні технічного обладнання та інструментів є обов'язковим елементом безпечної робочої практики;

– проведення пожежних та евакуаційних тренувань: організація систематичних тренувань щодо дій у випадку пожежі чи інших надзвичайних ситуацій допомагає гарантувати безпеку та швидке реагування на можливі загрози;

– профілактика та моніторинг: регулярні медичні огляди, психоемоційна підтримка та систематичний моніторинг фізичного стану працівників дозволяють вчасно виявляти можливі проблеми та надавати відповідну допомогу;

– безпечні робочі умови: організація зручного та безпечного робочого місця, використання спеціалізованого обладнання, а також дотримання стандартів електробезпеки є важливими аспектами для забезпечення безпеки працівників у процесі технічних розробок;

– психологічний комфорт: створення сприятливого психологічного середовища, а також забезпечення можливостей для регулярного відпочинку та розвантаження допомагають уникнути стресу та підтримувати емоційний стан працівників;

– навчання та підвищення кваліфікації: організація тренінгів та навчань з питань охорони праці сприяє підвищенню рівня свідомості працівників щодо потенційних ризиків та правил безпеки.

Впровадження та дотримання системи охорони праці є важливим етапом у забезпеченні сталого та ефективного функціонування проектів у галузі технічних розробок та програмування. Систематичний підхід до цих питань дозволяє забезпечити найвищий рівень безпеки, здоров'я та ефективності працівників, що в свою чергу позитивно впливає на результативність та якість виконаної роботи [51].

3.5 Висновок до розділу 3

Під час виконання проекту з розробки програмного забезпечення для керування розсувними конструкціями виробничого приміщення, велика увага приділялася аспектам охорони праці та безпеки робочого середовища. Організація високоефективного контролю та управління системою з використанням технології IoT та платформи Blynk спрямована на автоматизацію та оптимізацію функціонування виробничого приміщення. Використання мобільних додатків для віддаленого моніторингу та керування системою дозволяє підвищити ефективність та зручність управління.

Створення блок–схеми алгоритму роботи програмного забезпечення, визначає стратегічний план дій та логіку функціонування системи. У цьому процесі враховуються всі ключові аспекти, необхідні для досягнення поставлених завдань. Блок–схема стає важливим інструментом, який графічно відображає послідовність операцій та взаємодію між різними компонентами програмного продукту. Розробка моделі модуля керування, є конкретною

реалізацією концепцій, визначених на попередньому етапі. Тут враховуються технічні деталі та взаємозв'язки, які дозволяють програмному продукту ефективно взаємодіяти з апаратними компонентами та іншими частинами системи.

В ході розробки та імплементації програмного забезпечення та технічних проектів на основі мікроконтролера ESP32 із використанням технології IoT та платформи Blynk, важливим етапом є врахування принципів безпеки та охорони праці. Розглядаючи це з точки зору забезпечення фізичного та психологічного здоров'я працівників, було впроваджено ряд заходів, спрямованих на підвищення ефективності роботи та зменшення можливих ризиків.

Важливим аспектом є визначення та дотримання правил безпеки під час роботи з обладнанням та інструментами. Введення автоматизованих інструментів та скриптів, дотримання принципів ергономіки робочого місця та організація регулярних перерв сприяє зниженню фізичного навантаження та запобігає можливим захворюванням.

Додатково, контроль рівня стресу, забезпечення можливості фізичної активності та проведення пожежних та евакуаційних тренувань роблять акцент на комплексному підході до забезпечення безпеки працівників. Також важливою є можливість консультування з психологом для вирішення питань психологічного комфорту та стресових ситуацій.

Усі ці аспекти дозволяють не лише реалізувати ефективну та зручну систему керування розсувними конструкціями виробничого приміщення, але і забезпечити високий рівень безпеки та комфорту для працівників, що є важливим у вигляді загальних висновків з розробки та впровадження даного проекту.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗРОБЛЕНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ

4.1 Аналіз ефективності вирішення встановленої задачі

В цьому розділі заплановано провести систематичну оцінку та аналіз відповідності розробленого програмного забезпечення визначеним вимогам та специфікаціям, встановленим на початкових етапах дослідження. Зазначений етап є ключовим у реалізації модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення за допомогою технології IoT.

Використовуючи методи та підходи контрольного аналізу, у цьому розділі реалізується системний огляд розробленого програмного забезпечення, спрямований на перевірку його функціональності, ефективності та стійкості до можливих аномалій. Особлива увага приділяється аспектам безпеки та відповідності програмних рішень стандартам промислової технічної безпеки.

Ключовим аспектом аналізу є визначення відмінностей між очікуваними та фактичними результатами, що сприяє своєчасній ідентифікації можливих недоліків та їх подальшій корекції. Контрольний аналіз є необхідним етапом для забезпечення високої якості та надійності системи, а також для визначення можливостей оптимізації та вдосконалення функціоналу.

Наступні кроки передбачають ретельний розгляд процесів перевірки та верифікації програмного забезпечення, оцінку його відповідності встановленим вимогам, а також детальний аналіз результатів тестування та аналізу продуктивності. Основна мета полягає в підкресленні ефективності та готовності розробленого програмного забезпечення для подальшої інтеграції у виробниче середовище.

На етапі відхилень навколишнього середовища від стандартних параметрів, система переходить до режиму, де враховуються особливості зовнішнього середовища. У таких умовах система використовує показники

датчиків та іншу доступну інформацію для адаптації роботи розсувної конструкції (рисунок 4.1). Одночасно проводиться обчислення всіх необхідних значень, які передаються до Blynk за допомогою технології IoT (рисунок 4.2).

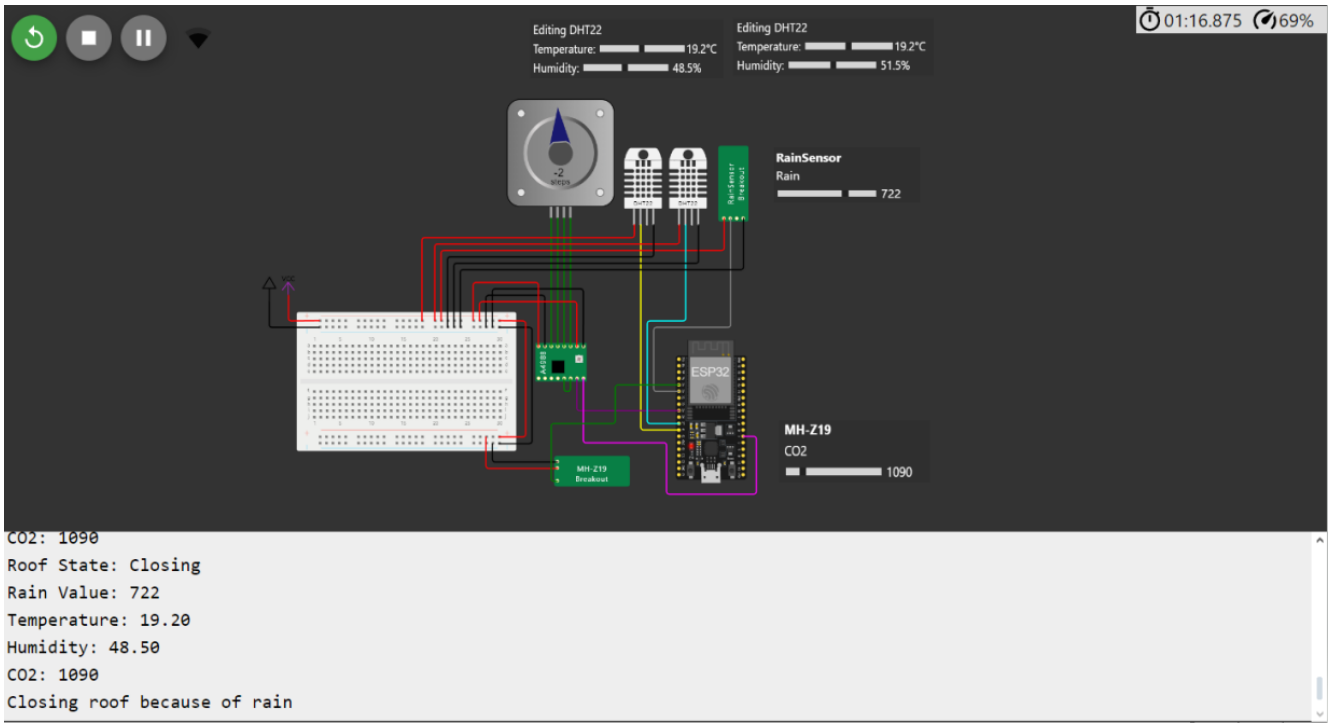

Рисунок 4.1 – Відображення роботи системи в автоматичному режимі

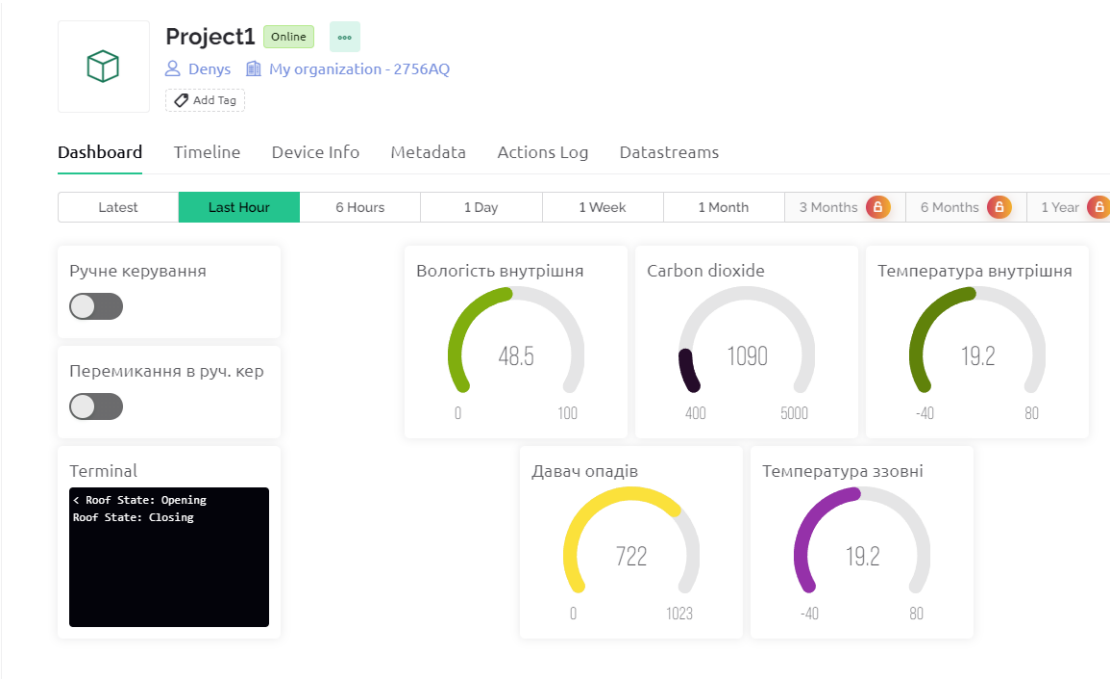

Рисунок 4.2 – Відповідні відображення даних у системі Blynk

У разі ручного керування, система виходить з режиму автоматичного управління, передаючи керування оператору. Оператор має можливість вручну змінювати положення розсувної конструкції відповідно до своїх потреб або конкретної ситуації (рисунок 4.3 – 4.5). Це може бути важливим, наприклад, у випадку необхідності швидкої реакції на зміну умов або виконання певних завдань, які вимагають прямого втручання. В цьому випадку в консолі модуля керування та системі Blynk виводиться інформація про ввімкнення ручного управління виводом станом MANUAL (рисунок 4.6).

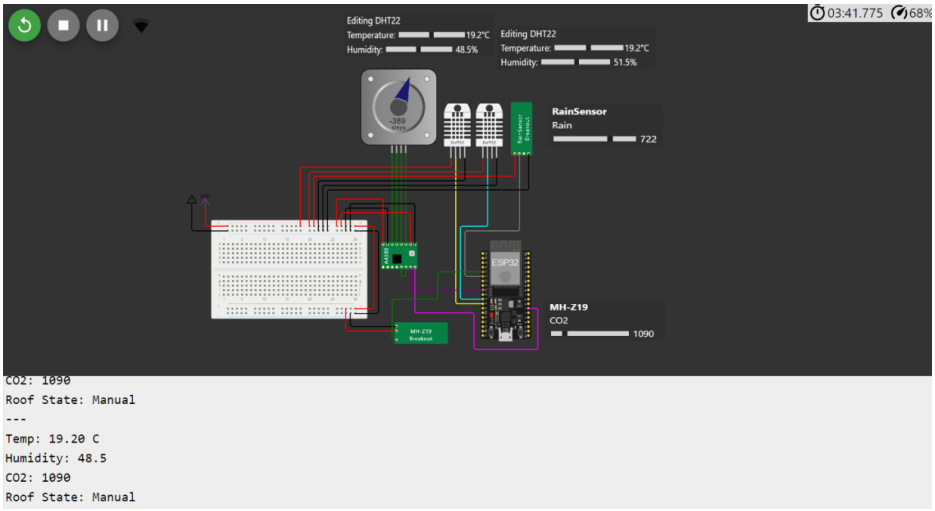

Рисунок 4.3 – Відображення роботи системи при високих значеннях опадів та ввімкненому ручному керуванні

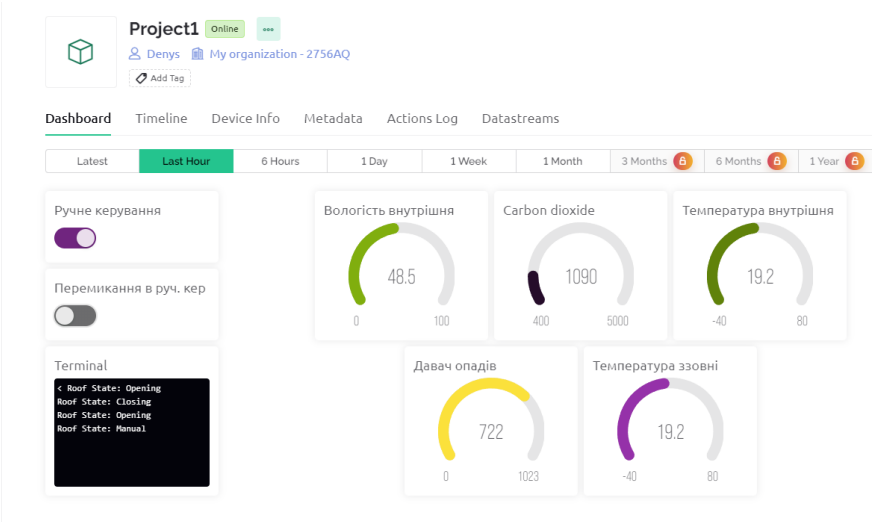

Рисунок 4.4 – Відповідні відображення даних у системі Blynk

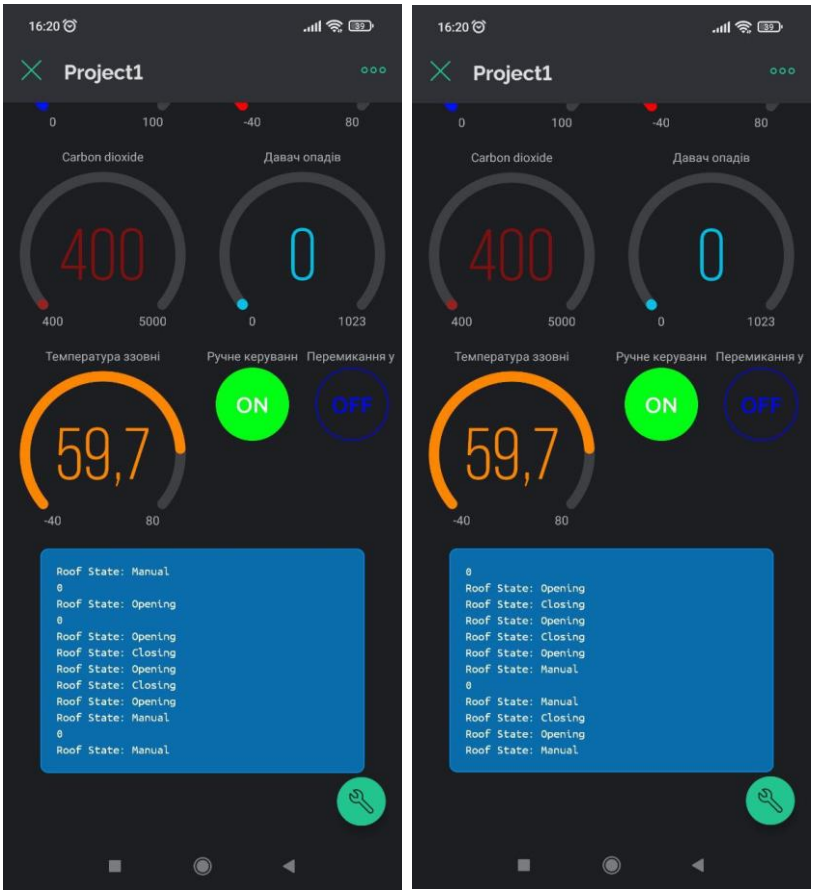

Рисунок 4.5 – Відповідні відображення даних у мобільному додатку Blynk

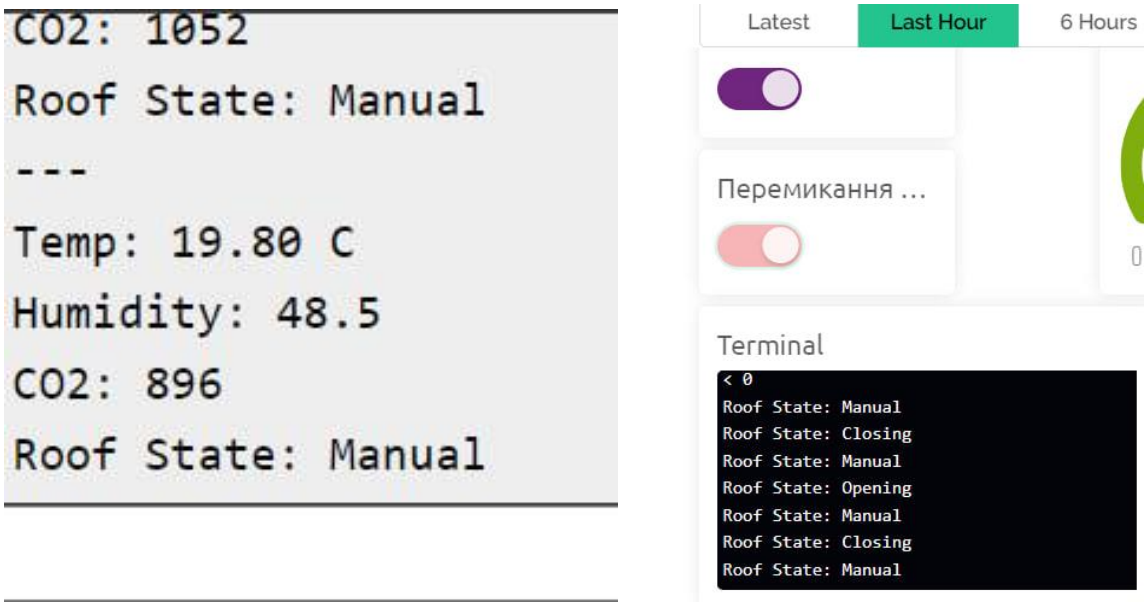

Рисунок 4.6 – Вивід інформація про ввімкнення ручного управління виводом стану MANUAL

Режим ручного керування може забезпечити операторові більший контроль і гнучкість в управлінні системою в порівнянні з автоматичним режимом. Оператор може змінювати положення розсувної конструкції в режимі реального часу, враховуючи конкретні потреби або ситуації, що виникають у процесі експлуатації.

4.2 Висновки до розділу 4

В розділі 4 виконано аналіз ефективності розробленого програмного забезпечення для управління розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням технології IoT. Оцінка проводилась у відповідності до визначених вимог та специфікацій, і ключовий акцент робився на функціональності, ефективності та стійкості до аномалій.
В роботі виявлено та вирішено різноманітні виклики, пов'язані з ефективністю системи, зокрема, управлінням в режимі адаптації до змін зовнішнього середовища. Програмне забезпечення виявилося готовим до інтеграції в промислове середовище, забезпечуючи надійність та високу якість роботи системи.

Розділ 4 також детально розглядає процеси перевірки та верифікації програмного забезпечення, здійснює аналіз відповідності вимогам та наводить результати тестування та аналізу продуктивності. Виокремлено етап відхилень навколишнього середовища від стандартних параметрів, де система виявляє гнучкість та адаптивність до змін.

Отже, розділ 4 доводить, що розроблене програмне забезпечення є ефективним, готовим до інтеграції та забезпечує надійне управління розсувними конструкціями виробничого приміщення за допомогою технології IoT.

ВИСНОВКИ

Під час реалізації наукового проекту використовувався комплексний підхід для вирішення завдань, спрямований на вирішення різноманітних завдань, пов'язаних із впровадженням автоматизованого керування розсувними конструкціями виробничого приміщення. Глибокий аналіз наукової літератури дозволив уточнити ключові аспекти, що стосуються впровадження індустрії 4.0 та 5.0 у виробничі процеси.

Отримана інформація вказала на важливість вибору правильних технічних засобів, таких як мікроконтролери та датчики, а також підкреслила значущість Інтернету речей (IoT) у сучасних технологічних трансформаціях. Проект, висвітлений у даному контексті, має велике значення у сучасному технологічному середовищі, а його розширений аналіз літератури визначає його як інноваційний та перспективний напрямок, спрямований на вдосконалення та оптимізацію виробничих процесів.

У розділі, присвяченому вибору та обґрунтуванню технічних засобів, вивчалися різні аспекти відбору мікроконтролера, датчиків, платформи програмування та інтегрованого середовища розробки. В цьому контексті здійснювалася докладна характеристика вибраних технічних засобів, а також обґрунтування їх використання у рамках проекту. Паралельно проводилася робота над математичною моделлю, створенням діаграм прецедентів та функціональної моделі, сприяючи повному узгодженню аспектів проекту та визначенню основних функцій системи. Цей підхід сприяє систематизації та повноті урахування усіх необхідних елементів у процесі обрання технічних рішень.

У розділі, що стосується розробки програмного забезпечення, визначені та детально розглянуті етапи від створення блок–схеми алгоритму роботи до вдалої реалізації технології Інтернету речей (IoT) у середовищі Blynk. Кожен з

цих етапів виявився важливим для забезпечення успішного виконання цілей проекту та надання програмного продукту необхідної функціональності.

Проведений аналіз ефективності вирішення завдань виявив ключові параметри продуктивності та функціональності програмного забезпечення. Це дозволило об'єктивно оцінити вдачу розробки та визначити якість його виконання.

Окрім того, у розділі акцентовано на важливості вивчення технічної безпеки, яке спрямоване на ідентифікацію та врахування аспектів, що стосуються безпеки електричної апаратури в промисловості. Це важливе врахування сприяє надійності та безпеці експлуатації розробленої системи, особливо в умовах виробничого середовища.

Усе це вказує на те, що реалізація даного проекту взаємодії IoT для керування розсувними конструкціями виробничого приміщення є перспективною та дозволить підвищити ефективність виробничих процесів та забезпечити високий рівень автоматизації та контролю. Загальні висновки підкреслюють необхідність та актуальність використання сучасних технологій для оптимізації роботи виробничих приміщень, сприяючи підвищенню їхньої продуктивності та безпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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

2. 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. Токарєва, Г. В. Пономарьова. Київ, 2018. 320 с.

3. 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. Токарєва,

Г. В. Пономарьова. Київ, 2018. 320 с.

4. 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. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

5. Броніков А. І., Чернишов Д. І. Модернізація модуля керування розсувними конструкціями виробничого приміщення з використанням IoT. 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.

6. Industry 4.0 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.it.ua/knowledge–base/technology–innovation/industry–4

7. Klaus Schwab (2016). 4 Industrial Revolution: what it means, how to respond. WEF. URL: https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the–fourth–industrial–revolution–what–it–means–and–how–to–respond

8. Bondar K. (2017). What is in reality Industry 4.0? InnovaCima. URL: https://web.archive.org/web/20180101021727/

9. What's the Difference Between Industry 4.0 and Industry 5.0? URL: https://blog.isa.org/whats–the–differencebetween–industry–40–industry–50

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. Secure Channel Communication between IOT Devices and Computers / H. Kata et al. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2023.

12. Smith, L. (2021). Cyber Curiosity: A Beginner’s Guide to Cybersecurity – How to Protect Yourself in the Modern World. New Degree Press

13. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Мікропроцесорні системи контролю та керування: Навч. посібник для студентів ЗВО. − Харків: ХНУРЕ. − 2020. – 244 с.

14. Мікроконтролери та мікропроцесорна техніка. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно–інтегровані технології / О.М. Павловський; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 104 с.

15. 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.

16. 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.

17. STM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.st.com/en/evaluation–tools/stm32–nucleo–boards. – Назва з екрану.

18. I. Shevtsov, I. Svyd, V. Chumak, A. Sierikov. Practical Aspects of Software Optimization for MCUs with RTOS. // IV International Scientific and Practical Conference Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs (MC&FPGA–2022), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 35–36, doi: 10.35598/mcfpga.2022.012.

19. T. Sandeep Rao, Pawan Pranay, Sriman Narayana, Yamunadhar Reddy, Sunil, Pawandeep Kaur ESP32 Based Implementation of Water Quality and Quantity Regulating System. Proceedings of the 3rd International Conference on Integrated Intelligent Computing Communication & Security, Vol. 4, pp. 122– 129.

20. ESP32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32. – Назва з екрану.

21. 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.

22. Офіціальна документація проєкту Arduino [Электронный ресурс]. – https://www.arduino.cc/en/Guide/ HomePage

23. Arduino Leonardo – [Електронний ресурс] – Режим доступу: www/ URL: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Leonardo

24. Arduino Mega 2560– [Електронний ресурс] – Режим доступу: www/ URL: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560

25. Arduino Uno– [Електронний ресурс] – Режим доступу: www/ URL: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno

26. 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.

27. Raspberry Pi 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www. raspberrypi.org/products/raspberry–pi–4–model–b/?resellerType=home. – Назва з екрану.

28. Як вибрати датчик вологості – [Електронний ресурс] – Режим доступу: www/ URL: http://www.sensorica.ru/docs/art3.shtml

29. Najeeb, M.A.; Ahmad, Z.; Shakoor, R.A. Organic thin–film capacitive and resistive humidity sensors: A focus review. Adv. Mater.Interfaces 2018,5, 1800969.

30. Adafruit Wide–Range Triple–axis Magnetometer — MLX90393 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://raspberry.com.ua/p/adafruit–wide–range–triple–axis–magnetometer–mlx90393/. – Назва з екрану

31. Датчик дощу, вологи, снігу – [Електронний ресурс] – Режим доступу: www/ URL: https://arduino.ua/prod562–datchik–dojdya–vlagi–snega

32. 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/ – Назва з екрану

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

34. Розодюк М. П., Козак М. О. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисципліни Дослідження крокового двигуна. – Вінниця: ВНТУ, 37 с.

35. Крокові двигуни – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ukrayinska.libretexts.org/Робоча_сила/Технологія_електроніки/Книга%3A_Електричні_ланцюги_II_– _змінний_струм_(Kuphaldt)/13%3A_Двигуни_змінного_струму/13.05%3A_Крокові_двигуни – Назва з екрану

36. Коваленко І. О. Крововий електропривод з векторним керуванням [Електронний ресурс] / І. О. Коваленко, М. О. Остапець, Т. О. Остапець – Режим доступу до ресурсу: 90 http://epa.kpi.ua/wp–content/uploads/2016/02/15–KROKOVIJ–ELEKTROPRIV OD–Z–VEKTORNIM–KERUVANNYAM.pdf.

37. Московець П. А. Дослідження електроприводів постійного струму з імпульсними перетворювачами напруги [Електронний ресурс] / П. А. Московець. – 14. – Режим доступу до ресурсу: http://masters.donntu.org/2013/etf/moskovets/diss/indexu.htm. – Назва з екрану

38. What is a Stepper Motor? – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://learn.adafruit.com/all–about–stepper–motors – Назва з екрану

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

40. Ресурс Welcome to Wokwi! – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://docs.wokwi.com– Назва з екрану

41. Ресурс Blynk.Console – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://fra1.blynk.cloud/dashboard/103946/global/devices/802141– Назва з екрану

42. Arduino Essentials: Enter the World of Arduino and Its Peripherals and Start Creating Interesting Projects [Текст]: довідник / Френсіс Переа, 2015 –190с.

43. Математичні моделі та новітні технології управління Конспект лекцій дисципліни Математичне моделювання для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно–інтегровані технології/ Упоряд. В.В. Безкоровайний. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 120 с.

44. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія / Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочій та ін. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013 – 300 с.

45. Як будувати UML–діаграми. Розбираємо три найпопулярніші варіанти – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dou.ua/forums/topic/40575/ – Назва з екрану

46. Лабораторний практикум з курсу CASE–технології / Укл. С. В. Мінухін, О. М. Беседовський – Харків: Вид. ХНЕУ, 2005. – 135 с.

47. Справочна система Ramus Educational 1.2.8.1

48. Algorithms: Design and Analysis by Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein.

49. Кормен, Т. Х., Лейзерсон, Ч. Е., Рівест, Р. Л., та Стен, К. Ф. (2009). Алгоритми для початківців. В: Матеріали конференції Алгоритми і їх застосування (м. Київ, 2009 р.). Том 1. Київ: КНУ ім. Т. Шевченка. С. 12–20.

50. Ресурс Creately – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://app.creately.com/d/nKPMcKDTuRi/view – Назва з екрану

51. Дзюндзюк, Е. М. Методичні вказівки до розділу „Безпека життя і діяльности людини у дипломних проектах” для студентів факультета АКТ / Упоряд.: Б. В. Анпілогов, Є. Т. Стиценко – Харків: ХНУРЕ, 2012 – 28 с.

52. Кузьмінський, В. А. Охорона праці: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / В. А. Кузьмінський, В. І. Алещенко, Л. П. Вовкотруб. – К.: КНЕУ, 2007. – 576 с.